

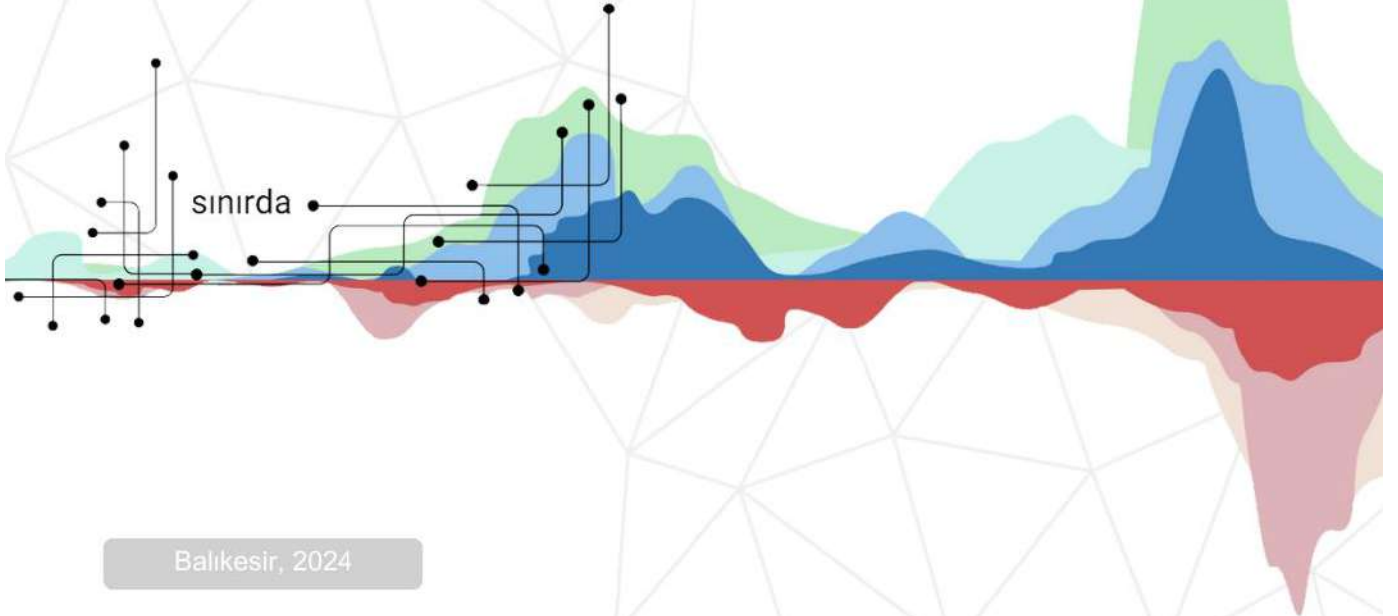
2024balıkesir| sınırda

# MSTAS

Mimarlıkta Sayısal Tasarım  
XVIII. Ulusal Sempozyumu

1- 2 Temmuz 2024

Tam Metin Bildiri Kitabı



Balıkesir, 2024

# XVIII. MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM ULUSAL SEMPOZYUMU

## 1 – 2 TEMMUZ 2024 | BALIKESİR

### MSTAS 2024 | SINIRDA

#### Düzenleme Kurulu

Doç. Dr. Serkan PALABİYİK  
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Süphan SOMALI  
Arş. Gör. Dr. Elif ALKILINÇ  
Arş. Gör. Dr. Derya DEMİRCAN  
Arş. Gör. A. Öykü TÜRKEN

#### Danışma Kurulu

Prof. Dr. M. Birgül ÇOLAKOĞLU  
Prof. Dr. Mine ÖZKAR  
Prof. Dr. Arzu GÖNENÇ SORGUÇ

#### Editörler

Doç. Dr. Serkan PALABİYİK  
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Süphan SOMALI  
Arş. Gör. Dr. Elif ALKILINÇ  
Arş. Gör. Dr. Derya DEMİRCAN  
Arş. Gör. A. Öykü TÜRKEN

#### Mizanpaj

Arş. Gör. Dr. Elif ALKILINÇ  
Arş. Gör. Dr. Derya DEMİRCAN

#### Kapak

Arş. Gör. A. Öykü TÜRKEN

#### ISBN: 978-975-6993-33-0

© Balıkesir Üniversitesi

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları “BAUN Rektörlüğü’ne” aittir. Bu kitabın tamamı ya da herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka tekniklerle çoğaltılamaz, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar/ yazarlara aittir.

## BİLİM KURULU

Ahmet Emre DİNÇER, *Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi*

Arzu GÖNENÇ SORGUÇ, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*

Aslı AĞIRBAŞ, *Özyeğin Üniversitesi*

Ayşegül AKÇAY KAVAKOĞLU, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Başak UÇAR, *TED Üniversitesi*

Benay GÜRSOY TOYKOÇ, *Pennsylvania State University*

Çağda ÖZBAKİ, *Altınbaş Üniversitesi*

Derya GÜLEÇ ÖZER, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Elif Belkis ÖKSÜZ, *Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi*

Emirhan COŞKUN, *Haliç Üniversitesi*

Ersan KOÇ, *Bursa Teknik Üniversitesi*

Ethem Gürer, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Faruk Can ÜNAL, *Yeditepe Üniversitesi*

Gülen ÇAĞDAŞ, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Güzden VARİNLİOĞLU, *İzmir Ekonomi Üniversitesi*

H. Günseli DEMİRKOL, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

İlker ERKAN, *Süleyman Demirel Üniversitesi*

Kutay GÜLER, *Kansas State University*

Kutay KARABAĞ, *İstanbul Bilgi Üniversitesi*

Leman Figen GÜL, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Mehmet Ali ALTIN, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Mehmet İNCEOĞLU, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Meltem AKSOY, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Meryem Birgül ÇOLAKOĞLU, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Mine ÖZKAR, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Mustafa Emre İLAL, *İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi*

Neşe ÇAKICI ALP, *Kocaeli Üniversitesi*

Orkan Zeynel GÜZELCİ, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Özgün BALABAN, *Columbia University*

Özlem KANDEMİR, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Pınar ÇALIŞIR ADEM, *Yeditepe Üniversitesi*

Sabri GÖKMEN, *Kadir Has Üniversitesi*

Salih OFLUOĞLU, *Antalya Bilim Üniversitesi*

Sema ALAÇAM, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Semra ARSLAN SELÇUK, *Gazi Üniversitesi*

Serbülent VURAL, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*

Serdar AYDIN, *Mardin Artuklu Üniversitesi*

Sevil YAZICI, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Sibel MACİT İLAL, *İzmir Demokrasi Üniversitesi*

Şehnaz CENANİ, *İstanbul Medipol Üniversitesi*

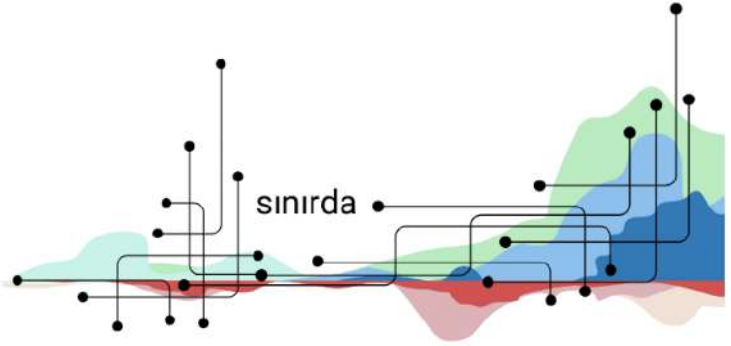
Şule PEKTAŞ TAŞLI, *Bilkent Üniversitesi*

Tuğrul YAZAR, *İstanbul Bilgi Üniversitesi*

Yazgı AKSOY, *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Yüksel DEMİR, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Zülal Nurdan KORUR, *İstanbul Medipol Üniversitesi*



## ÖNSÖZ

Değerli katılımcılar ve okurlar,

Sınırlar; çok yönlü olasılık ve potansiyeller barındıran dinamik ara yüzlerdir. Teknolojik gelişmeler paralelinde, mimarlıkta “sınır” kavramı, alandaki olasılıkları genişleten kilometre taşlarının damgasını vurduğu dönüştürücü bir yolculuğu ortaya koymaktadır.

Bu kapsamda özellikle son 30 yıl içinde; CAD ile birlikte mimarların tasarım çizimleri oluşturma biçiminde devrim gerçekleşmiş ve geleneksel el çizimi yöntemlerinin sınırları aşılmış, BIM ile birlikte tasarım ve işletme aşamaları arasındaki geleneksel sınırlar yıkılmış, inşaat ve tesis yönetimini içerecek şekilde tasarımın ötesine geçilmiştir. Parametrik tasarım araçları, mimarların karmaşık ve dinamik formları keşfetmelerine olanak tanıyarak, mimari estetik açısından ulaşılabilir olanın sınırlarını zorlamaya teşvik ederken, Artırılmış Gerçeklik (AR) / Sanal Gerçeklik (VR) teknolojileri, sanal ve fiziksel dünyalar arasındaki sınırı aşmış, mimarların, işverenlerin sanal ortamlarda birlikte çalışmasına ve coğrafi sınırların üstesinden gelmesine olanak tanımıştır. Aynı şekilde, yapay zekâ odaklı üretken tasarım araçları, kavramsallaştırma aşamasında geleneksel sınırlara meydan okuyan çok sayıda tasarım seçeneğinin keşfedilmesine olanak sağlamıştır. Diğer yandan robotik inşaat teknolojileri, binaların nasıl monte edildiğini yeniden tanımlayarak, inşaat yöntemleri açısından mümkün olanın sınırlarını zorlamaya başlamıştır. Tüm bu gelişmeler, sadece tasarım sürecini değil, aynı zamanda yapım yöntemlerini, iş birliğini ve sürdürülebilirliği de etkileyerek başarılabilecek sınırları sürekli olarak zorlamaktadır.

Bu çerçevede, MSTAS2024\_Balıkesir XVIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu'nun teması "Sınırdâ" olarak belirlenmiş, ve gerçekleştirilen sempozyum ile günümüze dek toplumsal değışim ve gelişmelere adapte olup sınırlarını genişletebilmiş mimarlık disiplininin yeni teknolojik gelişmeler karşısında zorlanan sınırları, bu sınırları genişletme olanakları ve hatta sınır ötesinin tartışılmasına odaklanılmıştır.

Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü tarafından düzenlenen Mimarlıkta Sayısal Tasarım 18. Ulusal Sempozyumu'na (MSTAS2024\_Balıkesir) 21 üniversiteden genişletilmiş özet olarak toplam 51 başvuru yapılmış, Bilim Kurulu'nun değerlendirmelerinden sonra 39 bildiri, Sempozyum'da sunulmak ve bildiri kitapçığında yayınlanmak üzere kabul edilmiştir. Kabul edilen bildiriler yedi başlık altında organize edilmiştir: (1) Sanal, Arttırılmış ve Karma Gerçeklik, (2) Yapı Bilgi Modellemesi, Akıllı ve Sürdürülebilir Malzemeler, (3) Sayısal Tasarım ve Mimarlık Eğitimi, (4) Tasarımda Yapay Zekâ, Nesnelerin İnterneti, Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon, (5) Akıllı Kentler, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Simülasyon, Döngüsel Ekonomi, (6) Sayısal Temsil ve Görselleştirme, Karar Destek Sistemleri, (7) Sayısal Fabrikasyon Teknikleri ve Robotik.

Bu yıl 18. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu'nu Balıkesir Üniversitesi'nde düzenlemek ve ev sahipliği yapmaktan mutluluk duyduk. Düzenleme Kurulu adına, hakemlik sürecindeki değerlendirmeleri için bilim kurulu üyelerine, danışma kuruluna, oturum başkanlarına ve davetli konuşmacılara değerli katkıları için teşekkür ederim. Sınırların tartışıldığı sempozyum ve ürünü olan bu kitapta sayısal tasarım alanına ilgili öğrencilerin, akademisyenlerin ve disiplinler arası çalışmalarda öncülük yapan araştırmacıların aradığını bulacağını umuyorum.

Saygılarımla,

**MSTAS 2024 Düzenleme Kurulu Başkanı**  
**Serkan PALABIYIK**  
**Temmuz 2024**

# İÇİNDEKİLER

## **OTURUM 1: Sanal, Artırılmış ve Karma Gerçeklik.....1**

2 ve 3 boyutlu mimari görsellerin bilişsel etkilerinin nöro-mimarlık ile değerlendirilmesi 2  
İlker Erkan, Seda Şimşek

Sanal Gerçeklik Teknolojileri ve Dijital Oyunların Mimarlık Eğitimine Katkısının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Derleme Çalışması 16  
İrem Dede, Enes Yaşa, Selahattin Ersoy

Spatial.io Ortamında Nesne Boyutu ve Görünürlüğe İlişkin Görsel Algı Eşiğinin Ortaya Çıkarılması 40  
Fatma Seven

## **OTURUM 2: Yapı Bilgi Modellemesi, Akıllı ve Sürdürülebilir Malzemeler.....55**

Otel İşletmelerinde Varlık ve Mahal Yönetimi İçin BIM-Destekli Tesis Yönetimi Uygulaması 56  
Emre Akdeniz, Salih Ofluoğlu

Ahşap Modüler Yapıda Sanal Tasarım ve Üretim Süreci: Yapı Bilgi Modellemesinin Uygulanması 81  
Elif Bilge Bulut, Togan Tong

Exploring the Architectural Potential of Self-Responding Surfaces with TPU on Flexible Material 97  
Beyza Muş

A Proposal on Responsive Facade Design with Shape Memory Alloys 114  
Hazal Almaç, Sevil Yazıcı

Expanding Geometric Space of Reciprocal Structures through Surface Panelization 130  
Hanım Gülsüm Karahan, Sevil Yazıcı

## **OTURUM 2 – PARALEL OTURUM: Sayısal Tasarım ve Mimarlık Eğitimi.....146**

YBM Destekli Mimari Tasarım Öğrenimi: Eğitim Yetkinlikleri 147  
Dursun Furkan Çapkın, Togan Tong

Mekan Sınırlarında Sayısal Yaklaşımlar: Diyagramdan Kütleyle Bir Model Önerisi 159  
Cemile Gül Gürcan Bahadır, Togan Tong

Mimarlıkta Temel Tasarım Eğitimine Görsel Kodlama ve Güncel Sayısal Tekniklerin Entegrasyonu: Bir Stüdyo Denemesi 177  
Erdem Yıldırım, Aslı Arpak

Enhancing Spatial Awareness: Exploring the Impact of Virtual Reality in Interior Architecture Education 197  
Şehnaz Cenani, M. Çağdaş Durmazoğlu, Ethem Gürer, Z. Gözde Kutlu

Tasarım Eğitiminde Yapılandırmacı ve Doğrudan Öğretim Yaklaşımlarının Etkinliklerinin Karşılaştırılması 216  
Çetin Toker, Togan Tong

## **OTURUM 3: Tasarımda Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti, Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon.....241**

Mimari Temsilin Üretiminde Makine Öğrenimi ve Yeni Yaklaşımlar Üzerine Bir Değerlendirme 242  
Nazlıcan Birinci Ertürk, Serkan Palabıyık

Mimarlık Eğitiminde Sinirsel Bulanık Mantık Temelli Bir Yapay Zeka Dersi Uygulaması 265  
Setenay Uçar, Salih Ofluoğlu

Designing Spatial Layouts: Changes in Process and Boundaries 282  
Ayşegül Özlem Bayraktar Sarı

Peyzaj Mimarlığı Taksonomisini Güncellemek: Pratik ve Teori Arakesitinde Kavramsal Bir Okuma	305
Barış Kalyoncuoğlu, Bahar Başer Kalyoncuoğlu, Pınar Kesim Aktaş, Mehmet Cemil Aktaş	
Reimagining Pixels: Exploring Data-driven Panels to Enhance Human-Machine Interaction	318
Ömer Kasım Karout, Ayşegül Akçay Kavakoğlu	
Yaşama Mekanların Günışığı Faktörü Tahmininde Yüksek Başarım İçin Rastgele Orman Algoritmasının Değerlendirilmesi	333
Fadime Diker, İlker Erkan	
Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeylerin (ÜYPMY) Şerit Tabanlı Dijital Üretimi	356
İbrahim Naci Özetçi, Kaan Demir, Sabri Gökmen	

#### **OTURUM 4: Akıllı Kentler, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Simülasyon, Döngüsel Ekonomi..371**

Akıllı Şehirler Kapsamında Akıllı Binalar: Sayısal Tasarım Metrikleri ve Araçları	372
Ece Özmen, Şafak Beşiroğlu	
Morfolojik, Algısal ve Fonksiyonel Sınır Faktörlerinin, Statik Aktivite Mekanlarının Oluşumundaki Etkisine Dayalı Sayısal Bir Model Önerisi	398
Fatma Arzu Tibet, Berrin Akgün	
Yapılı Çevre için Döngüsel Ekonomi Araçları	421
Burcu Kısmet, Meryem Birgül Çolakoğlu	
Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi Yaya Ulaşım Ağının Akıllı Ulaşım Sistemleri Bağlamında Değerlendirilmesi	435
Beyzanur Kılıç, Nihal Arda Akyıldız	



**OTURUM 5: Sayısal Temsil ve Görselleştirme, Karar Destek Sistemleri.....454**

Otonom Şantiye Konteyneri Oryantasyon Modülü Önerisi 455  
Raşit Eren Cangür, Togan Tong

Mimari Eskizlerde Renk ve Anlatı: İki Aşamalı Protokol Çalışması 465  
Nur Sipahioğlu, Ethem Gürer

Matematikten İlham Almak: MathForm Eklentisi 482  
Habibe Şenkal, Sema Alaçam, Orkan Zeynel Güzelci

Küresel Aydınlatmada Sıvıların Emilim ve Saçılım Değerlerinin Fotogerçekçiliğe Etkileri 503  
Ayhan Mucur, Togan Tong

Enerji Verimli Binaların Tasarımı İçin Yapay Zeka ve Sinirsel Bulanık Mantık Yönteminin Uygulanmasına İlişkin Bir İnceleme 524  
Setenay Uçar, İlknur Akıner

**OTURUM 5 – PARALEL OTURUM: Sayısal Fabrikasyon Teknikleri ve Robotik.....538**

Doğadan Referans Alan Katlanabilir Beton Kalıp Sistemleri Üzerine Bir İnceleme 539  
Görkey Gürel, Ayşegül Akçay Kavakoğlu, Leman Figen Gül

Non-Verbal Communication Strategies in Robotic Design Approaches: The Case of Myco-morphosis 563  
Bengü Özmutlu, Ayşegül Akçay Kavakoğlu

Tarihi Ahşap Yapı Bileşenlerinin Belgelenmesi ve CNC Yöntemiyle Yeniden Üretimi 586  
Baver Bekiroğlu, Sema Alaçam, Orkan Zeynel Güzelci

Su Dalgası Deseninin Sürekli Paneller ile Üretimine Yönelik Model Önerisi 601  
Raşit Eren Cangür, İhsan Erdem Er

## **OTURUM 6: Tasarımda Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti, Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon.....613**

An Artificial Intelligence-Assisted Architectural Design Methodology: Integration of Analog Methods, Computational Design and Diffusion Models 614  
Can Müezzinoğlu, Sevil Yazıcı

Estetikte Yeni Katmanlar: Yapay Zeka Ve Atmosfer Tartışmalarına Giriş 637  
Serkan Can Hatıpoğlu, Ezgi Çavuş

Tek Katlı Yapılar için Çekişmeli Üretici Ağlarda Ölçeklendirme ve Kontrol Yöntemleri 657  
Mertcan Güldilek, Berk Ekici, Mustafa Emre İlal

Yapay Zeka Yaratıcılığı Destekleyen bir Takım Arkadaşı Olabilir mi? Mimari Tasarım Stüdyosu Deneyiminden Öğrendiklerimiz 679  
Leman Figen Gül, Burak Delikanlı, Oğulcan Üneşi, Ertuğrul Ömer Gül

Mimari Tasarımın Erken Aşamalarında Yapay Zekâ ve Tasarımcı Etkileşimin Kurgulanması: Deneysel bir Atölye Çalışması 696  
Can Müezzinoğlu, Gülbin Lekesiz, Güliz Özorhon, Dilara Nitelik Gelirli

Yürünebilirlik Algısının Derin Öğrenme ve Mekan Dizimi Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Adana Merkez Park Örneği 712  
Özlem Büyükaş, Samet Oran, Hatice Günseli Demirkol

## **ÇALIŞTAY.....739**

Text2Image: Stable Diffusion & Grasshopper 740  
Doç. Dr. Sabri Gökmen, Hüseyin Fuat Alsan



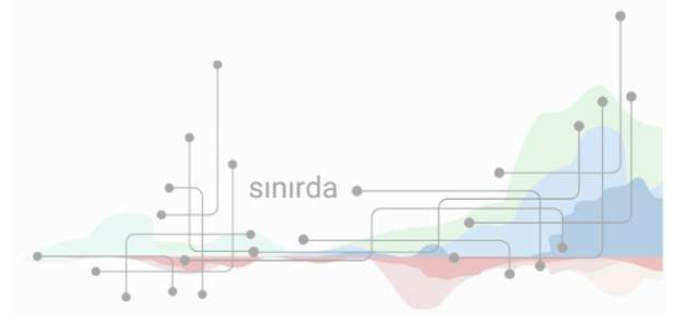
## **Davetli Konuşmacı | Assist. Prof. Dr. Benay Gürsoy Toykoç**

Benay Gürsoy Toykoç, Penn State’de mimarlık alanında yardımcı doçenttir. Araştırma ve öğretim alanı, hesaplamalı yapım, dijital üretim, zanaat teorisi, şekil çalışmaları, temel tasarım eğitimi ve tasarım sürecinin bilişsel çalışmaları üzerine odaklanmaktadır. Araştırmalarını uluslararası düzeyde yayımlamış ve sunmuş olup, uluslararası konferanslarda ödüller almıştır. 2010’dan 2016’ya kadar Toykoç, İstanbul Bilgi Üniversitesi’nde mimarlık fakültesi üyesi olarak birinci sınıf tasarım stüdyoları, geometri ve tasarım bilişimi dersleri vermiştir. “Malzemeleri ve üretim yöntemlerini hackleme” adlı bir dersi de içeren lisans seçmeli dersler başlatmıştır. Ayrıca, Türkiye’deki çeşitli üniversitelerde, AA İstanbul Visiting Schools da dahil olmak üzere, konferanslar vermiş ve atölye çalışmaları yürütmüştür. Toykoç, doktorasını 2016 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimari Tasarım Bilişimi Programı’nda tamamlamıştır. Doktora tezi, tasarımda malzeme manipülasyonunun hesaplamalı tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası haline nasıl gelebileceğini anlamaya odaklanmaktadır. Tezi, 2016 mezunları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen, Mühendislik ve Teknoloji Enstitüsü tarafından En İyi Doktora Tezi Ödülü’nü almıştır.



## **Davetli Konuşmacı | Prof. Dr. Tuğrul Yazar**

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nden 2001 yılında mezun oldu. Aynı üniversitenin Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı'ndan 2003'te yüksek mimar, 2009'da doktora derecelerini aldı. Mimarlık eğitimi ve sayısal tasarım konularında araştırmaları ve yayınları bulunan Tuğrul Yazar, 2011 yılından beri İstanbul Bilgi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde Mimari Geometri, Tasarı Hesaplama, Tasarım Matematiği ve Parametrik Tasarım dersleri vermektedir. 2016'da doçent, 2021'de profesör ünvanlarını alan Yazar'ın, TÜBİTAK, YTÜ ve İBÜ bilimsel araştırma projelerinde yürütücülük ve araştırmacılık görevleri; mimari geometri, hesaplamalı tasarım ve mimarlık eğitimi konusunda makaleleri, bildirileri ve hakemlikleri bulunmaktadır. Yazar, akademik çalışmaların yanında mimari projeler için danışmanlıklar ve çalıştay yürütücülükleri yapmakta, çeşitli sergi ve bienallerde eserleri sergilenmektedir.



## OTURUM 1 |

Sanal, Artırılmış ve Karma Gerçeklik

Oturum Başkanı  
Prof. Dr. Birgül Çolakoğlu

## 2 ve 3 Boyutlu Mimari Görsellerin Bilişsel Etkilerinin Nöro-Mimarlık İle Değerlendirilmesi

İlker Erkan<sup>1</sup> ; Seda Şimşek<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi

<sup>1</sup>ilkererkan@sdu.edu.tr; <sup>2</sup>sedatolaci@sdu.edu.tr

### Özet

Fiziksel çevrenin oluşumu ve sürdürülmesinde büyük rol oynayan mimarlık mesleğinin eğitim-öğretim sürecinde de, teknoloji yönlü değişen ve dönüşen dünyanın etkileri bir süredir izlenmeye başlamıştır. Uzun yıllar usta-çırak ilişkisi çerçevesinde ve jüri marifetiyle devam eden süreç; yeni imkanlar, yeni yaklaşımlar ve farkındalıklarla değişim göstermeye başlamıştır. Söz konusu bu çalışma; bu süreçte asıl aktörler olan mimarlık öğrencilerinin ve edinecekleri mesleğin en önemli yetkinliklerinden olan 2 boyutlu ve 3 boyutlu algılamaların olası araçları ve değişkenleri üzerine teknolojiyi aracı kılarak söz söylemeye çalışmıştır. Veri toplama amaçlı planlanan deney, bina plan görüntülerin izlenmesi sırasında vücudun verdiği fizyolojik tepkilerin ölçülmesi amacıyla kurgulanmıştır. Bu hedefle çalışma kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık ve Şehir ve Bölge Planlama bölümleri öğrencilerinden oluşan 50 denek ile çalışılmıştır. Deney SDU Mimarlık Fakültesi hesaplamalı tasarım laboratuvarında yapılmıştır. Deney süresi bir kişi için ortalama 10 dakika olarak planlanmıştır. 3 farklı veri edinme yönetimi tercih edilmiş olan çalışmada; kalp hızı değişikliği ölçmek için HRV cihazı, beyin ağı değişikliklerini ölçmek için EEG cihazı ve tutarlı bir çalışma ortamının sağlanması için sanal gerçeklik ortamı kullanılmıştır. Bu yöntemlerle, her iki aşamadaki durumun test edilmesi amaçlanmıştır. Planın 2 boyutlu ve 3 boyutlu görsellerini izlerken işlevsel bağlantıları ölçmek ve sınıflandırmak için karmaşık ağ analizi ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanılmış; bu yolla bu iki farklı plan formatının beyin sinir mekanizmaları üzerindeki etkilerini anlamak amaçlanmıştır. Bu çalışmada sonuç olarak yapılan analizlerden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Deneylerin kalp hızlarında bir değişim gözlemlenmemiş ancak 3 boyutlu plan izlemenin beş beyin bölgesinde de, 2 boyutlu plan izlemeye oranla daha önemli ölçüde ve daha büyük 8 bant EEG aktivitesi uyandırdığı tespit edilmiştir. Bu veri; iki boyutlu öğrenme materyallerinin öğrencilerin öğrenme etkilerini önemli ölçüde arttırdığını, üç boyutlu öğrenme materyallerinin ise öğrencilerin kavramları anlamalarını engellediğini dile getiren çalışmaların aksi bir sonuç ortaya koymuştur. Tahmin başarısı ve beyin bölgesinde bulunan anlamlı farklar, öğrencilerin bilişsel yeteneklerinde de bir farklılık olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nöro-mimarlık, bilişsel yük, EEG, HRV.

# Evaluation of the Cognitive Effects of 2 and 3 Dimensional Architectural Visuals with Neuro-Architecture

İlker Erkan<sup>1</sup> ; Seda Şimşek<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi

<sup>1</sup>ilkererkan@sdu.edu.tr; <sup>2</sup>sedatolaci@sdu.edu.tr

## Abstract

*The effects of the technologically changing and transforming world have begun to be observed for a while in the education and training process of the architecture profession, which plays a major role in the formation and maintenance of the physical environment. The process continued for many years within the framework of the master-apprentice relationship and through the jury; It has begun to change with new opportunities, new approaches and awareness. This study in question; He tried to talk about the possible tools and variables of 2D and 3D perception, which are among the most important competencies of architecture students, who are the main actors in this process, and the profession they will acquire, by using technology as a mediator. The experiment planned for data collection was designed to measure the physiological responses of the body while watching building plan images. With this aim, 50 subjects consisting of students from Süleyman Demirel University Architecture and Urban and Regional Planning departments were studied. The experiment was conducted in the computational design laboratory of SDU Faculty of Architecture. The experiment duration is planned to be approximately 10 minutes for one person. In the study, 3 different data acquisition methods were preferred; An HRV device was used to measure heart rate changes, an EEG device was used to measure brain network changes, and a virtual reality environment was used to provide a consistent working environment. These methods aimed to test the situation in both stages. Used complex network analysis and machine learning algorithms to measure and classify functional connections while viewing 2D and 3D visuals of the plan; In this way, it is aimed to understand the effects of these two different plan formats on brain neural mechanisms. As a result, different results were obtained from the analyzes performed in this study. No change was observed in the heart rates of the experiments, but it was determined that watching the 3D plan evoked significantly and larger  $\beta$ -band EEG activity in all five brain regions compared to watching the 2D plan. This data; Studies have shown the opposite result, stating that two-dimensional learning materials can significantly increase students' learning effects, while three-dimensional learning materials prevent students from understanding concepts. The significant differences in prediction success and brain region showed that there was also a difference in the students' cognitive abilities.*

**Keywords:** Neuro-architecture, cognitive load, EEG, HRV.

## 1. Giriş

Mimarlık eğitiminde iki boyutlu çizimlerin yanısıra özellikle son yıllarda üç boyutlu görselleştirme elemanları sıklıkla kullanılmaktadır. Mimari eğitimin temel yapıtaşlarından olan teknik çizimler ve sunum yöntemlerinin gelişmesi, araştırmacıları gerek eğitimin farklı şekillendirilmesine gerekse yeni eğitim yöntemlerinin arayışlarına itmiştir. Öyle ki hem teknolojinin hızla gelişmesi hem de yeni görselleştirme teknolojileri arayışları eğitimin farklı şekillenmesinin önünü açmıştır. Bununla birlikte öğrencileri eğitimin her aşamasında işin içine sokmak belki de yıllardır süre gelen usta-çırak eğitim modelinin de değişmesine yönelik bakış açılarını genişletmiştir.

Tüm eğitim sistemlerinin gelişen teknolojiyle revizyona uğradığını ve bunun gerekli bir durum olduğunu belirten Hawkrige (2022)'a ek olarak Fitria, 2023 yılında bu revizyonun sanal gerçeklik ve hatta artırılmış gerçeklik ile de pekiştirilebileceğini belirtmiştir. Eğitim sistemlerinin gelişimi doğal olarak da mimarlık eğitim sisteminin revizyonunu da etkileyecektir. Erkan (2020) çalışmasında sanal gerçeklik sisteminin mimarlık eğitimine adapte edilmesi gerektiğini savunmuştur. Bu aşamada sanal gerçeklik sisteminin eğitime dahil edilmesi gerektiğini savunan araştırmacılar (Alvarado & Maver, 1999; González-Zamar & Abad-Segura 2021; Bicalho vd., 2023) bu durumu sadece tekil olarak ele almış bu kavramın altında yattığını düşündüğümüz bilişsel durumu göz ardı etmiştir.

2 boyutlu ve 3 boyutlu sistemler üzerine yapılan çalışmalar uzun süredir araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Literatürde 2 boyutlu ve 3 boyutlu görseller arasındaki izleme deneyimindeki farklılıkların araştırılması da önemli bir konu haline gelmiştir. Örneğin Slobounov vd. (2015), 3 boyutlu video uyarılarında beynin ön lobunun, 2 boyutlu video uyarılarına kıyasla daha yüksek bir ortalama teta salınım gücü sergilediğini ortaya çıkarmışlardır. Benzer şekilde, Dan ve Reiner (2017), 2 boyutlu video izleyen kişilerle karşılaştırıldığında 3 boyutlu video izleyen denekler arasında  $\beta$  salınım aktivitesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Chen ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları çalışmada 3D videolara maruz kalan deneklerin, 2D video izleyenlere kıyasla belirli beyin parametrelerinde daha belirgin değişikliklere uğradığını belirtmiştir. Literatürdeki çalışmalar farklı 3 boyutlu ve 2 boyutlu görsellerin etkilerini incelese de mimarlık eğitiminin önemli parametrelerinden olan 2 boyutlu ve 3 boyutlu görsellerin tanınması hatta algılanması oldukça önemlidir.

Bu çalışma mimarlık eğitim sisteminin önemli bir parçası olan iki boyut ve üç boyut kavramına farklı bir açıdan bakarak, öğrencilerin bu durumu nasıl değerlendireceğini nöro-mimari açıdan görmeye çalışmıştır. Sanal gerçeklik sistemi üzerinden gerçekleştirilen çalışmada katılımcılara aynı planın hem 2 boyutlu, hem de 3 boyutlu hali sanal gerçeklik gözlüğü ile gösterilmiştir.



### 1.1. Amaç

Bu çalışma, mimarlık öğrencilerin 2 boyutlu ve 3 boyutlu plan görüntülerini izleme sırasındaki vücudun verdiği fizyolojik tepkiyi ölçmek amacıyla kurgulanmıştır. Çalışmada kalp hızı değişikliği ölçmek için HRV cihazı kullanılırken aynı zamanda beyin ağı değişikliklerini ölçmek için EEG kullanılarak her iki aşamadaki durumun test edilmesi amaçlanmıştır. Tutarlı bir çalışma ortamının sağlanması için her iki uyarıcı için başa takılan sanal gerçeklik sistemi kullanılarak sunulmuştur. 2 boyutlu ve 3 boyutlu plan görünüşleri izlerken işlevsel bağlantıları ölçmek ve sınıflandırmak için karmaşık ağ analizi ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanılmış; bu iki video formatının beyin sinir mekanizmaları üzerindeki etkilerini anlamak amaçlanmıştır.

## 2. Metot

Çalışmada katılımcıların fizyolojik tepkilerini ve bilişsel durumlarını analiz etmek için nöro-fizyolojik ölçümler yapılmıştır.

### 2.1. Kullanılan Aparatlar ve Veri İşleme

Çalışma için bir adet sanal gerçeklik sistemi, bir adet kalp atış hızı değişkenliğini ölçmek için HRV cihazı, bir adet beyin elektrik sinyallerini ölçmek için EEG, kullanılmıştır. Kullanılan EEG cihazı 14 kanallı Emotiv-epoc olarak seçilmiş, katılımcıların kafasına 10-20 uluslararası standartlar dikkate alınarak yerleştirilmiştir (Morley vd., 2016). HRV verileri elde etmek için de akıllı saatten alınan veriler değerlendirilmiştir.

Kalp Atış Hızı Değişkenliği (HRV), kalp atışları arasındaki zamanın sürekli olarak ne kadar değiştiğini ölçen bir biyo-belirteçtir. HRV, otonom sinir sisteminin aktivitesini yansıtarak, bireyin stres seviyesini gözlemlememize yardımcı olabilir. Kalp hızı değişkenliği verisi, bir uyarıcının insanlar üzerinde nasıl etki ettiğini görmek; çevresel taleplere hızlı ve esnek bir şekilde yanıt vermesine izin veren kendi kendini düzenleyen sinir devrelerinin etkili işleyişi ile ilişkili bilgi verebilmesi açısından önemli bir belirteçtir (Thayer vd., 2009; Luque-Casado vd., 2016; Forte vd., 2019; Arakaki vd., 2023).

Elektroensefalografi (EEG) beyindeki elektriksel hareketleri ölçen fizyolojik bir ölçüm yöntemidir. (EEG) sinyalleri, bilişsel süreçleri incelemek için invaziv olmayan bir yöntem sağlar. Özellikle son yıllarda tıp alanının dışında çevresel etkilerin insanlar üzerindeki bilişsel durumlarının ölçülmesinden reklamcılığa kadar birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Zararsız ve net veriler (raw) sağlanması açısından da araştırmacıların farklı disiplinlerde kullandıkları bir ölçüm metodu olmaya başlamıştır (Seo vd., 2010; Roe vd., 2013; Erkan, 2018; Karandinou & Turner, 2017; Kalantari vd., 2022).

Ölçülen EEG verileri MATLAB programlama dilinde işlenip ve analiz edilmiştir. Her katılımcıdan gelen verilerin 14 kanallı EEG sinyalleri analizi için iki spektral yöntem kullanılmış (Güç Spektral Yoğunluğu ve Kısa Süreli Fourier Dönüşümü) 0,5-45Hz frekansındaki gücü analiz edilmiştir.

Welch tahmini kullanılarak Güç Spektral Yoğunluğu (PSD) şu şekilde tanımlanır:

$$PSD = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} P_i(k) \quad (1)$$

Kısmi periodogram  $P_i$  şu şekilde tanımlanır:

$$P_i(k) = \frac{1}{L} \left| \sum_{n=0}^{L-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi}{L} kn} \right| \quad (2)$$

burada  $L$  - segmentin uzunluğu,

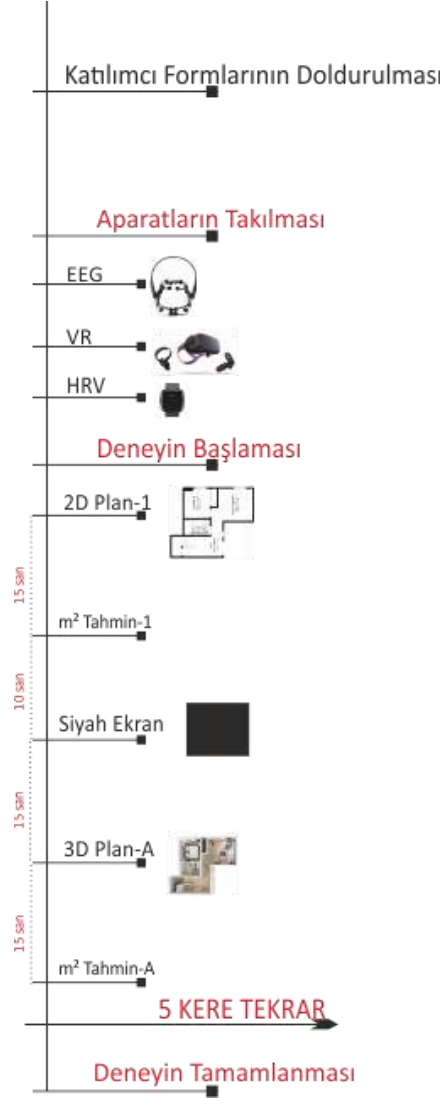
$x(n)$  – zaman alanında  $L$  uzunluğuna sahip ayrık sinyal,

$X(n)$  sinyalinin giriş dizisi genellikle bir tür pencere ile ağırlıklandırılır. Çalışmada her segment bir Hamming penceresi ile pencerelenmiştir.

Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü, zamanla değişen sinyal bölümlerinin frekans spektrumunu belirlemek için kullanılır. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü, daha uzun zamanlı bir sinyali eşit uzunluktaki daha kısa parçalara böler ve ardından her bir parça üzerinde Fourier dönüşümünü ayrı ayrı hesaplar (Owens & Murphy, 1988; Shaker, 2006).

## 2.2. Prosedür

2 boyutlu ve 3 boyutlu plan görüntülerini izleyen 50 katılımcının EEG ve HRV kayıtlarını toplanmıştır. İlk aşamada katılımcılara sanal gerçeklik gözlüğü ve EEG cihazı takılmıştır. Bununla birlikte bileklerine HRV cihazı yerleştirilmiştir. Katılımcılara belirli aralıklarla 2 boyutlu planı (çizgisel) incelemiş kısa bir ara verilmiş ardından da 3 boyutlu plan (hacimsel) görsellerini sanal gerçeklik gözlüğünden izlemiştir. Tüm aşamalarda EEG ve HRV kayıt almıştır. Her katılımcıya görseller farklı sıra ile yansımıştır. Yani bazı katılımcıya 3 boyutlu planlar önce gösterilmiş, bazı katılımcılara da bir 3 boyutlu bir de 2 boyutlu görseli gösterilmiştir. Her görselden sonra katılımcıların gösterilen planın metrekaresini tahmin etmesi istenmiştir. Tahminler de ayrıca not edilmiştir. Deneyin akış şeması **Şekil 1**'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney akış şeması.

Deney SDU hesaplamalı tasarım laboratuvarında yapılmıştır. Deney ortalama bir kişi için yaklaşık 10 dakika (Hazırlık+deney aşaması) sürmüştür. İlk aşamada deney katılımcılara anlatılmış ve gerekli formlar doldurulması istenmiştir. Bu aşamadan sonra katılımcılara aparatlar takılmıştır. Deney mümkün olduğunca sessiz bir ortamda farklı uyarıcılardan uzak olması açısından titizlikle sürdürülmüştür. Aparatların katılımcılara takılmasından sonra deneye başlanmıştır. İlk aşamada bir 2 boyutlu plan düzlemi 15 saniye ile katılımcıya gösterilmiştir. Bu aşamanın hemen ardından katılımcının sanal gerçeklik ekranında “gördüğünüz alanın metrekaresini tahmin ediniz” notu çıkmış ve araştırmacı katılımcının verdiği cevabı not etmiştir. Bu aşamanın hemen ardından katılımcının gözlerinin dinlenmesi açısından 10 saniye bir dinlenme süresi verilmiştir. Bu aşamanın ardından da 3 boyutlu plan düzlemi katılımcının karşısına yine 15 saniyelikliğine çıkmıştır. Bu aşamanın ardından tekrar yeni gördüğü plan düzleminin metrekaresinin tahmin edilmesi istenmiştir. Bu aşamanın ardından da siyah ekran çıkmış katılımcın dinlenmesi sağlanmıştır. Bu sistem 5 kere tekrar etmiştir. Yani 5 adet 2 boyutlu plan düzlemi; 5 adet de 3 boyutlu plan düzlemi katılımcının karşısına gelmiştir. Tüm plan sistemlerinde katılımcının tahminini kolaylaştıracak bir mekanın ismi verilmiştir. Örneğin plan düzleminde bir mekan “mutfak” olarak adlandırılmıştır. Bu katılımcının tüm metrekaresi doğru tahmin edebilmesi için verilmiş bir bilgidir.

### 2.3. Katılımcılar

Deneye Süleyman Demirel Üniversitesi (SDU) 3.sınıf mimarlık ve şehir bölge planlama öğrencileri dahil edilmiştir. Tablo 1 katılımcıların demografik özelliklerini göstermektedir.

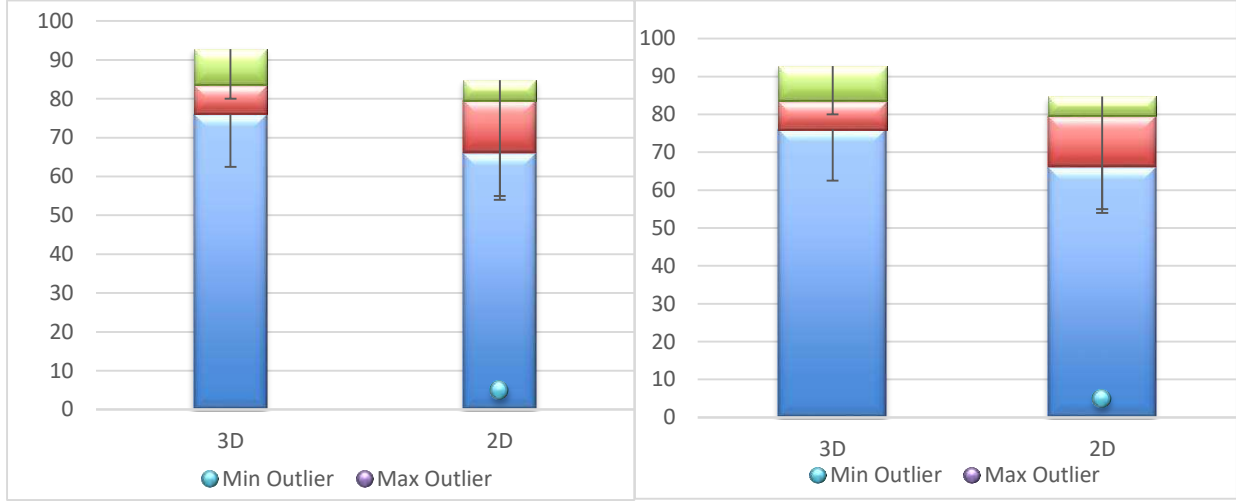
**Tablo 1.** Katılımcıların demografik özellikleri.

	Mimarlık Öğrencisi	Şehir ve Bölge Planlama Öğrencisi	Yaş Ortalaması
Erkek	8	10	21,80
Kadın	12	11	22,50
Toplam	20	21	

Katılımcılar daha önce herhangi bir psikiyatrik öyküsü olmayan ve depresyon vb. ilaçlar kullanmayan kişilerden seçilmiştir. Katılımcılardan deneye gelmeden bir gece önce alkol ve sigara kullanmamaları, uyarıcı içecek içmemeleri istenmiştir.

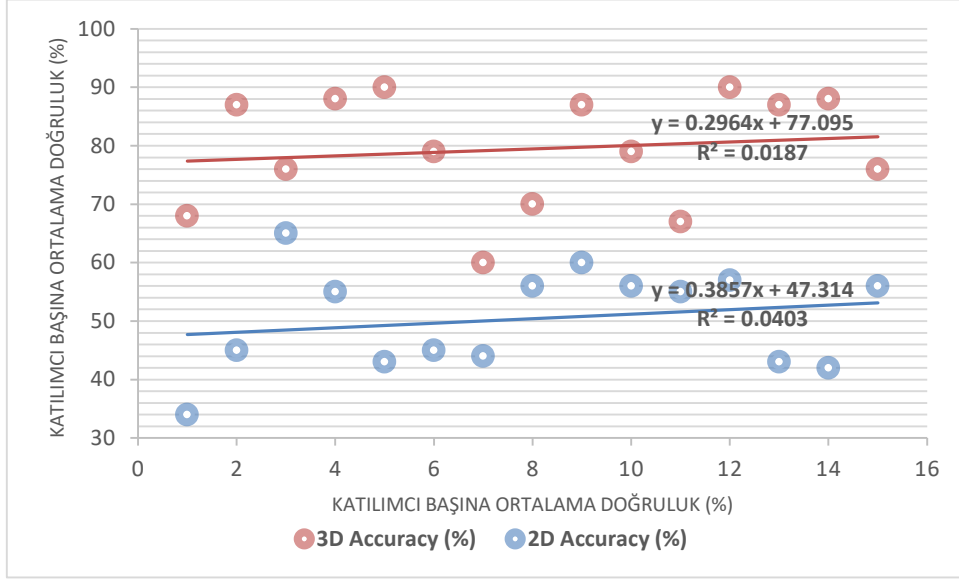
### 3. Tartışma

Deney sonuçlarına tüm katılımcılar dahil edilmiştir. **Şekil 2**, toplanan veri setinin grafiği, ölçülen verilerin medyanını, aralığını, değişkenliğini ve yayılmasını temsil etmektedir.



**Şekil 2.** Üç boyutlu ve iki boyutlu görsellerin görülme aşamasındaki beta ve gama bantlarının oranı.

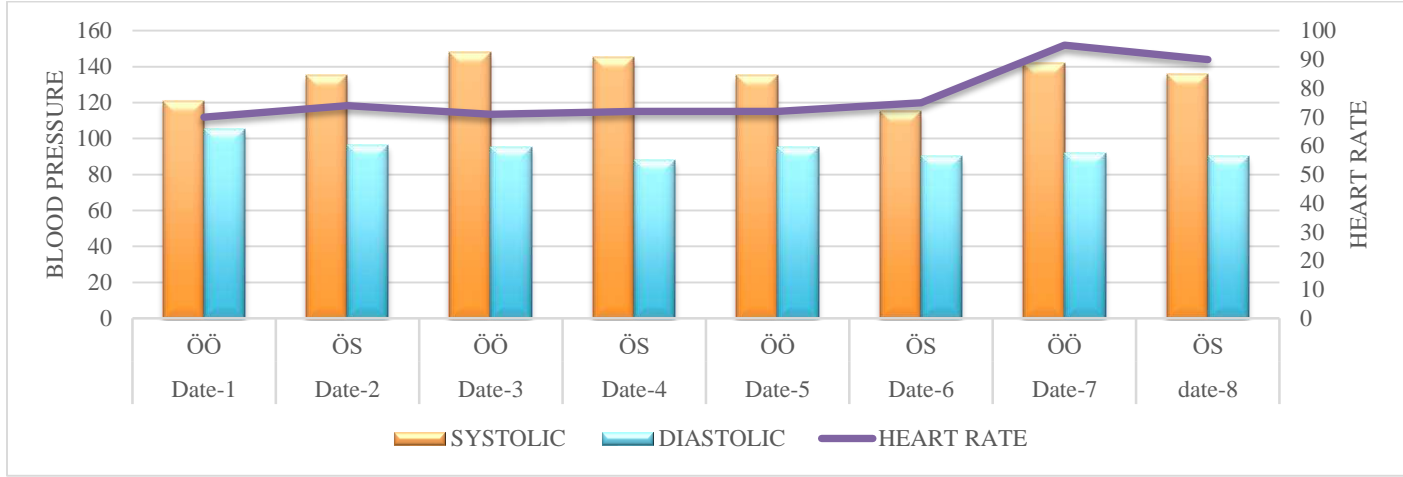
**Şekil 2**'ye dayanarak, 2 boyutlu ve 3 boyutlu görsellerin görülme sırasındaki beta ve gama aktivitesinin gücünün durumları gösterilmiştir. Bunun yanında tahmin oranları dikkate alındığında ise plan metrekarelerinin ortalama doğruluk oranı, üç boyut için %72,22; iki boyuttan (%49,17 )önemli ölçüde daha yüksektir (**Şekil 3**).



Şekil 3. Katılımcı başına 3D ve 2D ortalama doğruluğu (%).

Çalışmada 3 farklı analizden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada, ilk olarak öğrencilerin söz konusu plan metrekareleri üzerinden yaptıkları tahminler istatistiki olarak değerlendirilmiştir. 3 boyutlu plan düzlemine bakan öğrencilerin yaptıkları tahminler ( $P < 0.05$  anlamlılık düzeyinde) 2 boyutlu tahmini yapan öğrencilere göre çok daha anlamlı bulunmuştur.

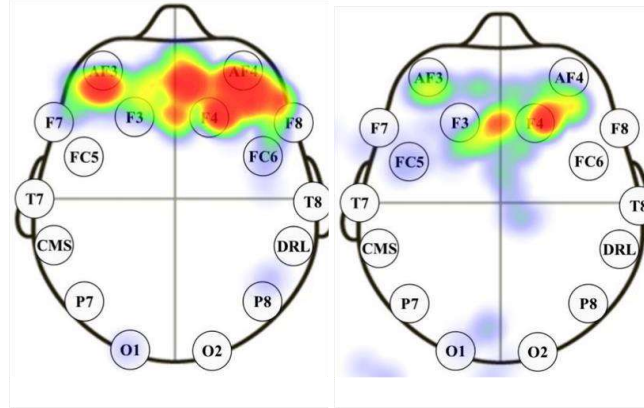
Şekil 4, iki boyutlu ve üç boyutlu görsel incelendiğinde katılımcıların HRV kayıtları gösterilmiştir.



Şekil 4. Katılımcıların 2 boyutlu ve 3 boyutlu plan görsellerini gördükleri zaman kalp hızı değişkenliği.

Şekil 4'den de görüldüğü gibi HRV verileri incelendiğinde her iki gruptan da anlamlı bir fark hem LF hem de HF açısından bir anlamlılık gözlenmemiştir.

(F) bandı ve (P) bandı elektrotlarındaki salınım gücü ile farklı uyaranlar arasındaki korelasyonu analiz etmenin yanı sıra, farklı 2 boyutlu ve 3 boyutlu uyaranları arasında beyin aktivitesindeki varyans üzerine de istatistiksel bir analiz gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, 3D plan görselinin, 2D plan görseline kıyasla ön lobda ve az da olsa parietal loblarda daha fazla aktiviteye neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Topografik beyin haritası (beta bandı).

Spesifik olarak, 3 boyutlu plan görsellerinde parietal lob aktivitesinde az da olsa bir artış kaydedilmiştir; bu da mekânsal bilgi işleme ile parietal lob arasındaki ilişkinin olduğu anlamı taşımaktadır. 3D planların, ön lobda ve AF4 ve F4 elektrodu yakınında daha fazla aktiviteye neden olduğunu gösterdi; bu da ön lobun bilişsel rolünü vurgulamaktadır. Çünkü frontal lob aktivitesinin akıl yürütme, problem çözme, karar verme, plan yapma gibi bilişsel aktiviteleri yönettiği bilindiğine göre 3D görsellerde frontal lobun aktive olması ilginçtir. Analizlere ek olarak Holm vd. 2009 yılında beyin yükünü (bilişsel yükü) hesaplamak için bir indeks ortaya atmışlardır. Holm vd (2009) çalışmalarında bilişsel yük indeksini hesaplayabilmek için teta dalgasının alfa dalgasına oranını hesaplamak olduğunu belirtmişlerdir. 3 boyutlu ve 2 boyutlu bilişsel yük değerlerinin, 3 boyutlu plan versiyonlarını izlerken bilişsel yük değerinin nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama bilişsel yük, 3 boyutlu plan görsellerinin görüntülenmesi sırasında daha yüksektir. Üstelik bu 3 boyutlu plan uyarılarına ilişkin bilişsel yük değerlerinin dağılımı, 2 boyutlu versiyonlarda daha yoğun olma eğilimindedir. Bilişsel yük ile planlar arasındaki ilişkiyi daha da doğrulamak amacıyla, 2 boyutlu ve 3 boyutlu sürümler arasındaki farkın önemini test etmek amacıyla P değeri <0,05 olan eşleştirilmiş bir t-testi analizi gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel sonuçlar **Tablo 2**'de gösterilmektedir.



**Tablo 2.** İki boyutlu ve 3 boyutlu plan görsellerinin katılımcıların bilişsel yükleri arasındaki farkların analizi.

	Örneklem	Ortalama değer	Standart sapma	t	p
Bilişsel Yük-2 boyutlu (2D)	50	3.4577	1.4566	-	0.043
Bilişsel Yük-3 boyutlu (3D)	50	5.3321	3.2234	2.122	

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma, alfa, teta ve beta bantlarının işlevsel bağlantı matrislerine dayalı olarak 2 boyutlu ve 3 boyutlu plan düzlemelerinin izlenmesiyle tetiklenen farklı beyin durumlarını sınıflandırmıştır. Görüntü izleme modlarındaki farklılıkların beyin aktivitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu gösteren sonuçlarımız, 3 boyutlu plan izlemenin beş beyin bölgesinde 2 boyutlu plan izlemeden önemli ölçüde daha büyük  $\beta$  bant EEG aktivitesi uyandırdığını göstermiştir.

Mevcut araştırma, iki boyutlu öğrenme materyallerinin öğrencilerin öğrenme etkilerini önemli ölçüde artırabildiğini, üç boyutlu öğrenme materyallerinin ise öğrencilerin kavramları anlamalarını engellediğini söyleyen De Boer vd. (2016) bulgusuyla tamamen terstir. Öyle ki hem tahmin başarısı hem de beyin bölgesinde bulunan anlamlı farkların öğrencilerin bilişsel yeteneklerinde de bir farklılık olduğunu göstermektedir.

Genel olarak bilişsel yük indeksi incelendiğinde 2 boyutlu plan görselleri ile 3 boyutlu plan görselleri arasında istatistiksel olarak anlamlılık göstermiştir. Çalışmada, farklı 2 boyutlu ve 3 boyutlu plan görselleri uyarıları arasındaki bilişsel yük farklılıklarını araştırmak amacıyla, planların etkisini incelemek için EEG kullanılmıştır. Bilişsel Yük İndeksi, 2 boyutluya karşı 3 boyutlu plan uyarıcılarının neden olduğu bilişsel yükü değerlendirmek için metrik olarak kullanılmıştır. 2 boyutlu uyarılarla karşılaştırıldığında, 3 boyutlu uyarılar frontal lobda alfa ve teta dalga aktivitesinde bir artışın yanı sıra az da olsa parietal lobda teta dalga aktivitesinde artış görülmüştür. Deneysel sonuçlar, daha dinamik 3 boyutlu plan içeriğinin daha fazla beyin aktivitesine neden olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. 2 boyutlu ve 3 boyutlu uyarılar için bilişsel yük indeksinin t testi karşılaştırmaları, basit gözlem gerektiren görevlerin, 3 boyutlu plan gören katılımcılarda önemli ölçüde daha yüksek bilişsel yüke yol açtığını ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle, bilişsel yükün 2 boyutlu ve 3 boyutlu uyarılar altında benzer görünse de gözlem görevleriyle ilişkili 3 boyutlu planların genellikle daha yüksek bir bilişsel yüke neden olduğuna kanısına ulaşılmıştır.

Çalışmada birçok kısıtlamalar bulunmaktadır. Katılımcıların mimarlık disiplininden oluşması almış oldukları eğitimler nedeni ile kısıtlamalardan bir tanesini oluşturmaktadır.

Çalışmada elde edilen sonuç ve konuya ilişkin üretilecek olan benzer bilimsel yayınlar, mimarlık eğitiminde temel tasarım eğitiminden, mezuniyete kadar olan süreçte değerlendirilebilir niteliktedir. İlgili eğitim süreçleri ve araçlarında, sonuçları destekleyici önerilerin sunulması ve uygulanması mesleki eğitimin bir çok anlamda kalitesini arttıracaktır.

### Teşekkür

Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık ve Şehir ve Bölge Planlama öğrencilerine deneylere sağladıkları katkı nedeniyle teşekkürlerimizi sunarız.

### KAYNAKLAR

- Alvarado, R. G., & Maver, T. (1999). Virtual reality in architectural education: defining possibilities. *Acadia Quarterly*, 18(4), 7-9.
- Arakaki, X., Arechavala, R. J., Choy, E. H., Bautista, J., Bliss, B., Molloy, C., ... & Kloner, R. A. (2023). The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review. *Frontiers in neuroscience*, 17, 1055445.
- Bicalho, D. R., Piedade, J. M. N., & de Lacerda Matos, J. F. (2023, November). The Use of Immersive Virtual Reality in Educational Practices in Higher Education: A Systematic Review. In *2023 International Symposium on Computers in Education (SIIE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Chen, C., Li, K., Wu, Q., Wang, H., Qian, Z., & Sudlow, G. (2013). EEG-based detection and evaluation of fatigue caused by watching 3DTV. *Displays*, 34(2), 81-88.
- Dan, A., & Reiner, M. (2017). EEG-based cognitive load of processing events in 3D virtual worlds is lower than processing events in 2D displays. *International Journal of Psychophysiology*, 122, 75-84.
- De Boer, I. R., Wesselink, P. R., & Vervoorn, J. M. (2016). Student performance and appreciation using 3D vs. 2D vision in a virtual learning environment. *European Journal of Dental Education*, 20(3), 142-147.
- Erkan, İ. (2018). Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG). *Architectural Science Review*, 61(6), 410-428.
- Erkan, İ. (2020). Investigation of the contribution of virtual reality to architectural education. *art, design & communication in higher Education*, 19(2), 221-240.
- Fitria, T. N. (2023). Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Technology in Education: Media of Teaching and Learning: A Review. *International Journal of Computer and Information System (IJCIS)*, 4(1), 14-25.
- Forte, G., Favieri, F., & Casagrande, M. (2019). Heart rate variability and cognitive function: a systematic review. *Frontiers in neuroscience*, 13, 436204.

- González-Zamar, M. D., & Abad-Segura, E. (2021). Visual arts in the university educational ecosystem: Analysis of schools of knowledge. *Education Sciences*, 11(4), 184.
- Hawkridge, D. (2022). *New information technology in education*. Taylor & Francis.
- Holm, A., Lukander, K., Korpela, J., Sallinen, M., & Müller, K. M. (2009). Estimating brain load from the EEG. *The Scientific World Journal*, 9, 639-651.
- Karandinou, A., & Turner, L. (2017). Architecture and neuroscience; what can the EEG recording of brain activity reveal about a walk through everyday spaces?. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 32(sup1), S54-S65.
- Kalantari, S., Tripathi, V., Kan, J., Rounds, J. D., Mostafavi, A., Snell, R., & Cruz-Garza, J. G. (2022). Evaluating the impacts of color, graphics, and architectural features on wayfinding in healthcare settings using EEG data and virtual response testing. *Journal of Environmental Psychology*, 79, 101744.
- Luque-Casado, A., Perales, J. C., Cárdenas, D., & Sanabria, D. (2016). Heart rate variability and cognitive processing: The autonomic response to task demands. *Biological psychology*, 113, 83-90.
- Morley, A., Hill, L., & Kaditis, A. (2016). 10-20 system EEG Placement. *European Respiratory Society*, European Respiratory Society.
- Owens, F. J., & Murphy, M. S. (1988). A short-time Fourier transform. *Signal Processing*, 14(1), 3-10.
- Roe, J., Aspinall, P., Mavros, P., & Coyne, R. (2013). Engaging the brain: The impact of natural versus urban scenes using novel EEG methods in an experimental setting. *Journal of Environmental Sciences*, 1(2), 93-104.
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of behavioral medicine*, 37(2), 141-153.
- Seo, S. H., Lee, J. T., & Crisan, M. (2010). Stress and EEG. *Convergence and hybrid information technologies*, 27.
- Shaker, M. M. (2006). EEG waves classifier using wavelet transform and Fourier transform. *brain*, 2(3), 169-174.
- Slobounov, S. M., Ray, W., Johnson, B., Slobounov, E., & Newell, K. M. (2015). Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: an EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 95(3), 254-260.

# Sanal Gerçeklik Teknolojileri ve Dijital Oyunların Mimarlık Eğitime Katkısının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Derleme Çalışması

İrem DEDE<sup>1</sup> ; Enes YAŞA<sup>2</sup> ; Selahattin ERSOY<sup>3</sup>   
1,2,3İstanbul Üniversitesi

<sup>1</sup>irem.dede@ogr.iu.edu.tr; <sup>2</sup>enesyasa@istanbul.edu.tr; <sup>3</sup>selahattin.ersoy@istanbul.edu.tr

## Özet

Gün geçtikçe sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyun sektörü gelişmekte ve pek çok farklı disipline hizmet vermektedir. Oyun oynama eyleminin eğitim amaçlı kullanımı yeni bir durum değildir. Önceleri sadece eğlence ve zaman geçirmek için olsa da problem çözmek ve iletişimi artırmak için kullanımı söz konusudur ve mimarlık eğitimi ve proje temsil süreçleri için de kullanılmaktadır. Gelişen teknolojilerin bir diğer getirisi ile sanal dünyaların algılanması ve mimarlık dahil pek çok farklı disiplinin işleyişinde kullanımı söz konusudur. Mimarlık açısından hem sanal dünyanın yaratımı hem de yaratılan sanal dünyanın mimarlık eğitiminde kullanımı etkin öğrenmeyi artırmaktadır. Bu bağlamda sanal gerçeklik teknolojileri ve alt bileşenleri (dijital oyunlar, artırılmış gerçeklik ve metaverse), literatürde önemli yer tutmaktadır. Sanal dünyalardaki mimari tasarımlar dijital oyun tabanlı, oyun hazırlama programları kullanılarak üretilmektedir. Sanal ve gerçekliğin birlikte bulunduğu bu dünyalara “metaverse” adı verilmektedir. Metaverse, algılanıp yaşanabilen bir sanal evrene bağlı, ihtiyaçlara cevap verebilen 3 boyutlu bir sanal ortam olarak tanımlanabilir. Dijital oyunların, sanal gerçeklik teknolojilerinin mimarlık öğretimi için kullanılması ile gerçek hayatta olan sınırlılık durumu ortadan kalkmaktadır. Öğretmen ve öğrenciye sınırsız bir tanıma ve geliştirme ortamı sunmaktadır. Gerçek hayatta öğretileni pekiştirmek ve olası sorunları önceden tespit etme olanağı sağlamaktadır. Yapılan bu çalışmada, dijital oyunların, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının ve meta evrenlerin mimarlığa eğitim odaklı katkısını incelemek için son yıllarda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Dijital oyun tasarımı ve mimarlık rollerinin yanı sıra dijital oyunların ve sanal ortamların mimari eğitim ve öğretiminde kullanılmasının, literatürde yapılan araştırmaların yoğunlaştığı ve eksik kaldığı alanları tespit etmek; mimarlık eğitiminde, sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyun tabanlı öğretimlerin konu başlıklarını öğrenmek; sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyunların mimarlık eğitiminde etkileşimini anlamak ve bu alandaki zorlukları ve sorunları özetleyip, çözümlere değinmek, bu alanda yapılabilecek gelecek araştırma ve geliştirme çalışmalarına bir rehber olması amacıyla bir literatür taraması yapılmıştır. Çalışma kapsamında, yapılan literatür taraması Web of Science veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatür tarama sonuçları, VOSviewer uygulaması ve Web of Science grafik-tablo araçları kullanılarak görselleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ekleme çıkarmalar yapılarak 37 tane çalışma derinlemesine incelenmiştir. Bu çalışma, dijital oyunları, VR ve AR teknolojilerinin ve mimarlık eğitiminin kapsamlı ve derinlemesine bir anlayış kazanmasını amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Mimarlık eğitimi, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, mimaride metaverse, mimaride dijital oyun.

# A Review Study on Evaluation of the Contribution of Virtual Reality Technologies and Digital Games to Architectural Education

İrem DEDE<sup>1</sup> ; Enes YAŞA<sup>2</sup> ; Selahattin ERSOY<sup>3</sup>   
<sup>1,2,3</sup>Istanbul University

<sup>1</sup>irem.dede@ogr.iu.edu.tr; <sup>2</sup>enesyasa@istanbul.edu.tr; <sup>3</sup>selahattin.ersoy@istanbul.edu.tr

## Abstract

*Virtual reality technologies and digital game industry are developing day by day and serve many different disciplines. The use of gaming for educational purposes is not new. Although it was previously used only for entertainment and spare time, it is now used to solve problems and increase communication, and is also used for architectural education and project representation processes. Another benefit of developing technologies is the perception of virtual worlds and their use in the functioning of many different disciplines, including architecture. In terms of architecture, both the creation of the virtual world and the use of the created virtual world in architectural education increase effective learning. In this context, virtual reality technologies and their subcomponents (digital games, augmented reality and metaverses) have an important place in the literature. Architectural designs in virtual worlds are produced using digital game-based game preparation programs. These worlds where virtual and reality exist together are called "metaverse". Metaverse may be defined as a 3D virtual environment that can meet needs, connected to a virtual universe that can be perceived and experienced. With the use of digital games and virtual reality technologies for architecture teaching, the limitations in real life are eliminated. It offers teachers and students an unlimited environment of recognition and development. It provides the opportunity to reinforce real survival teachings and detect the emergence of possible problems. In this study, studies carried out in recent years have been compiled to examine the education-oriented contribution of digital games, virtual reality and augmented reality applications and meta universes to architecture. In this study, a literature review was conducted to identify areas where digital games and virtual reality technologies are concentrated and lacking in the literature, and to learn the topics of these areas. Another purpose of the literature review is to summarize the challenges and problems in this field, address solutions, and guide future research and development work. Within the scope of the study, the literature review was carried out using the Web of Science database. Literature review results were visualized using the VOSviewer application and Web of Science graph-table tools. Within the scope of the study, 37 studies were examined in depth by making additions and subtracting. This study aims to gain a comprehensive and profoundly understanding of digital games, VR and AR technologies and architectural education.*

**Keywords:** Architectural education, virtual reality, augmented reality, metaverse in architecture, digital game in architecture.

## 1. Giriş

Gün geçtikçe sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyun sektörü pek çok farklı disipline hizmet vermektedir. Oyun oynama eyleminin eğitim amaçlı kullanımı yeni bir durum değildir. Önceleri sadece eğlence ve zaman geçirmek için olsa da problem çözmek ve iletişimi artırmak için kullanımı söz konusudur (Gürbüz, 2020) ve mimarlık eğitimi ve proje temsil süreçleri için de kullanılmaktadır. Gelişen teknolojilerin bir diğer getirisi ile sanal dünyaların algılanması ve mimarlık dahil pek çok farklı disiplinin işleyişinde kullanımı söz konusudur. Mimarlık açısından hem sanal dünyanın yaratımı hem de yaratılan sanal dünyanın mimarlık eğitiminde kullanımı etkin öğrenmeyi artırmaktadır. Bu bağlamda sanal gerçeklik teknolojileri ve alt bileşenleri (dijital oyunlar, artırılmış gerçeklik ve metaverse), literatürde önemli yer tutmaktadır. Dijital oyunların farklı disiplinlerle ilişkisi ve eğitim tabanlı olanakları mimarlar ve mimarlık için önem arz etmektedir (Yiğiter ve Tatar, 2019). Bununla birlikte farklı disiplinlerin eğitimi ve öğretimi için kullanımı son derece yaygındır. Oyunun araç olarak ortaya çıkışına işaret eden belirli tarih hakkında pek çok tartışma olmasına rağmen, 1950'lere dayandığı görülmektedir (Szymanski, 2018). Teknolojinin gelişmesi ile oyun kavramı da dijitalleşmiş olup bilgisayarlarda ve cep telefonlarında yerini almıştır (Yiğiter ve Tatar, 2019). Tarihçesi incelendiğinde önceleri 2 boyutlu olan oyunlar daha sonra 3 boyutlu tasarlanmıştır (Çevik, 2022). İnternetin de gelişmesi ile çoklu ve sanal ortamlarda kullanıcıların etkileşimine izin vermiştir. Pek çok farklı platformda, farklı altyapılarla hazırlanan oyunlar, farklı disiplinlerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Dijital oyunların mimarlık öğretimi için kullanılması ile gerçek hayatta olan sınırlılık durumunu ortadan kalkmaktadır. Öğretmen ve öğrenciye sınırsız bir tanıma ve geliştirme ortamı sunmaktadır. Gerçek hayatta öğretileni pekiştirmek ve olası sorunları önceden tespit etme olanağı sağlamaktadır.

Dijital oyunlar ve çoklu sanal ortamlar geçmişten günümüze gelişim gösteren ve gelişmeye devam eden bir yapıya sahiptir. Bu teknolojilerin gelişmesi, hazırlanması ve uygulanmasına yönelik pek çok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir (Güneş ve Dilipak, 2021). Kullanılan bu simülasyon programları ile gerçek hayattaki veriler tamamen sanal ortamlara taşınabilmekte ve farklı disiplinlerin farklı deneyimlerine olanak sağlamaktadır. Sanal ortamlarda yapılan bu uygulamalar sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) olarak adlandırılmaktadır. Arttırılmış gerçeklik (AR), gerçek ortamlarda gerçek nesnelere sanal nesnelere eklenmiş bir ortamdır, Sanal Gerçeklikte ise (VR) her şey tamamen sanaldır (Aş, 2019). Rheingold (1991), sanal gerçekliği 3 boyutlu olarak oluşturulan ve kullanıcıların içinde hareket edebildiği ve biçimlendirebildiği bir deneyim olarak tanımlamıştır. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamaları da dijital oyunlar gibi hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Geçtiğimiz yıllarda VR teknolojisi, mimari, mühendislik ve inşaat endüstrileri tarafından kullanılmıştır. Mimarlık disiplinlerinin dikkatini çekmesi ise 1990'lı yıllara kadar dayanmaktadır (Zhang, Liu, Kang ve Al-Hussein, 2020). Kullanıcıya 3 boyutlu ortam

sağlayarak, müşteri incelemeleri, inceleme ve inşaat sırası görselleştirme gibi pilot testlerde ve endüstride çok sayıda olanak sağlamaktadır (Özdoğan, 2021). Sanal gerçeklik teknolojileri mimarlığın bilgisayar destekli tasarıma bakış açısını değiştirmiştir (Yardım, 2007). VR ve AR teknolojilerinin, mimarlık disiplinlerine katkısı sadece kullanıcı deneyimi değildir. Bunlarla beraber eğitim ve öğretim için kullanımı son yıllarda çok yaygındır. Özellikle kültürel miras korumada ve eski eser çalışmalarında belgeleme oldukça önemlidir. VR teknolojilerinin, rölöve, restitüsyon ve restorasyon sırasında kullanımı, mimarların sorunları önceden görmesine olanak sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile mimarlıkta, arkeolojide ve başka disiplinlerde konu ile ilgili çalışmalarda dikkate değer bir artış gözlemlenmektedir. Bruno vd. (2010) yaptıkları çalışmada, kültürel mirasa yönelik VR sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla bazı önerilerde bulunmuş ve bu sorunların çözümü için stratejiler sunmuşlardır. Varinlioğlu (2020), yaptığı çalışmada Teos üzerinden dijital mirasta sanal gerçeklik uygulamalarını anlamak üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Sanal dünyadaki mimari tasarımlar dijital oyun tabanlı, oyun hazırlama programları kullanılarak üretilmektedir (Yiğiter ve Tatar, 2019). Sanal ve gerçekliğin birlikte bulunduğu bu dünyalara “metaverse” adı verilmektedir (Yıldız ve Bozkurt, 2023). Metaverse, algılanıp yaşanabilen bir sanal evrene bağlı, ihtiyaçlara cevap verebilen 3 boyutlu bir sanal ortam olarak tanımlanabilir (Moneta, 2020; GADArchitecture, 2022). Paylaşımın sanal ortam olarak adlandırılan metaverse, mimarlar için olasılıklarla dolu sınırsız bir ortamdır (Sun, 2021). Pek çok sektöre hitap eden bir yapıya sahiptir. Sanal eğlence parkları, sanal sinema salonları, sanal okullar vb. gibi pek çok fark disiplini deneyimletmektedir (Sun, 2021). Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde, dijital oyun ve oyun oynama kavramının farklı alt başlıklar ile birleşerek, farklı pek çok disiplini etkilediği görülmektedir. Bishop (2011) yapmış olduğu çalışmada oynan oyunları destekleyen teknolojilerinin çevresel olarak (sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri) iletişime destek verdiğini ve çeşitli karar verme durumlarını desteklediğini belirtmiştir. Literatür taramasında, oyun tasarlanmanın içeriğinde, simülasyon, 3 boyutlu modelleme, sanal gerçeklik, oyun motorları, metaverse evrenleri ve yazılım gibi farklı alanlar yer almaktadır (Güneş ve Dilipak, 2021). Zyda (2005) yaptığı çalışmada, dijital oyun metodolojisi ve sanal gerçeklik teknolojileri sağlık, savunma, insan performansı mühendisliği ve oyun değerlendirmesi gibi çok çeşitli alanlara uygulanabilir olduğunu anlatmıştır. İncelenen literatürde, konu olarak oyunlaştırma, eğitime katkı, sanal gerçeklik uygulamaları, bina ya da ürün modelleme, restorasyon çalışmaları, metaverse tasarlama, simülatör uygulamaları, rehabilitasyon ve sağlık gibi başlıklar gözlemlenmiştir (Pearson, 2020; Zyda, 2005; Bishop, 2011). Lange ve arkadaşlarının (2012) yaptıkları çalışmada, sanal gerçeklik teknolojilerinin ve dijital oyunların klinik rehabilitasyonda kullanımı incelemeleri bu teknolojilerin farklı kullanım alanlarına bir örnek olarak verilebilir. Dijital oyun ve sanal gerçeklik teknolojilerinin birden fazla disiplini içinde barındırması ve her alanın ilişkisinin tek tek açıklanmasının yetersiz kalacağı düşünülmektedir. Bundan dolayı dijital oyun ve sanal gerçeklik

teknolojilerinin yer edindiği disiplinleri bir bütün olarak gösteren derleme makalelerine ihtiyaç duyulduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, dijital oyunların, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının ve meta evrenlerin mimarlığa eğitim odaklı katkısını incelemek için son yıllarda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Bu çalışma, dijital oyunları, VR ve AR teknolojilerinin ve mimarlığın kapsamlı ve derinlemesine bir anlayış kazanmasını amaçlamaktadır. Dijital oyun tasarımı ve mimarlık temsil rollerinin yanı sıra dijital oyunların ve sanal gerçeklik teknolojilerinin mimari eğitim ve öğretiminde kullanılmasının bir literatür taraması yapılmıştır. Bunun amacı:

- Literatürde yapılan araştırmaların yoğunlaştığı ve eksik kaldığı alanları tespit etmek,
- Mimarlık eğitiminde, sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyun tabanlı öğretimlerin konu başlıklarını öğrenmek,
- Sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyunların mimarlık eğitiminde etkileşimini anlamak,
- Bu alandaki zorlukları ve sorunları özetleyip, çözümlere değinmek,
- Bu alanda yapılabilecek gelecek araştırma ve geliştirme çalışmalarına bir rehber olmak.

Bu bağlamda; çalışmanın ilerleyen bölümlerinde çalışmanın yöntemi açıklanmıştır. Yöntemi takip eden 3 bölümde mimarlığın dijital oyun ve alt tabanlarından elde edilen, sanal ortamlarla ilişkisi, eğitime olan katkıları ele alınmıştır. En son olarak bahsedilen konuların mimarlık tarihi öğretimine olan katkısına değinilip, son bölümde çalışma değerlendirilmiştir.

## 2. Yöntem ve Bulgular

### 2.1. Yöntem

Bu çalışmada sanal gerçeklik teknolojilerinin ve dijital oyunların mimari eğitim ve öğretiminde kullanılmasının bir literatür taraması yapılmıştır. Araştırmada istatistikler analizlerin belirlenmesi amacı ile bibliyometrik analizler yapılmıştır. Bibliyometrik analiz yöntemleri, araştırmacıyı en yüksek etkili çalışmalara yönlendirir ve araştırma alanını önyargı olmadan haritalandırıp literatür taramalarına yardımcı olmaktadır (Zupic ve Carter, 2015). Başlangıç olarak, arama kriterleri için beş anahtar kelime seçilip aramalar gerçekleştirilmiştir. Bu anahtar kelimeler; Mimarlık Eğitimi, Sanal Gerçeklik, Artırılmış Gerçeklik, Mimarlıkta Metaverse ve Mimaride Dijital Oyun olarak belirlenmiş ve mevcut çalışmalar akademik literatürden alınmıştır. Veri tabanı, meta-analiz talimatlarını takip ederek yapılmıştır (**Şekil.1**). Ardından istatistiksel analizlerin belirlenmesi amacı ile bibliyometrik analizler yapılmıştır. Bibliyometrik analizler için VOSviewer programı kullanılmıştır.



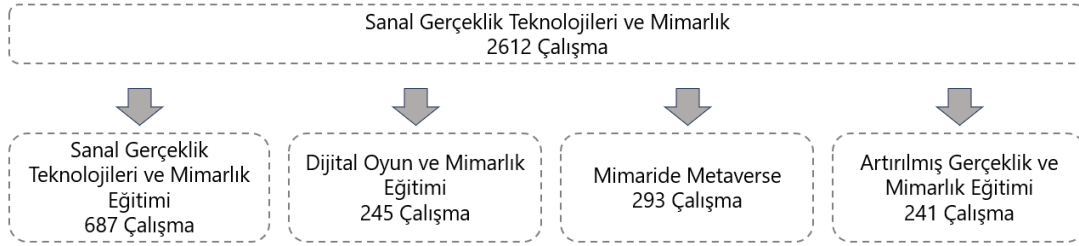


Şekil 1. Araştırmanın gerçekleşme biçimi.

Makaleler, anahtar kelimeler, araştırma temaları vb. arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan analizlerde;

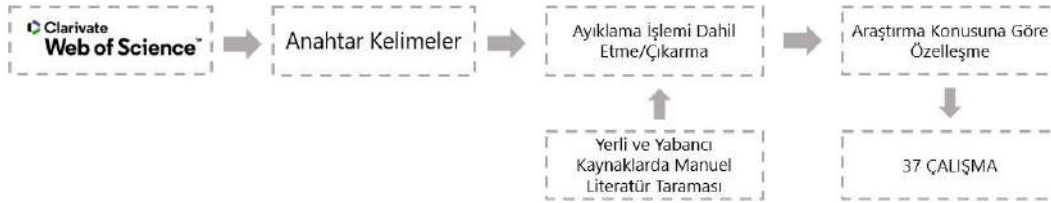
- Sanal gerçeklik teknolojilerinin ve dijital oyunların mimarlıkta kullanımının yıllara göre dağılımı nedir?
- Sanal gerçeklik teknolojilerinin mimarlık eğitiminde bulunduğu akademik çalışmaların disiplinleri nelerdir?
- Sanal gerçeklik teknolojilerinin mimarlık eğitiminde bulunduğu akademik çalışmaların dil dağılımı nasıldır?
- Sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyunların mimarlık eğitime ilişkin, akademik çalışmalarda en çok kullanılan anahtar kelimelerin analizi nelerdir?

Sorularına cevap aranmıştır. Bu analizler, alan bilgisini ortaya çıkarmakta ve incelenen makalenin araştırma konusunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır. İncelenen makalenin araştırma konusu belirlendikten sonra belirlenen anahtar kelimeler doğrultusunda daha detaylı olarak incelenmiş ve kategorize edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Mayıs 2024, Web of Science anahtar kelime aramaları sonucu yapılmış çalışmaların analizi.

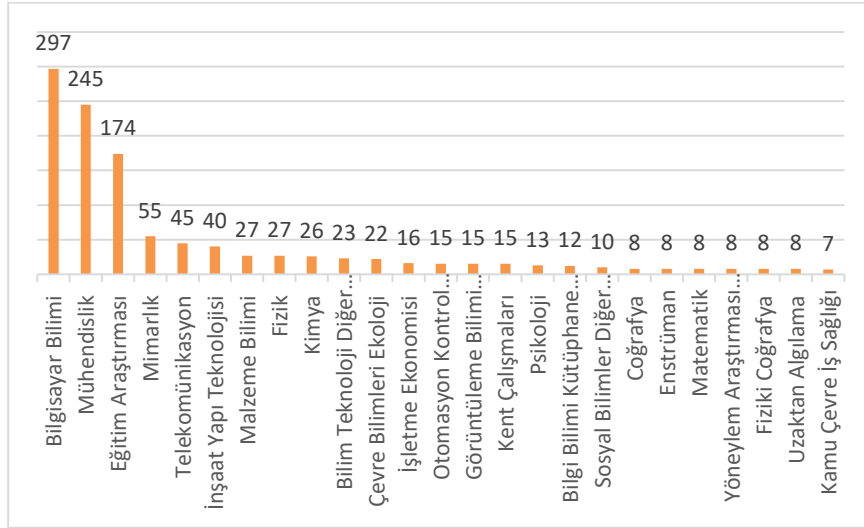
Çalışma kapsamında, yapılan literatür taraması Web of Science veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Yerli ve yabancı kaynaklardan kapsamlı bir çalışma yapılmış olup, ekleme çıkarmalar yapılarak 37 tane çalışma derinlemesine incelenmiştir. Bu çalışmaların 9 tanesi tez, 1 tanesi kitap ve 27 tanesi makaledir. Ekleme ve çıkarma işlemi ile kalan 37 çalışma, ele aldıkları yöntem ve uygulamalar açısından incelenmiştir.



Şekil 3. Web of Science arama süreci.

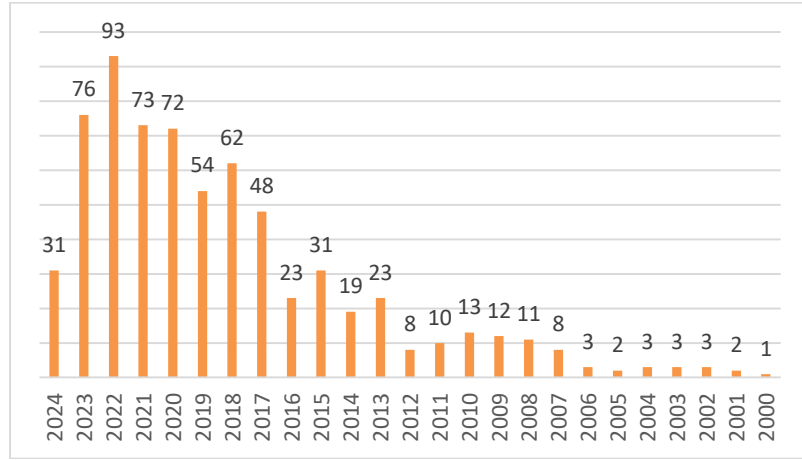
## 2.2. Verilerin Analizi ve Bulgular

Yapılan bu literatür çalışması neticesinde sanal gerçeklik teknolojileri ve dijital oyun uygulamalarının sadece eğlence amaçlı kullanılmadığı tespit edilmiştir. Pek çok farklı disipline, farklı alanlarda yardımcı olan dijital oyunların son yıllarda sıklıkla kullanıldığı anlaşılmıştır. Bu alanlar literatür taramasında; mimarlık, bilgisayar bilimleri, inşaat mühendisliği, sanat, multidisipliner mühendislikler, kentsel çalışmalar ve arkeoloji olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). En çok kullanımın ise mimarlık, bilgisayar bilimleri ve mühendislik bilimlerinde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte mimarlık alanında farklı alanlara ayrıldığı gözlemlenmiştir. Son yıllarda dijital oyunların ve sanal ortamların kullanıcılar tarafından kolaylıkla ulaşılabilir olması ile bu alanda yapılan çalışmaların çeşitlenerek arttığı görülmektedir.



Şekil 4. Sanal gerçeklik teknolojileri ve mimarlık eğitiminin kullanıldığı alanların dağılımı.

Dijital oyun tabanlı sanal dünyaların tasarımında da son yıllarda artış gözlemlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, mimarlıkta ve mimarlık eğitiminde dijital oyunların ve sanal gerçeklik teknolojilerinin kullanımına yönelik yapılan çalışmaların yıl bazlı dağılımları incelendiğinde (Şekil 5); 2007'den öncesinde çok fazla yayın yapılmadığı gözlemlenmiştir. Yayın yapılan yıllar bir bütün olarak değerlendirildiğinde; 2007 yılı ve sonrasında dijital oyunların ve sanal gerçeklik teknolojilerinin mimarlıkta kullanımıyla ilgili yayımlanan bilimsel yayınların sayısında artış olduğu görülmektedir.



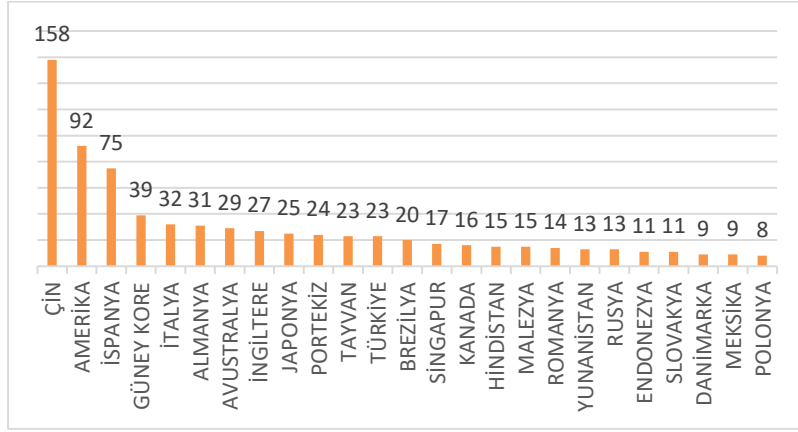
Şekil 5. Sanal gerçeklik teknolojilerinin mimarlık eğitiminde kullanımının yıllara göre yapılan çalışmaların dağılımı.

Araştırmada akademik yayınlar diller bakımından incelendiğinde, ilk sırada İngilizce dilinin olduğu gözlemlenmektedir (**Tablo 1**).

Tablo 1. Sanal gerçeklik teknolojileri ve mimarlık eğitiminde yayın yapılan diller.

DİLLER	YAYIN SAYILARI
İNGİLİZCE	677
İSPANYOLCA	3
PORTEKİZCE	3
TÜRKÇE	1
ÇİNCE	1
RUSÇA	1
ARAPÇA	1
<b>Toplam</b>	<b>687</b>

Bununla birlikte yayın yapılan ülkeler incelendiğinde (**Şekil 6**) en çok yayının yapıldığı ülkenin Çin olduğu tespit edilmiştir. Çin'i Amerika, İspanya, Güney Kore ve Almanya takip etmektedir. Ülkemizde ise konu ile ilgili 23 yayın yapıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. Sanal gerçeklik teknolojileri ve mimarlık eğitiminin çalışmasının yapıldığı ülkeler.

Anahtar kelimelerin analizi ve sıklığı incelendiğinde (Şekil 7) ise, video oyunlar, sanal gerçeklik, simülasyon, mimarlık, öğrenme ve makine öğrenmesi gibi kavramların kullanıldığı görülmektedir.



(Özdoğan, 2021). Ancak sanal gerçeklik ve hatta cihazların tanımı 1935 yılında yayınlanan Stanley G. Weinbaum'ın Pygmalion's Spectacles adlı bilim kurgu hikayesinde yapılmıştır (Çevik, 2022). Günümüzde ise bu cihazlar (Şekil 8) daha da geliştirilmiştir. 1990'larda bu cihazların kullanımı ile sanal gerçeklik ortamlarında gerçek fiziki hisler yakalanmaya çalışılmıştır (Çevik,2022). Yapılan çalışmaları ve geri bildirimler doğrultusunda, sanal gerçekliğin temelleri atılmıştır.



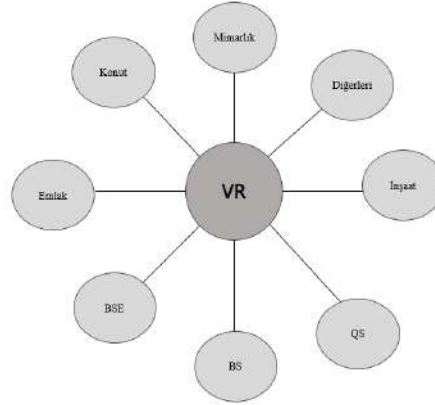
Şekil 8. Sanal gerçeklik cihazları (Url-1).

Son yıllarda kullanımı oldukça artan gerçeklik simülasyon programları dijital oyunlarla hayatımıza çokça dahil olmaktadır. Kullanılan bu simülasyon programları ile gerçek hayattaki veriler tamamen sanal ortamlara taşınabilmekte ve farklı deneyimlere olanak sağlamaktadır. Sanal ortamlarda yapılan bu uygulamalar sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) olarak adlandırılmaktadır. Arttırılmış gerçeklik (AR), gerçek ortamlarda gerçek nesnelere sanal nesnelere eklenmiş bir ortamdır, Sanal Gerçeklikte ise (VR) her şey tamamen sanaldır (Şekil 9) (Aş, 2019). Agnello, Avella ve Agnello (2019) yapmış oldukları çalışmada lazer tarama yöntemi ile Palermo Katedral'ini sanal ortama aktarmış ve sanal müze gezisi düzenlemişlerdir. Köymen (2014)'te hazırladığı doktora tezi çalışmasında "Sketchar" adını verdiği, mimari ön tasarım sürecinde yapılan eskizleri gerçek zamanlı modelleyen, arttırılmış gerçeklik destekli bir yazılım denemesi gerçekleştirmiştir.



Şekil 9. Karma gerçeklik sürekliliği (Portman, Napatov, Fisher-Gewirtzman, 2015)'dan uyarlanmıştır.

Sanal ortamlar pek çok farklı disiplin tarafından kullanılmaktadır. Bunlara sağlık, bilişim, görselleştirme, askeri, mühendislik gibi disiplinler verilebilir. Bahsedilen farklı pek çok disiplinin içerisinde mimarlık ve mimarlık alt disiplinleri de (**Şekil 10**) mevcuttur.



**Şekil 10.** VR ve yapı ortamı konu alanları (Horne ve Thompson,2008)'den uyarlanmıştır.

Sanal gerçeklik, kullanıcının hissetmesine ve algılayıp deneyimlemesine yardımcı olabilecek ortamlar oluşturur. Mekânın içinde bulunma ve ait olma hissi kullanıcılara akıcı bir deneyim sağlamaktadır (Şahin, 2021). Burada mimari olarak ortamın oluşturulup geliştirilmesinde mimarlar rol almaktadır. Sanal gerçeklik mimaride ortam deneyimi sağlar ve kullanıcıdan geri bildirim alır, tasarımın şekillendirilmesine katkı sağlar. Bunun dışında sanal gerçeklik mimari eğitiminde de kullanılıp öğrenciye mimari yapıyı deneyimlettirip öğrenme kapasitesini artırmaya yardımcı olmaktadır.

### 3.1. Sanal Gerçeklik Teknolojileri, Metaverse ve Mimaride Kullanımı

Hayatımıza Snowcrash romanı ile giren meta evren kavramı, temel olarak dijital oyun tasarımına dayanmaktadır. Sanal dünyalardaki mimari tasarımlar dijital oyun tabanlı, oyun hazırlama programları kullanılarak üretilmektedir. Sanal ve gerçek dünyaların birlikte bulunduğu bu dünyalara “metaverse” denilmektedir. Bununla birlikte gelecekte dijital her şeyi içerebilecek geniş bir terim olarak nitelendirilebilir (Dahan, Al-Razgan, Al-Laith, Alsoufi, Al-Asaly ve Alfakih, 2022). Tasa (2009)'da gerçekleştirdiği tez çalışmasında, Metaverse'ün kendi bağlamında yerel bir sanatsal ve mimari biçim olarak meta-sanat ve meta-mimari nasıl olmalıdır sorusuna cevap aramaktadır. Genel olarak “ortak paylaşımlı” sanal alan olarak

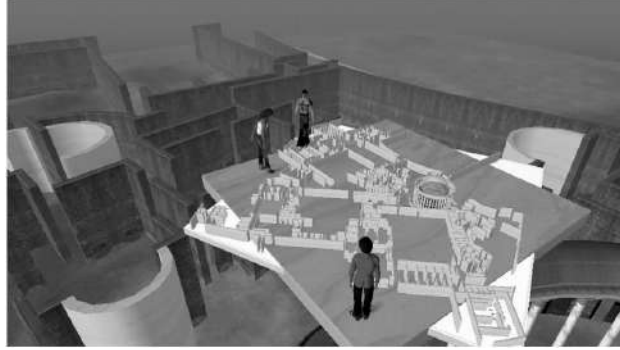


nitelendirilen metaverse alanları pek çok sektöre hizmet etmektedir (Moneta 2020; GADArchitecture, 2022). Sanal eğlence parkları, sanal sinema salonları, sanal okullar vb. gibi pek çok fark disiplini deneyimletmektedir (Sun,2021). Mimari tasarımın sanal dünyalar ile ilgisi eskilere dayanmaktadır. Scyberspace kavramı ile birlikte tasarımcılara ilham kaynağı olmuştur. Moneta (2020) yaptığı çalışmada ancak mimarlığın bu anlamda dijitalleşmesi ile esas olarak parametrik mimari, form tabanlı tasarım ve bilgisayar oyunları etkinlikleri yoluyla daha da geliştiğini belirtmiştir.

Moneta (2020) yapmış olduğu çalışmada oyun ve sanal dünyaları tanımlamak amacıyla, sanal dünyaları gerçek dünyanın fiziksel bir uzantısı olmanın dışında felsefi, kültürel ve estetik çalışmaların olduğu bir dijital ortam olarak düşünülebildiğini belirtmiştir. Bununla birlikte bahsi geçen estetik ve felsefe kavramının gerçek dünyada mimarlık eğitiminin bir parçası olduğunu belirtmiştir (Moneta, 2020). Moneta (2020) yine aynı çalışmada, sanal dünyaları oluşturanların yani oyun tasarımcıları ve yazılımcıların eğitimlerinin bu değerleri kapsamadığını belirtmiştir. Sonuç olarak bahsedilen estetikliğin yakalanmasında yani sanal dünyaların oluşturulmasında mimarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Mimarlık, peyzaj mimarlığı, iç mimarların eğitimleri bu gereksinimleri karşılayacak cinstendir ve halihazırda gerçek dünya için düzenlemeler yapabilmektedirler. Metaverse, sanal ortamların ve dijital oyunların tasarlanmasında mimarların kısıtlamaları yoktur. Mimarlar estetiği, sanatı, kurguyu ve mekânı birleştirerek tasarımlara yön verir. Oluşturulan sanal dünyaların mimarisi ile pek çok etkinliği gerçekleştirmek mümkündür. Mimari ilkeleri sanal dünyaya entegre ederek sadece oyun, eğlence sektörüne değil tarihe de katkı sağlanması mümkündür. Buna örnek olarak tarihi savaş oyunları örnek verilebilir. Sanatı ve tarihi bir araya getirerek kullanıcılara sanki o dönemleri yaşıyor hissini verir. Bu durum da sanal ortamların hissetme gerçekliğine kanıt niteliğindedir.

Kullanıcılarına yeni dünyalar yaratma olanağı sağlayan “Minecraft” (2009) oyunu sadece eğlence amaçlı kullanılmamıştır. Mimari ve şehir planlama için kullanılmış ve süreçle ilişkisi iyi yönetilmiştir. Bahsedilen oyun, kullanıcı odaklı yapı tasarlanmasına olanak sağlamış ve daha sonra sanal gerçeklikle kullanıcı deneyimletmesi gerçekleştirmiştir. Kullanıcılardan elde edilen geri dönüşlerde gerçek hayatta yapılacak olan yapının sorunlarına çözüm arayışları gerçekleştirilmiştir (Gürbüz, 2020).

Metaverseler sadece, kullanıcı-geri bildirim odaklı değil aynı zamanda öğretici odaklı olarak da kullanılmaktadır. Oyun için oluşturulan tarihi alanlar mimarlık tarihinin öğretimine katkı sağlamaktadır (**Şekil 11**). Bununla birlikte boş olan sanal alanda öğrenci ve öğretmen daha rahat bir şekilde mimarlık ya da başka disiplinlerin öğretimini deneyimleyebilmektedir. Sadece tarihi değil aynı zamanda yapı bilgisi, yapı fiziği konularının da deneyimlettirilmesi metaverse ortamlarında mümkündür.



Şekil 11. Sanal ortamda Hadrian Villası (Moneta, 2020).

#### 4. Dijital Oyun Tasarımı ve Mimarlık

Mimari tasarım ve temsil süreçleri gelişen teknolojiler ile değişmektedir. “Günümüzde mimarlık pratiğinin inşaat süreçlerine entegrasyonu sırasında, proje süreçleri, 2 boyutlu ve 3 boyutlu temsil yöntemleri kullanılarak ilerletilmektedir.” (Sümer, 2019, s.1). Mimarlık temsili için üretilen 3D programlara ek olarak oyun motorlarının kullanımı yeni bir durum değildir. Mimarlık programlarının, mimarlığa özelleşmesinden önce de var olan oyunlar, şimdilerde pek çok mimari çalışmayı algılatmak üzerine kullanılmaktadır. Bununla beraber oyun sektörü de görselleştirme üzerine çeşitli programlar geliştirmekte (Şekil 12) ve programları mimariye özelleştirme eğilimi göstermektedirler.



Şekil 12. UnrealEngine oyun motoru ile hazırlanmış iç mekân tasarımı (Url-2).

Oyunlar için oluşturulan sanal ortamların mimari için kullanımı yeni değildir. Sanal bir boş dünya olan ve “dijital lego” olarak adlandırılan “Minecraft” (2009) (Şekil 13) oyunu, bir oyun olmanın yanında mimarlık ve planlama için de kullanılmış ve başarıya ulaşmıştır (Moneta, 2020).



Şekil 13. Minecraft oyunu ile tasarlanmış bir yapı (Url-3).

Oyunlar sadece eğlence aracı değildir aynı zamanda etkileşim, eğitim ve temsil aracı olarak kullanılabilirler. Bunun yanında gerçek dünya ile eş zamanlı veri elde etmeyi sağlamaktadırlar. Makalenin ilerleyen kısımlarında dijital oyunların mimari kullanımlarına, mimarlık eğitime katkısına ve mimarlık eğitimi özelinde mimarlık tarihi öğretimine katkısına odaklanılmıştır.

#### 4.1. Dijital Oyun ve Mimari Açından Kullanıcı Deneyimi

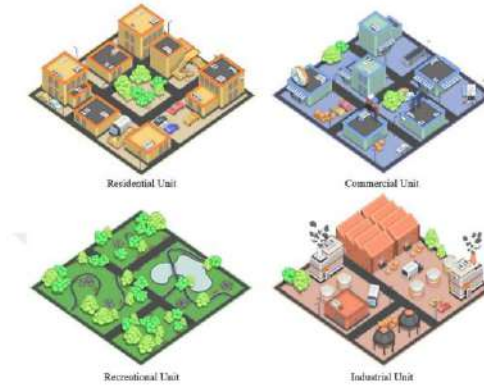
Mimari yapıların modellenmesi ve sanal gerçeklik teknolojileri ile kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Küçükkara (2022)'de yapmış olduğu tez çalışmasında, rölöve eğitimi için öğrencilere yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir ve bunun sonucu olarak öğrenciler, derslerde ölçüm için kullandığı araçları sanal ortamda kullanıp gerçek bir yapı üzerinden test edebileceklerdir. Pearson (2020) yaptığı çalışmada, video oyun dünyalarının mimarlığı gerçekleştirmenin yeni yolları olarak nitelendirmiş ve dört farklı vaka çalışması gerçekleştirmiştir. Bu durum tasarımı önceden deneyimleyip olası sorunları görmeye yardımcı olmaktadır. Oyun motorları ve oyunlar için oluşturulan sanal ortamlarda da mimari deneyimi gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda sanal gerçeklik ile kullanılan oyun motorları; UnrealEngine ve Unity oyun motorlarıdır. Oyun motorları ile oluşturulan ortamlarda, güneşin açısı ve geliş yönleri hesaplanabilmekte ve yapının konumlanması buna göre ayarlanabilmektedir. Bununla birlikte yapılan görselleştirme ile sadece kullanıcı deneyimi değil ürününün nasıl görüneceği ve pazarlanacağına da katkı sağlamaktadır. Oyun motorları, sanal

gerçeklik ve artırılmış gerçeklik ile, tasarlanan oyunlar kendilerine verilen işlevler doğrultusunda mimari süreçlerde karşılaşılan sorunlara çözüm sağlayabilmektedirler (**Şekil 14**).



**Şekil 14.** Unity oyun motoru ile tasarlanan mimari temsile yakın oyun (Sümer,2019).

Bu bağlamda Gürbüz (2020)'de hazırladığı tez çalışmasında bir kutu oyununu UnrealEngine oyun motoru ile dijitalle aktarmış ve artırılmış gerçeklik ile kullanıcı deneyimine sunup veriler elde etmiştir (**Şekil 15**). Gürbüz'ün çalışması ile kullanıcı odaklı şehir planlama gerçekleştirilebilmesi ve mimar olmayanlarla oyun üstünden daha hızlı ve sağlam iletişim kurulabilmesi amaçlanmaktadır.

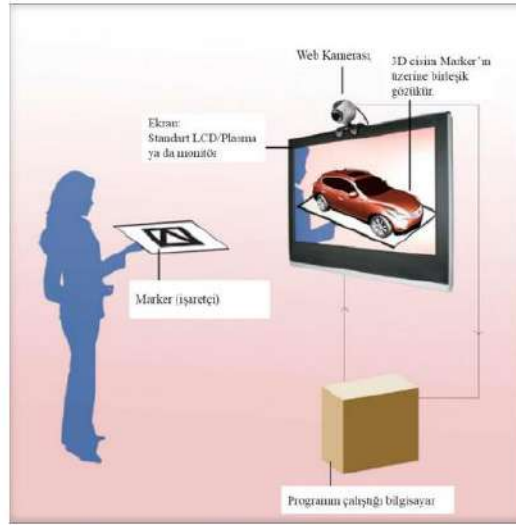


**Şekil 15.** UnrealEngine oyun motoruna aktarılmak üzere hazırlanan modeller (Gürbüz, 2020).

Yine oyun tabanlı ortamlarda hazırlanan sanal ortamların arkeolojik çalışmalarda kullanılması ile kalıntılar bütünleştirilip kullanıcı deneyimine sunulmaktadır.

#### 4.2. Dijital Oyun ve Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin Mimarlık Eğitim Süreçlerinde Kullanılması

Günümüz mimarlığı ve mimarlık eğitimi, teknoloji ile sürekli gelişim göstermektedir. Sanal gerçeklik mevcut ve gelecekteki oyunculara gelişerek yenilikçi deneyimler sunabilmektedir (Pallavicini, Pepe ve Minissi, 2019). Bu bağlamda dijital oyunların deneyerek öğrettiği gerçeği oluşmaktadır. Bununla birlikte oluşturulan sanal ortamlarda da sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri (Şekil 16) ile öğrenciye yaparak öğrenme deneyimi yaşatılmaktadır.



Şekil 16. Artırılmış gerçeklik işleyiş şekli (Tong ve Köymen, 2012).

Dijital oyunlarda mimari ile ilgili içeriğin kullanılması yeni bir durum değildir (Valls, Redondo, Fonseca, Garcia-Almirall, Subirós, 2016; Miltiadis, 2018). Miltiadis (2018) yayınladığı çalışmada sanal gerçeklik teknolojilerini mimari eğitim için ortam olarak kullanılmasını önermiştir. Varinlioğlu vd. (2019) yayınladıkları çalışmada ciddi oyun olarak Teos Antik Kenti örneği üzerinden arkeolojik bilginin oynanabilir etkileşimlere dönüştürülmesinde dijital bir araç olarak kavramsallaştırıldığından bahsetmiştir. Bu doğrultuda bir oyun tasarlamışlardır. Arda ve Şentürk (2020) yayınladıkları çalışmada, gerçeklere dayanan bir belgenin, bir oyun

tasarımı olarak kullanıcıya sunulmasını örnekler üzerinden incelenmişlerdir ve bu doğrultuda belgesel anlatının da dijital oyun olarak kullanıcıya sunulabileceği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte günümüzde sanal gerçeklik teknolojileri mimari ölçeği algılatmak amacı ile şehir kurma oyunlarının kullanılması ile eğitime katkı sağlamaktadır. Bu oyunlara CitiesSkylines örnek olarak verilebilir. Barcelona’da yapılan bir çalışmada sanal ortamlarda öğrencinin çok daha rahat algılayıp öğrendiği ortaya konmuştur (Valls, Redondo, Fonseca, Garcia-Almirall, Subirós, 2016). Bu bağlamda yapılan çalışmada öğrencilerin yaşadıkları yurt sanal ortama aktarılmış ve iki farklı ders konusu olarak çalışılmıştır (**Şekil 17**).



**Şekil 17.** Barcelona’da mimarlık dersi için sanal ortama aktarılan yurt binası (Valls, Redondo, Fonseca, Garcia-Almirall, Subirós, 2016).

Özdoğan’ın (2021) tez çalışmasında, Türkiye’de bir mimarlık okulunda yapı bilgisi dersi için merdiven tasarımı sanal ortamda yaptırılarak öğrencilere deneyimlettirilmiştir (**Şekil 18**).



**Şekil 18.** Sanal gerçeklikte merdiveni deneyimleyen öğrenci (Özdoğan, 2021).

Dijital oyunlar, sanal gerçeklik teknolojileri ile öğretme metotları ve mimarlığın deneyerek öğrenme mantığı birbirini desteklemektedir. Aynı zamanda artırılmış gerçeklik teknolojileri ile yaparak öğrenmeyi hedefler ve öğrenciye daha rahat bir öğrenme deneyimi sunmaktadır.

#### **4.3. Dijital Oyun ve Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin Mimarlık Tarihi Öğretim ve Algılatılmasında Kullanılması**

Dijital oyunlarda kullanılan sahneler kimi zaman geçmişin izlerini taşımaktadır. Bazen Antik Roma ya da geçmişin tarihi bir kentinin kurgusu üstüne tasarlanmaktadır. Bu durumda dijital oyunların mimarlık tarihi öğretimine katkısı oldukça fazladır. Yapılan çalışmalarda mimari kalıntılar, arkeolojik kazılar için sanal ortamların (**Şekil 19**) kurulması ve araştırmacıya kolaylık sağlaması son zamanlarda oldukça yaygındır.



Şekil 19. Artırılmış gerçeklik ile Marseille Tarihi Müzesi ve Hera Tapınağı (Aş,2019).

Araştırılan yapı ya da nesnenin sergilendiği zaman yine kullanılan sanal ortamlar ziyaretçisine duysal olarak algılatmayı sağlayacaktır. O dönemde yaşıyor hissini tattıracaktır.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Yapılan bu literatür çalışması neticesinde dijital oyun uygulamalarının sadece eğlence amaçlı kullanılmadığı tespit edilmiştir. Pek çok farklı disipline, farklı alanlarda yardımcı olan dijital oyunların son yıllarda sıklıkla kullanıldığı anlaşılmıştır. Özellikle bu teknolojilerin kullanıcılar tarafından kolaylıkla ulaşılabilir olması ile bu alanda yapılan çalışmaların çeşitlenerek arttığı görülmektedir. Dijital oyun tabanlı sanal dünyaların tasarımında da son yıllarda artış gözlemlenmiştir. Sanal dünyaların çeşitli iletişim ulaşım araçları ile deneyimlenmesi ile farklı teknolojik aletlerin tasarımları ortaya çıkmıştır. Sanal gerçeklik gözlükleri ve artırılmış gerçeklik eldivenleri bunlara örnek olarak verilebilir. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik ile oluşturulan sanal dünyalar metaverse olarak tanımlanmaktadır. Dijital oyun tabanlı bu sanal dünyalar pek çok sektöre hizmet vermektedir. Bu sektörler, eğlence, sağlık, mimari örnek olarak verilebilir. Belirlenen konu başlıkları mimari açıdan incelendiğinde, dijital oyunların tasarımında mimari ön plana çıkmaktadır. Mimarların estetik bakışı ve bunu eğitim olarak almış olmaları onları bu konuda çalışmaya teşvik etmektedir. İncelenen konu başlıklarında dijital oyunların eğitim odaklı katkısı gözlemlenmektedir. Artırılmış ve sanal gerçeklik kavramları da mimarlık eğitimine katkı sağlamaktadır. Ülkemizde de son yıllarda mimari eğitimde sanal gerçeklik teknolojilerinin ve dijital oyunların kullanımında artış olduğu gözlemlenmektedir.

Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde, çalışmaların genellikle uygulamaların spesifik bir bölümünü kapsadığı görülmektedir. Uygulamaların yapıma yöntemlerine çok girilmediği sadece bahsedildiği gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin anlatılmasının gelecek çalışmalara yol gösterici olacağı



düşünülmektedir. Dijital oyun kavramı ve dijital oyun tabanlı sanal dünyalar hayatımızın birer parçası haline gelmiştir ve teknoloji ile daha da gelişmektedirler. Farklı pek çok disiplini içinde barındıran bu konu üzerinde eğitim sistemlerinin ayarlanması oldukça önemlidir. Geleceğin artırılmış, sanal gerçeklikler ve metaverse üzerinde olduğu görülmektedir. Bu başlıkların temelini sanal gerçeklik teknolojileri oluşturmaktadır. Sanal ortamların kullanıcılara deneme ve testler yapabilmeye olanağı sağlaması nedeni ile bu konulara ilgi gün geçtikçe artacaktır.

## KAYNAKLAR

- Agnello, F., Avella, F. Agnello, S. (2019). *Virtual Reality for Historical Architecture*. 8th Intl. Workshop 3D-ARCH “3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures”, 6-8 February 2019 Bergamo, Italy.
- Arda, Ö., Şentürk, O. (2020). Dijital Oyunun Belge Anlatıya Dayalı ve Açık Dünya Tasarımı: Docu-Game\*. *Erciyes İletişim Dergisi*, 7(2), 1367-1382. <https://doi.org/10.17680/erciyesiletisim.689211>
- Aş, H. (2019). Saran Mimari Yazılım ve Teknolojilerinin Kültürel Mirası Koruma Çalışmalarında Kullanımı. *Tasarım Enformatiği*, 1(2), 92-106.
- Bishop, I. D. (2011). Landscape planning is not a game: Should it be?. *Landscape and Urban Planning*. 100(4), 390-392. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.01.003>
- Bruno, F., Bruno, S., De Sensi, G., Luchi, M. L., Mancuso, S., Muzzupappa, M. (2010). From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. *Journal of Cultural Heritage*. 11(1), 42-29. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.02.006>
- Çatak, G., Masalçı, S. Z., Şenyer S. (2020). A Guideline Study for Designing Virtual Reality Games. *Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, 11(43), 12-36. <https://doi.org/10.5824/ajite.2020.04.001.x>
- Çevik, M. U. (2022). *Video Oyun Tasarımında Değişen Paradigmalar ve Bir Sanal Gerçeklik Uygulaması*. (Tez Künye Numarası: 10320596) [Sanatta Yeterlilik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Dahan, NA., Al-Razgan, M., Al-Laith, A., Alsoufi, MA., Al-Asaly, MS., Alfakih, T. (2022). Metaverse Framework: A Case Study on E-Learning Environment (ELEM). *Electronics*. 11(10): 1616. <https://doi.org/10.3390/electronics11101616>
- GADArchitecture. (2022). Mimarlık Miras ve Metaverse: Dijital Yapılı Çevre için Yeni Yaklaşımlar ve Yöntemler. *GADArchitecture*. <https://www.gadarchitecture.com/tr/mimarlik-miras-ve-metaverse-dijital-yapili-cevre-icin-yeni-yaklasimlar-ve-yontemler>. Erişim Tarihi:13.05.2024
- Güneş, M., Dilipak, H. (2021). A Serious Game Model Proposalfor Detecting Explosives. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 6(2), 127–140. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20166802006>
- Gürbüz, A. Ş. (2020). *Hücresele Özdevinim ile Artırılmış Gerçeklik Tabanlı Şehir Geliştirme Oyunu*. (Tez Künye Numarası: 637663) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Horne, M., Thompson, E. M. (2008). The Role of Virtual Reality in Built Environment Education. *Journal for Education in the Built Environment*. 3(1) 5-24. <http://dx.doi.org/10.11120/jebe.2008.03010005>

- Köymen, E. (2014). *Mimari Ön Tasarım Sürecinde Eskizleri Gerçek Zamanlı 3b Modelleyen, Arttırılmış Gerçeklik Destekli Bir Yazılım Denemesi: "Sketchar"*. (Tez Künye Numarası: 411539) [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Küçükçkara, M. Y. (2022). *Mimarlık Eğitimi için Sanal Gerçeklik Ortamında Rölöve Tekniklerinin Tasarlanması ve Uygulanması*. (Tez Künye Numarası: 752921) [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Lange, B., Koenig, S., Chang, C. Y., McConnell, E., Suma, E., Bolas, M., & Rizzo, A. (2012). Designing informed game-based rehabilitation tasks leveraging advances in virtual reality. *Disability and Rehabilitation*, 34(22), 1863-1870. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.670029>
- Miltiadis, C. (2018). Virtual Reality, Videogames, Architecture and Education. *aCAADe*. 36(2), 805-814. <http://dx.doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.2.805>
- Moneta, A. (2020). Metaverse Architecture, Heritage and Metaverse: New Approaches and Methods for The Digital Built Environment. *Traditional Dwellings and Settlements Review*, 32(1), 37-49.
- Özdoğan, M. (2021). *Mimarlık Okullarında Yapı Bilgisi Eğitiminin Sanal Gerçeklik Sistemleri ile Bütünleştirilmesi*. (Tez Künye Numarası: 715006) [Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Pallavicini, F., Pepe, A., & Minissi, M. E. (2019). Gaming in virtual reality: What changes in terms of usability, emotional response and sense of presence compared to non-immersive video games?. *Simulation and Gaming*. 50(2), 136-159. <http://dx.doi.org/10.1177/1046878119831420>
- Pearson, C. L., (2020). A machine for playing in: Exploring the videogame as a medium for architectural design. *Design Studies* 66, 114-143. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.11.005>
- Portman, M. E., Napatov, A., Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To Go Where No Man Has Gone Before: Virtual Reality in Architecture, Landscape Architecture and Environmental Planning. *Computers, Environments and Urban System*. 54(4), 376-384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001>
- Rheingold, H. (1991). *Virtual Reality: Exploring the Brave New Technologies*. New York, Simon and Schuster Adult Publishing Group.
- Sun, C. (2021, Kasım 24). Architecting the Metaverse. *Archdaily*. [https://www.archdaily.com/968905/architecting-the-metaverse?ad\\_medium=widget&ad\\_name=related-article&ad\\_content=975897](https://www.archdaily.com/968905/architecting-the-metaverse?ad_medium=widget&ad_name=related-article&ad_content=975897) Erişim Tarihi:14.03.2024
- Sümer, O. (2019). *Oyun Motorlarının Mimari Tasarım ve Temsil Süreçlerinde Değerlendirilmesi*. (Tez Künye Numarası: 559891) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Szymanski, M. (2018). Computer Games in Art History. Traditional architecture and painting presented in virtual reality. *E-methodology*. 5(5), 84-99. <http://dx.doi.org/10.15503/emet.v5i5.449>
- Şahin, A. C. (2021). *Temel Tasarım Dersinde Sanal Gerçeklik Sistemlerinin Kullanımının Öğrencilerin Öğrenme Sürecine Etkisinin İncelenmesi*. (Tez Künye Numarası: 682839) [Doktora Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.

- Tasa, U. B. (2009). *İçeriği Kullanıcılar Tarafından Oluşturulan 3 Boyutlu Sanal Dünyalarda Sanat ve Mimari Tasarım: Second Life Üzerine Bir Vaka Çalışması*. (Tez Künye Numarası: 240188) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Tong, T., Köymen, E. (2012). *Artırılmış Gerçeklik (AgumentedReality) Destekli Bir Mimarlık Eğitim Modeli*. Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2012 Ulusal Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Yardımlı, N. H. (2007). *An Architectural Approach to Cyberspace: Transarchitecture*. (Tez Künye Numarası: 222536) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Yıldız, S. K., Bozkurt, G. (2023). Sanal Gerçekliğin Yeni Anakarası: Metaverse. *TRT Akademi*, 8(17), 268-293. <https://doi.org/10.37679/trta.1203353>
- Yiğiter, U., Tatar, E. (2019). Mimarlık ve Medya Etkileşiminde Oyun Tasarımı. *Gsi Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 26(1), 1–22.
- Valls, F., Redondo, E., Fonseca, D., Garcia-Almirall, P., & Subirós, J. (2016). *Videogame technology in architecture education*. In *Human-Computer Interaction. Novel User Experiences: 18th International Conference, HCI International 2016, Toronto, ON, Canada, July 17-22, 2016. Proceedings, Part III 18* (pp. 436-447). Springer International Publishing.
- Varinlioğlu, G., Alankuş, G., Aslankan, A., Mura, G. (2019). Oyun Tabanlı Öğrenme ile Dijital Mirasın Yaygınlaştırılması. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 36(1) 23-40. <https://doi.org/10.4305/metu.jfa.2018.2.9>
- Varinlioğlu, G. (2020). Teos Üzerinden Dijital Mirasta Sanal Gerçeklik Uygulamalarını Anlamak. *Megaron*. 15(1) 161-170. DOI: 10.14744/MEGARON.2019.85619
- Zhang, Y., Liu, H., Kang, S. C., & Al-Hussein, M. (2020). Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. *Automation in Construction*, 118, 103311. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103311>
- Zupic, I., Cater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://dx.doi.org/10.1177/1094428114562629>
- Zyda, M. (2005). From Visual Simulation to Virtual Reality to Games. *IEEE Computer Society*. 38(9), 25-32. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.297>

URL-1 <https://www.endustri40.com/sanal-gerceklik-virtual-reality/>. Son erişim tarihi: 18.05.2024

URL-2 <https://www.unrealengine.com/en-US/>. Son erişim tarihi: 18.05.2024

URL-3 <https://tr.pinterest.com/pin/751890100285780572/>. Son erişim tarihi: 18.05.2024

# Spatial.io Ortamında Nesne Boyutu ve Görünürlüğe İlişkin Görsel Algı Eşiğinin Ortaya Çıkarılması

Fatma Seven <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>sevenf22@itu.edu.tr

## Özet

*Mimari tasarım alanında, görsel algı ile mekânsal özellikler arasındaki etkileşim, kullanıcının inşa edilmiş mekânı nasıl deneyimlediğini belirlemede rol oynar. İnsanlar buldukları ortamla sürekli etkileşim halindedir ve çevredeki nesnelere, mekânı duymaları aracılığıyla algırlar. Bilgi ve deneyimler, bu algıların yorumlanmasını sağlar (Shynu & Suseelan, 2023). İnsanların buldukları ortamdaki nesnelere algılama biçimleri, form, renk, malzeme, doku, boyut ve ışık gibi birçok tasarım unsuru tarafından şekillendirilir. Nesnenin görünürlük oranı boyutuyla doğru orantılıdır. Ancak, nesnelere belirli bir boyuta ulaştığında, görsel algı üzerindeki etkileri azalır ve arka plana karışmaya başlarlar. Bu durum da onların ne kadar görünür ve hatırlanabilir olduklarını etkiler. Burada ilginç bir paradoks ortaya çıkar. Nesne boyutu ve görünürlüğü arasında bir görsel algı eşiği bulunmaktadır. Bu eşiğin tanınması, mimari tasarım sürecinde nesnelere görsel algısını artıran etkili stratejilerin oluşturulmasına imkân sağlamaktadır. Çalışmanın amacı, iç mekânlardaki nesne boyutu ile görünürlük arasındaki karmaşık bağlantıyı araştırmaktır. Çalışmada, spatial.io kullanılarak bir vaka incelemesi gerçekleştirildi. 20-29 yaş aralığında 50 katılımcıyla yapılan vaka çalışmasında, spatial.io platformunun hazır mekân şablonlarından birisi olan Isle Galeri seçildi. Çalışma için farklı boyutlarda seçilen nesnelere modellenildi. Katılımcıların nesnelere hatırlama oranları hazırlanan anket aracılığıyla belirlendi. Toplanan veriler, nesnelere yüzey alanı ve hacim ölçüleriyle ilişkilendirildi. Elde edilen sonuçlar, farklı nesne boyutları ile görsel algı eşiği arasındaki ilişkiyi aydınlatmaktadır. Çalışmada, daha büyük yüzey alanına ve hacme sahip nesnelere genellikle daha yüksek hatırlama oranlarına sahip olduğu belirlendi. Bu çalışma, mimari tasarımda nesne boyutunun görsel algı üzerindeki etkisinin önemini açıkça göstermektedir. Çalışma sonunda, müze, perakende ortamları ve sergi alanları gibi gelişmiş görsel algının kritik olduğu mekânların tasarımına dair literatüre katkı sunan bulgular elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Görsel algı eşiği, nesne boyutu, hatırlanabilirlik, görünürlük, mimari tasarım.

# Revealing Visual Perception Threshold Regarding Object Size and Visibility in Spatial.io Environment

Fatma Seven <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>sevenf22@itu.edu.tr

## Abstract

*In the field of architectural design, the interaction between visual perception and spatial features plays a role in determining how the user experiences the built space. People are in constant interaction with their environment and perceive the surrounding objects and space through their senses. Knowledge and experiences enable the interpretation of these perceptions (Shynu & Suseelan, 2023). The way people perceive objects in their environment is shaped by many design elements such as form, color, material, texture, size and light. The visibility of the object is directly proportional to its size. However, when objects reach a certain size, their impact on visual perception decreases and they begin to blend into the background. This affects how visible and recallable they are. An interesting paradox emerges here. There is a visual perception threshold between object size and visibility. Recognizing this threshold enables the creation of effective strategies that increase the visual perception of objects in the architectural design process. The aim of the study is to investigate the complex connection between object size and visibility in interior spaces. In the study, a case study was conducted using spatial.io. In the case study conducted with 50 participants between the ages of 20-29, Isle Gallery, one of the ready-made space templates of the spatial.io platform, was selected. Objects selected in different sizes were modeled for the study. The participants' rate of remembering the objects was determined through a prepared survey. The collected data was linked to surface area and volume measurements of the objects. The results obtained elucidate the relationship between different object sizes and visual perception threshold. The study found that objects with larger surface area and volume generally had higher recall rates. This study clearly demonstrates the importance of the effect of object size on visual perception in architectural design. At the end of the study, findings that contribute to the literature on the design of spaces where enhanced visual perception is critical, such as museums, retail environments and exhibition areas, were obtained.*

**Keywords:** Visual perception threshold, object size, recall, visibility, architectural design.

## 1. Giriş

Çevrelerinden aldıkları bilgiler, insanların yaşamlarını anlamlandırmalarına ve sürdürmelerine yardımcı olur. Algı, uyarıların duyu aracılığıyla öznel bilinçte yorumlanması ve anlamlandırılmasıdır. Daha basit bir şekilde söylemek gerekirse, duyu organlarımız (işitme, görme, dokunma, koku, tat) aracılığıyla dış dünyadan gelen uyarıcıların idrak edilmesidir. Algı, sadece duyu organlarını etkileyen uyarılar tarafından oluşturulan bir süreç değildir. Sinir sistemi ve deneyimler bu süreci şekillendirir. İnsan algısı birçok faktörden etkilendiği için çok boyutlu bir olgudur. Düşünme, tanıma, anımsama ve duyumsama gibi eylemler algılama sürecini oluşturur. Bireyin sahip olduğu kültürel yapı ve geçmiş tecrübeleri, süreci oluşturan bu eylemleri etkiler. Dolayısıyla insan algısı da bu faktörlerden etkilenir. Bu genellemeyle algılama teorileri bilgiye dayanan ve duyuya dayanan algılama teorileri olarak iki ana kategoriye ayrılmıştır. James J. Gibson ve Eleanor Gibson 1950 yılında bilgiye dayalı algılama teorisini sunmuşlardır. Ağırlıklı olarak görsel algı üzerinde durmuşlardır. Görsel algı, inşalarda en yoğun kullanılan algı türüdür. Görme, bütün algılamanın %80 ile 90'ını oluşturur. Beyinde görsel algıya ayrılan bölümün diğer dört algıya ayrılan bölümlerin toplamından fazla olması bu durumun göstergesidir. Görsel algılama her insan için farklı olabilir. Bireylerin geliştirdikleri yönleri, kültürel birikimleri ve kişisel geçmişleri görsel algılamada farklılıklara yol açar. İki insan aynı ortam içerisinde ilgi alanları doğrultusunda farklı hareket edip, çeşitli çıkarımlar yapabilirler (Yılmaz,2004).

İnsanlar, buldukları ortamla sürekli etkileşim halindedir ve çevrelerinin önemli bir kısmını görsel olarak algırlar. Bu durum mimari mekân için de geçerlidir. Mimari mekânın büyük bir kısmı görsel olarak algılanır. Dolayısıyla mimari tasarım alanında, görsel algı ile mekânsal özellikler arasındaki etkileşim, kullanıcının inşa edilmiş bir mekânı nasıl deneyimlediğini belirlemede büyük önem taşır (Çiftçioğlu & Bittermann, 2013). Görsel algılama sürecinde, mekânı kurgulayan çok sayıda faktör bireyin algısını etkiler. Bu kurguda, mekânı oluşturan tasarım öğeleri önemlidir. Tasarım unsurları arasında yer alan form, renk, malzeme, doku, boyut ve ışık nesnenin görsel algısıyla ilişkilidir (Małgorzata & Michał, 2018). Bir nesnenin boyutu, görünürlük oranını doğrudan etkiler (Proulx, 2010). Ancak nesnelere belirli bir boyuta ulaştığında, görsel algı üzerindeki etkileri azalır ve arka plana karışmaya başlarlar. Bu durum onların görünürlüklerini ve hatırlanabilirliklerini etkiler. Burada ilginç bir paradoks gözlemlenir. Nesne boyutu ve görünürlüğü arasında bir görsel algı eşiği bulunmaktadır. Bu çalışma, iç mekanlardaki nesne boyutu ile görünürlük arasındaki karmaşık bağlantıyı araştırmaktadır. Nesnelere görsel algısı özellikle müze, sergi alanları ve perakende ortam tasarımı dikkate alınmalıdır. Görsel algı eşiği, mimari tasarım süreçlerinde önemli bir role sahiptir ve bu eşiğin nesne boyutlarına bağlı olarak nasıl değiştiğini anlamak, mimari tasarımda etkili stratejiler geliştirmede önemlidir. (Kim & Lee, 2021).

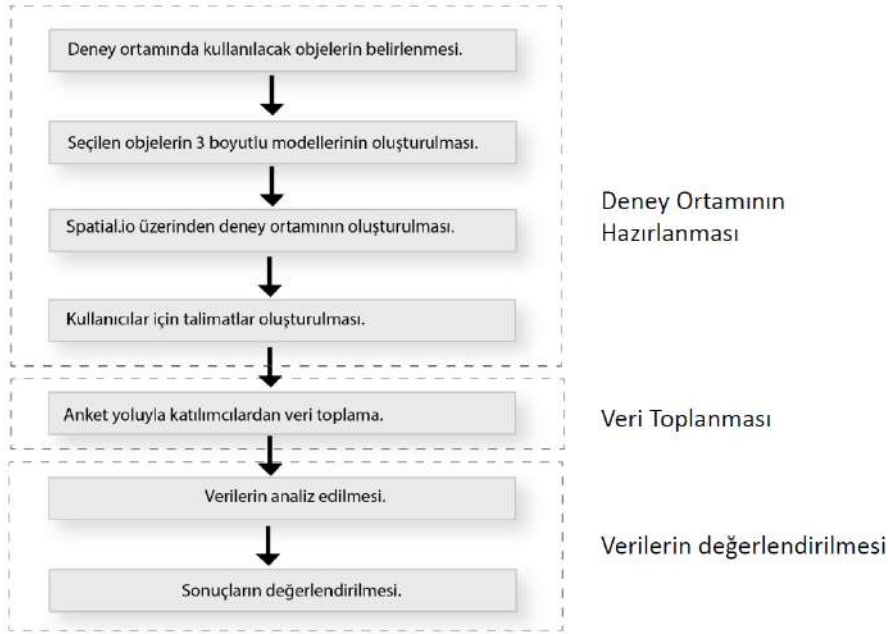
Literatürde yer alan bazı çalışmalarda renk, doku, malzeme ve ışık gibi görsel algının temel bileşenlerine odaklanarak nesnelerin mekandaki algısı incelenmiştir. Duvarlar, zeminler ve tavanlar gibi yüzeylerde renklerin etkisi üzerine yapılan araştırmalar, belirli renk seçimlerinin bir mekânın genel atmosferini nasıl değiştirdiğini ve kullanıcıların o mekânda nesnelere nasıl algıladıklarını anlamaya yardımcı olmuştur. Işık, mimari tasarımda atmosfer ve mekân algısında kritik bir unsurdur. Renk sıcaklığı, ışık yoğunluğu ve ışık kaynaklarının konumu gibi faktörler üzerine yapılan araştırmalar, mekânın hissini ve kullanıcıların nesnelere nasıl gördüklerini etkilemektedir. Bu çalışmalar, ışığın genel mekân algısını nasıl yönlendirdiğini anlamada literatüre katkı sağlamıştır (Jaglarz, 2011). Bununla birlikte, göz izleme kullanılarak perakende ortamındaki görsel algı üzerine yapılan bir çalışma, tavanlar, merdivenler ve duvarlar gibi çevredeki mimari unsurların da nesnelerin algısında etkili olduğunu ortaya koymuştur (Kim & Lee, 2020). Bu çalışmada literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak nesne boyutu ve görsel algı eşiği ilişkisine odaklanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, mimari tasarım bağlamında nesne boyutuna bağlı olarak görsel algı eşiğini ortaya çıkarmaktır. Bu genel amaca ulaşmak için, aşağıdaki araştırma sorusu belirlenmiştir: Nesnelerin arka plan nesnelere haline geldiği ve görsel algıları üzerindeki etkilerinin azalmaya başladığı eşik nedir?

## 2. Metodoloji

Bu çalışma, görsel algı eşiği ve nesne boyutu ilişkisini web tabanlı sanal gerçeklik deneyimi ile değerlendirmeyi hedeflemektedir. Çalışma metodolojisi üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar şu şekildedir; deney ortamının hazırlanması, verilerin toplanması ve son olarak verilerin değerlendirilmesi. Deney ortamı Spatial.io platformu üzerinden oluşturulmuştur.

Araştırmanın gerçekleştirilmesi için bir vaka çalışması hazırlandı ve 20-29 yaş aralığında farklı katılımcılara sunuldu. Vaka çalışması kapsamında, katılımcılardan hazırlanan talimatlar doğrultusunda tasarlanan alanı deneyimlemeleri istendi.

Vaka çalışmasının sonunda, nicel veri toplamak amacıyla yirmi altı sorudan oluşan bir anket katılımcılara uygulandı. Bu anket, deneysel ortama yerleştirilen nesnelerin hatırlanıp hatırlanmadığını ölçmektedir. Katılımcılardan gelen cevaplar, nesnelerin kenar uzunlukları, yüzey alanı ve hacim ölçüleriyle ilişkilendirilerek incelendi. Toplanan veriler analiz edildi ve farklı nesne boyutları ile görsel algı eşiği arasındaki ilişki istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirildi. Sonuçlar, araştırma sorusuna yanıt olarak sunuldu ve bulgular, literatürdeki verilerle karşılaştırıldı. **Şekil 1** iş akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 1. İş akış diyagramı.

### 3. Vaka Çalışması

Çalışmanın amacı, günlük yaşamda sıkça karşılaşılan nesnelerin sanal bir ortamda hatırlanabilirliğini ve bu hatırlama sürecinde nesnelerin boyutunun, yüzey alanının ve hacminin etkisinin incelenmesidir. Vaka çalışması, 20-29 yaşları arasındaki 50 katılımcı üzerinde gerçekleştirildi. Çalışmayı gerçekleştirmek amacıyla deney ortamı kuruldu. Katılımcılardan anket yoluyla veri toplandı ve toplanan veriler analiz edildi.







#### 3.1. Deney Ortamının Hazırlanması

Deney, günlük hayatta sıkça karşılaşılan nesnelerin Rhino programı üzerinden modellenmesiyle başladı. Deney ortamında kullanılmak üzere yirmi altı nesne belirlendi. Çalışmada boyut bağlamında görsel algıyı değerlendirmek amacıyla, görsel algıyı etkileyen malzeme ve renk faktörleri tüm nesneler için sabit tutuldu. Nesneler beyaz renkte ve malzeme özellikleri eklenmeden kullanıldı. Ayrıca, benzer formlarda nesneler seçildi. Seçilen nesneler, küçük, orta ve büyük olmak üzere üç gruba ayrıldı. Yüzey alanı  $0.8 \text{ m}^2$  ve üzeri olan nesneler büyük nesneler olarak gruplandırıldı.  $0.8 \text{ m}^2$  ve  $0.1 \text{ m}^2$  arası yüzey alana sahip nesneler orta boyutlu



nesne grubuna dahil edildi. 0.1 m<sup>2</sup>'den küçük yüzey alanına sahip nesnelere küçük boyutlu nesne grubuna dahil edildi.

Büyük nesne grubunda yedi nesne modeli oluşturuldu. Bu gruba gardırop, buzdolabı, yatak, kapı, otomat, mobil tezgâh ve fırın nesnelere dahil edildi. Orta boyutlu nesne grubunda dokuz nesne modeli oluşturuldu. Bu gruba mini buzdolabı, mikrodalga fırın, bavul, monitör, masa, televizyon, koltuk, evrak çantası ve yazıcı dahil edildi. Küçük boyutlu nesne kategorisinde on nesne modeli oluşturuldu. Bu gruba projeksiyon cihazı, kahve makinesi, kutu, dizüstü bilgisayar, klavye, içecek kutusu, kumanda, cetvel, cep telefonu ve kitap nesnelere dahil edildi. **Şekil 2** büyük boyutlu nesne grubuna ait örnek modelleri göstermektedir.

	EN	BOY	DERİNLİK	YÜZEY ALANI	HACİM
	90 cm	180 cm	62 cm	1,62 m <sup>2</sup>	0,972 m <sup>3</sup>
	61 cm	180 cm	67 cm	1,098 m <sup>2</sup>	0,735 m <sup>3</sup>
	100 cm	190 cm	30 cm	1,9 m <sup>2</sup>	0,57 m <sup>3</sup>
	90 cm	200 cm	5 cm	1,8 m <sup>2</sup>	0,09 m <sup>3</sup>
	100 cm	190 cm	90 cm	1,9 m <sup>2</sup>	1,71 m <sup>3</sup>
	80 cm	98 cm	130 cm	0,784	1,01

Şekil 2. Nesnelerin üç boyutlu modelleri.

Oluşturulan modeller, katılımcılara sunulmak üzere spatial.io platformundaki hazır mekân şablonuna yerleştirildi. Spatial.io, sanal ve artırılmış gerçeklik tabanlı bir platformdur. Sanal gerçeklik, web ve mobil ile uyumlu çalışır. Ayrıca, kullanıcılara üç boyutlu ortamlar oluşturma imkânı sunar. Kullanıcı, bir avatar seçip tasarlanan üç boyutlu ortamda gezinebilir. Kullanıcılar, sanal bir ortamda bir araya gelerek kendi avaturları aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurabilir ve birlikte çalışabilirler. Aynı zamanda platform, farklı programlar

aracılığıyla oluşturulan üç boyutlu modelleri içe aktarma olanağı sağlar. Spatial.io, üç boyutlu alanlar oluşturma fırsatı sunarken, aynı zamanda hazır mekân şablonları da içerir (Martí-Testón, Muñoz, Gracia, & Solanes, 2023). Bu çalışmada spatial.io web üzerinden kullanıldı. Deney alanı için platform içerisinde yer alan hazır şablonlardan biri olan Isle Galeri modeli seçildi. Modellenen nesnelere içe aktarılarak deney ortamına yerleştirildi. Nesnelere yerleştirirken, üç farklı kategoriye (küçük, orta, büyük boyutlu) ait nesnelere yan yana yerleştirilmesi önemliydi. **Şekil 3** kullanılan mekân şablonunu ve içe aktarılan modelleri göstermektedir.



**Şekil 3.** Spatial.io Isle galeri.

Tasarlanan deneysel ortamda kullanıcıların gezinmesi için talimatlar oluşturuldu. Kullanıcılara tura başlamadan önce avatari nasıl kontrol edeceklerini açıklayan talimatlar verildi. Katılımcılardan ilk olarak ileriye doğru hareket etmeleri, ardından sağa dönmeleri, tekrar ileriye doğru hareket etmeleri ve tekrar sağa dönerek turu tamamlamaları istendi. Tur öncesinde, katılımcılara avatari nasıl kontrol edecekleri anlatıldı ve tura başlamadan önce test etmeleri istendi. Bu aşamadan sonra deney başlatıldı. Sanal tur, kullanıcının avatari yönlendirme hızına bağlı olarak 45 ile 60 saniye arasında sürdü. **Şekil 4** ve **Şekil 5** deney ortamından alınmış örnek sahnelerdir. Bu aşama tamamlanarak veri toplama aşamasına geçildi.



Şekil 4. Deney ortamı.



Şekil 4. Deney ortamı.

### 3.2. Veri Toplama

Deneyin ardından, kullanıcılardan veri toplamak için yirmi altı soruluk bir anket hazırlandı. Bu ankete, her nesnenin görüntüsü yerleştirildi ve kullanıcılara ilgili nesneyi hatırlayıp hatırlamadıkları soruldu. Cevap seçenekleri olarak "Hatırlıyorum" ve "Hatırlamıyorum" seçenekleri eklendi. Her nesne için bir soru bulunmaktadır. Örnek bir soru ve cevap seçeneği şu şekildedir: "Görüntüdeki nesnenin deney ortamında olduğunu hatırlıyor musunuz?". Sanal turun sona ermesinden on beş dakika sonra kullanıcılara hazırlanan

anket yönlendirildi. Anket Google Form üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirildi. **Şekil 6** örnek bir anket sorusunu göstermektedir. Bu aşamadan sonra toplanan veriler analiz edildi.

Deney ortamında görseldeki nesnenin olduğunu hatırlıyor musunuz?



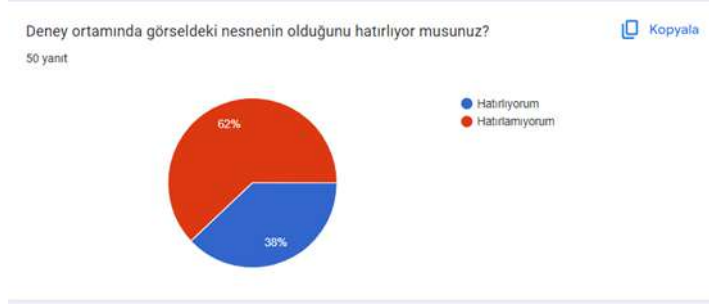
Hatırlıyorum

Hatırlamıyorum

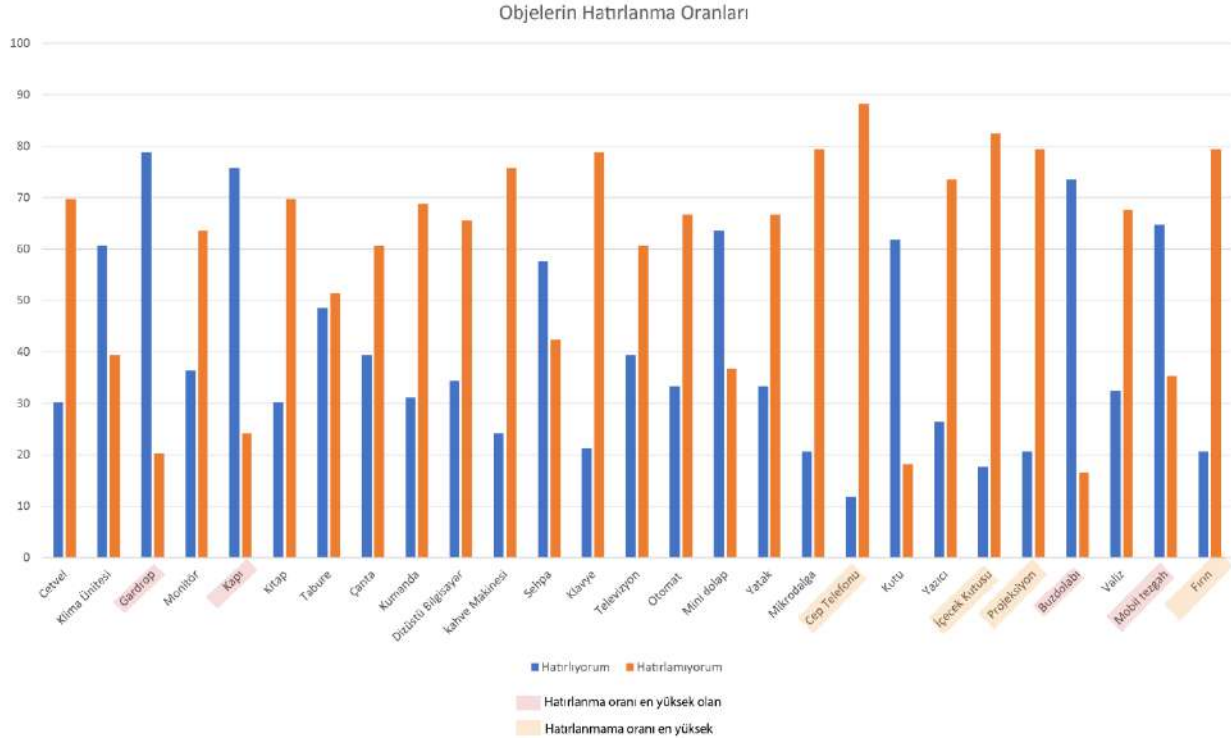
**Şekil 6.** Anket sorusu örneği.

### 3.3. Verilerin Analizi

Anket sonrasında, her bir nesne için "Hatırlıyorum" ve "Hatırlamıyorum" seçeneklerinin seçilme oranları elde edildi. Bu oranlar bir Excel tablosuna aktarıldı. En çok ve en az hatırlanan nesnelere belirlendi. **Şekil 7** monitör nesnesi için hatırlanma oranını göstermektedir. En yüksek hatırlanma oranına sahip dört nesne sırasıyla gardırop, kapı, buzdolabı ve mobil tezgâh olarak belirlendi. En yüksek hatırlanmama oranına sahip nesnelere ise sırasıyla cep telefonu, içecek kutusu, fırın ve projeksiyon cihazı olarak belirlendi. **Şekil 8** her nesne için hatırlanma ve hatırlanmama oranlarını gösterir.

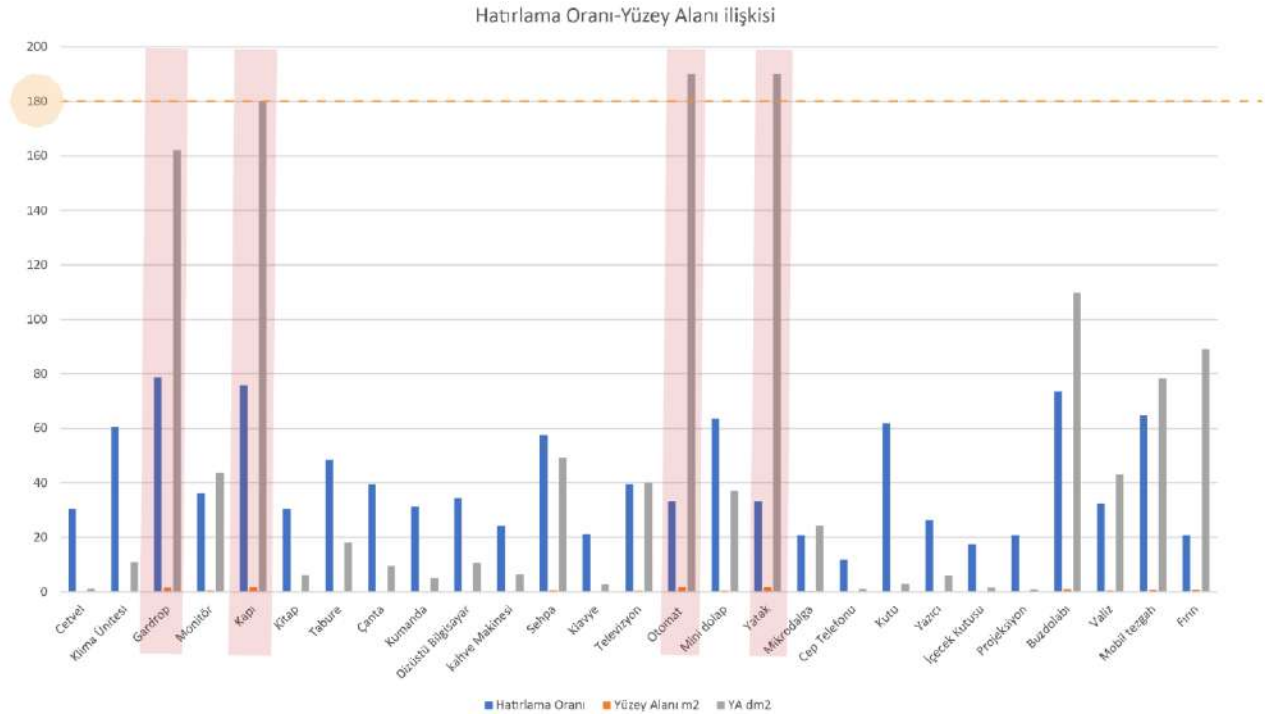


Şekil 7. Monitör için cevap oranını gösteren grafik.



Şekil 8. Hatırlanma ve hatırlanmama oranı grafiği.

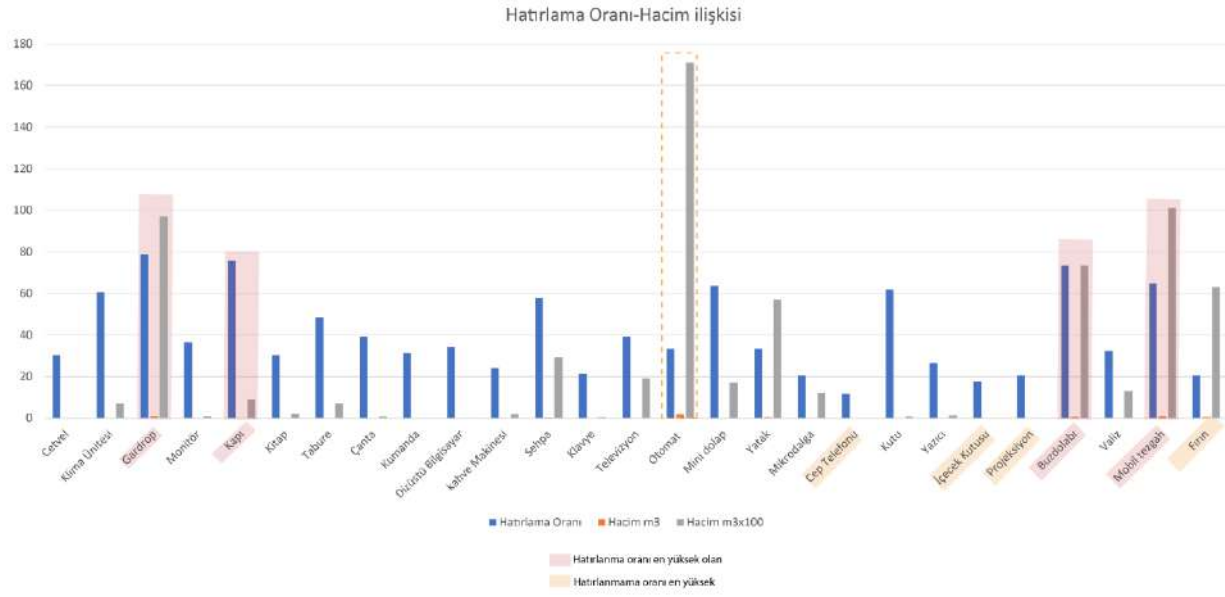
Çalışmanın devamında, nesnelerin hatırlanma oranları ile yüzey alanı ölçümleri arasındaki ilişki belirlemek için bir sütun grafiği oluşturuldu. **Şekil 9** hatırlanma oranı ve yüzey alanı ilişkisi grafiğini göstermektedir. Bu grafiğe göre küçük yüzey alanına sahip nesnelere daha düşük hatırlanma oranlarına sahiptir. Nesnelerin yüzey alanı arttıkça hatırlanma oranının arttığı gözlemlenmiş olsa da bu durum her nesne için geçerli değildir. Örneğin, en büyük yüzey alanına sahip olan yatak ve otomat nesnelerinin en yüksek dört hatırlanma oranı içinde olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, nesnenin yüzey alanının eşik değeri aşması ve görsel algı üzerindeki etkisinin azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Bir istisna ise fırın nesnesinde görülmüştür. Fırın, büyük nesne grubunda olmasına rağmen, hatırlanma oranı düşüktür.



**Şekil 9.** Hatırlanma oranı-yüzey alanı ilişkisi grafiği.

İkinci olarak, nesnelerin hacimleri ile hatırlanma oranları arasındaki ilişki incelendi. En büyük hacme sahip nesnelere otomat, mobil tezgâh, gardırop ve buzdolabıdır. Mobil tezgâh, gardırop ve buzdolabı nesnelerinin hatırlanma oranlarının yüksek olduğu gözlenirken, otomat nesnesinin hatırlanma oranı oldukça düşüktür.

Küçük hacimli cep telefonu, içecek kutusu ve projeksiyon nesnelerinin de düşük hatırlanma oranlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Fırın nesnesi küçük bir hacme sahip olmamasına rağmen hatırlanma oranı düşüktür. Kapı nesnesi küçük bir hacme sahip olmasına rağmen hatırlanma oranı yüksektir. Bu nesnelere örneklem dışında tutulduğunda, küçük hacme sahip nesnelerin hatırlanma oranının düşük, büyük hacme sahip nesnelerin ise hatırlanma oranının yüksek olduğu sonucuna varılabilir. **Şekil 10** hatırlanma oranı ve hacim ilişkisini göstermektedir. Hacim ile hatırlanma oranı arasındaki ilişki, yüzey alanı ile hatırlanma oranı arasındaki ilişkiye benzer. Ancak, yüzey alanı ve hatırlanma grafiğinde daha net ilişkiler gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Hatırlanma oranı-hacim ilişkisi grafiği.

#### 4. Sonuçlar

Mimarlık alanında, görsel algı ile mekânsal unsurlar arasındaki karmaşık etkileşimi anlamak, yapılı çevrede kullanıcı deneyimini şekillendirmek açısından son derece önemlidir (Çiftçioğlu & Bittermann, 2013). Bu çalışma, iç mekanlardaki nesne boyutu ile görsel algı arasındaki ilişkiyi keşfederek, nesnelere belirli bir boyuta ulaştığında ortaya çıkan karmaşık ilişkiyi çözmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, nesne boyutu, hatırlama ve görünürlük arasındaki ilişkinin incelendiği görsel algı eşiğini ortaya koymaktadır. Bu eşiğin tanınması, mimari



tasarım sürecinde nesnelerin görsel algısını artıran etkili stratejilerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, spatial.io kullanılarak bir vaka incelemesi gerçekleştirildi. Katılımcıların nesnelere hatırlama düzeyinin, nesnelerin yüzey alanı ve hacim ölçüleriyle ilişkisi bir anket aracılığıyla belirlendi. Elde edilen sonuçlar, farklı nesne boyutları ile görsel algı eşiği arasındaki ilişkiyi aydınlatmaktadır. Çalışmada, daha büyük yüzey alanına ve hacme sahip nesnelerin genellikle daha yüksek hatırlama oranlarına sahip olduğu belirlendi. Bununla birlikte büyük yüzey alanına veya hacme sahip olmasına rağmen hatırlanma oranı düşük olan nesnelere de gözlemlenmiştir. Özellikle otomat ve yatak nesnelerinin düşük hatırlanma oranlarına sahip olması dikkat çekicidir. Bu araştırma, mimari tasarımda nesne boyutunun görsel algı üzerindeki etkisi üzerindeki önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, müze, perakende ortamları ve sergi alanları gibi geliştirilmiş görsel algının önemli olduğu mekanların tasarımlarının araştırılmasında literatüre katkı sağlamaktadır.

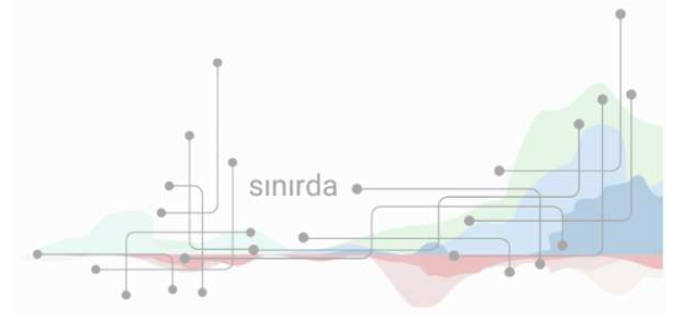
### Teşekkür

Bu çalışmanın erken aşamalarında, Doç.Dr. Sema Alaçam tarafından İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nde "Modelling Visual Perception of Timevarying Scenes Using Likelihood" başlığı ile yürütülen projenin önemli katkısı olmuştur. Ayrıca geri dönüşleri için İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı 2023-2024 Güz yarıyılı MBL596 Bilimsel Araştırma, Etik ve Seminer dersi yürütücülerine teşekkür ederim.

### KAYNAKLAR

- Çiftçioğlu, O., & Bittermann, M. S. (2013). Fusion of perceptions in architectural design. Stouffs R., Sarıyıldız S., eCAADe 2013: Computation and Performance—Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Delft, The Netherlands, Faculty of Architecture, Delft University of Technology; eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe). <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2013.2.335>
- Jaglarz, A. (2011). Perception and illusion in interior design. Stephanidis, C. In Universal Access in Human-Computer Interaction. Context Diversity: 6th International Conference, UAHCI 2011, Held as Part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011, Proceedings, Part III 6 (pp. 358-364). Springer Berlin Heidelberg.
- Kim, N., & Lee, H. (2021). Assessing consumer attention and arousal using eye-tracking technology in virtual retail environment. *Frontiers in Psychology*, 12, 665658. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.665658>
- Kim, N., & Lee, H. (2020). Visual attention in retail environments: design analysis using HMD based VR system integrated eye-tracking. Holzer, D., Nakapan, W., Globa, A. & Koh, I. In 25th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2020 (pp. 631-640). The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2020.1.631>

- Martí-Testón, A., Muñoz, A., Gracia, L., & Solanes, J. E. (2023). Using WebXR Metaverse Platforms to Create Touristic Services and Cultural Promotion. *Applied Sciences*, 13(14), 8544. <https://doi.org/10.3390/app13148544>
- Proulx, M. J. (2010). Size matters: large objects capture attention in visual search. *PloS one*, 5(12), e15293. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015293>
- Shynu, R. V., & Suseelan, A. (2023). Human cognition and emotional response towards visual environmental features in an urban built context: a systematic review on perception-based studies. *Architectural Science Review*, 66(6), 468-478. <https://doi.org/10.1080/00038628.2023.2232339>
- Yılmaz, Ö. (2004). Mimari Mekanda Görsel Algı ve Manipülasyon İlişkilerinin İrdelenmesi. (154575) [Master's thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>



## OTURUM 2 |

Yapı Bilgi Modellemesi, Akıllı ve Sürdürülebilir Malzemeler

**Oturum Başkanı**  
**Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU**

# Otel İşletmelerinde Varlık ve Mahal Yönetimi için BİM Destekli Tesis Yönetimi Uygulaması

Emre AKDENİZ<sup>1</sup> ; Salih OFLUOĞLU<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>BİMfarm; <sup>2</sup>Antalya Bilim Üniversitesi

<sup>1</sup>emre@bimfarm.net; <sup>2</sup>salih.ofluoglu@antalya.edu.tr

## Özet

*Bu çalışma, Tesis Yönetimi (TY) ve Yapı Bilgi Modellemesi (BİM) entegrasyonunu ele alarak, bu teknolojilerin kurumsal yönetim faaliyetlerine sağladığı katkıları incelemeyi amaçlamaktadır. İnşaat endüstrisindeki uygulama süreçlerini daha etkin hale getirmek amacıyla kullanılan Yapı Bilgi Modelleme çalışma biçimi, tesis yönetimi faaliyetleriyle birlikte uygulanmaya başlamıştır. Bu entegrasyonun işletmelerdeki varlık ve mahal yönetimlerine katkısı önemli bir araştırma konusudur. Bir lisansüstü bir araştırmanın parçası olarak gerçekleştirilen bu çalışma, BİM ve TY'nin birlikte kullanımına odaklanmakta, bu faaliyetlerin birbirleriyle uyumlu bir şekilde nasıl çalışabileceğine, aralarında veri aktarımında dikkat edilmesi gereken unsurlara ve sektördeki uygulama örneklerine yer veren literatür araştırmalarına değinmektedir. Çalışmada BİM ve tesis yönetimi entegrasyonunun test edildiği İstanbul Beyoğlu ilçesinde 200 yataklı ve 4 yıldızlı bir otel binasına bir vaka çalışması dahil edilmiştir. Makalede, vaka çalışması için seçilen işletmede halihazırda yürütülen geleneksel Tesis Yönetimi uygulamalarının dijitalleşmesini sağlamak amacıyla kullanılan veri toplama yöntemleri hakkında bilgiler verilmiş ve Tesis Yönetimi faaliyetleri dahilindeki mahal ve varlık yönetimi uygulamalarına altlık hazırlanabilmesini sağlayan yapı bilgi modelleme süreci hakkında açıklamalar yapılmıştır. Varlık yönetimi kapsamında takibi yapılan cihazların belirlenmesi, cihazlara ait semantik verinin yapı bilgi modeline girilmesi, cihazlara poz numaraları tanımlanması ve periyodik bakım programının kâğıt belgeleme ortamından alınarak dijital ortama aktarılma işlemlerinden bahsedilmiştir. Çalışmada, BİM verisinin tesis yönetimi amaçlı kullanılmasında halen üçüncü parti bir programlama ekibi tarafından geliştirilmekte olan DigiTwix adlı bir yazılımdan faydalanılmıştır. Yazılımın uygulandığı otel işletmesinde çalışan personelle geleneksel tesis yönetimi faaliyetleri ile önerilen dijital versiyonu arasındaki farkı kıyaslamak amacıyla mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Mülakatlar değerlendirildiğinde BİM destekli Tesis Yönetimi uygulamasının geleneksel yöntemlere kıyasla işletme için daha faydalı olduğu görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Tesis yönetimi, yapı bilgi modellemesi, BİM, varlık yönetimi, mahal yönetimi.

# The Use of BIM-Supported Facility Management For Asset and Space Management in Hotel Buildings

Emre Akdeniz<sup>1</sup> ; Salih Ofloğlu<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>BIMfarm; <sup>2</sup>Antalya Bilim Üniversitesi

<sup>1</sup>emre@bimfarm.net; <sup>2</sup>salih.ofluoglu@antalya.edu.tr

## Abstract

*This study aims to examine the integration of Facility Management (FM) and Building Information Modeling (BIM) and explore the contributions of these technologies to corporate management activities. Building Information Modeling, which is used to make the application processes in the construction industry more efficient, has started to be applied together with facility management activities. The contribution of this integration to asset and space management at organizations is an important research topic. This study, which is a part of a postgraduate research, focuses on the concepts of BIM and facility management, how these activities can work in harmony with each other, the stages to be considered in data transfer between the two concepts, the process of uploading the space and asset data in the facility to the BIM environment, and literature research that includes application examples in the building sector. The study also includes a case study of a 200-bed 4-star hotel building in Istanbul Beyoğlu district where the integration of BIM and facility management was tested. In the article, information is given about the data collection methods used to digitize the traditional Facility Management practices currently carried out in the business selected for the case study, and explanations are given about the building information modeling process that provides the basis for the space and asset management applications within the Facility Management activities. Within the scope of asset management, the processes of identifying the devices that are tracked, entering the semantic data of the devices into the building information model, defining pose numbers for the devices and transferring the periodic maintenance program from the paper documentation environment to the digital environment were mentioned. In the study, a software called DigiTwix, which is currently being developed by a third party programming team, was used for the use of BIM data for facility management purposes. Interviews were conducted with the staff working in the hotel company where the software was applied in order to compare the difference between traditional facility management activities and the proposed digital version and the results obtained are included. As a result of the evaluation of the interviews, it was seen that BIM supported Facility Management application was more beneficial for the business compared to traditional methods.*

**Keywords:** Facility management, FM, BIM, asset management, space management.

## 1. Giriş

Bir yapı veya işletme, genellikle belirli bir amacı yerine getirmek üzere tasarlanır ve inşa edilir. Bu amaç çoğu kez işlevsel ve finansal verimlilik üzerine kuruludur. Ancak, bir tesisin bu hedefleri gerçekleştirememesi durumunda, mal sahibi için ciddi zararlar doğabilir ve tesisin yaşam döngüsünün devamı imkânsız hale gelebilir. Bu nedenle, herhangi bir yapı veya işletmenin varlığını sürdürebilmesi ve etkili bir şekilde çalışabilmesi için periyodik bakım, onarım ve işletme programlarına ihtiyaç vardır. Bu süreçte, tesisin yönetim politikası ve işletme kuralları, tasarımın erken aşamalarından başlanarak tasarıma yön verilmelidir; yapının mimari ve mühendislik projeleri, tesisin işletilebilmesini kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır.

İnşaat endüstrisinde, paydaşların bir araya gelerek ortak bir dijital platformda çalışması esasına dayanan BIM veya Türkçedeki karşılığı ile Yapı Bilgi Modellemesi 1970'lerde ortaya çıkmıştır (Eastman ve ark., 1974). Başlangıçta BIM, ağırlıklı olarak yapıların dijital ortamda grafik ve alfa-sayısal özellikleri ile bütünsel olarak 3 boyutlu üretimine odaklanırken ilerleyen yıllarda paydaşlar arası bilgi paylaşımı ve disiplinler arası iş birliği gibi temel özellikleri hedefler hale gelmiş ve devamında inşaat sektöründeki dijital dönüşümü yaygınlaştıracak önemli bir unsur olarak görülmeye başlanmıştır (buildingsmart, 2021). Günümüzde BIM, tasarım, proje yönetimi, sürdürülebilirlik, tesis yönetimi, iş güvenliği ve endüstriyel imalat gibi birçok süreci kapsamaktadır.

Tesis Yönetimi (TY) insan yaşamı ve üretkenliğini geliştirme amacı güden bir ortamda insanları, mahalleri ve görevleri bir araya getiren bir yönetim işlemidir (IFMA, 2023). Tesis yönetimi geçmişte sadece yapıların kendisi, çevredeki varlıklar ve tesis içi tefriş ve ekipmanların bakımı gibi konuları kapsamaktaydı. Ancak, Sanayi Devrimi ile birlikte tesislerin yapılarına ısıtma, havalandırma, aydınlatma ve asansör gibi elektromekanik sistemler de dahil edilmiş ve tesis yönetimi kavramı daha geniş bir perspektife ulaşmıştır (Becker, 1991). Uluslararası Tesis Yönetim Derneği - IFMA tesislerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamak için 12 tesis yönetimi yetkinliği önermektedir (IFMA, 2022). Finans ve İş, İşletme ve Bakım, Liderlik ve Strateji, Proje Yönetimi, İletişim, Verim ve Kalite, Bilgi ve Teknoloji Yönetimi, İnsan Faktörü, Emlak ve Mahal Yönetimi, Risk Yönetimi, Çevresel Yönetim ve Sürdürülebilirlik olarak belirlenmiştir (**Şekil 1**).



Şekil 1. IFMA Yetkinlikleri (IFMA, 2022).

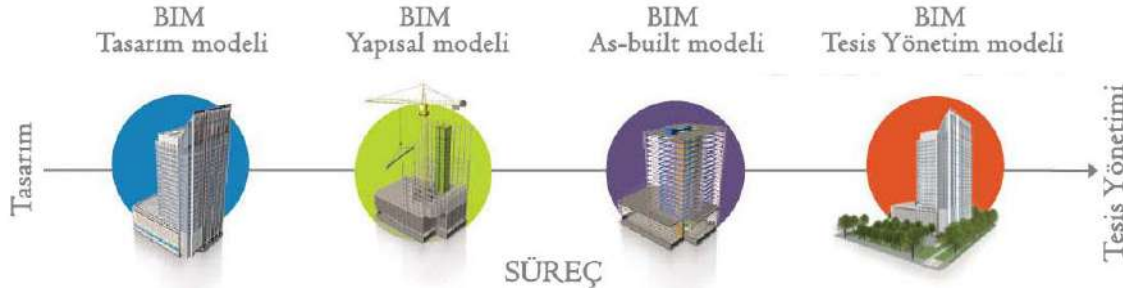
BİM'in tesis yönetimi ile entegrasyonu, bu yetkinliklere destek vererek ve geleneksel yönetim uygulamalarına yeni bir yaklaşım getirerek, tesislerin en yüksek verimlilik düzeyine ulaşmasına yardımcı olmayı amaçlar. Bu şekilde, tesislerin işlevselliği, sürdürülebilirliği ve verimliliği artırılabilir, mal sahipleri için daha iyi getiriler elde edilebilir ve işletmelerin uzun vadeli başarısı sağlanabilir.

### 1.1. BİM ve Tesis Yönetimi (TY)

BİM, projelendirme sürecindeki iş yükünün hafifletilmesi ve zaman kazanabilme amacıyla önerilen bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarda, dijital ortamda proje çizimi yapılabilmesi amacıyla bazı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Eastman ve ark., 1974). Bu örneklerde, yapılan her bir revizyon için tüm kat planları, kesitler ve cephelerde ayrı ayrı düzenlemeler yapılması gerekiyordu. Charles Eastman ve ekibi tüm yapı modelinin kendini tek seferde güncelleyebilmesini sağlamak için araştırmalar yapmışlardır (Eastman ve Henrion, 1977). Bu fikir zaman içinde geliştirilerek bir yapı projesindeki tüm gerekli verinin, yapının dijital ortamdaki modeline yazılabilmesi mümkün hale gelmiştir. Sonuç olarak, bu uygulamadan fayda sağlayacak Tesis Yönetimi dahil tüm alanlar ile bilgi modelinin paylaşılması ve kullanılabilirliği mümkün hale gelmiştir.

BİM, yapının inşaatı sonrasında da yaşam döngüsü boyunca, bina bilgilerini oluşturma, sürdürme ve yapıdan veri alma aşamalarında kullanılması sayesinde paydaşlara faydalar sağlar. Mahal yönetimi, bakım ve onarım, enerji verimliliği, bina güçlendirme, tadilat ve nitelikli yaşam döngüsü yönetimi gibi işlemler yaşam döngüsü

yönetimi kapsamında yer alır. Bu faaliyetlerin bina henüz tasarım aşamasındayken planlanabilmesi BIM ile mümkün olabilmektedir (Schley ve ark., 2016). Yapı tasarımının erken evrelerinde başlayan ve uygulama projesine evrilen yaşam döngüsünde elektrik, mekanik, acil durum senaryoları türündeki tasarım bileşenlerine ait verilerin yapı bilgi modeline yüklenmesi, tesis yönetimi faaliyetlerine altlık hazırlanmasını sağlamaktadır (Şekil 2). Bu bina yaşam dönüşü sürecinde BIM, yapının hizmete açıldıktan sonra işletme verimliliği açısından da önemli maddi tasarruf ve kazançlar sağlayabilmektedir (Eastman ve ark., 2018).



Şekil 2. BIM-Tesis Yönetimi modeli süreci (Schley ve ark., 2016).

BIM, bir modeldeki varlıkların diğer nesnelere olan ilişkilerini barındırmaktadır. Örneğin, bir klima ünitesi monte edileceği duvarla, bir hidrant pompası ise su beslemesini alacağı depo ünitesi ile ilişkili olmalıdır. Bu bağlantılar hem geometrik hem de geometrik olmayan, semantik verilerle oluşturulur ve yapı bilgi modeli olarak tesis yönetimi faaliyetleri için temel sağlar (Teicholz, 2013a). Yapının işletme aşamasına geçmeden önce varlık ve mahal yönetimi için kullanılacak yapı bilgi modelinin gerekli faaliyetleri karşılayabilmesi için gerekli verilerin girişle olgunlaştırılması gerekmektedir. Bir tesis yönetim sisteminin BIM ile bağlantısını kurabilmek için öncelikle işletme yönetimine ait bileşenleri belirlemek önemlidir. Bu bileşenler şu şekilde sıralanabilir (Hoang ve ark., 2020):

- **Yapının Günlük İşletme Faaliyetleri:** Bina ekipmanlarının sorunsuz bir şekilde çalışması ya da arızalı olması halinin anlık olarak değerlendirilmesi şeklinde ifade edilebilir. Bina ekipmanlarının durumları, IoT cihazları aracılığıyla BIM ve fiziksel model arasında bağ kurularak gerçek zamanlı izlenebilir ve uzun süreli veri depolaması sayesinde öngörülebilir bakım yapılabilir, bu da yönetim seviyesini yükseltir; bina güvenlik performansını artırır ve acil durumlara karşılaşma olasılığını azaltır (Hoang ve ark., 2020).



- **Enerji Yönetimi:** Enerji harcamasıyla ilgili verilerin toplanmasını ve analizini kolaylaştırarak TY sürecine yardımcı olurken, aynı zamanda yapı çevresinin yönetimi ve kontrolü, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin yönetimi ile tüketilen enerji miktarının ölçülmesi faaliyetlerini de yerine getirir (Shalabi ve Turkan, 2015).
- **Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm:** Üretim ve tüketim işlemlerinden sonra insan sağlığı ve çevreye zararlı maddelerin toplanması, depolanması ve geri dönüştürülmesini BIM uygulamalarıyla yürütülebilmektedir. Çevreye zararlı kimyasal maddeler incelenmeli ve kayıt altına alınmalı, yapım-söküm aşamasında uygun şekilde bertaraf edilmelidir (Ge ve ark., 2017).
- **Gayrimenkul Yönetimi:** Tesis Yönetimi uygulamaları, gayrimenkul yönetimi ve bakım süreçlerini kapsayarak yaşam döngüsü boyunca yapılarda maliyet tasarrufu sağlamayı hedefler ve bu süreçleri IT ve dijitalleştirme olmadan gerçekleştirmek verimli değildir (Koch ve ark., 2023). BIM entegrasyonu sayesinde kuruluşlar, kiralanabilir alanların yönetiminde, kira gelirlerinin kontrolünde ve gereksiz kullanımın azaltılmasında büyük kolaylıklar elde ederler (Hoang ve ark., 2020).
- **İletişim ve Haberleşme:** BIM sürecinde paydaşlar arasında verimli bilgi paylaşımı için etkin iletişim şarttır ve projelerde BIM kullanımı ile uzman ekiplerin yer alması gerekmektedir. Disiplinler arası bilgi akışı sağlamak için kaliteli veri girişine ve veri aktarma yeteneğine sahip bir veri tabanı oluşturulması gereklidir (Manzanares ve ark., 2023).
- **Taşıma Yönetimi:** BIM yaklaşımı, yeni projeler kadar mevcut tesislerin taşınmasında da kullanılabilir ve altyapı projelerinde veri eksikliğinden kaynaklanan gecikmeleri önleyerek kesintisiz hizmet sağlar (Vilventhan ve ark., 2021). Ayrıca, taşınacak tesislerin BIM ortamında planlanması, varlıkların kodlanması ve taşıma rotalarının belirlenmesi süreçlerini kolaylaştırır (Onyenobi ve ark., 2010).
- **Acil Durum ve Mesai Sürekliliği:** BIM, üç boyutlu veri barındırması sayesinde bir binanın acil durum müdahale gereksinimlerini analiz etmeye ve planlamaya yardımcı olur. Endişe duyulan alanlar için simülasyonlar hazırlanabilir, kaçış koridorları incelenebilir ve acil durum müdahale gereklilikleri önceden belirlenebilir, böylece bina yönetiminde acil durum yetenekleri geliştirilebilir (Teicholz, 2013a; Hoang ve ark., 2020).
- **Bakım ve Onarım:** Bilgisayar-destekli TY’de kullanılan Bakım Yönetimi, Varlık Yönetimi ve entegre Tesis Yönetimi olarak tanımlanan yönetim sistemleri kullanılır. Bu sistemlerin etkin kullanımı için disiplinler arası iş birliği ve doğru veri girişi önemlidir. Bakım ve onarım faaliyetleri bir tesisin bütçesinin büyük bir kısmını oluşturur (NIST, 2004). BIM-destekli işletme ve bakım faaliyetleri, Önlenebilir ve Öngörülebilir Bakım uygulamalarına fayda sağlamaktadır (Teicholz, 2013b).

- **Güvenlik Yönetimi:** Acil durumlarda gereken önlemlerin alınması işlemidir. BIM, güvenlik planlarının oluşturulması ve simülasyonlar yapılması için yapıya özgü bilgileri tek bir modelde toplar (Garzia ve Lombardi, 2018). Böylece karmaşık sahaların nasıl görüneceği ve insanların nasıl hareket edeceği gibi önemli bilgileri sunar (Garzia, 2016).
- **Çoklu Yönetim Faaliyetleri:** BIM, eksiksiz ve güncel veri tabanı sağlayarak tesis yönetimi süreçlerini tüm paydaşlar için kolaylaştırır ve hızlı çözümler sunar (Hoang ve ark., 2020). Bu sayede planlanan uygulamalar daha kısa sürede çözülür, sürdürülebilirlik önlemleri alınır ve çeşitli yönetim hizmetleri sağlanır (Eastman ve ark., 2018b).

## 1.2. BIM ve Tesis Yönetimi Odaklı Mevcut Çalışmalar

BIM ve Tesis Yönetimi entegrasyonu ile ilgili BIM'in tasarım ve yapım gibi alanlarda kullanımına göre daha sınırlı bir literatür bulunmaktadır. Aşağıda yer alan çalışmalar bu entegrasyonu okul, havalimanı ve üniversite binaları üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarla bu makaledeki takip edilen araştırmanın içermiş olduğu konuların benzerliği ve ayrıldıkları noktalar aşağıda belirtilmiştir.

Bu kapsamdaki bir çalışma BIM-destekli bakım-onarım yönetiminin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Tayvan'daki bir okul binasında yürütülen bu çalışmada, BIM kullanımını bakım aşamasına kadar genişletmek ve teknik tesis yönetimi için tek bir veri havuzu oluşturmak amaçlanmıştır. Bir yapı bilgi modeli oluşturulmuş ve kullanılan BIM yazılımına özel bir ara yazılım (API) tasarlanmıştır. Bakım sürecini renk kodlarıyla ifade edilen varlıklar 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Bu çalışma, 3 boyutlu görselleştirme, varlık modellemesi, bakım yönetimi ve belge yönetimi konularında bu makalede anlatılan konularla benzerlik gösterirken, enerji sarfiyatı ve mahal yönetimi konularını kapsamamaktadır (Su ve ark., 2011).

Diğer bir çalışmada, büyük ölçekli MEP projelerinde BIM uygulamasını teşvik etmek için çeşitli model ve teknikler önermektedir. Çin'deki Kunming Changshui Uluslararası Havalimanı konu alan çalışmada, yapı bilgi modeli ve dijital bir iş programı oluşturulmuştur. Teknik tesis yönetimi için özel bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım, varlık tanımları, performans gereksinimleri, işletme ve bakım planları, elektro-mekanik cihazlar arasındaki ilişkiler ve ekipmanların çalışma durumunu yönetmektedir. İnşaat süreci ve tesis yönetimine hazırlık aynı iş programında yürütülmüş, projeler altı farklı detaylandırma ölçeğinde teslim edilmiştir. Bu çalışma, varlık modelleme, bakım-onarım ve mahal yönetimi konularında bu makale konuları ile benzerlik gösterirken, farklılık olarak çalışmada dijital tesis yönetiminin işletme için sağladığı faydalar yer almamaktadır (Hu ve ark., 2016).

Başka bir çalışma, BIM'in görselleştirme ve birlikte çalışabilirlik özelliklerini kullanılarak bakım yönetimi için veri kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada bina enerji ve otomasyon sistemlerinin yönetiminin sağlanması ile cihaz arızalarının tespiti ve acil onarımı hedeflenmektedir. Bu yönüyle, varlık ve bakım-onarım yönetimi açısından bu makaledeki vaka çalışması ile benzerlik taşımaktadır (Shalabi ve Turkan, 2016). Ancak çalışma hasarlı ekipmanın müdahalesine odaklanırken, bu makaledeki araştırmanın konularından olan tesis için enerji tüketimi ölçümünü içermemektedir.

BIM ve tesis yönetimi birlikte kullanımı araştıran bir başka çalışmada, Georgia Tech Üniversitesi Engineered Biosystems binasında BIM-destekli Tesis Yönetimi'nin pilot uygulamasıdır. Bu çalışmada, BIM ve Tesis Yönetimi entegrasyonunda karşılaşılan zorluklar incelenmiş ve gelecekteki çalışmalar için sistematik bir araştırma çerçevesi önerilmiştir. Bilgi modeli oluşturmak için farklı BIM araçları kullanılmıştır. Tesis Yönetimi için bir yazılım kullanılmış ve BIM-destekli Tesis Yönetimi'nin faydaları incelenmiştir (Pishdad-Bozorgi ve ark., 2018). Çalışma takip edilen adımların anlatımına odaklanmaktadır, yukarıda yer alan ikinci araştırma gibi uygulanan yaklaşımın tesis için sağlamış olduğu faydalar ölçülmemiştir.

## 2. Tesis Yönetimi, Otel ve BIM Entegrasyonu

Tesis Yönetimi faaliyetleri, çoğunlukla belirli bir büyüklük sınırına sahip yapılarda tercih edilmektedir. Örneğin, bir ailenin ikamet ettiği tek bir konut veya birkaç kişinin işlettiği küçük ölçekli bir ticari işletme için tesis yönetim sistemleri kurmaya ihtiyaç duyulmayabilmektedir. Buna karşılık, çok sayıda çalışanın bulunduğu ofisler, üretim tesisleri, rezidanslar, oteller gibi konaklama binaları, kamu yapıları ve benzeri büyüklükteki işletmelerde tesis yönetimi, işletmenin operasyonlarının düzgün bir şekilde gerçekleştirmesi için gereklidir.

Bir denetim ve kontrol şekli olarak kabul edilmeye başlayan tesis yönetimi faaliyetleri için 1960'lı yıllardan itibaren bilgisayarlar kullanılmaya başlanmıştır. Bir tesisteki varlıklara ait bakım-onarım, envanter kaydı ve iş emirlerinin girilmesi şeklinde yürütülen bu sistem, zamanla *Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemi* biçimine dönüşecek olan CMMS (Computerized Maintenance Management System) uygulamalarının başlangıcını oluşturmaktadır. 2000'li yılların başlarından itibaren de grafik bilgilerin de dahil olduğu farklı konularda daha kapsamlı tesis yönetim yazılımları kullanılmaya başlamıştır (Aziz ve ark., 2016).

Tesis Yönetimi ve BIM'in birlikte kullanımı ve ilgili standartlara göre uygulanması çoğunlukla 2010'lu yıllarda başlamıştır. Genel anlamda Tesis Yönetimi standartlarını kapsayan ISO41000 serisi, tüm Varlık Yönetimi şartlarını barındıran ISO55000 standardı ve tüm BIM çalışma biçimini tarifleyen ISO19650 serisi bir araya getirilerek ortak bir Tesis Yönetimi ve BIM iş birliği hedeflenmiştir. Yapı bilgi modelinin Tesis Yönetimi

yazılımlarında kullanılmak üzere hazırlanması işlemlerinde, ortak model formatı IFC (Industrial Foundation Classes - *Endüstri Temel Sınıfları*) ve inşaat projesindeki TY için faydalı veriyi tablo formatında toplayabilen COBie (Construction Operation Building Information Exchange – İnşaat İşletme Yapı Bilgi Dönüşümü) temelli açıkBIM uygulamalarından faydalanılabilmektedir (buildingsmart, 2024).

Bu çalışmanın konusu olan otel yapıları, sahip olduğu yoğun müşteri sirkülasyonu nedeniyle dikkatli yönetilmesi gereken yapılardır. Çok sayıda kişinin giriş çıkış yapması, bu kişilere sunulan hizmet ve konfor koşullarının eksiksiz ve kesintisiz sağlanması gibi hizmetler, doğru planlanmış ve yürütülen bir tesis yönetimi ile mümkün olabilir. Konaklama ve ağırlama hizmetlerinin verildiği bir işletme tipinde başlıca faaliyetler aşağıda sıralanmıştır (Magee, 1988):

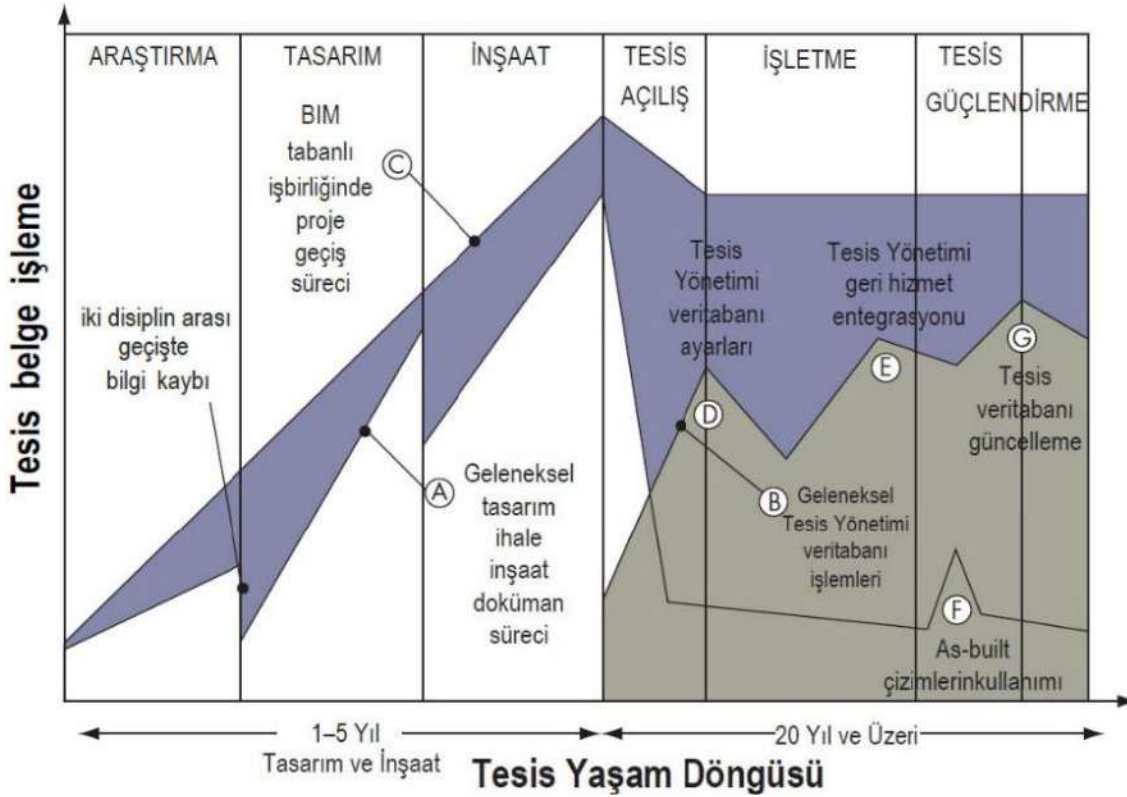
- Günlük oda hizmetlerinin ve temizlik faaliyetlerinin düzenli olarak devam ettirilmesi,
- Arızalara hızlıca müdahale edilmesi,
- Varlıkların ömrünü uzatmak için periyodik bakım programlarının planlanıp uygulanması,
- Bakım sorunlarına sürekli olarak etkili çözümler geliştirilmesi,
- Tesiste her açıdan güvenli ve güvenilir bir ortam oluşturup, en ekonomik şartlarda işletilmesinin sağlanması,
- Tüm servis, bakım faaliyetleri ile enerji sarfiyat maliyetlerinin net bir şekilde izlenebilmesi

Yukarıdaki faaliyetlerden günlük oda bakımı ve temizlik faaliyetleri, arızaların tanımlanması ve hızlıca müdahale edilmesi, varlık ömürlerinin uzatılmasını amaçlayan bakım programı düzenlenmesi, enerji harcamalarının takibi ve güvenlik hizmetleri için BIM destekli tesis yönetimi uygulamaları özellikle faydalı olabilmektedir.

### 2.1. Tesis Yönetimi için Veri Aktarımı

Tesis yönetimi alanında önemli sorunlardan biri, tesisin öğeleriyle ilgili yeterli içerik ve formattaki bilgiye erişimdir. Çoğunlukla projelerde tasarım, projelendirme ve uygulama sürecinde oluşturulan veriler, tesisin işletmeye açılma aşamasında, etkin yönetilebilmesi için yeterli kapsam ve kalitede aktarılamamaktadır (Eastman ve ark., 2018). Bu nedenle, işletme sürecinde, tesisle ilgili önemli veriler tekrar oluşturulmak zorunda kalınmakta, hem zaman, hem işgücü açısından verimsizliğe sebep olabilmektedir. **Şekil 3**'te, tesisin yaşam döngüsü boyunca belge işleme yoğunluğunu gösteren bir grafik yer almakta olup, geleneksel proje yönetimi ile BIM tabanlı proje yönetim yaklaşımlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Süreç ilerledikçe, geleneksel proje yönetimi izlendiğinde, Araştırma, Tasarım ve İnşaat aşamaları arasındaki her bilgi aktarımında kayıplar meydana geldiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, en büyük kaybın Tesis Açılış

aşamasında olduğu dikkat çekmektedir. Bu aşamada, Tesis Yönetimi için gerekli bilgi düzeyi yaklaşık olarak planlama evrelerinden olan Araştırma aşamasındaki seviyeye düşer ve her bir alan ile her bir varlık yeniden tanımlanmak zorunda kalır. Tesis yeterli bilgi düzeyine ulaşana kadar tesisin verimli çalışması için gerekli veri elde edilemez. Grafikte (A) ile işaretlenen kırık çizgi, her bir safha geçişindeki veri kayıplarını göstermekte iken (C) ile tanımlanan sürekli çizgi ise BIM çalışma biçiminin uygulandığı projeleri ifade etmektedir. Yapı bilgi modeli kullanımlarının etkin olduğu proje süreçlerinde, İnşaat ve Tesis Açılış safhaları arasındaki veri kaybı en aza inmektedir.



Şekil 3. Tesis yaşam döngüsü geleneksel ve BIM yöntem karşılaştırması (Eastman ve ark., 2018).

Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan, kısa adı NIST olan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün 2004 yılına ait bir raporu tesis yaşam döngüsünde veri kaybının en büyük nedeninin, proje paydaşlarının birlikte çalışabilirlik konusunda yetersiz olmasıdır. Raporda, mimarlar, mühendisler, yükleniciler, taşeronlar, tedarikçiler, işverenler ve işletmecilerden oluşan paydaşlar grubunun birlikte çalışamamaları nedeniyle, ABD'de meydana gelen maddi kaybın 15.8 milyar dolar olarak hesaplandığı belirtilmektedir (NIST, 2004). Ayrıca, NIST raporunda, imalat durumunu gösteren ve bakım faaliyetleri için gerekli olan uygulama projelerinin genellikle teslim edilmediği vurgulanmıştır; tesisin durumu, bakım-onarım bilgileri ve tesisin mali durumu hakkında bilgi edinmenin zorluğuna dikkat çekilmiştir.

### 3. Vaka Çalışması

Yukarıda belirtildiği gibi BIM ve tesis yönetiminin birlikte kullanımı önemli faydalar sağlamaktadır. Ancak bu bütünleşmenin sağladığı avantajları gerçek yapılar üzerinde inceleyen uygulamalar sınırlıdır. Bu çalışma BIM'in tesis yönetimi ile bütünleştirme sürecini, İstanbul'da bulunan 200 odalı ve dört yıldızlı bir otel işletmesi üzerinden değerlendirmektedir. Belirli bir büyüklükteki bir yapının yapı bilgi modelinin oluşturulması, işletmenin faaliyetlerine BIM ve tesis yönetimi entegrasyonunun sağlanması ve faydalarının saptanmasının uzun zaman alması sebebiyle çalışmada tek bir vaka kullanılabilmiştir.

Bu makalenin altlığını oluşturan tez araştırmasının başladığı 2021 yılı içerisinde, vaka çalışmasında BIM-destekli Tesis Yönetimi yaklaşımının uygulanabileceği uygun bir yapı arayışına girilmiştir. İhtiyaç duyulan binanın bir Tesis Yönetimi yazılımına gereksinim duyması, yeterli verinin toplanabilmesi için çok küçük bir işletme olmaması, tez çalışması kapsamında değerlendirilebilmesi için çok büyük ve karmaşık olmaması, tercih kriterleri arasında tutulmuştur. Orta büyüklükte, kullanıcı sayısının ve sirkülasyonun yüksek olduğu tesisler öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Bu seçenekler göz önünde bulundurularak, kısa adı UTTMD olan Uluslararası Teknik Tesis Müdürleri Derneği ([www.uttmd.org](http://www.uttmd.org)). ile iletişime geçilmiş ve yönlendirme talep edilmiştir. UTTMD yönetimi, vaka çalışması gerçekleştirilen otel işletmesini önermiştir.

Araştırmada yer alacak tesis belirlendikten sonra tesis hakkında veri toplama aşamasına geçilmiştir. Araştırmada öncelikli olarak otelin mimari, elektro-mekanik ve işletmesi ile ilgili özellikleri incelenmiştir. Seçilen otel işletmesi, tesis yönetimi amacıyla geleneksel yöntemler ve belirli işlevlerde kullanılan bazı yazılımlardan faydalanmaktadır; tesis bünyesinde herhangi bir BIM kullanımı ve farklı faaliyetleri kapsayan bütünsel bir tesis yönetimi yazılımı bulunmamaktadır.

### 3.1. Vaka Çalışması Aşamaları

Çalışma aşağıdaki adımları takip edilerek gerçekleştirilmiştir:

1. İşletmenin mahal ve varlık yönetimi ile ilgili ihtiyaçları ve kullanmış olduğu yöntemlerin etüt edilmesi,
2. Otel binasına ait mimari ve elektro-mekanik unsurlarını içeren BIM modellerinin geliştirilmesi,
3. Tesis yönetiminin BIM modeli ile bütünleşik gerçekleştirilmesine imkân verecek olan bir uygulamanın belirlenmesi,
4. İşletmede BIM ile bütünleşik tesis yönetimi süreçleri ile ilgili etkinliği test edecek görev senaryolarının belirlenmesi
5. İşletme ihtiyaçlarına uygun olarak özelleştirilen tesis yönetimi yazılımının önceki maddede tanımlanan senaryolarda uygulanması
6. İşletme personeli ile BIM ile bütünleşik tesis yönetimine ait memnuniyeti ölçen mülakatların yapılması

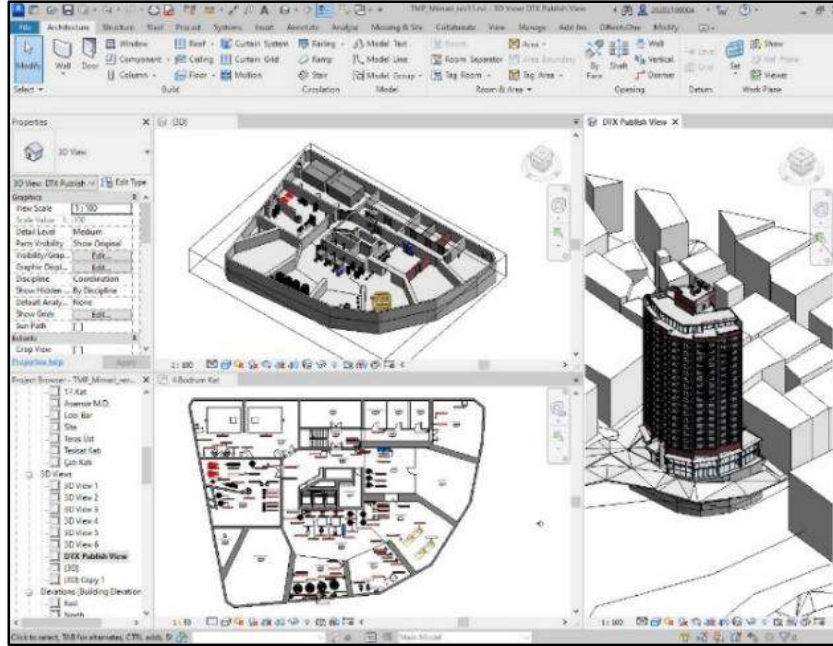
Birinci aşamada otel yönetimi ile görüşmeler yapılarak tesis yönetimi sırasında kullandıkları yöntemler hakkında bilgi alınmıştır. Mahallerin yönetiminde takip edilen senaryo, işletmedeki varlıkların listesi, bu varlıkların hangi birimlerin kapsamında oldukları ve yönetim-bakım faaliyetlerinde izlenen adımlar öğrenilmiştir. İşletme ve bakım amacıyla kullanılan bilgisayar veya mobil yazılımlar hakkında bilgi edinilmiştir. Bu bilgiler önerilecek dijital tesis yönetimi yaklaşımının otel işletmesine ne tür faydalar sağlaması gerektiği konusunda altlık oluşturmuştur.

İkinci aşamada, otel binasının yapı bilgi modelinin hazırlanması sağlanmıştır. Bu süreçte binaya ait mimari ve elektro-mekanik sisteme ait CAD formatlı bilgiler edinilmiştir. Gerekli durumlarda binada ilgili mahallerde fiziki olarak mahallerde gözlemler yapılmıştır (**Şekil 4**).



Şekil 4. Otele ait CAD formatlı plan bilgileri.

Mahal Yönetimi uygulamaları için tüm yapıdaki mahallere ait kat, konum, alan, kullanım tipi, kiralama ve işletme için gereken bilgiler tespit edilmiştir. Çalışmanın BIM tabanlı yaklaşımı olması sebebiyle, geometrik veri toplanmış, bina modeli oluşturulmuş, mahallere pozlar atanmıştır (**Şekil 5**). Varlık Yönetimi için elektromekanik varlıklar, özel ekipmanlar ve mobilyalar olmak üzere üç kategori oluşturulmuştur. Tüm varlıklara ait marka, model, görev, tip, işlev, adet, bağlı olduğu sistem, hizmet ettiği mahal ya da sistem ve konumlandığı mekânlar belirlenerek poz numaralarına işlenmiştir (**Şekil 6**). Yapı yerinde incelenerek projelerde yer almayan mahaller ve varlıklara ait bilgiler güncellenmiştir. Hatalı ve eksik veriler tamamlanarak Yapı Bilgi Modeli mevcut kullanımına en yakın durumuna (as-built) getirilmiştir. Çalışmada, sektördeki yaygın kullanıma sahip olması ve çok sayıda tesis yönetimi yazılımı tarafından veri transferine izin vermesi nedeniyle, yapı bilgi modellemesi süreçlerinde Autodesk Revit yazılımı tercih edilmiştir. BIM ve TY entegrasyonunda farklı ticari yazılımlar ve açıkBIM formatlı seçenekler de kullanılabilir.



Şekil 5. Otel binasına ait yapı bilgi modeli.



KONU	Tip	Model	Güçü	Garanti	Sıcaklık	Kapasite (Kcal/h)
ALT ZONE AKÜMÜLASYON TANKI	BAR	ATA 1004	5 BAR	2016	50c	1000 LT
ORTA ZONE AKÜMÜLASYON TANKI	BAR	ATA 1004	7 BAR	2016	53c	1000 LT
ÜST ZONE AKÜMÜLASYON TANKI	BAR	ATA 1004	10 BAR	2016	53c	1000 LT
YEDEK AKÜMÜLASYON TANKI	BAR	ATA 1004	0 BAR	2016	0	1000 LT

Properties

akumulasyon\_tanki\_ATA1004\_etaboylu

Mechanical Equipment (1)

Constraints

Level: 4.Bodrum Kat

Elevation from Level: 0,00

Host: Level: 4.Bodrum Kat

Offset from Host: 0,00

Moves With Nearby Elements:

Electrical - Loads

Panel:

Circuit Number:

Mechanical

System Classification:

System Name:

Mechanical - Flow

Critical Path:

Identity Data

Image:

Comments: 10 BAR / Sıcaklık 53°C / Garanti 2016

Mark: Üst Zone (9/17 Katları)

TAG: TMP-MEC-PLU-HEA-4B14-006-ATM-003

DT\_Classification: Mechanical Equipment

DT\_RevisID: 1948948

DT\_RecomInfo:

DT\_Last Periodic Maintenance:

DT\_Maintenance Period:

DT\_Next Periodic Maintena...:

Phasing

Phase Created: New Construction

Phase Demolished: None

IFC Parameters

IFC Predefined Type:

Properties help

Apply

Project Browser - TMP\_Mimar\_rev11.rvt

Type Properties

Family: akumulasyon\_tanki\_ATA1004\_etaboylu

Type: akumulasyon\_tanki\_ATA1004\_etaboylu

Type Parameters

Parameter	Value
Constraints	
Default Elevation	0,00
Set	
Scale	1.000000
Mechanical	
Classification	(None)
Identity Data	
Capacity (Kapasite)	1000 LT
Mark	
Product Type (Tip)	BAR
Type Image	
Keynote	
Model	ATA 1004
Manufacturer	
Type Comments	
URL	
Description	
Assembly Code	
Cost	
Assembly Description	
Type Mark	
OmniClass Number	23.75.10.11.14.34
OmniClass Title	Steel Water-Tube Boilers
Code Name	

What do these properties do?

<< Preview OK Cancel Apply

Şekil 6. Bakım amacıyla varlıklara ait bilgilerin modele girişinin yapılması (akümülayon tankı).

Üçüncü aşama, BIM ve TY'nin bütünleşik çalışabilmesine izin veren bir yazılımın seçilmesi ile ilgilidir. Ticari veya açıkBIM yaklaşımına sahip farklı yazılımlar incelenmiştir. Çalışmaya uygun olabilecek ve geliştirilmesinde gerekli esnekliği sağlayabilecek hazır bir yazılım bulunamamıştır. Halihazırda geliştirilme sürecinde olan ve bu süreç için gerçek bir vaka arayışında olan, DigiTwix (www.digitwix.com) isimli yazılımın ekibiyle görüşülmüş ve birlikte çalışma kararı alınmıştır. Türkiye'den bir ekip tarafından geliştirilen bu yazılım, otel işletmesinin TY ile ilgili ihtiyaçlarına yönelik özel uygulamaların yaratılmasına imkân vermiştir (**Şekil 7**).



Şekil 7. DigiTwix ekranı.

Dördüncü aşamada, işletmenin halihazırda yürüttüğü tesis yönetim şekillerinin, önerilen tesis yönetimi yazılımında karşılık bulması üzerinde çalışılmıştır. Otelde devam eden temizlik ve düzen işlemleri mahal yönetimi kapsamındadır ve seçilen yazılımda otelin mahal temizliğinde kullandığı kontrol formları yazılıma aktarılmıştır. Ayrıca, teknik servis biriminin elektro-mekanik cihazlar için gerçekleştirdiği bakım takvimi, kontrol faaliyetleri ve işletme düzeni, otel personelinin alışık olduğu biçimde DigiTwix yazılımında karşılık bulacak şekilde dönüştürülmüştür.

Beşinci aşamada, tesis yönetimi yazılımının otel işletmesinin çalışma formatına göre düzenlenmesi belli bir aşamaya getirilmiş; bilgisayar veya mobil cihazlardan İnternet'e bağlanarak Web üzerinden çalışabilmeleri

sağlanmıştır. Personelin Temizlik Takibi, Arıza Kaydı, Varlık Bakımları, Enerji Kullanımı ve Karbon Ayak İzi ile ilgili belirtilen görevleri deneyimlemesi sağlanmıştır.

Altıncı aşamada, otel personelinden seçilen 8 kişi tarafından 6 ay boyunca belli dönemlerde deneyimlenen DigiTwix yazılımının, personel ve işletme üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi amacıyla mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Anket yanıtları değerlendirilerek uygulamadaki eksiklikler tespit edilmiştir. Departmanlar arası iletişim, raporlama, bilgi akış hızı ve içeriği gibi unsurların dijitalleştirilmiş ve iyi kurgulanmış bir Tesis Yönetimi yaklaşımı ile giderilebileceği anlaşılmıştır.

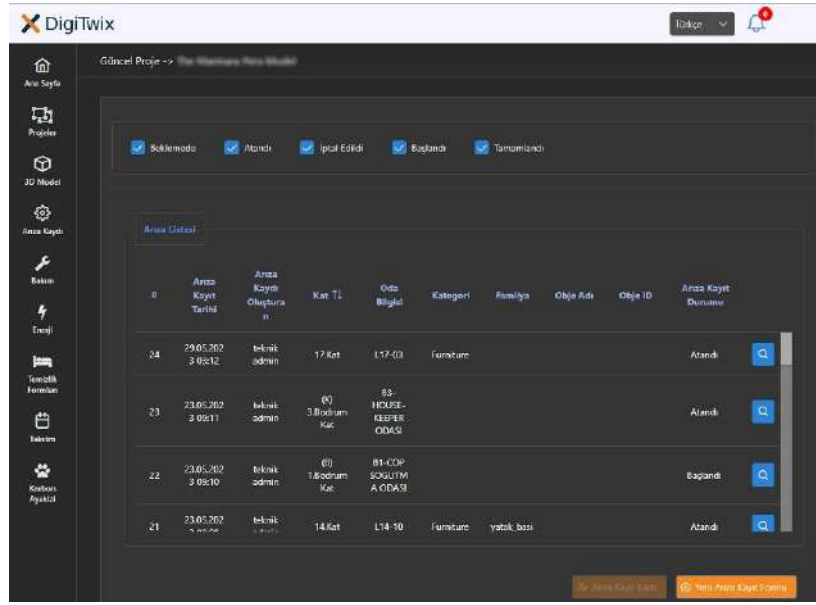
### 3.2. Tesis Yönetimi Yazılımı (DigiTwix)

Yukarıda anlatıldığı gibi, çalışma için geliştirilme aşamasında olan DigiTwix yazılımı seçilmiştir. Yazılımın Autodesk tabanlı BIM araçlarıyla entegre çalışması ve kullanıcıların bilgisayar, tablet veya cep telefonları ile Web üzerinden sisteme giriş sağlaması olumlu yönde katkı sağlamıştır.

Başlangıçta yalnızca Üç boyut model ortamı, Arıza kaydı ve Bakım faaliyetleri için özellikler DigiTwix yazılımında mevcutken, otel yönetiminin talepleri ile Enerji tüketim kontrolü, Karbon ayak izi tespiti ve Kat temizliği kontrolü gibi özellikler programa dahil edilmiştir. Teknik Tesis Müdürlüğü ve temizlik hizmetleri sağlayan Oda hizmetleri birimleriyle yapılan görüşmeler ve geri beslemeler yardımıyla Tesis Yönetimi yazılımı belirli bir kullanılabilirlik seviyesine ulaşmıştır; otel tarafından halen deneme süreci devam etmektedir. Yazılımda aşağıdaki modüller bulunmaktadır:

#### 3.2.1. Arıza Kaydı Modülü

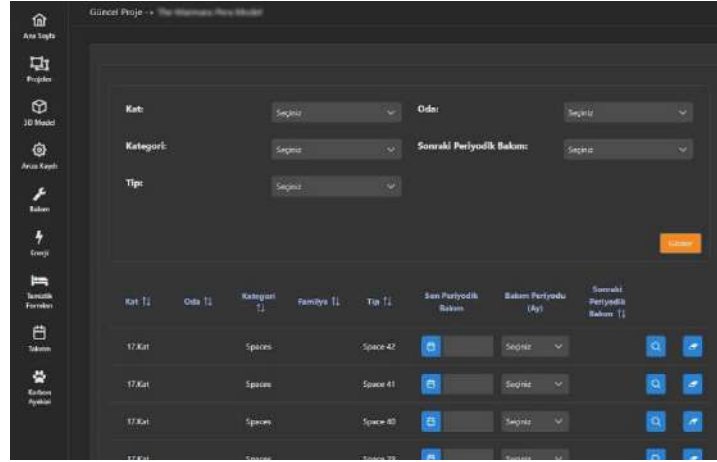
Bu özellik, tesiste meydana gelen bir arızanın sisteme kaydedilmesini sağlar. "Yeni Kayıt" ve "Arıza Listesi" olmak üzere iki sekmeden oluşur; ilki yeni bir arızanın eklenmesini, ikincisi ise devam eden sorunların görüntülenmesini sağlar. Kullanıcı, karşılaştığı veya kendisine bildirilen bir arızayı sisteme kaydedebilir ya da henüz tamir edilmemiş arızalar hakkında bilgi alabilir. Yazılıma erişimi olan her personel arıza kaydı girebilir. Sisteme girilen her kayıt için ilgili yöneticiye e-posta ile anında bildirim yapılır ve yönetici istediği personele iş ataması yaparak onarım sürecini başlatabilir (**Şekil 8**).



Şekil 8. DigiTwix Arıza kaydı modülü.

### 3.2.2. Bakım Modülü

Bu bölümden, tüm varlıkların güncel ve geçmiş bakım bilgilerine erişim sağlanabilir. Ayrıca, varlıklara tanımlanmış periyodik bakımlar da bu pencereden görüntülenebilir (Şekil 9). Bu modüle yer alan filtreleme özelliği sayesinde, seçilen kat veya varlık kategorisine göre benzer alanlar veya varlıklar listelenebilir. Seçilen bir varlık için herhangi bir periyodik bakım kaydı girilmişse, bu da görülebilir. Ayrıca, kullanıcı, arızalı ekipmanı veya arızalı cihazın bulunduğu alanı görmek isterse, sağ tarafta bulunan büyüteç simgesini kullanarak 3 boyutlu olarak izleyebilir.



Şekil 9. DigiTwix Bakım modülü.

### 3.2.3. Enerji Modülü

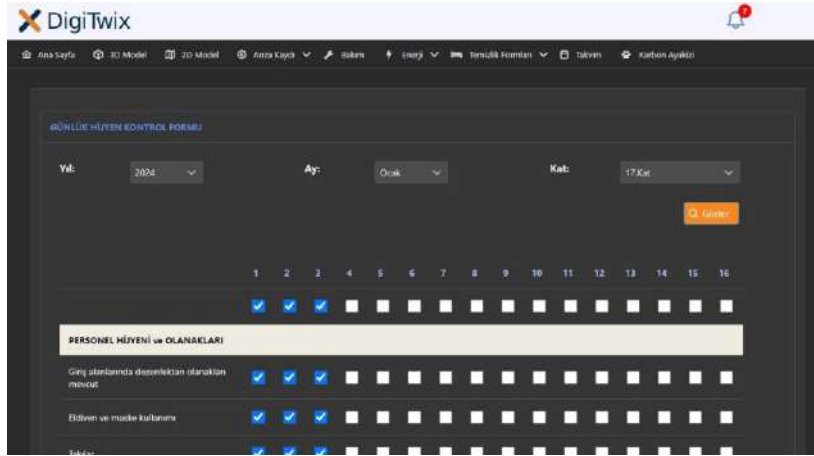
Enerji bölümünde, yapıda kullanılan tüm enerji kaynaklarına ait günlük ve aylık sayaç okuma seçenekleri bulunmaktadır. Enerji sayaç okumaları günlük olarak gerçekleştirilerek sisteme girilir (Şekil 10). Elektrik, su, doğal gaz ve mazot olmak üzere dört farklı unsurun tüketimi takip edilmektedir. Bu veriler, listeleme ve grafik olarak ifade edilmekte, tesis yöneticisi ve ilgili personelin kontrolüne sunulmaktadır. Böylece, işletme bünyesinde tüketim kontrolü sağlanabilmektedir.

Tarih	Elektrik Sayaç Okuma (kWh)	Kapasite (kWh)	Yıllık Tüketim (kWh)	Peak Tüketim (kWh)	Kapasite Tüketim (kWh)	%20 Limit Oran	%15 Kapasite Oran	Limit
01.08.2023	37714	317	1850	6400	0	400	0	180400
02.08.2023	37728	317	1851	6800	0	400	0	204600
03.08.2023	37742	317	1852	6400	0	400	0	201333
04.08.2023	37764	317	1852	6800	0	0	0	204600
05.08.2023	37781	317	1853	6800	0	400	0	202040

Şekil 10. DigiTwix Enerji modülü.

### 3.2.4. Temizlik İşlemleri Modülü

Mahal Yönetimi faaliyetlerini kapsayan bu uygulama, oda katları ve yapının genelindeki temizlik ve düzen görevlerinin kontrol formlarını içermektedir. Otelin Oda hizmetleri olarak isimlendirilen temizlik ve düzen departmanına hizmet eden bu özellik, yapıdaki tüm alanların temizlik süreçlerinin izlenmesini ve Oda hizmetleri şeflerinin raporlama yapmasını kolaylaştırmayı hedeflemektedir (**Şekil 11**). Personel hijyeni, temizlik kimyasallarının kontrolü, haşere ilaçlama kontrolü, tek kullanımlık ürünleri kapsayan buklet malzemeleri kontrolü gibi formları barındırmaktadır.



Şekil 11. DigiTwix Temizlik modülü.

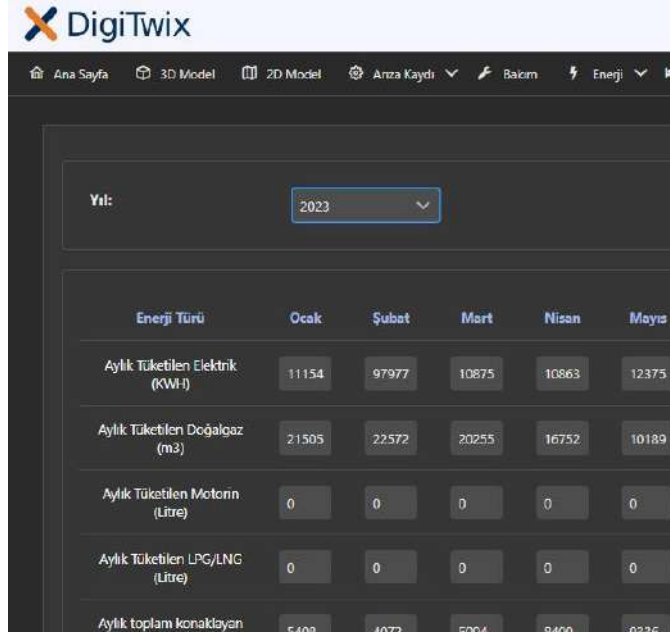
Temizlik personeli, rutin işlerini tamamladıktan sonra tesis tarafından kendilerine verilmiş bir tablet ya da şahsi mobil telefonları ile yazılımdaki formda işaretleme yaparak sonucu rapor edebilmekte, mahale gidip imza atmakla zaman kaybetmemekte ve kâğıt harcamalarının azaltılabilmektedir. Bu uygulama kullanıma hazır olmasına rağmen henüz faaliyete geçmemiştir.

### 3.2.5. Takvim Modülü:

Takvim bölümü, Varlık Yönetimi kapsamındaki tüm anlık veya periyodik bakımı yapılacak cihaz, ekipman ve mobilyaların kontrol programını içerir. Yetkili müdür veya şef tarafından planlanan bakım tarihleri, takvim üzerinde anlaşılır bir şekilde gösterilmektedir. Ayrıca, bakım faaliyetlerine katılacak personel ve yöneticilere e-posta ile bilgilendirme yapılır. Varlık bakım takibi, varlığın özelliklerine göre günlük, haftalık ve aylık olarak gerçekleştirilebilmektedir (**Şekil 12**).



ve sıfır karbon çalışmaları başlatılmıştır (Sungur, 2023). Bu kapsamda, hazırlanan Karbon Ayak İzi ölçümleri yıllık olarak bu kuruluş ile paylaşılmak üzere hazırlanmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. DigiTwix Karbon Ayak İzi modülü.

#### 4. Mülakat ve Değerlendirme

Otel personelinden seçilen 8 kişi ile, altı ay boyunca belirli dönemlerde deneyimledikleri BIM-Bütünleşik Tesis Yönetimi yaklaşımının çalışanlar ve işletme üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla mülakatlar yapılmıştır. 23 sorudan oluşan mülakatlarda, personelin yazılım hakkındaki görüşleri değerlendirilmiştir. Yanıtlarının analizi sonucunda, çalışanların mevcut çalışma sistemlerinde birtakım iyileştirmelere gereksinim duyulduğu ortaya çıkmıştır. Ön Büro, Rezervasyon, Kat Hizmetleri, Teknik Servis gibi departmanlar, kendi bünyelerinde yalnızca kendi çalışma sistemlerine uygun iş düzenleri geliştirmişler ve zamanla bu düzenlerin dijital ortamdaki karşılıklarını edinerek devam etmişlerdir.



Mülakat sonuçlarına göre, departmanlar arası iletişimi sağlayan bir sistemin eksikliği hissedilmektedir. Her disiplin yalnızca kendi içindeki dahili sistemine ait bir çalışma düzeni kurmuş ve diğer disiplinlerle gerçekleştirmesi gereken iletişimi ancak kişiler üzerinden sözle, telefonla ya da mesaj veya e-posta yoluyla yürütmektedir. Personel, bu iletişim noktalarında kopmalar yaşandığını belirtmiştir. Örneğin, Rezervasyon biriminin bir misafir hakkında oda hizmetleri birimine iletmesi gereken özel bir bilgi, zamanında verilmediğinde veya hiç iletilmediğinde Kat Hizmetleri bölümünde karışıklık yaratabilmekte ve hatta misafirin memnuniyetsizliği veya otel tercihinin değişmesine sebep olabilmektedir. Bu tür bilgi akışlarının hataya yol açmaması için kişiler yerine bir yazılım aracılığıyla yürütülmesi gerektiği anlaşılmıştır. Dijitalleştirilmiş ve iyi tasarlanmış bir Tesis Yönetimi yaklaşımının bu sorunları çözebileceği düşünülmektedir.

Bahsedilmesi gereken bir diğer konu ise enerji tüketimidir. BIM-destekli yaklaşımın otel tarafından kullanılmasından önce, enerji tüketimi takibi, sayaç okumalarının düzenli olarak yapılması ve Excel tablolarına işlenmesi şeklinde gerçekleştirilmekteydi. Bu yöntemin gelişmiş bir sistem olmadığı ve daha nitelikli bir çalışmaya ihtiyaç duyulduğu, Teknik Servis bölümü tarafından belirtilmişti. Vaka çalışması süresince, Tesis Yönetimi yazılımına bu yönde bir özellik eklenmiş ve sayaç takibinin yazılım üzerinden yapılması sağlanmıştır. Ayrıca enerji takip değerleri grafiklerle izlenebilir hale getirilmiştir. Tesis Yönetimi yazılımına ait özelliklerin kullanım sıklıkları incelendiğinde, enerji takibi özelliğinin en verimli şekilde kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu, enerji takip özelliğinin otel Teknik Servis bölümüne fayda sağladığını ve bu nedenle yazılımın bu özelliğinin işletme tarafından benimsenmiş olduğunu göstermektedir. Böylece daha ayrıntılı ölçümler yapılabilecek ve tesisatta bir kaçak varsa fark edilebilecektir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Vaka çalışması için seçilen işletmede, BIM-destekli Tesis Yönetimi yaklaşımına ait veri toplama faaliyetleri 2021 yılı Eylül ayında başlamış olup, bu makalenin yazıldığı 2024 yılı Mayıs ayında hala pilot uygulama olarak devam etmektedir. Yazılımı deneyimleyen otel personelinin talepleri, bu çalışanların uygulama ile ilgili olumlu beklentiler taşıdığını ortaya koymaktadır. Otel için yapılan çalışmaların ve personel görüşlerinin değerlendirilmesi sonucunda, BIM-destekli Tesis Yönetimi yaklaşımının işletme bünyesinde ilgi çektiği, bazı beklentilere cevap verdiği ve daha da geliştirilmesi için umut vaat ettiği sonucuna varılmıştır.

BIM-destekli Tesis Yönetimi yaklaşımını deneyimleyen katılımcılara göre, seçilen yazılımın tesise katkıları aşağıda sıralanmıştır:

- **İş Takibi:** Personelin sorumluluğunda olan görevlerin takibini kolaylaştırmaktadır. Özellikle kâğıda not olarak veya baskı yaparak kontrol edilen işlerde dijital yöntemlerin kullanılması, programlı bir çalışmayı sağlayarak unutmaya veya erteleme olasılığını ortadan kaldırmaktadır.
- **Arıza ve Bakım:** Özellikle Teknik Servis hizmeti veren birime büyük fayda sağlamaktadır. Arızanın sisteme kaydedilmesi, onarım için görevlendirilen personelin 3B desteği ile cihazı kolaylıkla bulabilmesi, 3B model üzerinden cihazla ilgili tüm dijital bilgi ve belgelere erişebilmesi, periyodik bakımların unutulmadan takibi, dışarıdan destek alınan servisler için otomatik e-posta yoluyla iletişim imkânı sağlaması gibi özellikler tesis yönetimine önemli katkılar sunmaktadır.
- **Arşiv Takibi:** Sisteme girilen her bir mahal ve varlık kaydı süresiz olarak saklanmakta olup, eski tarihli bir veriye ulaşmada herhangi bir sorun yaşanmamaktadır.
- **Tablo ve Rapor Hazırlama:** Düzenli olarak tablo ve rapor hazırlanan görevlerde, istenen formattaki çıktıyı dijital olarak sunabilmektedir. Tesiste halihazırda kullanılan belgeleme formatının elektronik ortamda servis edilmesi, personele zaman kazandırmaktadır.
- **Malzeme Takibi:** Tesis genelinde kullanılan sarf malzemeleri, temizlik malzemeleri, kırtasiye ve yedek parça gibi her tür malzemenin kaydı ilgili birimlerce tutulmakta ve bu sayede kesin bir envanter takibi yapılmaktadır.
- **Kâğıt Belge Tasarrufu:** Bir Tesis Yönetimi faaliyetinin kâğıt belgeler kullanılarak takibi, sunumu ve arşivlenmesi gibi eylemlerin sona ermesini sağlamaktadır. Tüm çalışma dijital ortamda yapıldığından, kâğıt belge arşivlemesine gerek kalmamaktadır. Böylece hem maddi hem de alan tasarrufu sağlanmaktadır.

Anket sonuçları ve katılımcı ifadeleri değerlendirildiğinde, teknoloji ve yazılım desteği ile geleneksel yönetim yöntemleri yerine dijital ve özellikle BIM-destekli Tesis Yönetimi uygulamalarının işletmelere fayda sağlayacağı sonucuna varılmaktadır.

## TEŞEKKÜR



Bu çalışmaya destek vererek vaka çalışmasının gerçekleşmesine katkı sağlayan Uluslararası Tesis Teknik Müdürleri Derneği yönetim kurulu üyeleri Ali Güler ve Umut Çelik'e; DigiTwix yazılımının çalışmada kullanımını mümkün kılan Erkan Şahin ve Sercan Duyar'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Aziz, N.D., Nawawi, A.H., Ariff, N.R.M. (2016). ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modeling (BIM) as the Latest Technology, ASEAN Turkey ASLI Conferences on Quality of Life 2016
- Becker, F. (1990). Facility management: a cutting-edge field?, Property Management, Vol. 8 Iss 2 pp. 108 – 116
- Becker, F. (1991). Workplace, Planning Design and Management, Advances in Environment, Behavior and Design, pp. 115-152, Plenum Press, NY.
- Buildingsmart.org (2021). Buildingsmart Resmi Web Sitesi. What Do We Do, <https://www.buildingsmart.org/about/what-we-do>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2024
- Buildingsmart.org (2024). Buildingsmart Resmi Web Sitesi, Facilities Management & Open BIM, <https://www.buildingsmart.org/facilities-management-openbim>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2024
- Digitwix.com (2023). DigiTwix Resmî Web Sitesi. Son Erişim Tarihi: 17.03.2024
- Eastman, C., Fischer, D., Lafue, G., Lividini, J., Stocker, D., Yessios, C. (1974). An Outline of the Building Description System. Institute of Physical Planing, Carnegie-Mellon University. Archive from the original on 13 Dec 2013. Retrieved 13 Dec 2013
- Eastman, C., Henrion, M. (1977), GLIDE a language for design information systems, ACM SIGGRAPH Computer Graphics. 11. 24-33, DOI:10.1145/563858.563863
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Lee, G. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 4.0 Executive Summary, pp. 130-149, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- Garzia, F. (2016). An integrated multidisciplinary model for security management and related supporting integrated technological system. 1-8. 10.1109/CCST.2016.7815690.
- Garzia, F., Lombardi, M. (2018). The role of BIM for Safety and Security management. Building Information Systems in the Construction Industry, 51.
- Ge, X.J., Livesey, P., Wang, J. (2017). Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study. Vis. in Eng. 5, 13 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0050-5>
- Hoang, G., Vu, D.T., Le, N.H., Nguyen, T.P. (2020). Benefits and challenges of BIM implementation for facility management in operation and maintenance face of buildings in Vietnam. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 869.
- Hu, Z.Z., Zhang, J.P., Yu, F.Q., Tian, P.L., Xiang, X.S. (2016). Construction and facility management of large MEP projects using a multi-Scale building information model, Advances in Engineering Software, Volume 100, 2016, Pages 215-230, ISSN 0965-9978, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.07.006>.
- IFMA. (2022). IFMA official web-site, Knowledge library, IFMA's 11 Core Competencies, <https://knowledgelibrary.ifma.org/11-core-competencies-of-facility-management/>, Son Erişim Tarihi: 10.08.2023
- IFMA. (2023). What is facility management? IFMA official web-site. <https://www.ifma.org/about/what-is-fm/> Son Erişim Tarihi: 16.03.2023.

- Koch, S., Kramer, M., Marchionini, M., Schlundt, M., Turianskyj, N. (2023). Digitalization Trends in Real Estate Management, 2.1 CAFM and IWMS, pp. 20-23, ISBN 978-3-658-40830-5 (eBook), Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Germany
- Magee, G. H., (1988). Facilities Maintenance Management, ISBN: 9780876291009, 0876291000, R. S. Means Company, Inc., Kingston, Mass (1988)
- Manzanares, V., García-Segura, T., Pellicer, E. (2023), Effective communication in BIM as a driver of CSR under the happiness management approach, Management Decision, ISSN: 0025-1747, <https://doi.org/10.1108/MD-02-2023-0284>
- NIST. (2004). National Institute of Standards and Technology official web-site, Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry, NIST GCR 04-867 Report, <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/gcr/2004/nist.gcr.04-867.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.07.2023
- Onyenobi, T., Arayici, Y., Egbu, C., Sharman, H. (2010). Project and facilities management using BIM: University of Salford relocation management to Media City
- Pishdad-Bozorgi, P., Gao, X., Eastman, C.M., Self, A.P. (2018). Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). Automation in Construction, 87, 22-38
- Schley, M., Haines, B., Roper, K., Williams, B. (2016,). BIM For Facility Management V.2.1, IFMA ve Georgia Institute of Technology Ortak Çalışması, 12.08.2016. [https://it.ifma.org/wp-content/uploads/2019/04/BIM-FM-Consortium-BIM-Guide-v2\\_1.pdf](https://it.ifma.org/wp-content/uploads/2019/04/BIM-FM-Consortium-BIM-Guide-v2_1.pdf) Son erişim tarihi: 04.04.2023
- Shalabi, F., Turkan, Y. (2015). A novel framework for BIM enabled facility energy management: a concept paper.
- Su, Y. C., Lee, Y. C., Lin, Y. C. (2011). Enhancing maintenance management using building information modeling in facilities management. In Proceedings of the 28th international symposium on automation and robotics in construction (Vol. 2, pp. 752-757)
- Sungur, E. (2023). Milliyet Executive Haberleri İnternet Sayfası, The Marmara Grubu Finans Müdürü Aslı Erem ile röportaj, Ne kadar az karbon o kadar çok finansman, <https://www.milliyet.com.tr/milliyet-executive/ne-kadar-az-karbon-o-kadar-cok-finansman-6904421>, Son Erişim Tarihi: 02.09.2023
- Teicholz, P. (2013a). BIM For Facility Managers, BIM technology for FM, pp.17-45, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- Teicholz, P. (2013b). BIM For Facility Managers, Introduction, pp.1-15, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- Vilventhan, A., Razin, S., Rajadurai, R. (2021). 4D BIM models for smart utility relocation management in urban infrastructure projects, Facilities, Vol. 39 No. 1/2, pp. 50-63. <https://doi.org/10.1108/F-08-2019-0091>

# Ahşap Modüler Yapıda Sanal Tasarım ve Üretim Süreci: Yapı Bilgi Modellemesinin Uygulanması

Elif Bilge BULUT<sup>1</sup> ; Doç. Dr. Togan TONG<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>ebilgebulut@gmail.com; <sup>2</sup>tong@yildiz.edu.tr, togantong@yahoo.com

## Özet


Verinin giderek önem kazandığı dijital çağda, inşaat sektörü de pek çok sektör gibi paradigma değişimine uğramaktadır. Bu dönüşüm, gelişmiş teknolojik araç ve yazılımların entegre edilmesiyle tasarım ve inşaat metodolojilerini kökten değiştirmektedir. Zaman, maliyet ve verimlilik gibi kritik konuların ele alınmasında yenilikçi çözümleri kavramak ve son teknolojiyi inşaat sürecine sorunsuz bir şekilde entegre etmek oldukça önemlidir. Bu bağlamda, konsept aşamasından üretim ve inşaata kadar uzanan proje sürecinin, Sanal Tasarım ve İnşaat (VDC) çatısı altında geliştiği ve dönüştüğü açıktır. Farklı disiplinlerden karmaşık iş akışlarını ve çeşitli uygulamaları barındıran bu süreç, ileri teknolojinin ve Yapı Bilgi Modelleme (YBM)'nin entegrasyonu ile dijitalleşme hızlanmaktadır.

Günümüz dünyasında sürdürülebilirlik ise bir diğer kritik konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Atık üretimi ve kirliliğe en fazla yol açan sektörlerden biri olan inşaat sektörünün, sürdürülebilir uygulamaları ve süreçleri benimsemesi zorunludur. Bu nedenle, kullanım tarihi oldukça eskiye dayanan ve en sürdürülebilir yapı malzemelerinden biri olan ahşap tekrar önem kazanmaktadır. Hızla gelişen küresel ahşap endüstrisi, inşaat sektöründe ve mimarlıkta giderek daha önemli bir yer edinmektedir. Ayrıca, dünyanın birçok yerinde endüstriyel ahşabın çok katlı ve geniş açıklıklı yapılar için kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu yapılar için kullanılan en yaygın tekniklerden biri olan çapraz lamine ahşap (CLT) araştırma kapsamında seçilmiştir.

Çapraz lamine ahşap modüler yapım; teknik, çevresel ve estetik açılardan sunduğu sayısız avantaj nedeniyle yaygın olarak kullanılan ve gelecek vadeden bir tekniktir. Ayrıca saha dışı üretime dayalı olması nedeniyle, bilgisayar ortamına entegre bir tasarım ve inşaat sürecine olanak sağlar, insan hatasını azaltır, zaman, maliyet ve iş gücünden tasarruf ettirir. İnşaat sektörünün dijitalleşme ihtiyacı, sürdürülebilirlik ve verimlilik sorunları göz önünde bulundurulduğunda bu yapı tipi ve proje sürecindeki ihtiyaçların anlaşılması, girdi, çıktı ve parametrelerin incelenmesi oldukça önemlidir. Ek olarak, geleneksel yöntemlerle şantiyede inşa edilen bir yapının proje süreçleri ve ihtiyaçları, saha dışı inşaata dayalı seçilen yapı tipinininkinden farklılık göstermektedir. Seçilen yapım tekniğinin dijitalleşme süreci içindeki kendine özgü faktörlerinin bilinmesi ve mevcut platformlar ve yazılımlar kullanılarak YBM'nin sürece nasıl entegre edildiğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çapraz lamine ahşap modüler yapım tekniğine sahip bir yapının, VDC başlığı altında örnek bir uygulama projesi üzerinden projelendirme süreci test edilmiş ve bulgular tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çapraz lamine ahşap, yapı bilgi modelleme, sanal tasarım ve inşaat, ön üretimli ahşap yapı, modüler ahşap yapı üretimi.

# Virtual Design and Manufacturing Process in Modular Timber Construction: Implementation of Building Information Modeling

Elif Bilge BULUT <sup>1</sup> ; Doç. Dr. Togan TONG <sup>2</sup> 

<sup>1, 2</sup>Yıldız Technical University

<sup>1</sup>ebilgebulut@gmail.com; <sup>2</sup>[togantong@yahoo.com](mailto:togantong@yahoo.com), tong@yildiz.edu.tr

## Abstract

*In the increasingly data-driven digital era, the construction industry, like many others, is undergoing a paradigm shift. This transformation fundamentally alters design and construction methodologies by integrating advanced technological tools and software. It is crucial to grasp innovative solutions for addressing critical issues such as time, cost, and efficiency and seamlessly integrating cutting-edge technology into the construction process. In this context, it is evident that the project process, spanning from the conceptual stage to production and construction, is evolving and transforming under the umbrella of Virtual Design and Construction (VDC). Digitalization is accelerating through the integration of advanced technology and Building Information Modeling (BIM), accommodating complex workflows from various disciplines and diverse applications.*

*Sustainability emerges as another critical concern in today's world. As one of the sectors producing the most waste and contributing significantly to pollution, the construction industry must adopt sustainable practices and processes. Therefore, wood, which is one of the most sustainable building materials with a long history of use, is regaining importance. The rapidly growing global timber industry is increasingly prominent in the construction and architectural fields. Additionally, the use of engineered wood products like Cross-Laminated Timber (CLT) is becoming more widespread for multi-story and wide-span structures worldwide. CLT modular construction, due to the numerous advantages it offers technically, environmentally, and aesthetically, is widely used, and considered a promising technique for the future. Moreover, relying on off-site fabrication enables integration into a computer-based design and construction process, reduces human error, and saves time, costs, and labor. Understanding the needs of this construction type and project process, considering the industry's digitalization necessity, sustainability, and efficiency issues, is crucial. Furthermore, the project processes and requirements of a structure built on-site with traditional methods differ from those of a structure selected based on off-site construction.*

*Hence, understanding the unique factors of the chosen construction technique within the digitalization process and examining how BIM is integrated into the process using available platforms and software is aimed. A building with CLT modular construction technique underwent a project planning process through an exemplary application project under the VDC framework, and the findings were discussed.*

**Keywords:** *Cross-laminated timber, building information modeling, virtual design and construction, prefabricated timber construction, modular timber construction manufacturing.*

## 1. Sanal Tasarım ve İnşaat Sürecinde Çapraz Tabakalı Ahşap Modüler Yapı ve YBM'nin Proje Sürecinde Uygulanması

### 1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışma kapsamında günümüzde modern ahşap yapılarda kullanılan yapım teknikleri incelenmiş ve bu tekniklerden en yaygın kullanılanlardan biri olan Çapraz Tabakalı Ahşap (CLT) Modüler yapım tekniği üzerine odaklanılmıştır. (Wieruszewski & Mazela, 2017) Dünyada ve Türkiye’de örnekleri ve proje süreçleri araştırılan bu yapı tipi için projelendirme sürecinde Sanal Tasarım ve İnşaat (VDC) sürecinin bu tip bir proje için nasıl planlandığı ve uygulandığı, sanal inşaat içerisindeki kavramlar ve bu başlık altında Yapı bilgi modellemesinin nasıl uygulandığı, hangi yazılımların ne şekilde kullanıldığı, girdi ve çıktılarının incelenmesi ve yapılan örnek uygulama proje özelinde değerlendirilmesi bu araştırmanın kapsamındadır. Yapılan çalışmada, Sanal Tasarım başlığı altında ahşap modüler çok katlı bir yapının tasarım aşamasından üretim ve inşaat sürecine kadar olan yaşam döngüsünün incelenmesi ve bu süreçte YBM'nin farklı evrelerinin proje sürecine nasıl entegre edildiği, mevcutta bulunan YBM platformlarının hangi aşamalarda ve hangi amaçlarla kullanıldığının araştırılması ve test edilmesi amaçlanmaktadır.

### 1.2. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmanın bahsedilen kapsam ve amacı doğrultusunda, çalışma yöntemi olarak seçilen yöntem öncelikle literatür araştırması olmuştur. Dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmaların araştırılması benzer çalışmaların tespit edilmesi, tanımlanan problemlerin ve ileriye dönük belirtilen konuların farkına varılması için önemli görülmüştür. Literatür araştırması yapılırken anahtar kelimeler olarak “yapı bilgi modellemesi (YBM-BIM)”, “Saha dışı inşaat ve YBM”, “Sanal Tasarım ve inşaat (VDC)”, “modüler inşaat”, “CLT ahşap modüler yapı”, “Mass Timber Construction” anahtar kelimeleri kullanılarak, Yöktez, Google Scholar veri tabanlarından ağırlıklı olarak 2010-2023 yılları arasında olan araştırmalar ve çalışmalar incelenmiştir. Mevcutta kullanılmakta olan en yaygın YBM platformları araştırılmış ve ürettikleri YBM verisi ve diğer programlar ile birlikte çalışabilirliği incelenmiştir. Son olarak proje kapsamında seçilen CLT ahşap modüler bir yapının tasarımdan uygulama ve üretime kadar olan döngüsünün uygulamalı olarak test edilmesi ve raporlanması sağlanmıştır. Örnek proje oluşturulurken, yapıldığı dönemin yüksek katlı önemli ahşap yapılarından olan Brock Commons proje süreci incelenmiş ve örnek alınmıştır. ("Brock Commons Tallwood House," n.d.) Aynı zamanda dünyada pek çok farklı yerde yapılmış olan CLT modüler yapılar ve yapım teknikleri göz önüne alınarak örnek proje oluşturulmuştur. (Harte, 2017)

### 1.3. CLT Modüler Yapıda Tasarım Sürecinde YBM'nin Uygulanması

CLT modüler bir yapının tasarım sürecinde, fikrîsel aşamaların ve parametrelerin belirlenmesi, mimarın ve diğer aktörlerin bu aşamadan itibaren bu yapı tipine özgü teknik ve uygulamaları bilmeleri proje sürecinin optimizasyonu için önemli ve gerekli görülmektedir.( Hairstans, Smith, & Wilson, 2018) CLT modüler bir yapı, inşaatın sahip olduğu üretime dayalı DfMA+D gibi bazı optimizasyon tekniklerinin kullanılması ve bu tekniklerin projenin tasarım aşamasından itibaren anlaşılabilirliği ve proje sürecine entegre edilmesi önemli görülmektedir.(Hairstans, Smith, & Wilson, 2018; Staub-French et al., 2018) Aynı zamanda CLT modüler yapılara dair mimar, mühendis ve uygulayıcı gibi projenin pek çok aşamasında bulunan aktörlerin bilgi ve donanım eksikliği ve bu konudaki yetkinliğinin artırılması gerektiğine değinilmiştir.( Richmond, 2020) Bu tip yapılar için sürecin tasarımdan üretime kadar olan kısmının bütüncül düşünülmesi ve koordine edilmesi gerekmektedir.(Hairstans, Smith, & Wilson, 2018; Kremer & Lehmann, 2023) Her bir üreticinin standartlarının farklı olması ve bu standartların oluşturulan parametreler dahilinde ybm proje koordinasyon sürecine dahil edilmesi gerekmektedir.(Hairstans, Smith, & Wilson, 2018) Bu aşama için YBM'nin uygulanabilmesi, model koordinasyonu, aktörlerin projeye dahil olması ve birlikte çalışabilirlik, verinin ve projenin optimizasyonunun yapılabilirliği noktasında önemli görülmektedir.

Tasarım aşamasında, YBM'nin uygulanması tasarım kararları, koordinasyon, hata tespiti, çakışma analizleri, görselleştirme ve metraj gibi unsurlarla ilişkilidir.("Brock Commons Tallwood House," n.d.) Proje sürecinde mimar ve mühendislerin yanı sıra yapı sahipleri ve işletmecileri de koordinasyonun bir parçası olarak yer alır. Tasarım aşamasında LOD300 seviyesine kadar ilerlenmiştir, bu seviye farklı disiplinlerden gelen modellerin detay ve model seviyelerinin belirli bir kesinlikte olmasını gerektirir. LOD300 seviyesi, yapı elemanlarının ve aralarındaki boşlukların kesinliğini içermektedir.(BIMForum - Home, n.d.) Araştırma sonuçlarına göre, YBM seviyelerine uygun olarak tasarım ve diğer disiplin modelleri oluşturulmuştur.

#### 1.4. CLT Modüler Yapıda İnşaat Sürecinde YBM'nin Uygulanması

YBM LOD350 seviyesi, inşaat aşamasına geçildiğinde kullanılan bir seviyedir. Bu seviye, farklı disiplinlerden gelen modelleri ve farklı sistemler arasındaki ilişkiyi inceler.(BIMForum - Home, n.d.) İnşaat aşaması, LOD350 seviyesiyle başlar. İnşaat modeli koordinasyonu, disiplinlerarası koordinasyon ve saha koordinasyonu, inşaat sürecindeki önemli uygulamalardandır. Bu aşamada, inşaat sahasına özgü problemler veya uygulamalar, otomasyon ve koordinasyon önemlidir. Çakışma analizleri, çeşitli testler, analizler ve hata tespiti bu aşamada yapılır.("Brock Commons Tallwood House," n.d.) Ayrıca, YBM'nin 4. boyutu olan zaman ve planlama da sürece dahil edilir. İnşaat sürecinde, yapı elemanlarının lojistik ve sahada yerleşimi gibi konularda YBM'nin uygulanması önemlidir. CLT modüler bir projede standartların üreticiden üreticiye değişmesi, üretilen panel boyutlarının ve saha koordinasyonunun değişmesini sağlayabilmektedir. Örneğin lojistik parametreler panel boyutlarını ve montajı etkileyebilmektedir.( Richmond, 2020; Harte, 2017) Projeye özgü saha koordinasyonu



özelinde olan problemlerin optimizasyonun yapılabilmesi ve sürecin içerisine montaj ve diğer teknik konuların dahil olması YBM'nin VR ve AR teknolojisi ile beraber uygulanması faydalı görülmektedir.( Hairstans, Smith, & Wilson, 2018)

### 1.5. CLT Modüler Yapıda Üretim Sürecinde YBM'nin Uygulanması

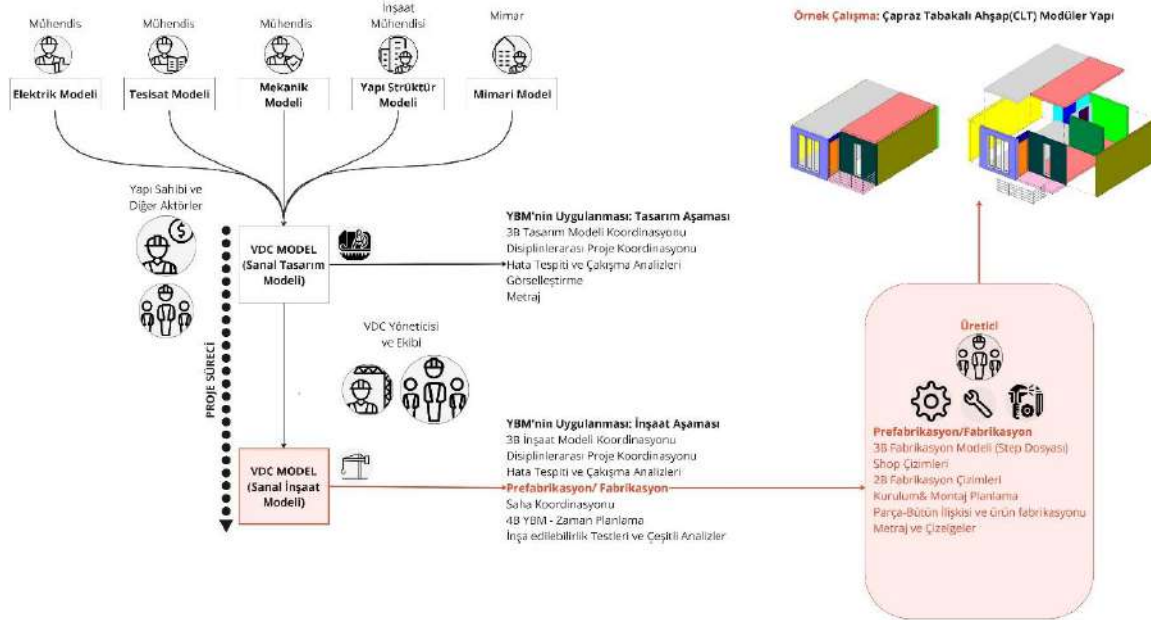
Ön üretim(prefabrikasyon), inşaat aşamasında başlamakta ve sonraki aşamada da devam etmektedir. Üretim süreci için hazırlık aşaması olarak görülmektedir. Saha dışı inşaatla dayalı projelerde, İnşaat ve prefabrikasyon aşamasında yapının daha küçük bire bir ölçekli prototip (mockup) 'nın oluşturulup rüzgar, yangın, deprem ve inşa edilebilirlik gibi testlerin çeşitli proje süreçlerinde uygulandığı bilinmektedir.( Gasparri & Aitchison, 2019) Örnek proje kapsamında yapılan çalışmada, tasarım ve inşaat aşamasında oluşturulan modelin bir bölümünün prototip(mockup) olarak alınıp fabrikasyon modeli olarak süreçte çalışılması sağlanmıştır. İnşa edilebilirlik ve her bir yapı elemanının fabrikasyona dair 2B ve 3B verilerinin oluşturulması, sunulması ve incelenmesi bu çalışma kapsamında amaçlanmaktadır. Prototip fabrikasyon modeli Inventor programında modellenmiştir. Inventor programı, Autodesk'e ait yaygın kullanılan fabrikasyon modeli ve çizimleri oluşturulmasını sağlayan bir programdır.( Inventor Wikipedia Contributors, 2019)

Prefabrikasyon aşamasından sonra gelen aşama ise saha dışı üretimi yapılan yapılar için fabrikasyon aşamasıdır. Bu aşamadan itibaren YBM seviyesi LOD400 olarak başlar.( BIMForum - Home, n.d.) LOD400 aşaması, fabrikasyon modellerinin, çizimlerinin hazırlanması ve üretilmesi süreçlerini içerir. Bu sürece üretici dahil olur, ve araştırmalardan görüldüğü üzere her üreticinin kendine ait standartları mevcuttur.( Richmond, 2020) Bu standartlar özellikle ahşap üzerinden olduğunda farklılaşmakta ve proje özelinde çalışılma sürecini yavaşlatabilmektedir( Richmond, 2020).

Prefabrikasyon ve fabrikasyon süreci, üretim ve montaj için tasarım (DfMA) ilkelerinin uygulandığı modüler yapının kurulum& montaj'ının planlaması, 3b fabrikasyon modelleri, performans ve görsel prototip modellerinin oluşturulması(VMU-PMU Mockup), 2B fabrikasyon ve shop çizimlerinin oluşturulmasını içermektedir. Fabrikasyon sürecinde, modellerin tüm detayları ile oluşturulması, yüksek çözünürlük ve kesinlik seviyesine sahip olması beklenmektedir.( Abrishami & Martín-Durán, 2021) Bütün detayları ile modellendiği ve planlandığı için, tasarım veya inşaat sürecinden gelen değişim ve karar değişiklikleri doğrudan bu modelleri de etkilemektedir. Bu süreçte, genel olarak üretici, fabrikasyon modelini tasarım ve inşaat modellerini doğrudan kullanmadan en baştan modellemektedir. Bu da aynı projenin model süreçlerinin tekrar yapılması ve buna dayalı zaman kaybını meydana getirmektedir.

YBM'nin uygulanmadığı ve verilerin parametrik bir bağlantı ile aktarılamadığı ya da buna uygun bir koordinasyon sürecinin yürütülemediği süreçlerde de zaman ve bütçe kaybının yaşandığı ve insana dayalı hataların oluşma ihtimalinin arttığı bilinmektedir.

Araştırıldığı üzere projenin tasarım, inşaat ve üretim aşamalarının birlikte ve verimli bir koordinasyon süreci ile yürütülebilmesi son derece önemlidir. (Hairstans, Smith, & Wilson, 2018; Kremer & Lehmann, 2023) Her yapı tipi ve proje özelinde yürütülmesi gereken koordinasyon süreci farklılık göstermektedir.

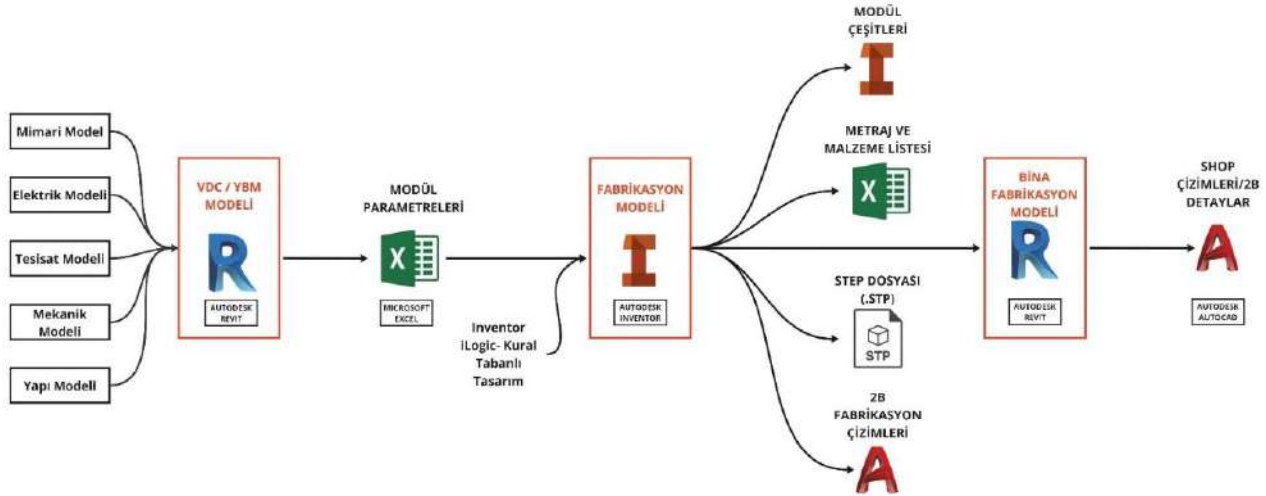


Şekil 1. Sanal tasarım ve inşaat Sürecinde CLT modüler yapı.

## 2. Örnek Proje ve İş Akışı

Çalışılan projedeki iş akışı ağırlıklı olarak Autodesk ürünlerinden olan Revit, Inventor, Autocad programlarında ve Microsoft Excel programı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu programların seçilme sebebi, günümüzde en yaygın kullanılan YBM programlarından olması, veri geçişi ve birlikte çalışabilirlik özellikleri

bakımından uyumlu olmalarıdır. Projenin tasarım ve inşaat modellerinin Revit üstünden oluşturulması ve buradaki YBM verisi ve modüler projeye ait parametrelerin excel aracılığıyla Inventor ortamına aktarılması sağlanmıştır. Inventor'ın kural tabanlı ve parametrik modeller oluşturmaya olanak sağlayan ilogic özelliği kullanılmıştır.(Autodesk Inventor Help, n.d.) ilogic arayüzünde modüllerin bağlanan parametreleri ve Excel'den gelen veri ile fabrikasyon modellerinin Inventor ortamında oluşturulabilmesi ve çeşitlendirilebilmesi sağlanmıştır. Proje kapsamında ele alınan parametreler genel olarak boyutsal parametreler olarak çalışılmıştır. Parametrik olarak oluşturulan bu modüllere ait 3B ve 2B üretim çıktıları Inventor programı sayesinde elde edilebilmektedir. Bu çıktılar 3B fabrikasyon modelleri, metraj ve malzeme listeleri ve çizelgeleri, 2B fabrikasyon çizimleri, shop çizimleri, prototip fabrikasyon modelleri, kurulum ve analiz ile ilgili çıktılar olabilmektedir.(Autodesk Inventor Help, n.d.) Aynı zamanda oluşturulan fabrikasyon modelleri Revit ana çalışma dosyası(.rvt) veya Revit family dosyası(.rfa) olarak kaydedilebilir. Bu da prototip ve binaya dair fabrikasyon modellerinin istenildiğinde Revit ortamına aktarılabilmesini sağlamaktadır. Buradan binaya ve prototip modele dair shop çizimleri elde edilebilmektedir.

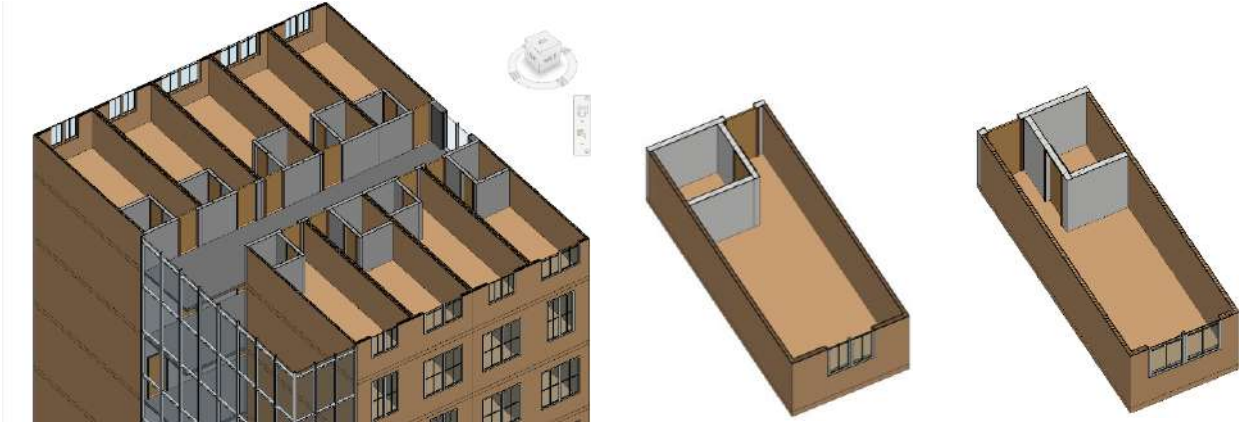


Şekil 2. Örnek proje iş akışı.

## 2.1. Ahşap Tabakalı Modüler Örnek Yapının Sunumu

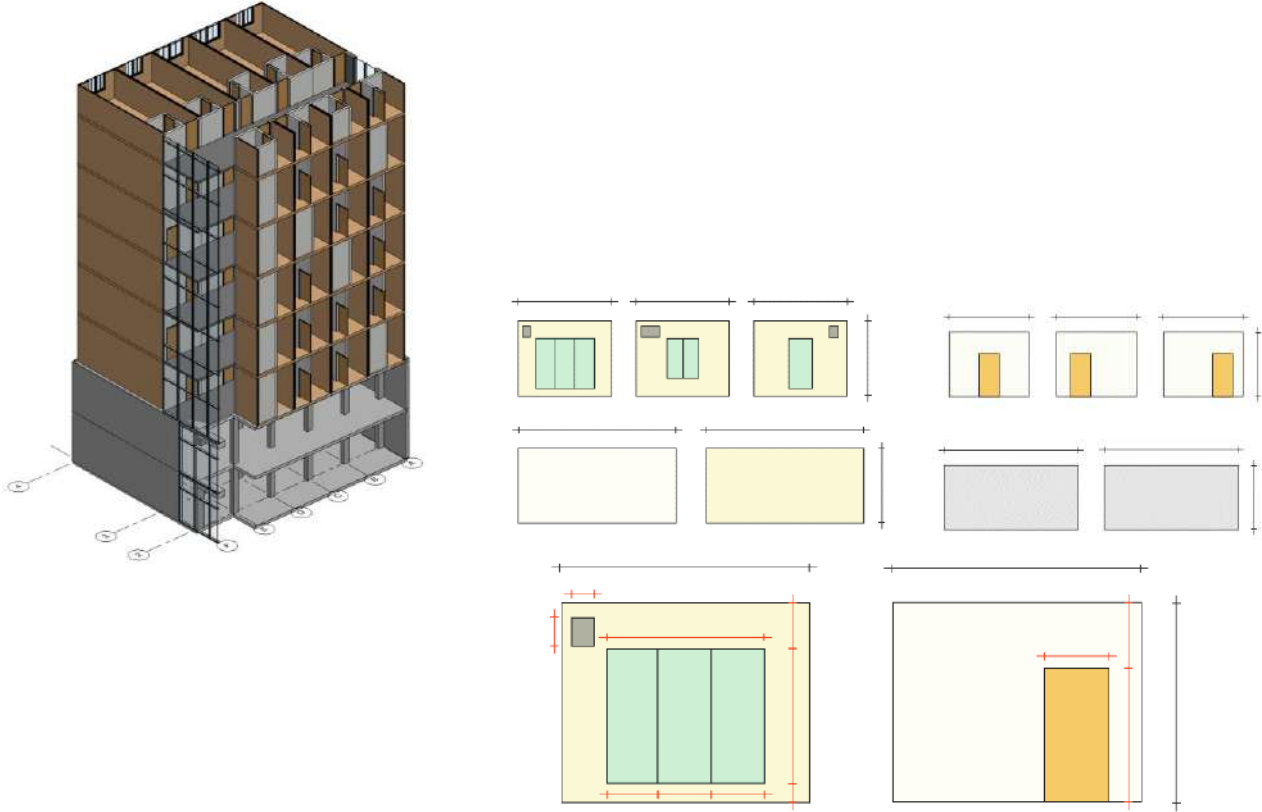
Seçilen konu kapsamında ve araştırmalar doğrultusunda proje iş akışını test etmek adına 8 katlı CLT modüler bir örnek yapı tasarımı düşünülmüştür. Bu yapı, tekrara dayalı modüllerden oluşmakta ve yapıda 2 farklı tip

modül bulunmaktadır. Modül boyutları lojistik parametreler de göz önünde bulundurularak 3x8 m ebatlarında modüllerden oluşmaktadır.(Harte, 2017) Modül yüksekliği 3.5 m olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3. Modül tipleri ve sanal tasarım ve inşaat modeli.

Tekrara dayalı birimleri ve standart ıslak hacim birimleri içermektedir, işlevi otel olarak seçilmiştir. Yapı, modüler projelerde yaygın kullanılan sistemlerden biri olarak ilk iki katı betonarme olacak şekilde hibrit sistem düşünülmüş ve sonraki katlarda ise CLT yapı elemanları kullanılarak modüller oluşturulmuştur. Oluşturulan proje 2 boyutlu modüler inşaat tekniği kullanılarak yapılmıştır. Bu sistemde duvar, döşeme, tavan gibi yapı elemanları fabrikada üretilerek, kesilerek ve takılarak sahaya paneller olarak getirilmektedir. (Generalova, Generalov, & Kuznetsova, 2016; Harte, 2017; Wieruszewski & Mazela, 2017)



Şekil 4. Sanal tasarım ve inşaat modelinde CLT paneller ve boyut parametreleri

## 2.2. Parametreler ve Sunumu

Projelendirme süreci boyunca, farklı disiplinlerce oluşturulan modellerde her disiplinin, modüllerin tasarımına ve inşaatına dair kendi parametreleri ve süreçleri bulunmaktadır. Boyut, malzeme, teknik özellikler, tasarımsal kararlar, yapı strüktürüne dair analizler ve kararlar bunlardan bazılarıdır. Projenin sürecinde, bu parametrelerin belirlenmesi, geliştirilmesi ve değiştirilmesi sürecin önemli bir parçasıdır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda, örnek çalışma kapsamında bu süreç içerisinde modüllerin üretim aşamasını ve üretim çıktılarını etkileyebilecek bazı parametreler belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler,

çapraz tabakalı modüler ahşap yapı panellerinin boyutu, konumu ve tipi ile doğrudan ilişkili olacak şekilde seçilmiş ve süreç bu çerçevede test edilmiştir.

Tasarım ve İnşaat Süreci Modeller	Üretim Sürecinde Modülleri Etkileyebilecek Parametreler
Mimari Model	Mekansal boyut parametreleri, doluluk ve boşluk, yapı elemanları boyut ve malzeme parametreleri, tasarım kararları, fonksiyon
Yapı Modeli	CLT yapı elemanlarının yerleşimi, taşıyıcı özelliği, boyutu, CLT panel kalınlığı, katman sayısı, paneller arası bağlantı elemanları ve ilişkisi
Mekanik, Elektrik ve Tesisat Modelleri	Mekanik, elektrik ve tesisat ekipmanlarının nereden nasıl geçtiği, elektrik ekipmanlarının çapraz tabakalı ahşap panellerde açılacak boşluğun konumuna ve boyutuna etkisi

Şekil 5. Üretim sürecinde modülleri etkileyebilecek parametreler.

Çalışılan örnekte, mimari model ve tasarım sürecinden gelen parametreler, modüllere özgü mekansal ve boyutsal özellikler ile CLT panellerde kapı ve pencere açıklıkları gibi detaylar, tasarım kararları ve fonksiyonel parametreler üzerinde durulmuştur. Çapraz tabakalı ahşap paneller kullanılarak 2B modüler yapı tekniği benimsenmiş, bu paneller yük taşıyıcı ve bağlantı elemanlarıyla bir araya getirilmiştir. Ayrıca, mekanik, elektrik ve tesisat ekipmanlarının yerleştirilebilmesi için panellerde boşluklar açılması gerekmektedir.

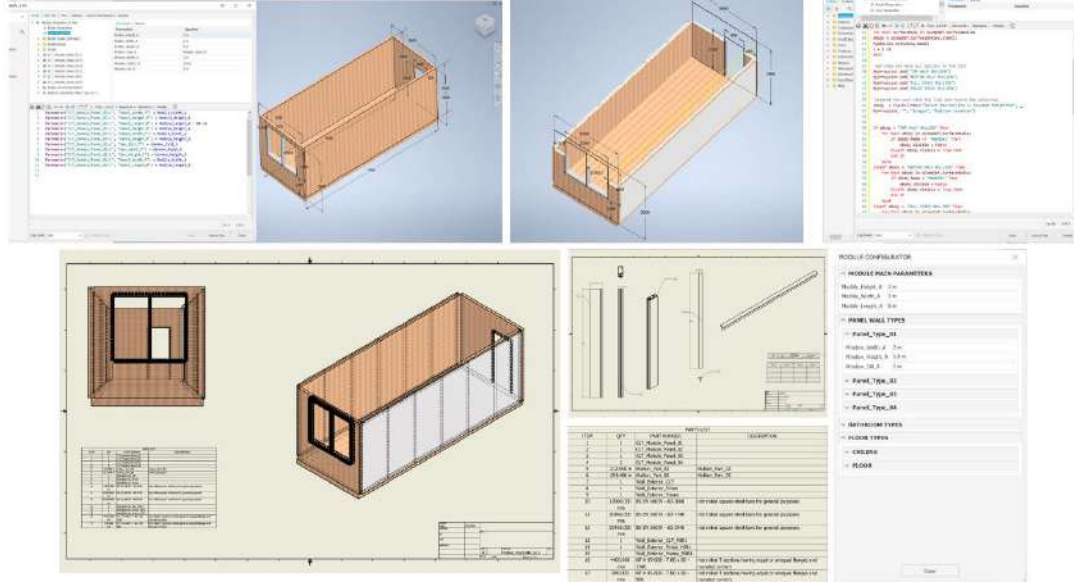
Belirlenen parametreler Revit ortamında duvar, döşeme ve tavan için kategorilendirilmiş ve bu parametreler, YBM verisi olarak yapı elemanlarına atanmıştır. Bunun için Revit'te bulunan paylaşılan parametreler(Shared Parameters) özelliği kullanılmıştır. Oluşturulan bu paylaşılan parametreler; yapı elemanlarının tipini, boyutunu, açıklığını, malzemesini ve konumunu belirtmektedir. Paylaşılan parametreler oluşturulduktan sonra bu parametreler her bir eleman kategorisinde proje içerisine alınmıştır. Her bir modül tipindeki yapı elemanlarına ait bu parametreleri ve parametre değerlerinin görülebileceği tablolar oluşturulmuştur. Ve bu

tablolar her ahşap yapı paneli tipi için özelleştirilmiştir. Revit'te oluşturulan ve özelleştirilen bu tablolar Excel dosyası olarak dışa aktarılabilir. Böylece belirlenen parametre tabloları ve içerisindeki verilerin Excel dosyası halinde oluşturulması sağlanmıştır.

Çapraz Tabakalı Ahşap Paneller	Parametreler				
	Sistem Parametreleri	Boyut Parametreleri	Malzeme Parametreleri	Açıklık	Taşıyıcılık
<b>Duvar Panelleri</b>	1. Kompozit Dış Cephe Duvar Paneli 2. Çapraz Tabakalı Ahşap Duvar Paneli 3. Tesisat Duvar Paneli	1. Genişlik 2. Yükseklik 3. Uzunluk	1. Çapraz Tabakalı Ahşap için seçilen malzeme 2. Kompozit bileşenler 3. Bağlantı elemanları	1. Mekanik, elektrik ve tesisat için boşluk açılması 2. Kapı boşlukları 3. Pencere boşlukları	1. Taşıyıcı olup olmaması 2. Panel katman sayısı(3-5-7) 3. Panel katman kalınlıkları 4. Bağlantı elemanları
<b>Döşeme</b>	1. Döşeme Tip 1 2. Döşeme Tip 2	1. Genişlik 2. Yükseklik 3. Uzunluk	1. Çapraz Tabakalı Ahşap için seçilen malzeme 2. Kompozit bileşenler 3. Bağlantı elemanları	- Mekanik, elektrik ve tesisat için boşluk açılması	1. Taşıyıcı olup olmaması 2. Panel katman sayısı(3-5-7) 3. Panel katman kalınlıkları 4. Bağlantı elemanları
<b>Tavan</b>	1. Tavan Tip 1 2. Tavan Tip 2	1. Genişlik 2. Yükseklik 3. Uzunluk	1. Tavan Malzemesi 1 2. Tavan Malzemesi 2	- Mekanik, elektrik ve tesisat için boşluk açılması	-

**Şekil 6.** Parametrelerin sunumu.

Yapılan test kapsamında, Inventor part(.ipt) ve Inventor Assembly(.iam) çalışma ortamlarında modüllerdeki yapı elemanları ve bağlantı elemanları modellenmiş, Inventor ortamında takılmıştır. Her bir parça ve bütünü parametreleri vardır ve bu parametreler birbirine bağlanarak bir fabrikasyon modeli oluşturulmuştur. Parametrelerin bağlanma işlemi ilogic platformu kullanılarak yapılmıştır. Sonrasında Excel'e aktardığımız parametreler ve değerleri, yine Inventor ilogic ortamına alınıp Inventor'da oluşturulan parametreleri kontrol etmesi için bağlanmıştır. Buna ek olarak bu parametreler kullanılarak Inventor Forms özelliği sayesinde bir arayüz oluşturulmuştur. Bu arayüz ile de parametreler kontrol edilebilmektedir. Ya da tasarım ve inşaat modellerinden dışa aktarılan veriler ile güncellenebilmekte ve fabrikasyon modülü parametrik bir şekilde oluşturulabilmektedir.



Şekil 7. Inventor ortamında modülün modellenmesi.

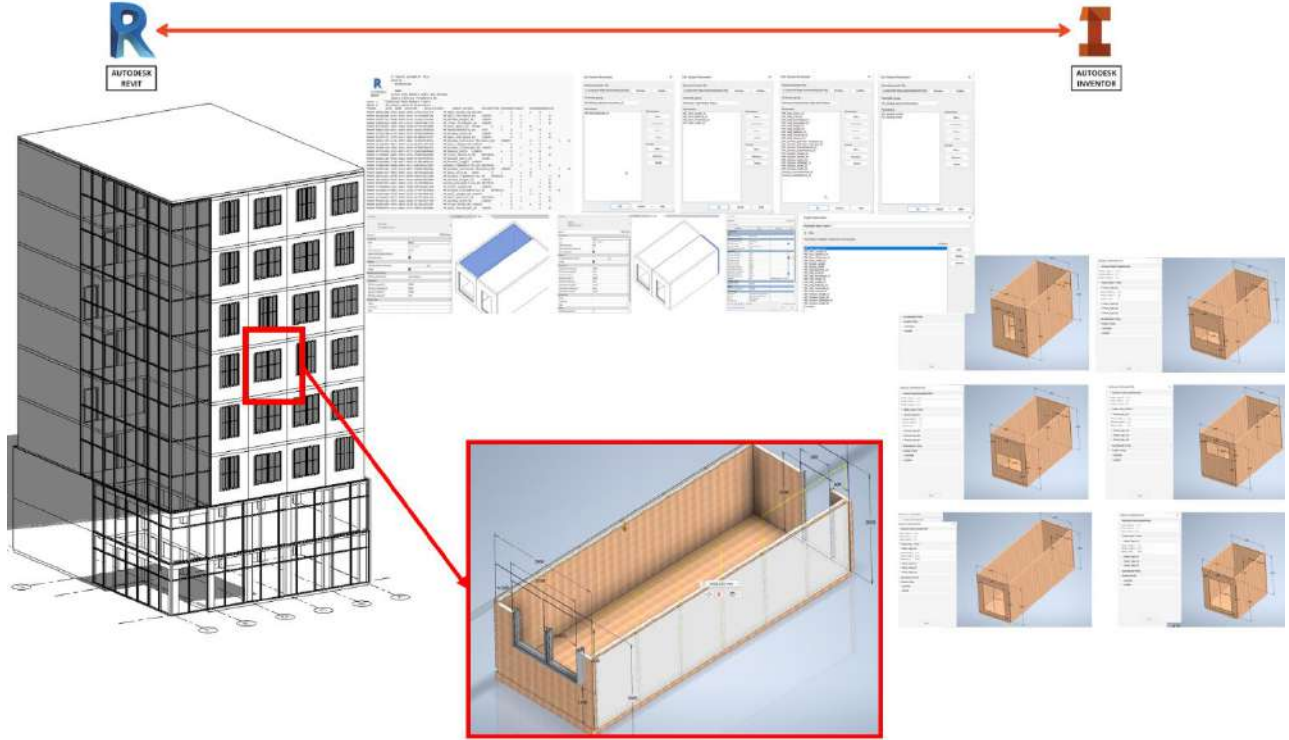
### 2.3. Parametrik Fabrikasyon Modeli ve Çıktılar

Oluşturulan parametreler ile modüllerin fabrikasyon modellerinin hazırlanması sağlanmıştır. Girilen verilere göre otomatik olarak istenilen şekil, boyut ve parametrelerde modül modellerinin konfigürasyonları oluşturulmuş ve test edilmiştir. Yapılan testler hem arayüz üzerinden hem de excel verisi üzerinden sağlanmıştır. Modüllerin boyutlarının ve buna bağlı olarak her bir çapraz tabakalı ahşap panelin fabrikasyon çizimi, modeli ve ayarının otomatik olarak değiştiği görülmektedir.

Testin sonucunda üretim sürecine dair elde edilen pek çok çıktı bulunmaktadır. Bu çıktılar, modüllerin oluşturulan her bir konfigürasyon için 3B fabrikasyon modellerini, her bir CLT ahşap panel elemanın 3B fabrikasyon modeli ve 2B fabrikasyon çizimlerini içermektedir. Ayrıca her bir parça ve montaj ile sağlanan kompozit ve CLT yapı elemanları için metraj ve malzeme listeleri de otomatik olarak oluşturulabilmektedir. Bu listeler, konfigürasyon ve parametreler değiştiğinde otomatik olarak güncellenmektedir. Her bir elemana ve modüle dair plan kesit görünüşler otomatik olarak hazırlanmakta ve güncellenebilmektedir. Hazırlanan bu çıktılar cad dosyası olarak dışarı aktarılabilir. Oluşturulan modeller fabrikasyon için gerekli olan step(.stp) dosyası olarak kaydedilebilmekte ya da Revit(.rvt ve .rfa) dosyaları olarak oluşturulabilmektedir.



Bu da her bir modülün fabrikasyon modeli yapıldığında tasarım ve inşaat modelinden sonra Revit ortamında LOD400 seviyesinde fabrikasyon modelinin yapılabileceğini göstermektedir.



Şekil 8. Revit ve Inventor ilişkisi, parametrik modül konfigürasyonları.

### 3. Sonuçlar

Çalışma kapsamında çapraz tabakalı modüler ahşap yapım tekniği araştırılmış, bu konuda dünyada yapılmış olan örnekler ve proje iş akışları incelenmiştir. Son aşamada da örnek bir proje oluşturularak bir iş akışı test edilmiştir. Bu yapı tipi özelinde projelendirme süreci boyunca ihtiyaç duyulan verilerin neler olduğu, proje sürecine YBM'nin hangi aşamalarda ne şekillerde entegre edilebileceği incelenmiştir. İncelenen sonuçlara göre tasarım aşamasında tasarım kararlarına yönelik LOD300 YBM seviyesinde koordinasyon ve uygulamalar mevcuttur, inşaat aşamasında, LOD350 ile disiplinlerarası koordinasyon, analizler ve saha özelinde koordinasyon için YBM uygulanmaktadır. Üretim aşaması ile beraber LOD400 YBM seviyesinde model ve veri

koordinasyonu başlamaktadır. Bu seviye için ahşap üreticisi, üreticinin standartları, önceki süreçler ve aktörlerle olan koordinasyon devreye girmektedir.

Üretim aşaması için, her bir üreticinin ve standartlarının farklı oluşu, bu konuda hem sahada hem tasarım ve koordinasyon aşamasında bilgi ve nitelikli iş gücünün eksik olduğu araştırılan çalışmalarda vurgulanmaktadır. Yapı bilgi modellemesi bu koordinasyonun gelişimi için önemli görülmektedir. Test edilen örnek proje, proje sürecinin üretim aşamasına odaklanmıştır. Bu aşama için günümüzde en yaygın kullanılan YBM programlarıyla gerçekleştirilen testte üretim aşaması için gerekli olan girdi ve çıktılar üretilmiştir. Bu çıktılar 3B fabrikasyon modelleri, 2B çizimler ve malzeme listeleri ve metraj bilgileridir. Süreç, tasarım ve inşaat aşamasında oluşturulan modellerin ve buradaki parametrelerin doğrudan üretim aşamasındaki çıktıların oluşturulmasında kullanılmasının testidir. Bu testin yapılması, süreç boyunca elde edilen girdi, çıktı parametre ve modellerin tekrar etmemesi ve süreç verimliliğinin sağlanabilmesidir. Bunun için çapraz tabakalı ahşap panellerin boyutsal parametreleri ön planda tutulmuş ve test bunun üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar ve test doğrultusunda, saha dışı inşaata dayalı olan çapraz tabakalı ahşap modüler yapı tipinde YBM'nin uygulanabilmesi bu tür projeler için hız, zaman, maliyet ve sürdürülebilirlik açısından büyük bir katkı sağlamaktadır. Günümüzde dünyada gittikçe yaygınlaşan, modüler ahşap yapılar için ileri teknoloji ve YBM'nin en iyi şekilde sürece entegre edilmesi bu sebeple önemli görülmektedir. Proje süreci içinde birden fazla farklı aktörün ve farklı teknik iş akışlarının bulunduğu kendine özgü parametreleri ve çözülmesi gereken sorunları bulunan bir süreçtir. Bu süreçte ekipler ve kişiler arası koordinasyon, kullanılan programların birlikte çalışabilirliği, verilerin aktarılabilmesi, kullanılabilmesi ve model koordinasyonu için YBM'nin uygulanması önemli görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2017). BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of Building Engineering*, 14, 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.002>
- Abrishami, S., & Martín-Durán, R. (2021). BIM and DfMA: A Paradigm of New Opportunities. *Sustainability*, 13(17), 9591. <https://doi.org/10.3390/su13179591>
- Andersen, M. T., & Findsen, A.-L. (2018). Exploring the benefits of structured information with the use of virtual design and construction principles in a BIM life-cycle approach. *Architectural Engineering and Design Management*, 15(2), 83–100. <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1546165>
- BIMForum - Home. (n.d.). Bimforum.org. <https://bimforum.org/>
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331–351. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>

- Brock Commons Tallwood House: Construction Overview Case Study | Case Studies + Resources.* (n.d.). Naturally:wood. <https://www.naturallywood.com/resource/brock-commons-tallwood-house-construction-overview-case-study/>
- Dangel, U. (2019). *Timber 4.0: Open Source Systems as a Democratic Tool for Designing and Building.* 2019(1), 15. <https://doi.org/10.7275/by2s-nm08>
- Dong, Y., Cui, X., Yin, X., Chen, Y., & Guo, H. (2019). Assessment of Energy Saving Potential by Replacing Conventional Materials by Cross Laminated Timber (CLT)—A Case Study of Office Buildings in China. *Applied Sciences*, 9(5), 858. <https://doi.org/10.3390/app9050858>
- Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T. D., Manalo, A., & Mendis, P. (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures*, 183(183), 883–893. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.061>
- Gasparri, E., & Aitchison, M. (2019). Unitised timber envelopes. A novel approach to the design of prefabricated mass timber envelopes for multi-storey buildings. *Journal of Building Engineering*, 26, 100898. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100898>
- Generalova, E. M., Generalov, V. P., & Kuznetsova, A. A. (2016). Modular Buildings in Modern Construction. *Procedia Engineering*, 153(153), 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.098>
- Hairstans, R., Smith, R., & Wilson, P. (2018). The merits of varying forms of mass timber products for offsite and modular construction. *Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings.* <https://doi.org/10.29173/mocs38>
- Harte, A. M. (2017). Mass timber – the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 2(3), 121–132. <https://doi.org/10.1080/24705314.2017.1354156>
- Help. (n.d.). Help.autodesk.com. Retrieved May 31, 2024, from <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2024/ENU/?guid=UserManualIndex>
- Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 1906–1916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
- Kam, C., Song, M. H., & Senaratna, D. (2017). VDC Scorecard : Formulation, Application, and Validation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(3), 04016100. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001233](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001233)
- Kremer, P. D., & Lehmann, S. (2023). Filling the Knowledge Gaps in Mass Timber Construction: Where are the Missing Pieces, What are the Research Needs? *Mass Timber Construction Journal*, 6. <https://doi.org/10.55191/MTCJ.2023.1>
- Lang, O., Wilson, C., Blackman, C., Gillespie, R., Krieg, O. D., & Uddin, S. (2019). Development of a Design-Driven Parametric Mass Timber Construction System for Modular High-Rise Urban Housing. *Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings*, 333–340. <https://doi.org/10.29173/mocs111>
- Liew, J. Y. R. (2018). *INNOVATION IN MODULAR BUILDING CONSTRUCTION.* <https://doi.org/10.18057/icass2018.k05>
- Oliver David Krieg, & Lang, O. (2019). Adaptive Automation Strategies for Robotic Prefabrication of Parametrized Mass Timber Building Components. *Proceedings of the ... ISARC.* <https://doi.org/10.22260/isarc2019/0070>
- Richmond, R. L. (2020). *Highlighting the Unique Challenges and Differences of Building with Mass Timber.*

- Smith, R. E., Griffin, G., Rice, T., & Hagehofer-Daniell, B. (2017). Mass timber: evaluating construction performance. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1-2), 127–138. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1273089>
- Staub-French, S., Poirier, E. A., Calderon, F., Imen Chikhi, Zadeh, P., Divyarajsinh Chudasma, & Huang, S. (2018). *Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) for Mass Timber Construction*.
- Thai, H.-T., Ngo, T., & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*, 28, 1265–1290. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.070>
- Wieruszewski, M., & Mazela, B. (2017). Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Form of Construction Wood. *Drvna Industrija*, 68(4), 359–367. <https://doi.org/10.5552/drind.2017.1728>
- Wikipedia Contributors. (2019, March 27). *Autodesk Inventor*. Wikipedia; Wikimedia Foundation. [https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Inventor](https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor)
- Yuan, Z., Sun, C., & Wang, Y. (2018). Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. *Automation in Construction*, 88, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.021>

# Exploring the Architectural Potential of Self-Responding Surfaces with TPU on Flexible Material

Beyza Muş<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Istanbul Technical University


<sup>1</sup>mus23@itu.edu.tr

## Abstract

*This study aims to develop self-responsive architectural surfaces with thermoplastic polyurethane (TPU) on flexible material, which is a programmable material. In the study, how the form can work, the process of finding the form, and its potential and proposal for use in the field of architecture were investigated. While flexible materials attract attention with their mechanical properties and shape memory capacities, TPU stands out in this field with its flexibility, durability and biocompatibility. The study aims to create architectural surfaces that can resist environmental changes (such as temperature, humidity, pH) by taking advantage of these properties of TPU. In this context, the programmability properties of surfaces developed using TPU material were examined. In the first stage, various patterns were created with TPU and it was observed how these patterns would react on the surface itself. Various surface morphologies were obtained using different patterns and gridal systems, and the performances of these surfaces were evaluated with digital simulations. In addition, the study shows that the 3D form potential of 2D surfaces is also revealed. A literature review was conducted on similar studies and the information available in the literature was evaluated. Following the material research, material behavior was examined using tools such as Rhino, a 3D modeling tool, Grasshopper, an algorithmic modeling tool, and Kangaroo plug-in, and an algorithm that simulates material behavior was developed. It has been an important fundamental step in understanding the physical prototype and form. Prototype production studies were carried out in order to understand the behavior of the form and to obtain close results since the exact scale cannot be obtained at this stage. The process was observed and reported. The behavior of selected flexible and semi-flexible fabric materials in prototype production was emphasized, and the parameters and prototype structure on the 3D Printer during the production process of the TPU material were explained. The results of the research reveal the innovative potential of working with programmable flexible materials in terms of architectural applications. These findings are considered an important step in smart material applications, especially in architectural design and building technologies. Future work will focus on further improving the functional properties of these surfaces and adapting them to different architectural applications. In conclusion, this study shows that developing architectural surfaces using programmable flexible materials with TPU has a significant potential for creating smart structures that are sensitive to environmental changes. Innovative studies in this field will contribute to the development of more sustainable and functional architectural solutions in the future. At the end of the research, an architectural proposal in which this technology can be applied will be presented, and a new perspective for sustainable and smart building systems will be presented.*

**Keywords:** Shape-change, digital fabrication, 3D printing on textiles, 4D printing, developable surface.

# Esnek Malzeme Üzerinde TPU ile Yanıt Veren Yüzeylerin Mimari Potansiyelini Keşfetmek

Beyza Muş<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi

[1mus23@itu.edu.tr](mailto:mus23@itu.edu.tr)

## Özet

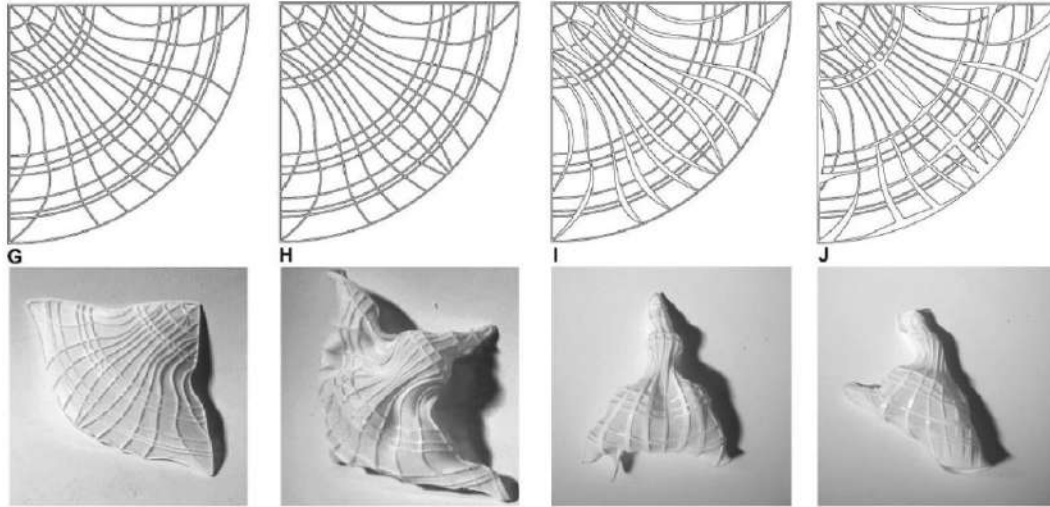
*Bu çalışma, programlanabilir bir malzeme olan esnek malzeme üzerinde termoplastik poliüretan (TPU) ile kendinden duyarlı mimari yüzeyler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada formun nasıl çalışabileceği, formun bulunma süreci, mimarlık alanında kullanım potansiyeli ve önerileri sunulmuştur. Esnek malzemeler mekanik özellikleri ve şekil hafıza kapasiteleriyle dikkat çekerken TPU esnekliği, dayanıklılığı ve biyouyumluluğuyla bu alanda öne çıkıyor. Çalışma, TPU'nun bu özelliklerinden faydalanarak çevresel değişimlere (sıcaklık, nem, pH gibi) direnebilecek mimari yüzeyler oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda TPU malzeme kullanılarak geliştirilen yüzeylerin programlanabilirlik özellikleri incelenmiştir. İlk aşamada TPU ile çeşitli desenler üretildi ve bu desenlerin farklı yüzey üzerinde nasıl tepki vereceği gözlemlendi. Çeşitli desenler ve gridal sistemler kullanılarak üretilen çeşitli yüzey morfolojilerinin performanslarını belirlemek için dijital simülasyonlar kullanıldı. Ayrıca çalışma, 2 boyutlu yüzeylerin 3 boyutlu form potansiyelinin de ortaya çıktığını gösteriyor. İlgili konularda daha önce yapılan araştırmalar gözden geçirildi ve elde edilen veriler değerlendirildi. Malzeme araştırması yapıldıktan sonra malzeme davranışını simüle eden bir algoritma oluşturuldu ve 3D modelleme aracı Rhino, algoritmik modelleme aracı Grasshopper ve Kangaroo eklentisi gibi araçlar kullanılarak malzeme davranışı araştırıldı. Formu ve fiziksel prototipi kavramaya yönelik çok önemli bir ilk adım oldu. Henüz kesin ölçüğe ulaşılamadığından formun davranışının anlaşılması ve yakın sonuçların elde edilebilmesi amacıyla prototip üretimleri yapılmıştır. Prosedür not edildi ve görüldü. Prototip üretim sürecinde belirli esnek ve yarı esnek kumaş malzemelerin özellikleri vurgulandı ve 3D yazıcının parametreleri ve prototip yapısı, TPU malzemenin üretim yöntemiyle birlikte anlatıldı. Çalışmanın sonuçları, mimaride programlanabilir esnek malzeme uygulamalarına yönelik yeni olasılıkları vurgulamaktadır. Bu sonuçlar, başta bina teknolojisi ve mimarlık olmak üzere akıllı malzeme uygulamaları alanında önemli bir ilerleme olarak değerlendiriliyor. Daha sonraki araştırma çabaları, bu yüzeylerin işlevsel özelliklerinin geliştirilmesine ve bunların çeşitli mimari kullanımlar için özelleştirilmesine odaklanacak. Özetle bu araştırma, TPU'nun mimari yüzeyler için programlanabilir esnek malzeme geliştirmede kullanılmasının, çevrelerindeki değişikliklere uyum sağlayan akıllı binaların geliştirilmesi için büyük umut vaat ettiğini öne sürüyor. Bu çalışma alanındaki gelecekteki gelişmeler, daha kullanışlı ve sürdürülebilir mimari çözümlerin yaratılmasına yardımcı olacaktır. Çalışmanın tamamlanmasıyla akıllı ve sürdürülebilir bina sistemlerine yeni bir bakış açısı ve bu teknolojinin kullanıldığı bir mimari öneri ortaya çıkacak.*

**Anahtar Kelimeler:** Şekil değiştirme, dijital fabrikasyon, tekstil üzerine 3D baskı, 4D baskı, geliştirilebilir yüzey.

## 1. Introduction

Since the advent of programmed materials, which creates new opportunities for dynamic and responsive buildings, the relationship between materials science and architecture has experienced a remarkable evolution. The current research looks at the field of flexible fabrics with self-responsive thermoplastic polyurethane (TPU) surfaces and considers how architecture might use them. By utilizing TPU's flexibility, this research seeks to advance our knowledge of how flexible materials might impact form-finding procedures and provide innovative architectural concepts. New formal compositions can be found under mechanical and physical restrictions by stretching, for example, which activates the material's information (Tibits, 2017). By using a second material or element, these activated forms can be maintained and a state of stress balance can be reached. The amount of energy required to configure three-dimensional forms can be decreased by manipulating the material in two dimensions; in this scenario, horizontal forces can be used to create vertical deformations (Vivanco et al., 2020). The research methods of the studies in the literature are based on three design experiments that consider two different pattern typologies (bi- and multi-directional elements) printed on Lycra membranes to create a hybrid laminate. In the studies, the performance and properties of different pattern configurations were then modeled using parametric design and simulation tools (Agkathidis et al., 2018) (**Figure 1**).

The development of double-curved fabric structures in architecture was pioneered in Europe by pioneers such as Frei Otto. Otto's modeling and shape analysis techniques were guided by physical models; From the 1970s to the 1990s, it did not rely on computational methods (Agkathidis et al., 2018). Later, collaborations with others developed, such as Brown and Rice (2001) at Arup. Rice, by contrast, was deeply committed to the computational methods he applied to stress analysis and form finding in material innovation. These developments have continued and membranes and textiles are now seen being used successfully in building construction in the form of roofs, facades, pneumatic structures and tents. But now, the rapid development of emerging technologies such as 3D printing and additive manufacturing and advances in material science are allowing designers to consider more innovative solution synergies (Agkathidis et al., 2018).



**Figure 1.** The effect of radial and tangential ribs on a quadrant shaped panel: iterations G, H, I and J (Agkathidis et al., 2018).

### 1.1. Methodology

It has been seen that PLA filament is generally used in such studies, but TPU filament was preferred due to the ability to include a different material in the work, easy working with a 3D printer and high flexibility. TPU, high elongation and tensile strength; flexibility; and the ability to resist varying degrees of oil, grease, solvents, chemicals, and abrasion. There are three main chemical classes of TPU: polyester, polyether, and a smaller class known as polycaprolactone (EMA, 2020). With the research on stretchable surfaces, the behavior and performance of TPU material has been examined. Flexible fabric types were preferred in addition to TPU material on the prototype to be tested in the study. Additionally, Grasshopper was used as a digital model algorithmic modeling tool and Kangaroo was used as a plug-in. Components such as Settings (Custom), Mesh Brep, RemeshByColour, Mesh Edges, Join Curves, Show, Edge Lengths, Rod, Grab, Entwine, Solver, Explode Tree were used as the main lines of the digital model. Similar studies were examined and the working and non-working parts of the existing studies were analyzed and evaluated. First, an experiment was conducted on a semi-flexible fabric. Since the fabric in the prototype could not be stretched much, when the clips were opened and removed from the 3D printer table after the printing process, the retraction was at a minimum and a flexible surface that moved could not be obtained. This time, a more flexible material was used for the new experiment. This time the system worked. The surface area in the digital model and



physical model was compared and the final product was obtained. Following figure is a flow diagram of the process (Figure 2).

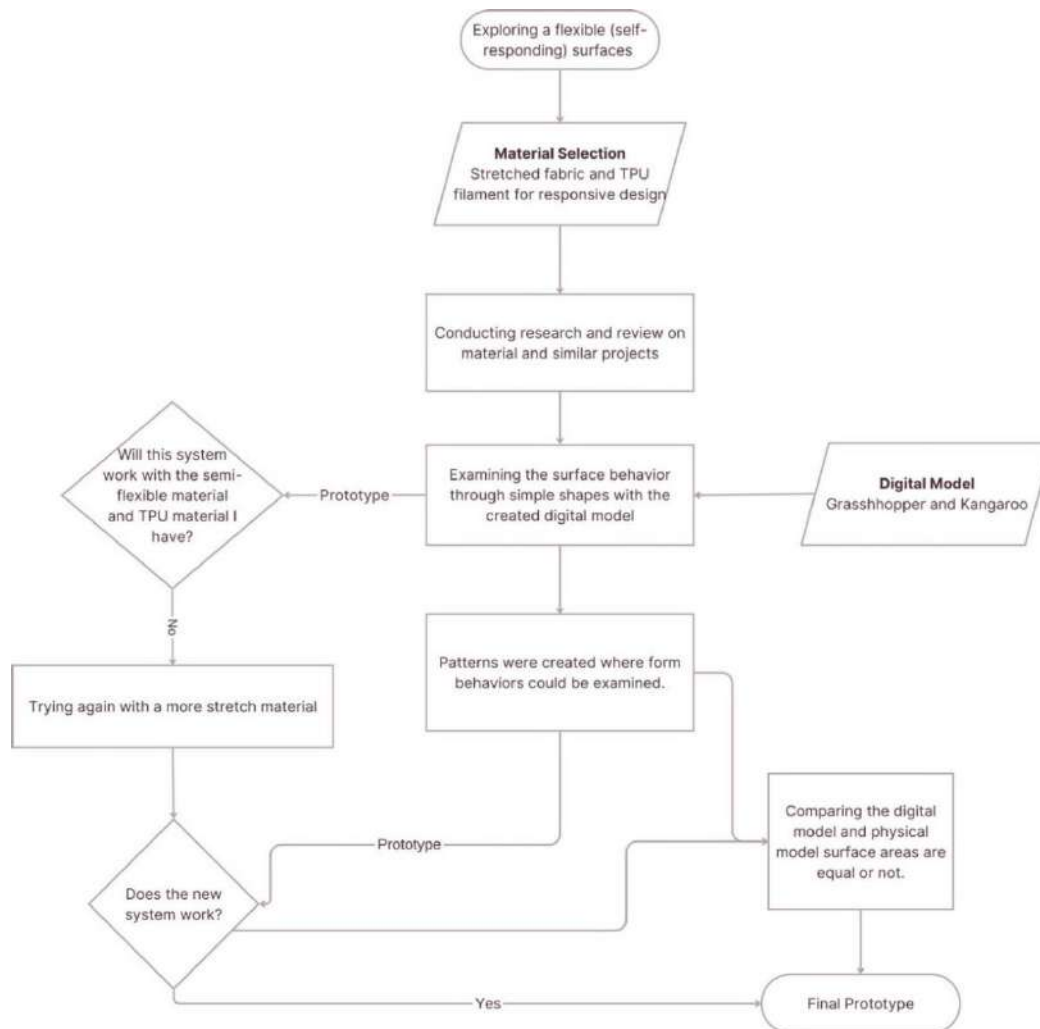


Figure 2. WorkFlow Diagram of the study.



By changing the parameters of the components such as LengthFactor, AngleFactor, AxialStrength, BendStrength on Gh Definition, settings that show the most correct flexible fabric behavior were sought (Figure 5).

Component	Component Parts	Shape
Square	Size/Radius	12
Settings(Custom)	Min Count	16
Rod	LengthFactor	1
	AngleFactor	1
	AxialStrength	1000
	BendStrength	100
EdgeLengths	LengthFactor	0.858

**Figure 5.** The values of the Settings (Custom), Rod, EdgeLengths Square parameters given for shapes are listed.

## 2. Investigation And Analysis

3D forms were created by taking advantage of the tension arising between the material and the soft plastic and flexible fabric. Once the tension of the fabric is released, the printed pattern creates tension and pressure on the textile, which transmits and distributes internal forces, creating a controlled deformation in the final form (EMA, 2020). The deflection principle finds its own equilibrium by distributing forces all across the fabric, generating a deformation and resultant geometry (Bhagat et al., 2022).

### 2.1. Prototype 1 Print Experiments

In the first stage of physical production, a semi-flexible material was experimented with. Since the fabric did not stretch enough on the 3D printer due to its bulkiness, it did not return to its previous state when taken after the process was completed. It is not desired that the tip of the nozzle bends in order to prevent its movement (Figure 6). Another problem is that the TPU material must pass through the porous structure of the fabric and adhere to each other mainly due to heat. The reason why the fabric and TPU material did not

stick on the first try is that the elastic material has small pores that are not permeable. Since the semi-flexible material used here has a tight porous structure, the material cannot pass through the pores and provide adhesion.

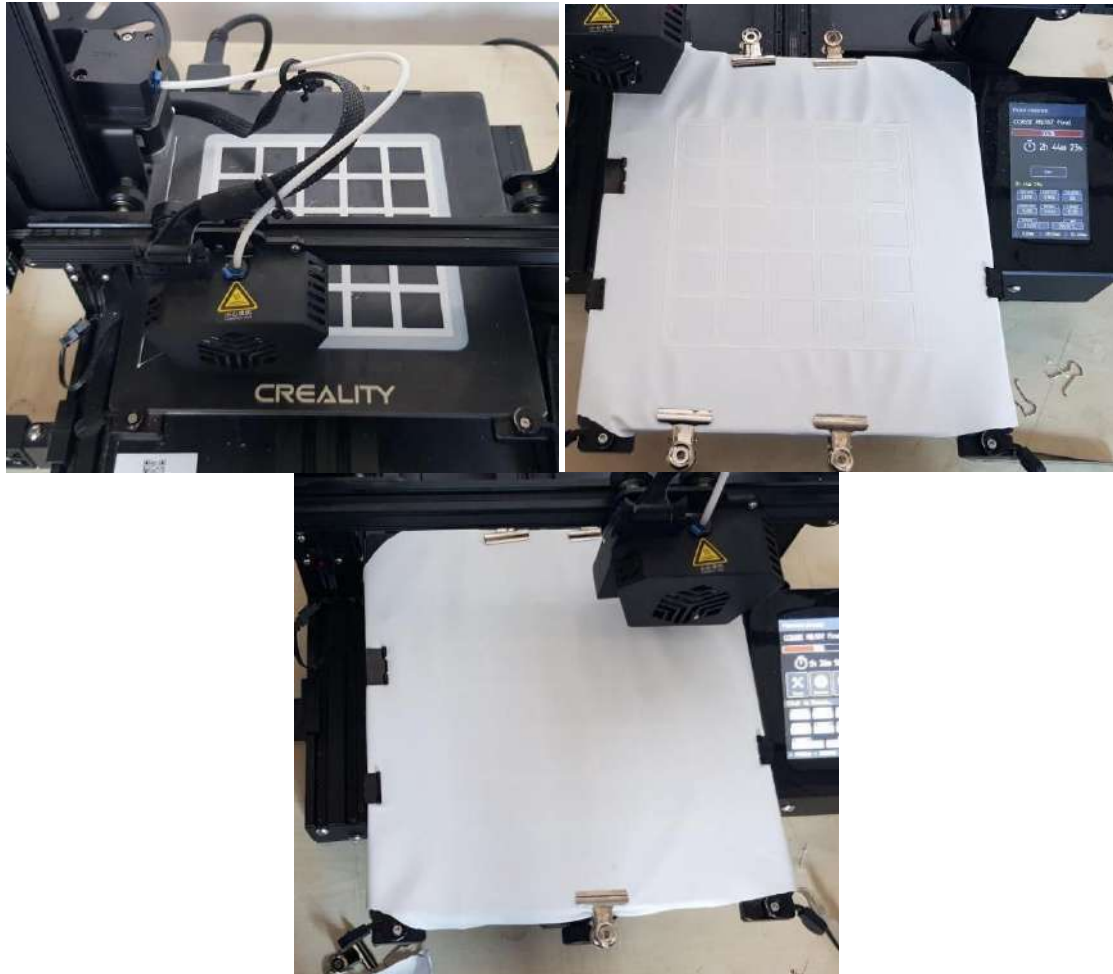
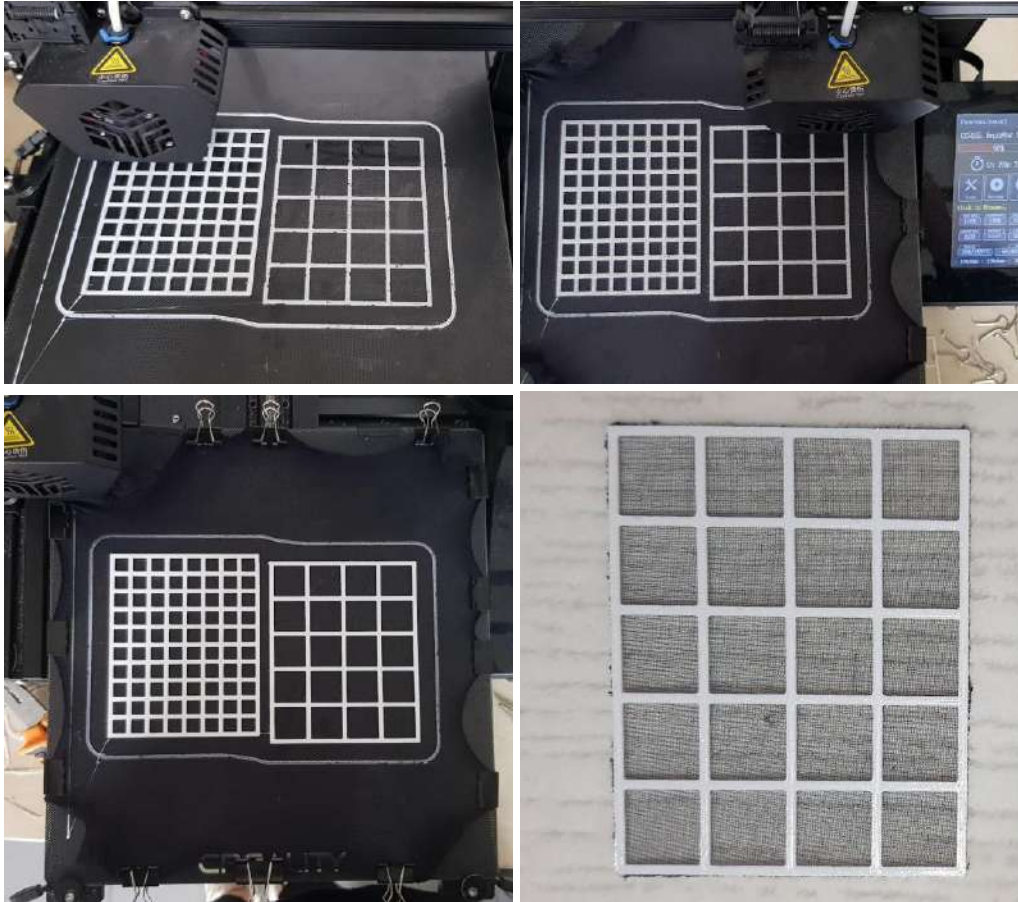


Figure 6. First prototype with semi-flexible material.

## 2.2. Prototype 2 Print Experiments

Then, two different grid structures were printed with a flexible material. The frames of these grids are the same size, but the grids are of different sizes. The problem here is that although TPU was used, the fabric could not return to its previous state because the printing thickness (2mm) was greater than the fabric. TPU material remained tough. It is flexibly stuck, fabric is not released (**Figure 7**).



**Figure 7.** Left one Grid B, right one Grid A. (1) print lower layers, (2) stretch and clip fabric, (3) print upper layers, (4) cut off excess fabric.

After the model is produced in the 3D modeling software program, material and device adjustments are made using the Ultimaker Cura program. After these settings were made, the following operations were carried out during this production with the 3D printer. Preheat bed, print lower layers, stretch and clip fabric, print upper layers, cut excess material away, detach part from printer bed and allow 3d deformation to occur.

Basically, the prototype structure is a flexible material on top of the TPU material and another TPU material on top. Those that will enable the flexible material formula to be found become larger with the tension that comes with its placement on the 3D printer table. In addition, TPU material allows the durability of TPU material with temperature and pressure. 3D printing processing parameters, such as nozzle and printing bed temperatures (Eutionnat-Diffo et al., 2020; Grimmelsmann et al., 2018; Hashemi Sanatgar et al., 2017; Spahiu et al., 2018), nozzle and printing bed distance (decreasing the distance between both the adhesive forces increases) (Grimmelsmann et al., 2018; Spahiu et al., 2018), printing velocity (Hashemi Sanatgar et al., 2017; Koziar et al., 2020) and orientation of the infill layers (Koziar et al., 2018), textile fabric characteristics (thickness, material, fabric structure and density) (Eutionnat-Diffo et al., 2020; Korger et al., 2016; Pei et al., 2015) textile net (net-like fabrics increases the adhesion between both materials, since large mesh openings provides better wetting and impregnation between the molten polymer and yarns/fibres) (Sabantina et al., 2015) and filament polymer properties (Koziar et al., 2018; Pei et al., 2015) influence the adhesion between both polymer and textile fabric (Manaia et al., 2023).

### 2.3. Prototype 3 Print Experiments

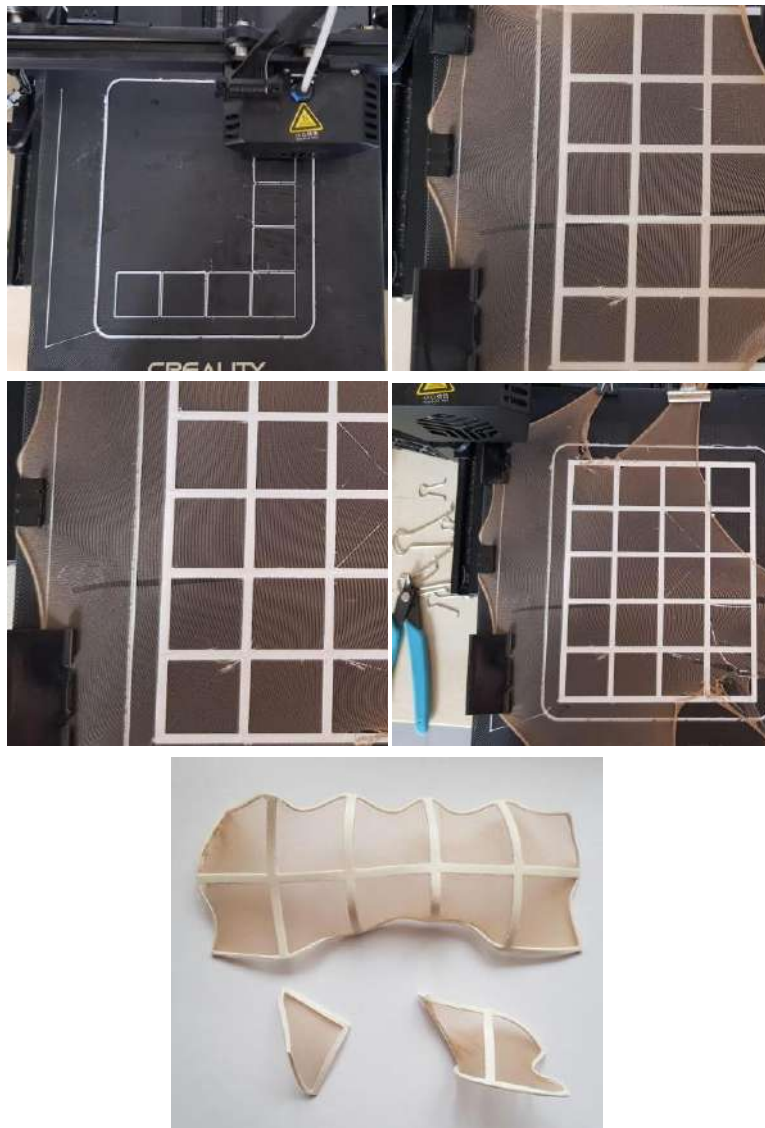


Figure 8.Third prototype.

A thickness of 1 mm is given in **Figure 8**. The system worked relatively well, but the grid lines remained thick. As a result of the lessons learned from all these non-working results, a fully working system was finally produced. The only problem here is that the high nylon content in the elastic fabric material caused tears in some places due to the temperature.

The 3D printer settings that give working results within the scope of this project after the tests are as follows. For 0.6 mm Nozzle, Layer Height 0.2 mm, Wall Thickness 1.2 mm, Top/Bottom Thickness 1.2 mm, Printing Temperature 235°C, Print Speed 20mm/s (**Figure 9a-b**). In addition, add a script has been provided to allow the device to stop production for a certain period of time in order to stretch the fabric after half of the production is completed (**Figure 11**). Production is paused for 600 seconds by giving the Pause at Height code. After the period is completed, printing continues.

Quality		Walls	
Layer Height	0.2 mm	Wall Thickness	1.2 mm
Initial Layer Height	0.2 mm	Wall Line Count	2
Line Width	0.6 mm	Optimize Wall Printing Order	<input checked="" type="checkbox"/>
Wall Line Width	0.6 mm	Horizontal Expansion	0.0 mm
Outer Wall Line Width	0.6 mm	Top/Bottom	
Inner Wall(s) Line Width	0.6 mm	Top/Bottom Thickness	1.2 mm
Top/Bottom Line Width	0.6 mm	Top Thickness	1.2 mm
Infill Line Width	0.6 mm	Top Layers	6
Initial Layer Line Width	100.0 %	Bottom Thickness	1.2 mm
Walls		Bottom Layers	6

**Figure 9a.** 3D Printer Settings.





Figure 9b. 3D Printer Settings.



Figure 10. Pause at height script.

### 3. Discussion and Implications

Arrangements and changes made in the thickness of the material, dimensions in grid form, selected elastic material and 3D printer settings ensured a successful result in this study. The work highlights how dynamic the process of determining architectural form is. Investigating self-forming surfaces digitally and physically demonstrates their transformative potential and adaptability. The study revealed how 2D models may be transformed, and in doing so, it also demonstrated the possibility of 3D forms, which has important ramifications for architectural innovation. Within this project, the system has been proposed to work as a pavilion (Figure 11).



**Figure 11.** Proposal and final prototype of the study.

This manufacturing methodology facilitates the parametric realization of 3D forms based on printing parameters. While contemplating the scalability of this fabrication technique for larger forms and vault structures, it is imperative to acknowledge inherent challenges associated with the scaling of testing

procedures. Moreover, it may involve the development of a system capable of parametrically implementing specialized pop-up structures, enabling swift deployment in the field while ensuring facility storage and transportability.

The form-finding process is greatly impacted by flexible materials, which opens the door to environmentally responsible and user-friendly architectural solutions. The study highlights how material-oriented design approaches have a revolutionary impact on architectural innovation.

#### **4. Concluding Remarks**

TPU is a material that stands out with its flexibility and durability. On a larger scale, a project of adaptive architecture has an impact on the environment, having the opportunity to conserve (and even produce) energy, reduce smog and avoid building waste. These features can increase its usability in architectural applications, especially some facade claddings, outdoor furniture, and lightweight roof coverings. Design proposal is a single unit created that can work alone as a design. The created unit can work alone as a pavilion-sized design.

Additionally, TPU's properties such as water resistance and chemical resistance can be advantageous in certain applications. In the particular situation covered in this article, capitalized on the ability to print "semi-flexible" materials—like TPU composite materials with complementary and enhancing material properties. TPU Resin has advantages over other soft-touch materials, including superior low-temperature impact strength, good tear strengths, and increased abrasion resistance, which are useful in architectural and construction applications (Agkathidis et al., 2018). Material selection in architectural applications often depends on a number of factors such as building design, climatic conditions, budget and aesthetics. PTFE (Polytetrafluoroethylene) Coated Fiberglass, ETFE (Ethylene Tetrafluoroethylene) Films, PVC Coated Polyester, Silicone Coated Fabrics, Nylon or Spandex Flexible Fabrics for flexible fabric can be use. Using parametric simulation tools in tandem with physical experimentations, the intention is to develop, and then control, a quasi form-finding process (Agkathidis et al., 2018). The primary challenges stem from the requirement for large-scale 3D printers that require design and the nonlinear behavior that 3D printed shapes display at different scales. In the formulation, specific crucial design components like responsiveness and flexibility were highlighted. The attempt to scale up requires conducting a new set of experiments that take into account the special instruments and resources relevant to the larger setting (Agkathidis et al., 2018).

In conclusion, the study highlights the potential of flexible materials in architecture. The results push for reconsidering conventional design methods and urge architects to use programmable materials to create dynamic and adaptable physical spaces. This work offers up new avenues for investigation by promoting a deeper examination of material-oriented design in the dynamic domain of architecture.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This project was realized within the scope of the MBL 557E Material-based Computational Design in Architecture course, conducted by Assoc. Prof.Dr. Sevil Yazıcı at Istanbul Technical University, Architectural Design Computing Graduate Program in 2023-2024 Fall Term.

## REFERENCES

- Agkathidis, A., Berdos, Y., Brown, A. (2018). Active membranes: 3D printing of elastic fibre patterns on pre-stretched textiles. *International Journal of Architectural Computing*. 17(1), 74-87. <https://doi.org/10.1177/1478077118800890>
- Bhagat, P., Gürsoy, B. (2022). Stretch – 3D Print – Release: Formal descriptions of shape-change in 3D printed shapes on stretched fabric. *eCAADe* 40. 1(), 301-310. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2022.1.301>
- Čuk, M., Bizjak, M., Muck, D., Kočevar, T. (2020, November). 3D printing and functionalization of textiles [Paper presentation].
- 10th International Symposium on Graphic Engineering and Design, Serbia. 10.24867/GRID-2020-p56.
- Denker, M., Diec, D. & Saglam, M. (2021). Possibilities of Fabric Embeds in 3D Printing. [https://merlindenker.de/files/Fabric\\_Embeds\\_in\\_3D\\_Printing.pdf](https://merlindenker.de/files/Fabric_Embeds_in_3D_Printing.pdf)
- EMA, A guide to thermoplastic polyurethanes (TPU), Retrieved 30 Nov 2023, from <https://www.ema.gen.tr/wp-content/uploads/2020/05/TPU-EN-Guide-Tpu.pdf>
- Evlén, H. (2019). Doluluk Oranının 3B Yazıcıda Üretilen TPU ve TPE Numunelerinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *DEUFMD*, 21(63), 793-804. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216310>
- Hohimer, C., Christ, J., Aliheidari, N., Mo, C., Ameli, A.,(2017, April 11) 3D printed thermoplastic polyurethane with isotropic material properties [Paper presentation], SPIE Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, Portland, 10165 1016511-1. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2259810>
- Manaia, J.P., Cerejo, F., Duarte, J. (2023) Revolutionising textile manufacturing: a comprehensive review on 3D and 4D printing technologies. *10, 20*. <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00339-7>
- Oxman, N., and Rossemberg, J.,L. (2007), Material-based design computation an inquiry into digital simulation of physical material properties as design generators, *International Journal of Architectural Computing*, 5(1), 25-44. <https://doi.org/10.1260/147807707780912985>
- Partsch, L., Vassiliadis, S., Papageorgas, P. (2015 September 11-12) 3D PRINTED TEXTILE FABRICS STRUCTURES, 5th International Istanbul Textile Congress 2015: Innovative Technologies “Inspire to Innovate”, Istanbul.

Poghosyan, H., Flore, I., Zamani, M., Fontana, M., Antonenko, N., Romanova, N., Liddell, T, (2019). SBINBEN: Smart Bio-inspired Building Envelopes, Alta Scuola Politecnica.

[https://www.asp-poli.it/wp-content/uploads/2020/09/SBINBEN\\_Poster-1.pdf](https://www.asp-poli.it/wp-content/uploads/2020/09/SBINBEN_Poster-1.pdf)

Takahashi, H., Kim, J. (2019, October 20-23). 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles, Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New Orleans. <http://dx.doi.org/10.1145/3332165.3347896>

Vivanco, T., Valencia, A., Yuan, P. (2020) 4d Printing: Computational Mechanical Design Of Bi-Dimensional 3d Printed Patterns Over Tensioned Textiles For Low-Energy Three-Dimensional Volumes, *Cadria*, 1, 193-202.

Wang, Y., Li, Y., Hofmann, D., Andrade, J., Daraio, C. (2021). Structured fabrics with tunable mechanical properties. *Nature*, 596(7871), 238-243. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03698-7>

Chen, Y., Deng, Z., Ouyang, R., Zheng, R., Jiang, Z., Bai, H., Xue, H. (2021) 3D printed stretchable smart fibers and textiles for self-powered e-skin. *Nano Energy*, 84, 105866, 2211-2855. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.10586>

## Şekil Hafızalı Alaşım ile Duyarlı Cephe Tasarımı Üzerine Bir Öneri

Hazal ALMAÇ<sup>1</sup> ; Sevil YAZICI<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>almac23@itu.edu.tr; <sup>2</sup>sevilyazici@itu.edu.tr

### Özet

Binaların dış yüzeyi, buldukları bağlamla ilişkili olarak, çevresel koşullara göre, güneş ve rüzgâr gibi doğal etmenlere yanıt verebilecek şekilde tasarlanabilir. Mimarlıkta "Duyarlı Bina Cephesi (Responsive Building Facade)" kavramı, yapıların dış cephelerinde kullanılan ve değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilen teknolojileri temsil etmektedir. Duyarlı cepheler, Şekil Hafızalı Alaşım (SHA) gibi akıllı malzemelerin kullanımıyla çevresel değişikliklere yanıt verebilir. SHA bileşenlerini entegre eden sistemler, ek enerjiye ihtiyaç duymadan, kendisini çevre koşullarındaki değişimlerle aktive ederek pasif enerji ile çalışabilir. Bu alandaki mevcut çalışmalara rağmen güneş enerjisiyle aktifleşen cephe sisteminin uygulanmasına yönelik sunulan çözümler sınırlıdır. Alanda sistemin açılıp kapanması için SHA'nın çift yönlü programlanması konusunda bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışma, değişen çevre koşullarına uyum sağlayan bir bina dış cephesi tasarlamayı ve güneş enerjisi ile aktif hale getirilebilen bir cephe sistemi oluşturmayı, aynı zamanda ışık kontrolü ve gölgeleme ile kullanıcı konforunu arttırmayı amaçlamaktadır. Bildiri, akıllı malzemelerden Nitinol telin origami katlama tekniği ile birlikte kullanılarak cephe tasarımıyla bütünleştirilmesine odaklanmaktadır. Alandaki mevcut çalışmalardan farklı olarak, sistemin bütüncül çalışabilmesi için Nitinol'un tek parça halinde poligon altıgenin sınırlarına entegre edilip, ısı artışıyla açılarak yıldız şekline, ısı düşüşünde ise kapanarak altıgene dönüşümünü sağlamaya çalışarak yöntemi nasıl geliştirilebileceğini çözmeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın yöntemi, fiziksel ve sayısal tasarım yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Öncelikle ısıyla aktifleşen nitinol telin davranışı, çeşitli ısı değişimlerine verdiği tepki ve hafızalandırılma süreçlerini anlamak için fiziksel deneyler aracılığıyla analiz edilir. Daha sonra Origami'nin potansiyel kinematik mekanizmasını anlamak için katlama denemeleri hem analog olarak hem de algoritmik modelleme ortamındaki fizik-tabanlı benzetim platformu kullanılarak oluşturulmuştur. Bu deneyler sonucunda telin katlanan yüzeyin neresine yerleştirileceği anlaşılmış, ünitelerin tekrarından oluşacak cephe birimi olarak en uygun çokgenin ise mevcut çalışmalar ışığında altıgen olmasına karar verilmiştir. Bir sonraki aşamada altıgenin kenarlarına tek parça şeklinde yerleştirilen tel ilk fazda katlanmada oluşan yıldız şeklini, ikinci fazda altıgen şeklini alacak şekilde programlanmıştır. Bu altıgen ünitelerin güneşi temsil eden bir atraktör yardımıyla gün ışığının konumuna bağlı olarak nasıl tepkiler vereceği ise katlanma yüzdelerini modelleyebilen fizik-tabanlı benzetim platformu aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut bir binanın cephesine üniteler uygulanarak, cephe sistemi ile önerilen cephe sisteminin çevresel performansları karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, altıgen üniteler, ısıya duyarlı hareket mekanizmasını çift yönlü gerçekleştirebilmiştir. Mekânın güneşin konumuna bağlı olarak ışık kontrolü ve gölgelendirme gibi görevleri, duyarlı cephe sistemi ile sağlayabileceği gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı malzemeler, şekil hafızalı alaşım, duyarlı cephe, katlama.

# A Proposal on Responsive Facade Design with Shape Memory Alloys

Hazel Almac<sup>1</sup>; Sevil YAZICI<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Istanbul Technical University

<sup>1</sup>almac23@itu.edu.tr; <sup>2</sup>sevilyazici@itu.edu.tr

## Abstract

*The exterior of buildings can be designed to respond factors such as the sun and wind, depending on the environmental conditions and context in which they are located. The concept of "Responsive Building Facade" in architecture represents technologies used on the exteriors of buildings that can adapt to changing environmental conditions. Responsive facades can respond to environmental changes through the use of smart materials such as Shape Memory Alloys (SMA). Systems that integrate SMA components can operate with passive energy by activating themselves with changes in environmental conditions without needing additional energy. Despite existing studies in this field, the solutions offered for the implementation of the solar-activated facade system are limited. In the field, there is a gap in the bidirectional programming of SMA for opening and closing system. This study aims to design a building exterior that adapts to changing environmental conditions and create a facade system that can be activated with solar energy, by also aiming to increase user comfort with light control and shading. The paper focuses on integrating Nitinol wire as a smart material into the facade design using the origami folding technique. Unlike existing studies in the field, this research aims to solve how to develop the method by integrating Nitinol as a single piece into the boundaries of a polygonal hexagon, enabling it to transform into star shape when heat increase and revert to a hexagon when heat decrease, thereby ensuring the system can be operated holistically. The workflow uses a combination of physical and computational design methods. First of all, the behavior of heat-activated nitinol wire is analyzed through physical experiments to understand its response to various temperature changes and its memory processes. Then, to understand the potential kinematic mechanism of Origami, folding experiments are undertaken both manually and using the physics-based simulation platform in the algorithmic modeling environment. Following the experiments, it is understood where the wire will be placed on the folded surface, and it is decided that the most suitable polygon as the facade unit will be the hexagon in the light of the existing studies. In the next stage, the wire placed in a single piece on the edges of the hexagon that is programmed to take the star shape formed by folding in the first phase and the hexagon shape in the second phase. How these hexagonal units will react depending on the position of daylight with the help of an attractor representing the sun is modeled by the physics-based simulation platform, in which folding percentages can be identified. The units are applied to the facade of an existing building, and the environmental performance of the facade system is compared and evaluated against the proposed facade system. As a result, hexagonal units are able to respond to the heat-active movement mechanism in two directions. It is shown that the space can provide tasks such as light control and shading depending on the position of the sun with a responsive facade system.*

**Keywords:** Smart materials, shape memory alloy, responsive facade, folding.

## 1. Introduction

Buildings cause significant amounts of carbon emissions, both directly and indirectly, throughout their life cycles. While they directly refer to the energy spent for the construction, operation, rehabilitation, and finally demolition of buildings, they indirectly refer to the energy spent through the production of the materials of which buildings are made and the materials of which facilities are made. In the study conducted by Sartori et al., they showed that operational energy in buildings represents by far the largest share of the energy demand (indirect or direct) required by a building throughout its life cycle, reaching 90-95% even when only heating energy is considered (Sartori et al., 2007). The energy demands of buildings to power heating, cooling, lighting, and technological systems significantly increase this output. The reason for these energy demands stems from trying to ensure the comfort of building users indoors. One of the important reasons why so much energy is spent to provide comfort is that buildings are not designed to use the natural potential of their context. Therefore, building exteriors designed in accordance with their context not only meet operational energy needs, but also contribute significantly to energy savings within the framework of sustainability. The function of connecting a building to the outdoors is undertaken by facades, the primary surfaces in contact with the environment and act as a barrier between the outdoors and the interiors (Esgil and Yamaçlı, 2023).

### 1.1 Responsive Facades

The concept of "responsive building facade" in architecture represents the technologies used on the exteriors of buildings that enable them to adapt to changing environmental conditions. It is suggested that responsive facades will play an important role in improving the energy performance of buildings in the future (Zhang et al., 2021). As energy-independent systems, these facades can change properties such as shape and transparency by responding to external factors such as sunlight, temperature, humidity, and wind (Saidam et al., 2017). An energy-independent system provides its energy production without the need for any other force by taking natural energy from renewable energy sources such as wind, solar, biomass, or hydroelectricity. In responsive facades, the necessary system can be created with smart materials that use their own natural energy. Smart materials in architectural applications are used on facades that form the exterior of buildings (Saidam et al., 2017). In addition to reducing the carbon footprint of buildings, these systems also enable a more harmonious relationship between built spaces and the ecosystems surrounding them. Architects and engineers carry out various studies to design facades to respond to climatic conditions. Engineers are pioneering the production of innovative facade systems and climate-compatible adaptable facade systems by discovering and developing new materials.



## 1.2 Smart Materials

Smart materials such as SMAs have the ability to return to their previous shape or size when exposed to appropriate thermal and mechanical effects (Çakmak and Kaya, 2017). SMAs can be used as the system itself or as a subcomponent. Systems that integrate SMAs as components can act with environmental factors that activate their internal energy without mechanical energy (Battal and Yazıcı, 2023). Grinham et al. used Nitinol, one of the most widely used SMAs, and tension spring integration as a shading element (Grinham et al., 2014). Waldhör et.al. created the ADAPTEX R&D project by integrating SMA into the textile as an actuator and creating a ventilation facade system (Waldhör et al., 2021). Another study using smart materials provided the facade system, which performs two functions: ventilation of the building in summer and insulation of the building facade in winter, with the Nitinol alloy integrated into the aluminum panel (Formentini and Lenci, 2018). In Living Glass Project, S. Yang and D.Benjamin produced a prototype, by covering the space between the SMA wires with a polymer surface, enabling CO<sub>2</sub> exchange between the indoor and outdoor environment (Ergin and Girgin, 2020). PixelSkin02, created by Void, Chief Organizer of the Smart Building Laboratory in Glasgow, produced a panel activated by SMA wires. While this panel formed a combination of four triangular pieces, it fulfilled the task of daylight control and lighting (Ergin and Girgin, 2020). Victor Li and his colleagues created a shading system activated by SMA in their project called Tube. Inspired by the packaging logic in the design of this system, they developed a structure that can be collected and distributed. Pesenti and colleagues digitally investigated the kinematic movement mechanism in triangle, quadrilateral, and hexagonal patterns, which are among the most well-known family groups of origami, to determine the most suitable polygonal configuration for integrating the Nitinol wire into the fold line of the polygon (Pesenti et al., 2015). In their digital analysis with the Kangaroo tool, they applied equal forces to two- and three-dimensional patterns and compared their folding degrees with their initial state. They determined that the most suitable polygon was the hexagon in terms of working properly on the Z axis and adapting to the 60-degree layout advantage. The activation temperature of the Nitinol wire used in the prototype was chosen to be much higher than normal temperatures, that is, between 68°C and 78°C, leading to experiments at a temperature above real-world weather condition. In addition, the necessary programming for the system that can be opened and closed in the study was not implemented in two phases, and it was not clear how the panel system would behave while gathering and dispersing towards the center. In another study conducted with Origami and Nitinol wire integration, Nitinol, which was activated at 45 °C, was placed in 4 separate pieces around the polygon (Battal and Yazıcı, 2023). Since the second phase was not applied, the wire had to be reshaped manually.

This study focuses on a prototype driven by the integration of Nitinol wire with a polygon geometry. The Nitinol wire must be memorized in double phases for the prototype that has two states as opened and

closed with the changes in heat levels. The workflow provides critical procedures in terms of how to program the wire by folding in two stages. It aims to provide a solution to regarding the application of the solar energy-activated facade system by developing a holistic system that aims to provide a connection with the external environment by using it as a single piece on the edges of the hexagonal polygon of the SMA to work holistically with the unit.

## 2.Workflow of the Study

This study is carried out to create a facade design activated by solar heat. The system is generated by integrating Nitinol, a shape memory alloy, with a hexagonal polygon created with the origami folding technique. The workflow of the research is structured in four stages using physical experiments and computational design as follows: **(1)** behavior analysis and programming of nitinol wire, **(2)** behavior of origami polygons: computational and physical investigation, **(3)** physical and computational modeling the heat- activate system, and **(4)** environmental performance analysis (**Figure 1**).

Lateron, the workflow is tested by wire a case study, in which an office building in Istanbul is utilized.

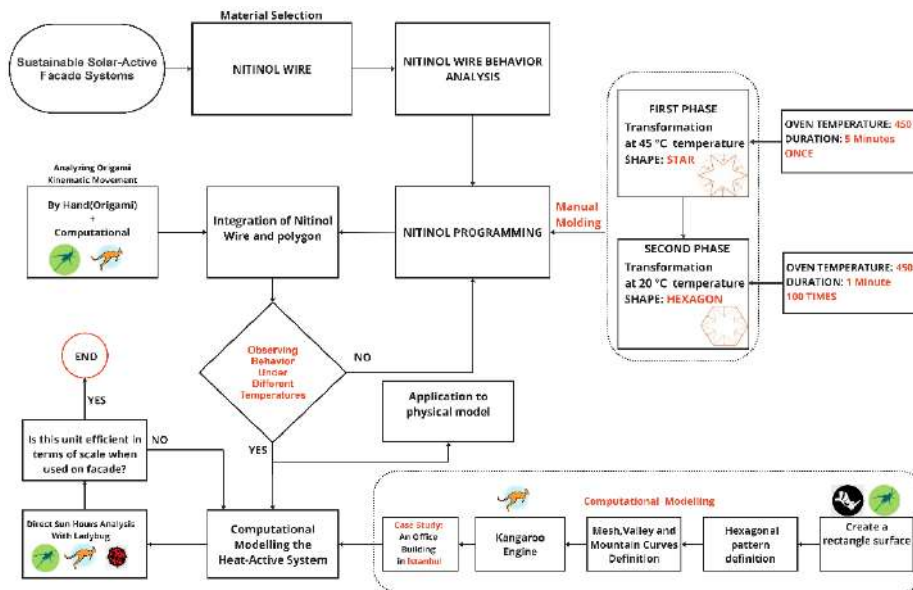


Figure 1. Workflow of the study.

### 2.1. Behavior Analysis and Programming of Nitinol Wire

SMA, one of the smart materials, has the natural ability to return to its previous shape or size when exposed to appropriate thermal and mechanical effects. Alloys that are intended to transform at higher temperatures and are subjected to a heat cycle only once are called "single phase", and alloys that are planned to react to lower temperatures and gain a second shape are called "dual phase". Nitinol, which has a special place among these alloys, is an intermetallic compound consisting of the elements nickel (53-57%) and titanium (43-47%). The most important feature of Nitinol, also known as the metal with memory, is that it is very hard at high temperatures, and its flexibility increases as the temperature decreases. This is because the atoms in nitinol behave differently in hot and cold environments. It is the most used and perhaps the most well-known due to its corrosion resistance, ductility, high deformation recovery, and biocompatibility properties (Formentini and Lenci, 2018). The percentage in the chemical composition of the Nitinol alloy and the type of heat treatment it is subjected to during its production determine the transition temperature of the wire. The heating time depends on the shape of the elements to be programmed.

In this study, to understand how nitinol behaves under different temperatures, the wire activated at 45°C is molded and heated in an oven to 450 °C. Its ability to retain the molded shape is tested in a physical environment using a heat machine (**Figure 2**).



**Figure 2.** Test of straight wire memorized as a triangle (Photos by Hazel Almaç).

The Nitinol wire, which should be integrated into the facade prototype, must be programmed with a double phase to operate independently. How to program when applying double phase varies depending on the shape being worked on and the wire thickness. However, in the experiments, the first phase is carried out in a single step, while the second phase is repeated multiple times to ensure the Nitinol wire acquires the second shape at lower temperatures. Dual-phase Nitinol transforms bidirectionally, from its first memorized

shape to its second memorized shape, as the temperature changes. To create a facade system that is activated by air temperature, it is necessary to memorize Nitinol in the first shape for the units to open and in the second shape for the units to close. To perform this dual-phase process, the wire with a diameter of 1 mm is first manually molded into the star shape formed by folding the polygon that will be activated at 45 °C air temperature and it is kept in the oven at 450 °C for 5 minutes. Here, the first-phase process is carried out once. For the unit to close at an air temperature of 20 °C, the wire memorized in the shape of a star is molded into nails arranged in a hexagonal shape in the second phase and kept in the oven at 450 °C for 1 minute. Nitinol turns into the shape it took in the first phase with the heat of the wire furnace. Therefore, to memorize it into the second shape, the hexagon, the wire that turned into a star in the oven is taken out, molded into a hexagon again, and kept in the oven for 1 minute. To memorize this second shape, it is necessary to do the same operation 100 times. Thus, the Nitinol wire will be memorized as a dual phase (**Figure 3**). Although the oven temperature remains the same during the double phase temperature transition, the holding time in the oven varies. While nitinol stabilizes the unit at a temperature of 20 °C, the wire gradually transforms from a hexagonal shape to a star shape until the temperature reaches 45 °C. As the temperature decreases, the unit returns to its closed state, from its star shape to its hexagonal shape.

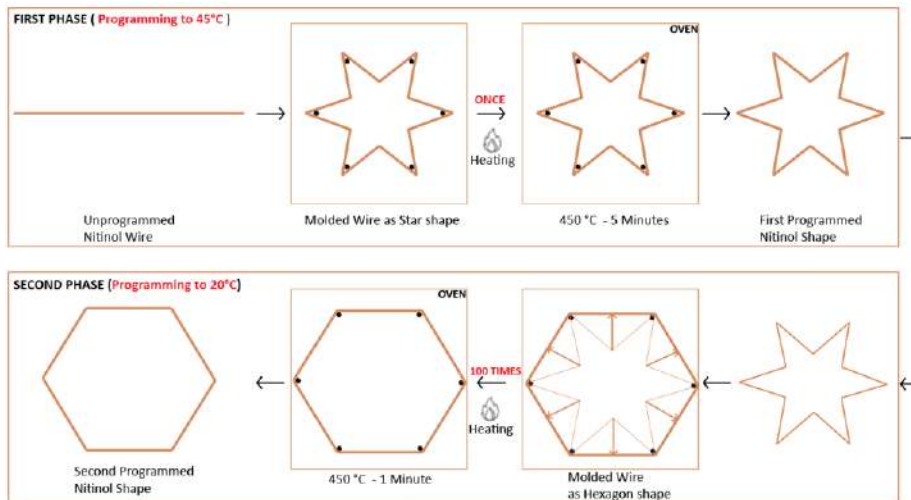
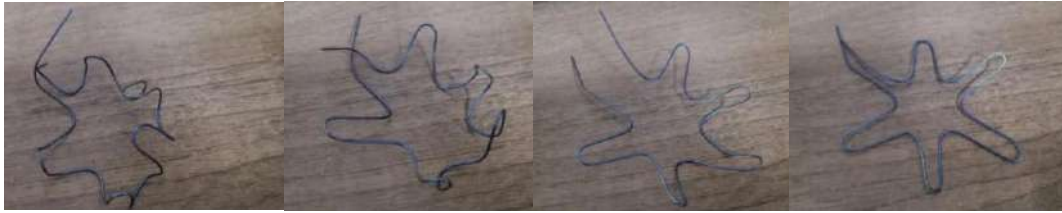


Figure 3. Nitinol programming process.

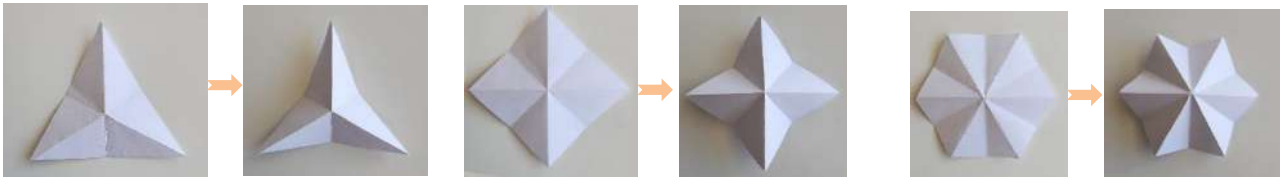
Even if the Nitinol wire is deformed, when 45 °C heat is applied, it returns to the star shape it memorized in the first stage (**Figure 4**).



**Figure 4.** Transformation of nitinol wire to its programmed shape at 45 °C.

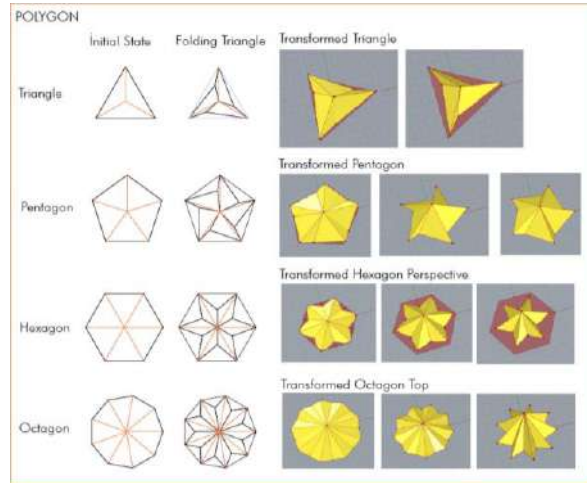
## 2.2. Behaviour of Origami Polygons: Computational and Physical Investigation

The unit working with nitinol wire must benefit from the kinetic movement provided by origami folding techniques to create a system that moves without consuming energy. Origami behavior is observed both manually and in the computational environment. Firstly, with hands, folding lines are created in the desired directions using Origami folding folds. Origami behavior is experienced by folding the diagonals of the polygons and folding from the center of the polygon to the middle of the edges (**Figure 5**).



**Figure 5.** Folding manually with paper.

While folding can be achieved with the middle of the edge in manual attempts, moving to another point of the edge makes it difficult to control the process. For this reason, the behavior of the polygons is observed by drawing fold lines at points other than the midpoint of the edge with the GH Kangaroo tool in the digital environment (**Figure 6**).

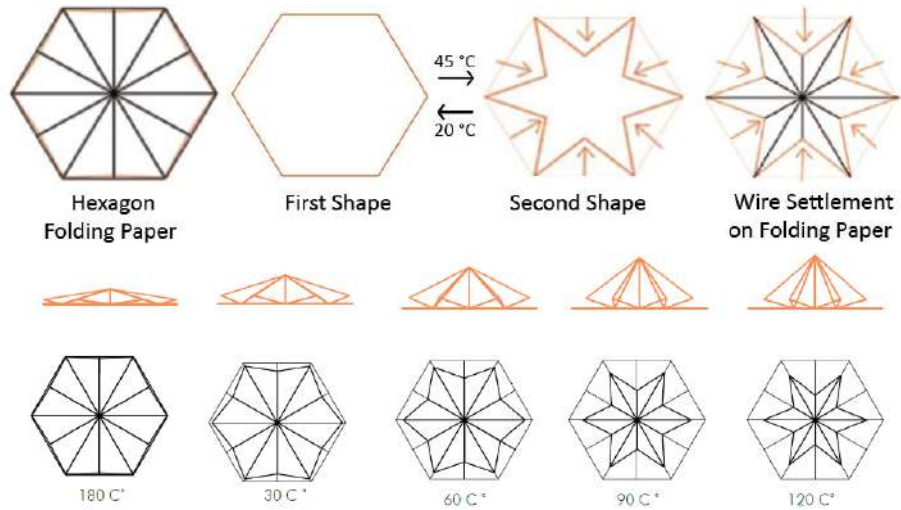


**Figure 6.** Generating folding pattern in 2D and translating it into 3D.

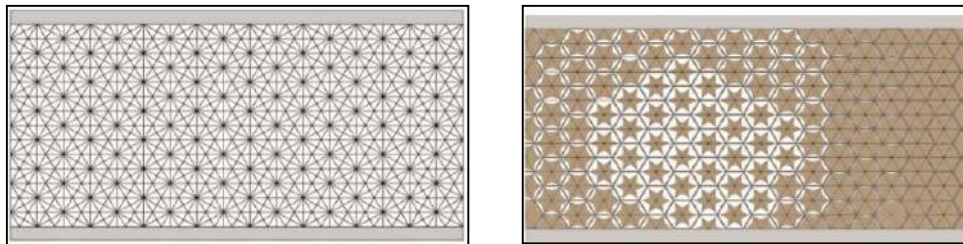
In the light of existing studies, it is decided to proceed with hexagonal polygon rather than triangular and rectangular polygons (Pesenti et al., 2015). While the hexagonal polygon performs better with 60-degree wire placement thanks to its modular structure, it offers advantageous distribution values when the wire is positioned on the polygon because it moves more easily along the Z axis.

### 2.3. Physical and Computational Modeling of the Heat-Activate System

Nitinol wire is placed at the edges according to the folding mechanism of the polygon. In this way, the wire shows controllable movement in the XY axis. When the heat increases, the nitinol wire turns into a star shape to open system, then with heat decrease, turns into hexagon shape to close it back. Thus, a heat-activated system is created (**Figure 7**). The repeating unit of the facade is created and integrated into the honeycomb structure. An example representation of the 2D model of the heat active system (**Figure 8**) and its physical model are provided below (**Figure9**).



**Figure 7.** Transformation of the heat-active component.



**Figure 8.** Heat-active system implemented to the 2D honeycomb structure.



**Figure 9.** Physical modeling of the heat-active system.

The units on the facade activated by solar energy will be opened and closed in some places depending on the position of the sun and the climate conditions.

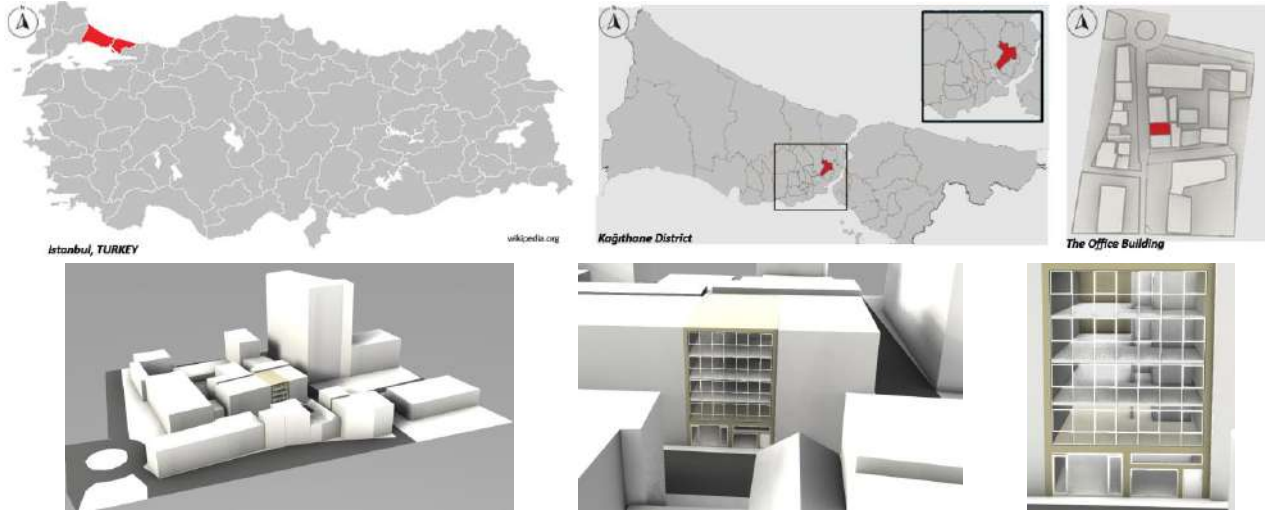
#### **2.4. Environmental Performance Analysis**

In the environmental analyses conducted with Ladybug, the Energy Plus Weather (.epw) file must be used as a component. EPW files contain climate data, such as hourly weather for a geological location, and are used for energy simulations, solar analysis, and other environmental analysis. Materials are not assigned to geometries in the analyses. The analysis component to be performed is connected to the .epw component. Dry Bulb Temperature analysis provides data on ambient air temperature that is essential to understand the energy consumption, overall environmental performance and thermal comfort of buildings. It is used to determine the general and hourly temperature changes of the region, and Radiation Dome Analysis is used to determine the total radiation amount of the region from the sun. Radiation Dome Analysis is a type of analysis used to evaluate the exposure of building surfaces to solar radiation, that is, solar gain. It helps to understand how much solar radiation different parts of the building receive daily and annually. Direct Sun Hours Analysis is a type of analysis that helps determine how long the surfaces of a building receive direct sunlight throughout the day. This analysis is especially important in terms of building design, energy efficiency and indoor comfort.

#### **2.5. Case Study: An Office Building in Istanbul**

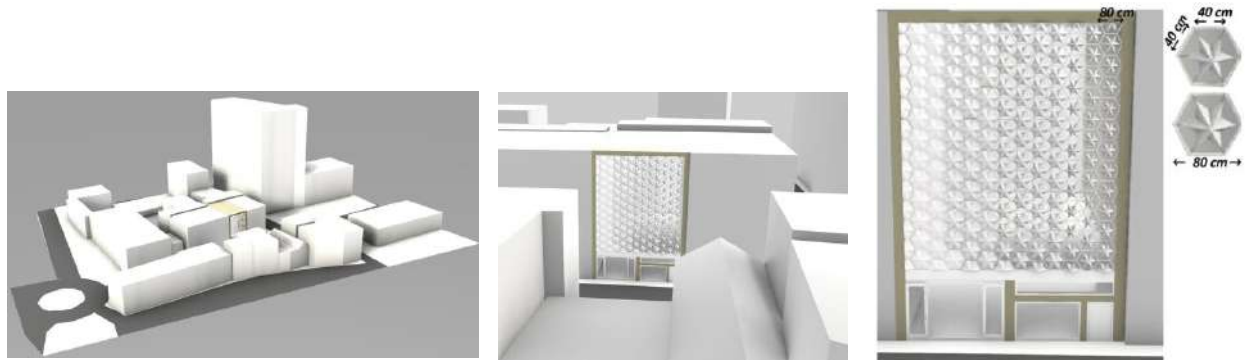
The workflow was implemented to the facade of an office building in Kağıthane, Istanbul (**Figure 10**).





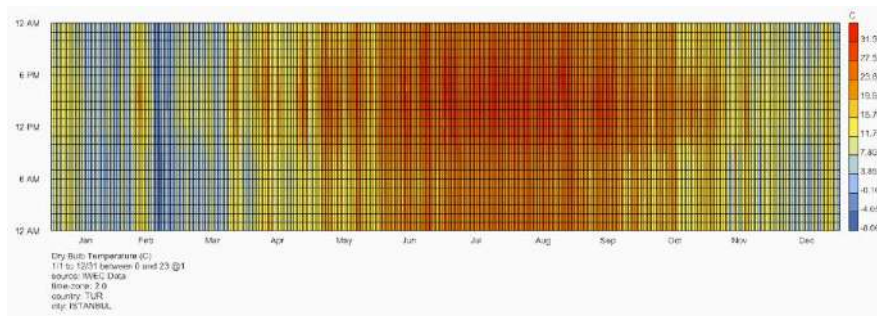
**Figure 10.** An office building in Kağıthane, İstanbul.

Firstly, a rectangular surface of the office facade was created. To divide the surfaces into smaller units, GH's hexagonal paneling was used. The mesh, valley, and mountain curves of the hexagonal unit were determined. By matching this unit with the polygon opening value in the Kangaroo environment, hexagonal folding was performed. Based on the rectangular dimension in which the pattern would be created on the facade, a 2-dimensional hexagonal pattern was created with the help of an attractor, representing the solar data of the İstanbul context in the GH environment. Then, the honeycomb structure of the hexagonal pattern was created, and the polygons were integrated into the hexagonal pattern in two dimensions according to their degree of folding. Depending on the location of the office building in İstanbul, the Ladybug analysis tool was used to analyze the general and hourly changes of the dry bulb temperature of the region and the total amount of radiation from the sun. The application of the units to the facade is shown in **Figure 11**.

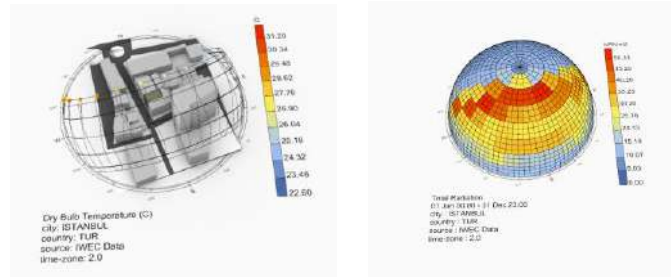


**Figure 11.** The office facade where the pattern is applied.

The existing office building was analyzed with Istanbul geographical location and climate data using the Ladybug tool. The sun position in Istanbul at 12:00 noon on June 21 was examined. **Figure 12** shows the annual temperature changes of the selected location according to hours. The transformation from blue to red represents the change from low temperature to high temperature. Dry bulb temperature analysis showed that the annual outdoor temperature in Istanbul province reaches up to 32 °C. Radiation dome analysis determined the total radiation amount of Istanbul province was exposed to approximately 50 kWh/m<sup>2</sup> from noon to sunset (**Figure 13**).



**Figure 12.** Hourly dry bulb temperature of selected work area.



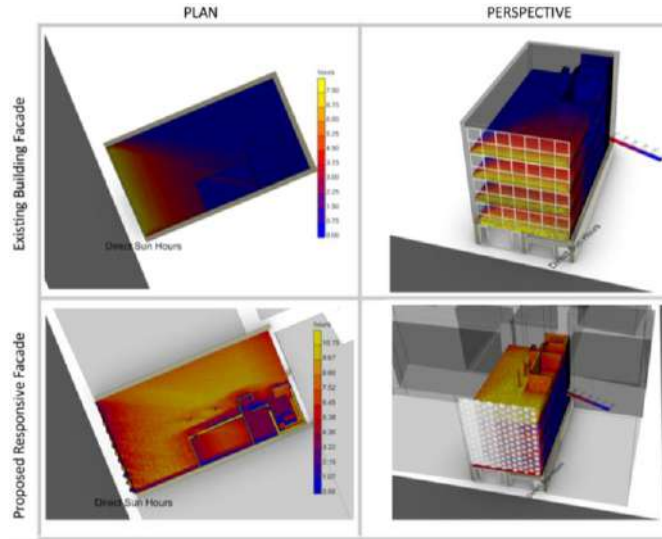
**Figure 13.** Dry Bulb Temperature and Radiation Dome of selected work area.

Direct Sun Hours analysis was performed to compare the sunlight received inside the building throughout the day between the existing building facade and the heat-active facade applied with Nitinol. Direct Sun Hours analysis provided the degree of exposure of building surfaces to direct sunlight. This analysis revealed the need to design façade surfaces to prevent overheating by controlling sunlight, to optimize the use and distribution of natural light in interior spaces.

### 3. Concluding Remarks

The integration of nitinol wire and hexagonal polygon was demonstrated in the physical model. When different temperature gradients were tested with a heater in the physical environment, it was observed that the wire gradually and holistically transformed from its hexagonal shape to its star shape. In the trials conducted on the physical model, the unit with a thickness of 1 mm and a diameter of 10 cm could be successfully opened and closed when exposed to heat, thanks to the modular form of hexagon. Considering the air temperature of Istanbul, the highest temperature was measured as 32 °C according to the analysis. Because of this reason, Nitinol wire should be programmed at lower temperatures instead of 45 °C. It reveals the amount of programming of Nitinol in accordance with the climate data of the regions. Additionally, the thickness Nitinol wire should be scaled up to be used as building components.

"Direct Sun Hours" analysis offered by Ladybug Tools, the annual daylight intake of the office building, the highest temperature was collected on the surface close to the facade for approximately 8 hours during the day. Considering the annual daylight intake of the proposed façade, the highest temperature during the day reached approximately 11 hours and the percentage of daylight distributed inside the building increased (Figure 14).



**Figure 14.** Direct sun hours analysis on selected work area.

Shape memory alloys and the integration of Nitinol into architectural applications have the potential to reduce carbon footprint, increase energy efficiency, and minimize the impact of buildings on the planet. These innovative approaches not only contribute to the design of buildings with environmentally friendly approaches but also pave the way for the adoption of "sustainable" buildings. It is clear that the integration of shape memory alloys into building facades will have a significant impact on meeting the operational energy needs of buildings with static facades, where user comfort is prioritized. By integrating this component into the façade systems, facades can be designed that operates automatically and activated by solar energy. Thus, energy consumption can be reduced.



If shape memory alloys such as nitinol find their place in architectural applications, buildings will begin to resemble living organisms according to climatic effects. As these smart materials find more space in the field of application, the scalability and cost of such materials in use will improve in a way that new technologies will be adopted. Since structures can vary in terms of sizes, suggestions such as changing the wire form can be made to solve the problems that arise in the production of smart materials on a larger scale. Therefore, future research should address the scalability of these materials, as well as reducing production costs. Moreover, the application of smart materials will depend on how and how quickly consumers and the building industry adapt to these innovations. The cost of energy used by buildings throughout their life cycles

shows that the adoption of these materials will accelerate due to factors such as their performance advantages and planet-friendly benefits. Therefore, future research should focus on balancing these innovative materials with the demands and expectations in practice.

## REFERENCES

- Attia, Shady. Lioure, Romain. Declaude, Quentin. (2020, February 19). Quentin Declaude. 2020, Future trends and main concepts of adaptive facade systems. Energy Science and Engineering. From <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.725>
- Battal, Alim. Yazici, Sevil. (2023). The Use of Smart Materials in Architecture: Nitinol-based Foldable Façade System, İstanbul University Press. from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtadp/issue/81275/1403190>
- Çakmak, Ömer. Kaya, Mehmet. (2017). Thermodynamics of Smart Material Shape Memory Alloys. Nevşehir Science and Technology Journal. from <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.311306>
- Ergin, Özge. Girgin, Zehra Canan. (2020, February 11). Shape Memory Alloys and Applications in Adaptive Facade Systems. Dergipark Akademik. from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ajesa/issue/52409/560566>
- Esgil, Mehmet. Yamaçlı, Ruşen. (2023, December 31). Energy-efficient design with adaptable facades, Dokuz Eylül University Architecture Faculty Journal. from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3111952>
- Formentini, Marco. Lenci, Stefano. (2018, January). An innovative building envelope (kinetic façade) with Shape Memory Alloys used as actuators and sensors. Pages 220-231. Volume 85. From <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction/vol/85/suppl/C>
- Grinham, Jonathan G. Blabolil, Robert. Haak, Jeremy. (2014) Harvest Shade Screens. The Catholic University of America. Acadia. from [https://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia14\\_281.content.pdf](https://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia14_281.content.pdf)
- Ma, Jianzuo. Huang, Haolei. Huang, Jin. (2013, January). Characteristics Analysis and Testing of SMA Spring Actuator. Advances in Materials Science and Engineering. from [https://www.researchgate.net/publication/258399192\\_Characteristics\\_Analysis\\_and\\_Testing\\_of\\_SMA\\_Spring\\_Actuator](https://www.researchgate.net/publication/258399192_Characteristics_Analysis_and_Testing_of_SMA_Spring_Actuator)
- Pesenti, Marco. Masera, Gabriele. Fiorito, **Francesco**. Sauchelli, **Michele**. (2015, May). Kinetic Solar Skin: A Responsive Folding Technique. Pages 661-672. Energy Procedia. From <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215002969>
- Saidam, Mahmoud. Vahid Al-Obaidi. Karam M. Hussein, Hazreena. Ismail, Muhammad Azzam. (2017, November 23). The application of smart materials in building facades, Ecology Environment and Conservation. From [https://www.researchgate.net/publication/316922070\\_The\\_application\\_of\\_smart\\_materials\\_in\\_building](https://www.researchgate.net/publication/316922070_The_application_of_smart_materials_in_building)
- Sartori, I.; Hestnes, A.G. (2007, March 27). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. Energy, and Building. from <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- Waldhör, Ebba. Fransén. Schneider, Maxie. (2021, September). Adaptive Textile Facades Through the Integration of Shape Memory Alloy. Acadia. from [https://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia20\\_360.pdf](https://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia20_360.pdf)
- Zhang, X. Zhang, Hao. Wang, Yuyan. Xuepe, Shi. (2022, December 1). Adaptive Façades: Review of Designs, Performance Evaluation, and Control Systems. from <https://doi.org/10.3390/buildings12122112>

# Yüzey Panelizasyonu Aracılığıyla Karşılıklı Çerçeve Strüktürlerinin Geometrik Tasarım Uzamının Genişletilmesi

Hanım Gülsüm Karahan<sup>1</sup> ; Sevil Yazıcı<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi



<sup>1</sup>karahan21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>sevilyazici@itu.edu.tr

## Özet

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün çevre üzerindeki yıkıcı etkisini azaltmaya çalıştığı günümüz şantiyelerinde montaj kolaylığı ve malzemenin yeniden kullanılabilirliği kritik bir öneme sahiptir. Yapım süreçlerindeki ölçsüz karbon salınımını azaltmak için montaj basitliğini öne çıkarmak Karşılıklı Çerçeve (KÇ) yapıları aracılığıyla yaygınlaştırılabilir. KÇ yapıları geniş açıklıkları görece daha kısa özdeş elemanlarla geçebilme yeteneklerinden dolayı tarih boyunca kullanılmıştır. Basit bağlantı gerektiren ve kendine özgü birbirlerini destekleme özellikleri sayesinde KÇ sistemleri kolay ve hızlı yapımın önünü açmaktadır. Düz elemanlarla ayırık ve eğrisel formlar elde etme becerisi elemanların yeniden kullanılmasına olanak verir. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda, KÇ sistemleri acil barınma yapıları ve geçici strüktürler gibi ileri teknolojik çözümler gerektirmeyen yapılar için uygulanabilir bir seçenek sunar. KÇ yapılarının inşaat alanına getirdiği basit ancak etkili tasarım çözümlerinin, diğer mekansal ve kabuk yapılara alternatifler sağlaması için daha kapsamlı değerlendirilmesi gerekir. Bu araştırmanın motivasyonu belirli ihtiyaçları karşılamak amacıyla geçici yapılar için pratik tasarım çözümleri aramaktır. Montaj basitliğinin aksine, KÇ yapılarının strüktür davranışı karmaşık olmakta ve sezgisellik barındırmamaktadır. Bu karmaşıklık, yapının geometrisinin kontrol ve tahmin edilebilir olmasını da zorlaştırır. Tekrar eden birimlerle oluşturulan KÇ yapılarının optimizasyonu üzerine birçok çalışma olmasına rağmen, birim varyasyonu gösteren KÇ yapıları ve yüzey manipülasyonunun yapı örüntüsünü nasıl etkilediği üzerine yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışma, KÇ yapılarının kendi geometrik özelliği olan ikilik (duality) prensibinden yola çıkarak yeni yapısal konfigürasyonlar oluşturmayı amaçlamaktadır. İkilik özelliği, geometrinin yüzey üzerine atanmasının (mapping) aksine strüktürel karşılıklı olma halinin (structural reciprocity) kullanılmasını sağlamaktadır. Farklı karmaşıklıkla geometrilerin modellemesinde kullanılan NURBS yüzeylerin bölünmesi ve düzlemselleştirilmesine dayalı bir tasarım tanımı algoritmik modelleme ortamında hazırlanmıştır. Fiziksel benzetim tabanlı algoritmik tasarım eklentisi ile hem KF konfigürasyonları oluşturulmuş hem de elemanların KÇ konfigürasyonundaki yerleri optimize edilmiştir. Çalışmanın sonucu, eşkenar dörtgenel geometrinin aynı NURBS yüzeyi oluşturmak için dörtgen ve altıgen bölmelerden daha az eleman kullanarak KÇ konfigürasyonunu oluşturduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karşılıklı-çerçeve, ikilik prensibi, panelizasyon, hesaplamalı geometri.

# Expanding Geometric Design Space of Reciprocal Structures through Surface Panelization

Hanım Gülsüm Karahan<sup>1</sup> ; Sevil Yazıcı<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>İstanbul Technical University

<sup>1</sup>karahan21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>sevilyazici@itu.edu.tr

## Abstract

*Ease of assembly and reuse of materials in structures are critical considerations in today's construction sites as the architecture, engineering, and construction industry strives to decrease its destructive environmental impact. Prioring simplicity in construction can be proliferated through Reciprocal frame (RF) structures to decrease excessive carbon emissions. RF structures have been used throughout history due to their ability to cover large spans with relatively shorter identical elements. Inherent self-supported characteristics of RF structures that require simple joints pave the way for easy and fast construction. The competence of achieving discrete and/or curvature forms by straight elements allows the reuse of the same elements without damaging them. With these characteristics, they become a viable option for emergency shelters and temporary structures that do not necessitate advanced technological solutions. The simple yet efficient design solutions that RF structures bring to the construction site need further evaluation to provide alternatives for other spatial and shell structures. The motivation of this paper is to investigate practical design solutions for types of structures which are designed to meet specific needs for a short period of time. In contrast to the simplicity of connection and assembly, the structural behavior of RF structures is rather counterintuitive in that the internal reactions between elements are arbitrary and complex. This complexity also affects predicting and controlling the geometry of the structure. Although existing studies mostly focus on the optimization processes of RF structures which consist of repetitive units, the research on RF structures that exhibit unit variations, and how surface manipulations influence the structural pattern is limited. This study aims to explore new structural configurations to create RF structures based on their unique geometrical properties that is, the duality principle. Unlike the mapping method that imposes geometric patterns onto a form, the duality principle enables exploiting structural reciprocity. The design definition based on division and planarization of NURBS (Non-uniform Rational B-spline) surfaces is developed in the algorithmic modelling environment. A Physics-based simulation engine is used both for creating RF configurations and optimizing output RF structures. The results show that the rhombus division of a NURBS surface yields a more efficient RF configuration in terms of forming the same NURBS surface with fewer elements than quad and hexagon divisions.*

**Keywords:** Reciprocal structures, duality principle, panelization, computational geometry.

## 1. Introduction

Reciprocal Frame (RF) structures belong to the family of space structures with their special supporting characteristics. Mutual dependencies of elements not only affect the structural behavior of RF structures but also the geometry thus resulting form. Therefore, interdependent design parameters of RF form which are geometry, material and structure provide designers an extended design space in which the designer can decode the relationship between parameters. In this way, designers can create efficient and functional structural forms without the post-optimization processes. Furthermore, increasing the structural strength through geometry leads to efficient material use (Block et al., 2020) by putting material where needed which is one of the crucial aspects to consider in today's construction industry.

RF structures differ from other types of structures with their connection types (**Figure 1**). RF connections require two elements to meet together which is also called two-valent connection (Mesnil et al., 2018). Two-valent connections simplify the joint design which paves the way for easy and fast construction of the structure. Moreover, the simple joints enable the disassembly of RF structures while preserving the elements for future reuse. RF structural system allows for creating free-form surfaces with linear elements which is an advantage especially for temporal structures. Therefore, instead of developing highly customized one-time use surfaces for temporal structures like emergency shelters or pavilions, RF structures can be a convenient option.

This paper investigates the possible alternatives for spatial structures which provide fast assembly with simple connections. The research focuses on the geometry, one of the interdependent design parameters of RF structures that influence the form directly. Kangaroo plug-in is utilized to create and optimize RF forms. Kangaroo Physics utilizes Particle Spring System form-finding method. It is a structural form finding method that finds equilibrium of the structures based on the position of elements and applied forces (Killian and Ochsendorf, 2005). In this RF context, The Kangaroo Physics component takes springs, line-to-line optimization, strength and anchor points as a force object and takes the RF configuration as an input geometry to determine the final forms.



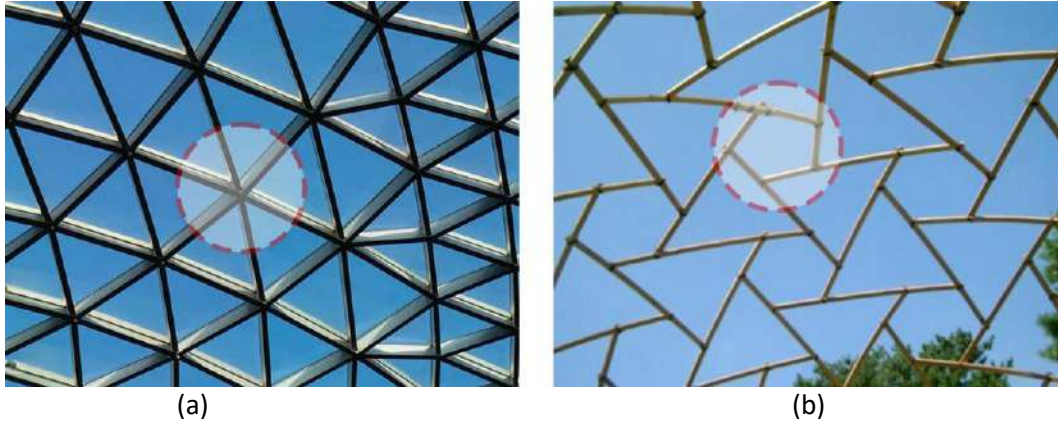


Figure 1: (a) grid structure connection (URL-1), (b) RF structure connection (URL-2).

### 1.1. Background and related works

Reciprocal structures have been constructed throughout history. Neolithic pit dwellings and Indian tepees (Larsen, 2008) are the first documented reciprocal structures from ancient times. Leonardo's sketches on reciprocal frame structures in *Codex Atlanticus* (Robert, 2008) and his bridge design consisting of linear elements supporting each other reciprocally (Isaacson, 2017) were famous examples which lead to naming reciprocal structures as Leonardo grids in literature (Williams, 2008; Sanchez and Escrig, 2011). Even though there are other terms for reciprocal structures, Reciprocal frame (RF) is the most common term which was coined based on the closed circuit of elements. The main reason that RF structures have been adopted from past to present is their ability to cover large spans with relatively short elements which compensates for lack of material and advanced building methods. Therefore, grillage designs (Pugnale and Sassone, 2014) and roof structures (Larsen, 2014) are types of RF structures exploiting this ability. Louis Kahn also designed reciprocal slabs consisting of four beams spanning 13 meters for the Mill Creek public housing project in 1952-1953 which was considered surprisingly large at that time (Godthelp, 2019).

In contrast to its simple connection and building methods, RF structures pose a challenge for predicting final forms. This challenge emanates from complex interactions of elements which is hard to define explicitly (Kohlhammer and Kotnik, 2011). The interactions of elements is non-hierarchical (Pugnale and Sassone, 2014) which means each element contributes equally to the structure. The fact that structural variables are dependent on each other requires an iterative solver (Parigi and Kirkegaard, 2014; Asefi and Bahremandi-

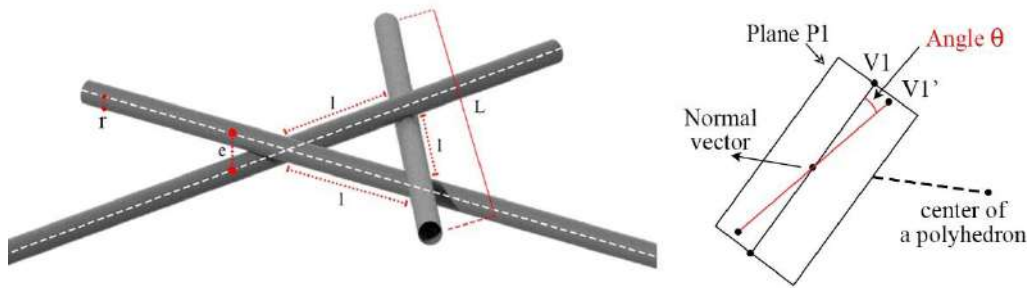
Tolou, 2019) and cannot be resolved by changing individual variables. Therefore, top-down form-finding methods of RF structures have been extensively studied.

Douthe and Baverel (2009) used the dynamic relaxation method for the form-finding process of reciprocal frame structures to optimize the variables of the structure. Parigi et al.(2012) used hybrid optimization methods combining genetic algorithms and gradient based algorithms. Thönnisen(2014) devised a form-finding instrument for reciprocal structures which is based on a cell configuration allowing manipulation of the structures over iterations. Based on their review of RF structures, Gherardini et al. (2017) drew an analogy between the assembly process of RF structures and natural organisms, noting that they both grow in complexity despite beginning with simple configurations. Mesnil et al. (2018) developed a form-finding process using the translation method of geometric quantities to create optimized RF forms without additional automated optimization processes. This research emphasized the efficacy of geometry in RF structures although they possess complex internal reactions.

The vast majority of studies about reciprocal structures dwell upon reciprocal frame structures which consist of repetitive units, thus exploring the surface shape rather than emerging RF morphology. There is a gap in investigating how surface manipulations affect the structural pattern rather than mapping a given unit. This paper aims to explore different structural morphologies of RF structures based on the duality principle which leads to division and planarization of NURBS surfaces.

## 1.2. Geometry of Reciprocal Frame Structures

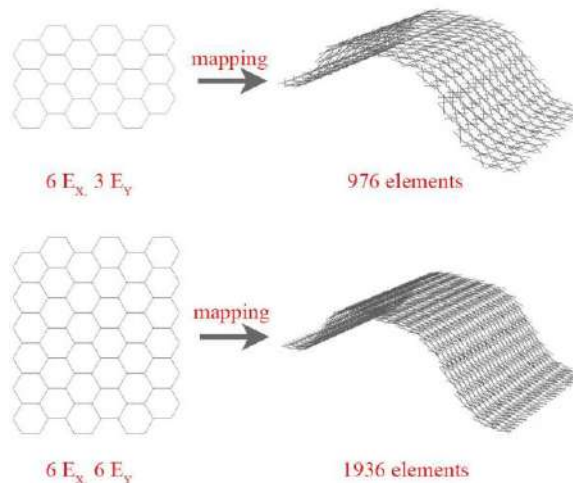
RF structures represent a family of self-supported structures in which each element supports and gets supported along their spans not at their endpoints. There are four key geometrical quantities which are engagement windows created by displacement of members, engagement length which is the length of the edges of the engagement window, and eccentricity which is the distance between the axes of two connected members and rotation angle (**Figure 2**). Following this, the pin jointed structures can be turned into an RF structure with rotation angle and additional geometric operations. Engagement windows are also called fans which represent the simplest RF configuration. The triangular fan is the simplest RF configuration consisting of 3 elements. Fans can be conceived of as nodes in RF structures. The geometry can be made up of polygons. Polygons can vary from regular to irregular depending on the form of the structure and the equilibrium state.



**Figure 2.** a) A fan diagram of reciprocal structure,  $e$ : eccentricity,  $l$ : engagement length,  $L$ : total length of an element,  $r$ : radius of an element (developed by the author, b) Angle  $\theta$ : rotation of an element (readapted from Baverel and Nooshin, 2007).

Mapping is one of the ways to impose the RF units onto a predetermined form. Some studies show that mapping 2D reciprocal patterns to 3D geometries has also resulted in efficient structures by utilizing post-optimization methods (Song et al., 2013; Anastas et al., 2016). However, this mapping method is only applicable for geometries with one curvature direction like dome structures, and not for all types of free-forms and geometries that have double curvatures (Asefi and Bahremandi-Tolou, 2019). Furthermore, the mapping method is not related to structural reciprocity as it only represents the geometry of units. Therefore, when the units are mapped onto the form and transformed into an RF configuration, the RF units only gather to form the surface identically rather than utilizing the structural reciprocity.

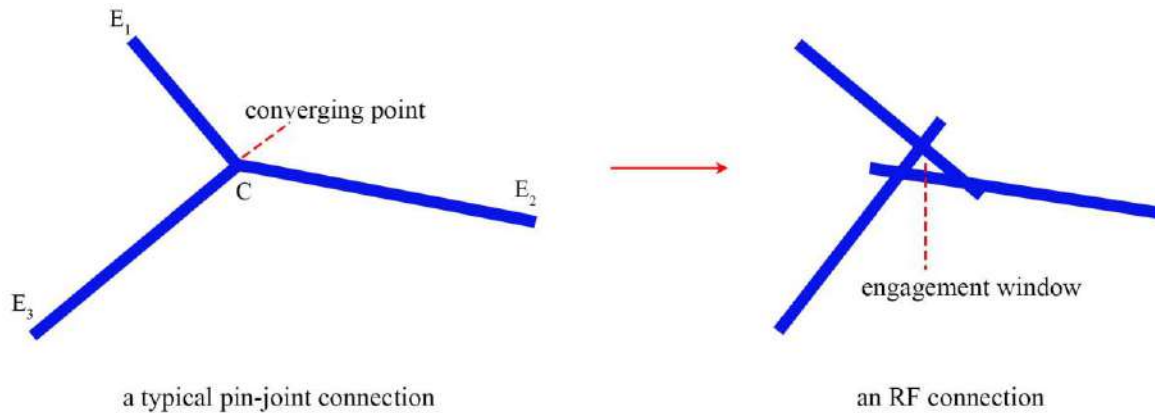
To demonstrate the issue about mapping described above, **Figure 3** shows an example of mapping hexagon units onto a free-form surface. The hexagons are transformed into RF units with the algorithm consisting of geometrical operations in the Rhino-Grasshopper modeling environment. After that, an iterative solver of the Kangaroo plug-in is used for the proper placement of elements in an RF configuration. The results show that mapping method is directly related to the U-V direction of the surface rather than the RF geometrical configuration.



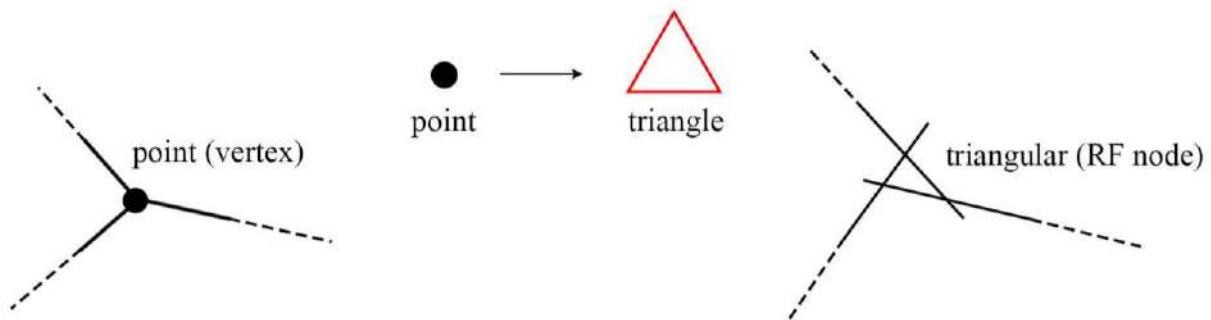
**Figure 3.** mapping example of RF structures,  $E_x$ : number of units in X direction,  $E_y$  : number of units in X direction (by the author).

### 1.3. Duality Principle of Reciprocal Frame Structures

To transform the typical pin-joint connection into an RF connection, the RF rotation method is used (Godthelp, 2019). As a result of the transformation, the polygonal area emerges at where the pin joint connection was once placed as shown in **Figure 4**. When a polygon arises from the location of a point, it means that there exists a duality principle between these two entities. **Figure 5** shows how the point where three elements converge becomes a triangle when transformed into an RF node. The emerging polygon is related to the number of elements converging to a point. For instance, four elements will create a quad engagement window (**Figure 6, 2b**). The duality principle is a mathematical principle which is valid for both 2D and 3D geometries. According to the duality principle for 3D geometries, another polyhedron can be created through the transformation in which the vertices become faces and faces become vertices of the original polyhedron (URL-3).



**Figure 4.** transformation of a pin-joint connection into an RF connection (by the author).

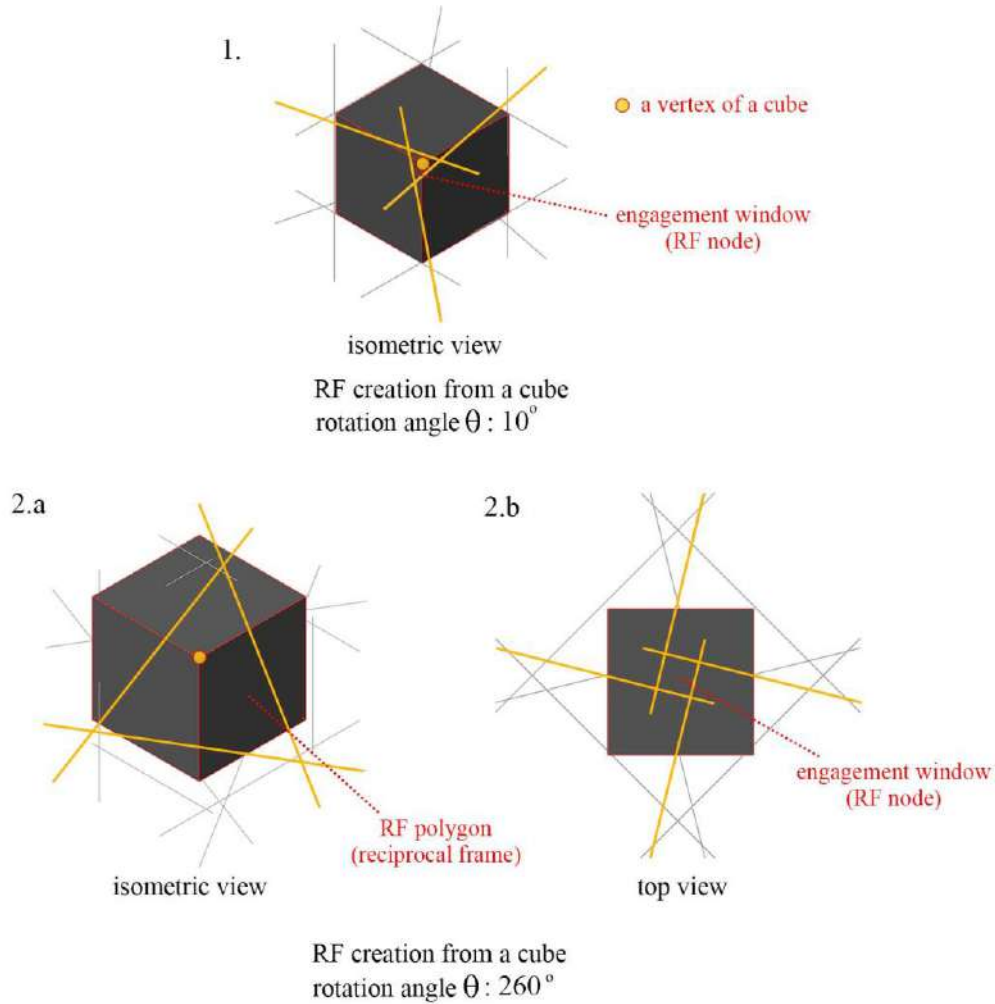


**Figure 5.** The point where three elements converge becomes a triangle when transformed into an RF node (by the author).

An octahedron is the dual polyhedron of a cube. The location of the vertices of a cube corresponds to the location of a triangular face of an octahedron as shown in **Table 1**. Similarly, when the cube is taken as an input mesh for the Reciprocal Structure component, the RF structure which is in the shape of an octahedron can be obtained through changing the angles between elements as shown in **Figure 6**. The vertex of a cube becomes an engagement window of an RF structure with a rotation angle of 10. As the rotation angle increases, engagement windows become a face polygon of RF which also represents a shape of an octahedron. New engagement windows are quad polygons which also correspond to a vertex of an



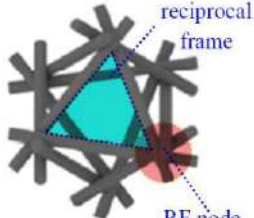

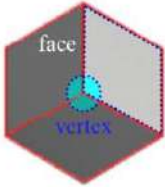
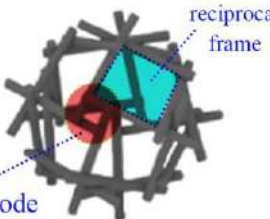
octahedron. **Table 1** shows a detailed dual relationship between polyhedrons and their RF configurations. Therefore, as the quad engagement windows get expanded, they correspond to quad faces of a cubic form with triangle engagement windows. The RF duality principle was proved in the study where RF structures were created from polyhedrons (Baverel and Nooshin, 2007). Regarding that, the duality principle is taken as a design constraint during the geometric form exploration.

Curved surfaces are evaluated as one face which leads to place too many elements to mimic the shape of the surface through a mapping method. Instead of mapping, we use the duality principle to develop an algorithm which exploits the structural reciprocity. According to the duality principle, polygon faces whose vertices become engagement windows of RF structures are a must for RF transformation. Therefore, the research methodology follows the duality principle through panelization of NURBS surfaces to emerge engagement windows of RF structures. The idea is to conceive of a NURBS surface as a combination of many polyhedral volumes as the thickness of the surface corresponds to the height, and subdivision types are the base polygons from which the polyhedron arises.



**Figure 6.** Transformation of a cubic form into an RF configuration and the duality principle geometric transformation possessed (by the author).

**Table 1.** The duality principle between polyhedron and reciprocal structures ( by the author).

Polyhedron	Dual polyhedron	Reciprocal Structure
 <p>cube</p>	 <p>octahedron</p>	 <p>reciprocal frame RF node</p> <p>L: 50 cm (t): 260 radius: 1.65 cm</p>
 <p>cuboctahedron</p>	 <p>rhombic-dodecahedron</p>	 <p>reciprocal frame RF node</p> <p>L: 50 cm (t): 75 radius: 2 cm</p>

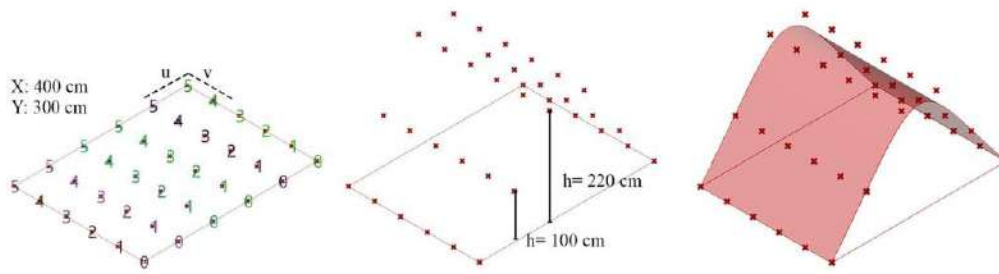
## 2. Methodology

The research methodology consists of (1) creating RF structures from NURBS surfaces using the division algorithm and Kangaroo Reciprocal Structure component and (2) the optimization of RF forms through the Kangaroo Physics component.

A NURBS surface is generated from a rectangular base that is 400 cm wide in the X direction, 300 cm long in the Y direction in a Rhino-Grasshopper environment (**Figure 7**). The rectangular base is divided into five segments in the U-V direction creating six point branches. The second and fifth branches are elevated 100 cm, and the third and fourth branches are elevated 220 cm in Z direction. The surface is given 2 cm thickness through extrusion. The surface is divided into polygons such as rhombus, quad, and hexagon shapes using the NGon plug-in to meet the duality principle. Subsequently, divided polygons are planarized with the same plug-in. The output mesh surfaces are used as an input mesh for the Reciprocal Structure component of Kangaroo plug-in.



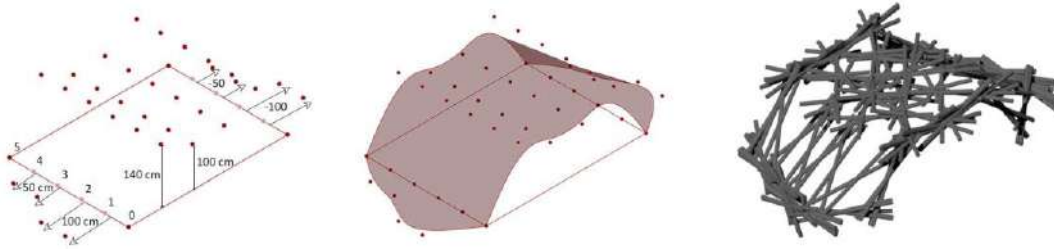
The resulting RF geometric configuration is optimized through Kangaroo Physics. First, “Line to line force” component is used that takes the start and end points of two groups of line and a strength value to create an interaction between a pair of line segments. Reciprocal Structure component provides two groups (A-B) of index of lines based on the elements supporting position. Therefore, these two groups of lines which distinguish the supporting and get supported elements are used for line-to-line force optimization. Reciprocal Structure component allows to change the rotation angle of the elements while the line-to-line force optimization provides adjustments for the length and thickness of the elements. The number of lines constituting an RF structure provides an input for the “SpringsfromLine” component to create springs. The start and end points of the lines generate anchor points.



**Figure 7.** a NURBS surface generation through point population and their replacement in the Z direction (by the author).

The output lines of the Reciprocal Structure component are provided as a geometry input of Kangaroo Physics. The output geometry of Kangaroo physics is adjusted based on the length and radius of linear elements. The different division types of surfaces are compared to evaluate their effect on the overall configuration as shown in **Table 2**.

The algorithm is also applied to an undulated surface to test whether it is valid for another type of free-form surface. The surface is created by changing the location of points on the rectangular base. The items in the first and sixth point branches are moved as they are reflection symmetry of each other as follows: The second and third items are translated (+/-)50 cm in the X direction, fourth and fifth items are translated (+/-)100 in the X direction to create another curve for the surface (**Figure 8**). The items in the second and fifth point branches are moved 140 cm in the Z direction, and the items in the third and fourth branches are moved 100 cm in the Z direction to generate undulation on the curved surface.



**Figure 8.** an undulated NURBS surface and its RF transformation with the developed algorithm (by the author).

**Table 2.** The comparison of divided surfaces and resulting RF structures.

Division type / U,V count	Surface	Reciprocal Structure	Element properties
None			angle $\theta$ : 210 degree L: 200 cm radius: 4.5 cm number: 6748
Quad U6, V6			angle $\theta$ : 135 degree L: 200 cm radius: 4.5 cm number: 432
Rhombus U6, V6			angle $\theta$ : 190 degree L: 200 cm radius: 4.5 cm number: 216
Hexagon U6, V6			angle $\theta$ : 60 degree L: 200 cm radius: 4.5 cm number: 1096

### 3. Results and Discussion

The study shows that RF structure configuration directly relates to polygonal faces whose vertices become the engagement windows of the RF structure. The number of U-V segments to construct the surface from scratch has an impact on the reciprocal configuration as well as the number of divisions for polygon types. If the NURBS surface is continuous, the resulting number of elements reach an excessive amount in which elements lack the engagement lengths and windows which are special characteristics of RF structures. The quad division results in almost 16 times less elements in RF configuration compared to an undivided NURBS surface, by following reciprocal behavior to form engagement windows. Rhombus division of the surface shows the best efficiency in terms of material density which is optimized with 216 linear elements as shown in **Table 2**. Furthermore, derived reciprocal structures increased the height of the surface which was set as 220 cm during the surface generation. The scale constraint is an important factor as the emerging RF configurations do not occur when the scale is decreased or increased. Since the division sizes are not the same on the surface, the emerging structural pattern does not have homogeneous units. Therefore, the result of this study may give new insights into constructing discrete surfaces with RF configurations. Finally, When the algorithm is implemented to the undulated free-form surface, the number of elements does not change while the geometric configuration changes due to the surface curvatures.

The developed algorithm needs further structural optimization as some linear elements are placed on top of each other which may not bring further strength to the structure but only weight. The further studies will include the structural analysis and material behavior that directly influence the RF forms.

### 4. Conclusion

Geometry lies at the core of design as it represents the form and is related to the structural behaviour as well. As the main driver of design, geometry can be broken down into its elemental properties. By doing so, architects can define explicit parameters of the geometry which helps to construct algorithms to derive new geometries. In this sense, expanding the geometric design space of forms is crucial to create efficient and functional design outcomes. The presented research has attempted to investigate the derivations of RF structures through computational geometry.

The counter-intuitive interactions of elements of RF structures can be evaluated through the interdependent design parameters of RF forms which are geometry, material, and structures. This paper focused on how the geometry of RF structures affect overall form with its inherent geometric quality that is the duality principle.

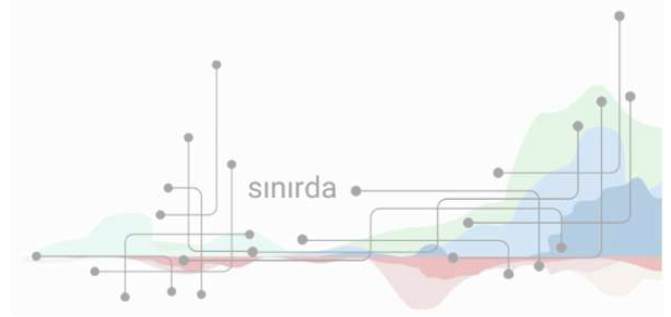
Instead of mapping units which is a common tessellation method for also other spatial structures, using the duality principle of RF facilitates exploiting structural reciprocity.

RF structures can cover large spans with shorter linear elements without inner vertical supports. The identical elements of RF structures and two-valent connections makes it easier to build these structures in a very short time. Therefore, they are very convenient for emergency shelters or temporary structures. Regarding the rapid changing needs in the architecture, engineering, and construction industry, RF structures offer a feasible option for the structures that may change function. Rather than adopting very advanced methods and single-use element design all the time that is time and energy-consuming, RF structures can become a practical solution for specific design problems.

## REFERENCES

- Anastas, Y., Rhode-Barbarigos, L., & Adriaenssens, S. (2016). Design-to-Construction Workflow for Cell-Based Pattern Reciprocal Free-Form Structures. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 57(2), 159–176. <https://doi.org/10.20898/j.iass.2016.188.737>
- Asefi, M., & Bahremandi-Tolou, M. (2019). Design challenges of reciprocal frame structures in architecture. *Journal of Building Engineering*, 26, 100867. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100867>
- Baverel, O., & Nooshin, H. (2007). Nexorades Based on Regular Polyhedra. *Nexus Network Journal*, 9(2), 281–298. <https://doi.org/10.1007/s00004-007-0043-0>
- Block, P., Van Mele, T., Rippmann, M., Ranaudo, F., Calvo Barentin, C., & Paulson, N. (2020). Redefining structural art: Strategies, necessities and opportunities. *The Structural Engineer*, 98(1), 66–72. <https://doi.org/10.56330/UJFI2777>
- Douthe, C., & Baverel, O. (2009). Design of nexorades or reciprocal frame systems with the dynamic relaxation method. *Computers & Structures*, 87(21–22), 1296–1307. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2009.06.011>
- Gherardini, F., & Leali, F. (2017). Reciprocal Frames in Temporary Structures: An Aesthetical and Parametric Investigation. *Nexus Network Journal*, 19(3), 741–762. <https://doi.org/10.1007/s00004-017-0352-x>
- Godthelp, T.S. (2019). Timber Reciprocal Frame Structures. (M.Sc thesis). Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.
- Isaacson, W. (2017). *Leonardo Da Vinci*. Domingo Yayinevi.
- Kohlhammer, T., & Kotnik, T. (2011). Systemic Behavior of Plane Reciprocal Frame Structures. *Structural Engineering International*, 21(1), 80–86. <https://doi.org/10.2749/101686611X12910257102596>
- Kilian, A., & Ochsendorf, J. (2005). Particle Spring Systems for Structural Form-Finding. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 46(147).

- Larsen, O. P. (2008). *Reciprocal frame architecture*. Elsevier.
- Larsen, O. P. (2014). Reciprocal Frame (RF) Structures: Real and Exploratory. *Nexus Network Journal*, 16(1), 119–134.
- Mesnil, R., Douthe, C., Baverel, O., & Gobin, T. (2018). Form finding of nexorades using the translations method. *Automation in Construction*, 95, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.010>
- Parigi, D., Kirkegaard, P. H., & Sassone, M. (2012). Hybrid Optimization in the Design of Reciprocal Structures. I *IASS-APCS 2012 Proceedings: from spatial structures to spaces structures* The International Association for Shell and Spatial Structures.
- Parigi, D., & Kirkegaard, P. H. (2014). Design and Fabrication of Free-Form Reciprocal Structures. *Nexus Network Journal*, 16(1), 69–87.
- Pugnale, A., & Sassone, M. (2014). Structural Reciprocity: Critical Overview and Promising Research/Design Issues. *Nexus Network Journal*, 16(1), 9–35. <https://doi.org/10.1007/s00004-014-0174-z>
- Robert, V.P. (2008). Perception of Order and Ambiguity in Leonardo’s Design Concepts. . *Nexus Netw J* 10, 101–127.
- Sanchez, J., Escrig, F. (2011). Frames designed by Leonardo. *Adaptables2006, TU/e, International Conference On Adaptable Building Structures*. 28-32, Eindhoven.
- Song, P., Fu, C.-W., Goswami, P., Zheng, J., Mitra, N. J., & Cohen-Or, D. (2013). Reciprocal frame structures made easy. *ACM Transactions on Graphics*, 32(4), 1–13.
- Thönnissen, U. (2014). A Form-Finding Instrument for Reciprocal Structures. *Nexus Network Journal*, 16(1), 89–107. <https://doi.org/10.1007/s00004-014-0172-1>
- Williams, K. (2008). Transcription and translation of Codex Atlanticus, fol.899 v. *Nexus Network Journal*, 10(1), 13-16.
- 1.URL-1 <<https://www.litcoindustries.ae/structural-steel/grid-shell/>> Retrieved May 14, 2024.
  2. URL-2 <<https://tr.pinterest.com/pin/154881674676577156/>> Retrieved May 14, 2024.
  - 3.Weisstein, Eric W. *Dual Polyhedron*. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. Retrieved March 11, 2024, <https://mathworld.wolfram.com/DualPolyhedron.html>





## OTURUM 2 – PARALEL OTURUM |

Sayısal Tasarım ve Mimarlık Eğitimi

**Oturum Başkanı**  
**Doç. Dr. Sabri Gökmen**

# YBM Destekli Mimari Tasarım Öğrenimi: Eğitim Yetkinlikleri

Dursun Furkan Çapkin<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup>   
<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi; <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi  
<sup>1</sup>dfcapkin@gmail.com; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

## Özet

*Bu makale, mimari tasarım öğrenimine yönelik metodoloji geliştirmeyi hedefleyen bir araştırmanın ilk bölümünü sunmaktadır, bu doğrultuda Yapı Bilgi Modelleme (YBM) teknolojik bir kolaylaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Araştırmanın ilk aşaması, bütünleşik tasarım, YBM'nin benimsenmesi ve kullanılması için bir eğitim programının geliştirilmesidir. Bu çerçevede, Avrupa Birliği'nin YBM için standartlaştırılmış mesleki eğitim ve öğretim programı temel alınarak bir eğitim programı oluşturulmuştur. Eğitim metodolojisinde yeni rollerin nelerdir ve görevlerin dağılımı nasıl olur? Öğrencilerin YBM ile tasarım yapabilmesi için gerekli olan bilgi ve beceriler nelerdir? Eğitim bu gerekliliklere nasıl cevap vermektedir? Çalışmanın odak noktası, YBM destekli tasarım stüdyosunun gereksinimlerini belirlemek, eğitim programındaki öğrenci ve eğitmen rollerinin nasıl değiştiğini anlamaktır. Bu amaçla yürütülen bir vaka çalışması mimarlık eğitiminin dördüncü sınıf tasarım stüdyo eğitimine odaklanmaktadır. YBM destekli tasarım stüdyosunun gereksinimleri arasında, öğrencilerin ve eğitmenlerin teknolojiyi etkili bir şekilde kullanabilmeleri için uygun altyapı ve kaynaklara erişim sağlanması yer almaktadır. Bu, öğrencilere dijital tasarım araçlarını kullanma becerileri kazandırmak ve eğitmenlere bu teknolojileri öğretme ve yönlendirme yeteneklerini geliştirmek anlamına gelmektedir. Öğrenci ve eğitmen rollerindeki değişimler, geleneksel tasarım stüdyolarından daha fazla teknoloji ile bütünleşik odağa sahip bir yaklaşım gerektirmektedir. Öğrenciler artık dijital ortamda iş birliği yapmayı ve uzaktan iletişim kurmayı öğrenmelidirler. Eğitmenler ise öğrencilere teknolojiyi etkili bir şekilde kullanma konusunda rehberlik etmeli ve çevrimiçi eğitim ortamlarını yönetme becerilerini geliştirmelidirler. Bu bağlamda konvansiyonel eğitim stratejilerinin YBM destekli eğitimdeki karşılıkları ve değişimleri ortaya konmaktadır. Sonuç olarak, bu makale, mimari tasarım öğrenimi için YBM'nin kullanımının önemini vurgulamakta ve bu teknolojinin eğitim programlarına nasıl entegre edilebileceğini incelemektedir. YBM destekli tasarım stüdyolarının gereksinimlerinin ve eğitim programındaki rol değişikliklerinin anlaşılması, mimari eğitimin gelecekteki yönelimlerini şekillendirmede rolünden bahsedilmektedir. Araştırmanın sonucu tartışılacak ve sunulacaktır.*

**Anahtar Kelimeler:** Yapı bilgi modelleme, mimarlık eğitimi, bütünleşik tasarım, eğitim metodolojisi

## BIM Supported Architectural Design Education: Education Competencies

Dursun Furkan Çapkin<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup>   
<sup>1</sup>Yildiz Technical University; <sup>2</sup>Yildiz Technical University  
<sup>1</sup>dfcapkin@gmail.com; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

### Abstract

*This paper presents a part of a research aimed at developing a methodology for architectural design learning, using Building Information Modeling (BIM) as a technological facilitator. The first phase of the research is the development of an educational program for the adoption and use of BIM. This program was created based on the European Union's standardized vocational education and training program for BIM. What are the new roles in the educational methodology and how will the tasks be distributed? What are the knowledge and skills required for students to design with BIM? How does the education respond to these requirements? The focus of the study is to identify the requirements of BIM-supported design studio and to understand how the roles of students and instructors in the educational program have changed. A case study conducted for this purpose focuses on the fourth year design studio education in architecture. The requirements of the BIM-supported design studio include providing access to appropriate infrastructure and resources for students and instructors to use technology effectively. This means providing students with the skills to use digital design tools and instructors with the ability to teach and guide these technologies. Changes in student and instructor roles require a more technology-integrated focus than traditional design studios. Students must now learn to collaborate and communicate remotely in a digital environment. Instructors, on the other hand, need to guide students in using technology effectively and develop their skills in managing online learning environments. In this context, the counterparts and changes of conventional educational strategies in BIM-supported education are revealed. In conclusion, this paper highlights the importance of using BIM for architectural design learning and examines how this technology can be integrated into educational programs. An understanding of the requirements of BIM-supported design studios and their role changes in the educational program is discussed in terms of its role in shaping the future directions of architectural education. To this end, the case study focuses on answering the following questions: The results of the research will be discussed and presented.*

**Keywords:** Building information modelling, architectural design, integrated design, education methodology



## 1. Giriş

21. yy. da Mimarlık pratiği, artan bilgi ve karmaşıklık ile karakterize edilmektedir. Mimarlık lisans programlarında yer alan bilgi odaklı tasarım projeleri, öğrencilerin zorlayıcı veri kümelerini etkin bir şekilde kullanarak tasarımlarını tamamlamalarını ve bu sayede ileri düzeyde anlamlandırma becerileri geliştirmelerini teşvik etmektedir. Bu projeler, Yapı Bilgi Modelleme (YBM) kullanımıyla yeni yetkinlikler kazandırırken, ileri Bloom Taksonomisi becerilerini de pekiştirmektedir. Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat disiplinlerinde YBM eğitim stratejilerinin geliştirilmesi önemli bir araştırma konusudur. (Benner vd., 2019). Mevcut stratejiler üniversiteler arasında büyük farklılıklar gösterdiğinden, Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat derecelerinde YBM entegrasyonunu geliştirmek için ortak akademik yönergelere ihtiyaç vardır. (Besné vd., 2021).

Mimarlık eğitiminde YBM'nin entegrasyonu ile ilgili birçok çalışma mevcuttur (Lee vd., 2023; Abdirad ve Dossick, 2016; Succar ve Sher, 2014; Kocaturk ve Kiviniemi, 2013). Dünyanın her yerinde, yüksek öğretim kurumlarındaki AECO konu alanındaki akademisyenler, farklı eğitim düzeyleri için BIM müfredatlarını geliştirmeye zaman ve kaynak ayırırlar (Zaed vd., 2021). Ancak bu çalışmalar genellikle YBM'nin teknik yönlerine odaklanmaktadır. YBM'nin eğitimsel bağlamdaki rolleri ve sorumlulukları ile ilgili daha az bilgi bulunmaktadır. Bu çalışma, bu bilgi boşluğunu doldurmak için önemli bir adımdır.

Mikhailov vd. (2020) ifade ettiği üzere YBM eğitimi, eğitim sürecinin yoğunlaşmasına, karmaşık geometrik şekillerin geliştirilmesine ve öğrencilerin mesleki becerilerinde gelişmeye katkıda bulunmaktadır. Lisans eğitimini yönlendirmek için Proje Tabanlı Öğrenme, deneysel öğrenme gibi çeşitli yaklaşımlar uygulanmaktadır. Bu makale, özel bir üniversitenin Mimarlık Fakültesi lisans programı dördüncü sınıfında geliştirilen ve bu iki perspektifi bütünleştiren bir yaklaşımın geliştirilmesi ve değerlendirilmesini sunmaktadır. Araştırmanın ilk bölümü olan yetkinliklerin tespiti bu makalenin ana konusudur.

## 2. Metodoloji

### 2.1. Vaka Çalışması

Vaka Çalışması bir bireyin (bir kişi veya topluluk olarak) çevreyle ilişkili gelişimsel faktörleri vurgulayan yoğun bir analizdir (Flyvbjerg, 2011). Analizlerden elde edilen bulgular fikirlerin, yöntem ve çözümlerin oluşturulması için kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında mimari tasarım eğitiminde YBM'nin benimsenmesi için yeni görev ve sorumlulukların belirlenmesinde vaka çalışması kullanılmıştır. Toplanan veri ve analizler sınırlı bir genellenebilirliğe sahiptir.

Bu vaka çalışmasında veri toplamak için iki ana yöntem kullanılmıştır. Tasarım stüdyosu dersleri sırasında öğrenci grupları gözlemlenmiştir. Bu gözlemler öğrencilerin YBM araçlarını nasıl kullandıklarını, birbirleriyle nasıl etkileşime girdikleri ve tasarım problemini nasıl çözdükleri hakkında bilgi toplamak için kullanılmıştır. Dersin sonunda tüm öğrencilere YBM destekli tasarım stüdyosu deneyimleri hakkında görüşlerini bildirmeleri için açık uçlu sorular içeren bir anket uygulanmıştır. Anketler öğrencilerin tasarım becerileri, disiplinler arası iletişimleri, karşılaştıkları problemleri çözme yeteneklerini nasıl etkilediğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Dersi alan öğrencilerin tamamı ankete katılmıştır.

Güz ve Bahar dönemleri boyunca, tasarım stüdyosu dersleri sırasında öğrenci grupları gözlemlenmiştir. Her ders günde 8 saat hafta da 2 gün devam etmiştir. YBM seminerleri ise sabah 2, öğleden sonra 2 saat olarak verilmiştir. Tasarım stüdyosu dersleri boyunca toplam 16 saatlik gözlem yapılmıştır. Ayrıca öğrencilerin iletişimi için kullanılan bilgi iletişim araçlarıyla yaptıkları görüşmeler takip edilmiştir. Bu sayede öğrenciler birbiriyle iletişim kurarken, eğitmenleriyle ders dışında sürekli iletişim kurmuşlardır.

Dersin sonunda tüm öğrencilere, YBM destekli tasarım stüdyosu deneyimleri hakkındaki görüşlerini bildirmeleri için açık uçlu sorular içeren bir anket gönderilmiştir. Anket demografik bilgiler ve nitel unsurları içeren 20 sorudan oluşmaktadır. Öğrencilerden YBM'nin tasarım becerilerini nasıl etkilediği, disiplinler arası çalışma ve iletişim, problem çözme yetenekleri ve tasarım stüdyosu hakkında genel görüşlerini belirtmeleri istenmiştir. Anketler nitel içerik analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Yanıtlar temalara ayrılmış ve her temanın neyi ortaya koyduğunu yorumlamak için bir kodlama şeması geliştirilmiştir.

Tüm veri kaynaklarından toplanan veriler, nitel veri analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Tematik analiz ve kodlama teknikleriyle elde edilen veriler, YBM destekli tasarım stüdyolarının görev ve sorumlulukları hakkında çerçeve geliştirmek için kullanılmıştır.

Veri toplama ve analiz süreci boyunca katılımcılar çalışmaya katılmadan önce bilgilendirilmiş ve onam belgesi imzalamaları istenmiştir. Katılımcıların kimlikleri gizli tutulmuş ve veriler sadece araştırma amaçlı kullanılmıştır. Anket ve gözlem verileri anonim hale getirilmiştir.

## 2.2. Vaka Çalışması İçeriği

Vaka çalışmasının katılımcıları Türkiye'deki özel bir üniversitenin mimarlık ve iç mimarlık bölümü dördüncü sınıf öğrencileridir. Proje konusu olarak tatil beldesinde 2 - 4 kişilik aileler için hafif çelik modüler yapılardan oluşan ve 50-60 adete ulaşabilen geçici konut tasarımı verilmiştir. Müfredattaki tasarım ve yapım girdileri/çıktıları YBM unsurlarıyla eşleştirilmiştir. Eğitim programındaki çıktıların YBM ortamında üretilmesi

ve teslim edilmesi istenmiştir. Mevcut müfredat korunmuş, yetersiz kalan kısımlar YBM eğitim programıyla desteklenmiştir. Mimarlık müfredatı mevcut halini korumuş, sadece teknolojik süreç ve araçlar geliştirilmiştir. Oluşturulan güncellenmiş müfredat ile öğrenci ve öğretmenlerin yükümlülükleri net bir şekilde tanımlanmıştır.

Mimarlık ve İç mimarlık fakültesi öğrencileri ikinci sınıftan itibaren YBM araçlarını zorunlu derslerle (Dijital Tasarım Araçları I-II) kullanmaya başlamıştır. Üçüncü sınıftan itibaren seçmeli dersler (YBM ile mimari modelleme, YBM ile analiz, YBM ve birlikte çalışma, YBM ile kentsel tasarım, YBM ortamında iç mimari modelleme teknikleri) ile YBM alanında uzmanlaşabilecekleri seçmeli dersleri almaktadırlar. Ders katılan öğrencileri küçük bir kısmı daha önce seçmeli YBM derslerinin bir kısmını almıştır. Ancak öğrencilerin büyük bölümü seçmeli dersleri almadığı için müfredata paralel olarak YBM seminerleri verilmiştir. Seminerler haftada 2 gün (Pazartesi-Cuma), günde 4 er saat tasarım stüdyo dersinin olduğu günlerde ve aynı sınıfta yapılmıştır. Tasarım dersi Güz ve Bahar dönemi olmak üzere 2 dönemden oluşmaktadır. İlk dönem ana tasarım yapıp belli bir olgunluk seviyesine getirilmektedir. İkinci dönem ise uygulama projesi seviyesine ulaşmaktadır.

Bu vaka çalışmasına katılan 85 öğrencinin 21'i Erkek, 64'ü kızdır. 36 öğrenci İç Mimarlıkta, kalan 49 öğrenci Mimarlık fakültesinde okumaktadır. Öğrencilerin tamamı 20 yaşından büyüktür. Gruplar en az 1 Mimar, 1 İç Mimar olacak şekilde düzenlenmiştir.

Mimarlık ve İç Mimarlık öğrencileri tasarım değerlendirmelerini kendi disiplinlerindeki öğretmenlerden alırken, YBM eğitimlerini tek bir eğitmeninden almışlardır. Tasarım çıktıları YBM ortamında birlikte çalışarak hazırlanmıştır. Müfredat mevcut halini korumuş, sadece teknolojik süreç ve araçlar geliştirilmiştir. Dönem sonunda öğrencilere açık uçlu sorular sorulmuş ve aldıkları eğitimi değerlendirmeleri istenmiştir. Anketler nitel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

YBM destekli tasarım stüdyosunda kullanılan araçlar yazılımsal ve donanımsal olmak üzere 2 ana kategoriden oluşmaktadır. Kullanılan yazılımlar ders programında belirtilmiş ve sınırlandırılmıştır. Yazılımların sınırlandırılması öğrencilerin aynı veri üstünde çalışmasını kolaylaştırmıştır. Tasarım aracı olarak Auto CAD, Revit ve Rhino seçilmiştir. Bilgi ve iletişim aracı olarak Microsoft Teams ve Slack yazılımları kullanılmıştır. Ayrıca birlikte çalışabilmek için kurulan sisteme bağlanabilmek için Forti Client kullanılmıştır. İş programı için Navisworks, Primavera ve MsProject kullanılmıştır. YBM seminerleri kapsamında Enscape görselleştirme yazılımı eğitimi verilmiştir. Öğrenciler ise görselleştirme konusunda serbest bırakılarak diledikleri yazılımları kullanmaları teşvik edilmiştir. Öğrenciler Vray ve Lumion yazılımlarını görselleştirme sürecine dahil etmiştir.

Donanım olarak okulun sunucu sistemleri ve öğrencilerin sisteme bağlanabilmesi için Fortinet Fortigate Firewall cihazları birlikte kullanılmıştır. Öğrenciler kendi bireysel bilgisayarlarıyla tasarım stüdyosuna katılmış ve tasarımlarını geliştirmiştir. Eğitimciler okulun bilgisayar sistemi ve kendi bireysel dizüstü bilgisayarlarını kullanmıştır. Okuldaki derslerde öğrencilerin ve eğitimcilerin okulun sistemini kullanabilmesi için okulun bilgi işlem alt yapısındaki yazılımlar ve ayarları değiştirilmiştir.

Öğrencilerin birlikte çalışabilmeleri, bilgiyi aynı yerde üretmesi ve anlık olarak görüntüleyebilmeleri için Revit yazılımı ve YBM tabanlı ortak veri ortamı kullanılmıştır.

Öğretim programında YBM destekli tasarımın yapılabilmesi için gerekli olan, daha önceden tanımlı bulunmayan unsurlar Avrupa Birliği'nin YBM için standartlaştırılmış mesleki eğitim ve öğretim programı temel alınarak sistemle bütünleştirilmiştir. (Guerriero vd., 2017; Poli, 2017; Lamb vd., 2017) Mesleki eğitim için olan başlıklar eğitimciler ve öğrenciler arasında müfredata göre yeniden düzenlenmiştir. (Şekil 1) de gösterildiği gibi yetkinlikler ve yapılması gerekenlerin listesi çıkartılmıştır. Yeşil ile gösterilen unsurlar öğrenciler, sarı ile gösterilen unsurlar eğitimcilerin görev ve sorumluluklarıdır.

İdare Seti									
AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	AD8	AD9	
Misyon, Politikalar ve Prosedürler	Finans, Muhasebe ve Rölöfçüleme	Performans Yönetimi	İnsan Kaynakları Yönetimi	Planlama	İhale ve Satın Alma	Sürece Yönetimi	Risk Yönetimi	Kalite Yönetimi	
X	X	X	X	X					

Uygulama Seti						
ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7
Uygulama Temelleri	Bileşen Geliştirme	Kütüphane Yönetimi	Standart zaman ve Şablonlar	Teknik Eğitim	Sistem ve Sürvey Testleri	Kütüphaneler ve Kitaplar
X	X		X	X	X	X

Operasyon Seti									
OD1	OD2	OD3	OD4	OD5	OD6	OD7	OD8	OD9	
Genel Modelleme	Yakalama ve Temsil Etme	Planlama ve Tasarım	Simülasyon ve Sayısalleştirme	İnşaat ve İmalat	İletişim ve Bakım	İzleme ve Kontrol	Bağlama ve Genişletme	Özel Modelleme	
O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

Araştırma ve Geliştirme						
RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7
Genel Araştırma ve Geliştirme	Strateji Geliştirme ve Planlama	Öğretmenlik ve Koçluk	Bilgi Yönetimi ve Mühendisliği	Değişim Yönetimi	Araştırma ve Analiz	Sektör Katılımı ve Bilgi Paylaşımı
X	X	X	X	X	X	X

Teknik Set									
TD1	TD2	TD3	TD4	TD5	TD6	TD7	TD8	TD9	
Genel BT	Yazılım Sistemleri	Donanım ve Ekipman	Modelleme	Doğrulama ve Yönetim	Sunum ve Animasyon	Model Yönetimi	Belge Yönetimi	Yönetim	
O	O	X	O	O	O	X	O	O	X

Destekleyici Set				
SD1	SD2	SD3	SD4	SD5
Genel BT Destoju	Veri ve Ağ Destoju	Ekipman Destoju	Yazılım Destoju	Yazılım ve Web Geliştirme
X	O	X	X	X

Yönetim Seti					
MO1	MO2	MO3	MO4	MO5	MO6
Genel Yönetim	Liderlik	Stratejik planlama	Örgütsel Yönetim	İletişim Geliştirme ve Öğrenim Yönetimi	Ortaklık ve İttifak
X	X	X	X	X	X

**LEJANT**

O Öğrenci    X Eğitimci

Fonksiyon Seti				
FD1	FD2	FD3	FD4	FD5
İşlevsel Temeller	İlgilendirme	Kolaylaştırma	Proje Yönetimi	Ekip ve İş Akışı Yönetimi
X	X	O	O	X

Şekil 1. Yetkinlikler Tablosu.

Yukarıdaki yetkinlikler 8 ana kategoride 57 alt kategoride toplanmaktadır. Öğitmenlerin 42, öğrencilerin 30, hem öğretmen hem de öğrencilerin birlikte geliştirmeleri gereken 15 yetkinlik bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yetkinlik tanımlamaları yapılırken Mimarlık eğitim müfredatıyla eşleştirme yapılmıştır. Müfredatta farklı bir şekilde olan unsurlar ise öğretmenlerin görevlerine eklenmiştir. Ör: M06 kodlu ortaklık ve ittifak yetkinliğinin tanımı YBM Çıktıları ve iş akışlarına dayalı olarak diğer kuruluşlarla ortaklıklar ve ittifaklar başlatmak diye yapılmıştır (Guerriero vd., 2017). Buradaki diğer kuruluşlar yerine diğer öğrenciler veya disiplinler kabul edilmiştir.

YBM destekli tasarım stüdyosunun bütün çıktıları dönem sonunda dijital kopyalar olarak öğrencilerden istenmiştir. Teslimlerde dosya formatı olarak Revit ve PDF dosyaları istenmiştir. Öğrencilerin diğer yazılımlarda ürettikleri bütün tasarımları ortak veri alanında üretmiş, aynı dosya formatını dönüştürmüş ve aynı dili konuşmaları sağlanmıştır. Tasarım stüdyosu çıktıları, (**Şekil 2**) de gösterildiği gibi, Avrupa Birliği'nin YBM için standartlaştırılmış mesleki eğitim ve öğretim programı öğrenci yetkinlikleriyle bütünleştirildi. Öğrenci çıktıları, YBM ortamına uyum sağlayacak şekilde geliştirilmiştir.

GRUP	YBM DESTEKLİ TASARIM DERSİ ÇIKTILARI	YETKİNLİK KODLARI
1	Proje/izin/Revit modeli (RVT Formatında)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
2	Rektil modül planı (room komutıyla)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
3	Yatay Plan (Modülün doğru konumlarıyla ve ayrı proje olarak linklenmesi)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
4	Sarıktır çizimleri ve Mimari çizimler (A0 boyutunda ve PDF formatında)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
5	Central File	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
6	CDE	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
7	Familly hazırlama	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
8	Ekip çalışması	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
9	Teknik çizim standartları	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
10	Modülün perspektif çizimi ve boyut bilgilerini içeren tablo	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
4	Sarıktır çizimleri (1/20)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	I. Planlar	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	II. Kesitler - en ve boy	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	III. Görünüşler	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	IV. Temeil planı	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	v. Çeh planı	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	vi. Patlama Perspektif çizimleri	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	Mimari çizimler (1/20)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	I. Kat planları	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	II. Kesitler - en ve boy	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	III. Görünüşler	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	IV. Temeil planı	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	v. Çeh planı	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	vi. Patlama perspektif çizimleri	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
vii. Nükle detayları 1/5, 1/10 (çizim yerlerinden alınak üzere)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040	
Bina alt sistemlerine yönelik çözümler (bio-pipo, termal voltekler, pv paneli vb. kullanımlar)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040	
3	Yatay plan (1/500)	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
11	Yapım Metodoloji Programı	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	Modül üretim sürecinin uygulanması (nakliye, mobilizasyon, kurulum) süreçleri ile ilgili standartlar; kapama, malzeme ve ekipmanlar, hayırık kullanımı bilgilerini içeren raporu oluşturulması	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	Satışın Testi	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	Tasarım yapım proje teslim sistemine göre şartların belirlenmesi ve sözleşme taslağının oluşturulması	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	İmalatlara yönelik Teknik Şartnameler	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
	İmalatları yapıya biçiminin anlatılacağı, her bir imalat ile ilgili Teknik Şartname yazılması	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040
Metraj-Kesit ve yaklaşıp maliyetin tespiti	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040	
BİM araçlarıyla elde edilecek metraj-kesit çalışmasına ek olarak diğer maliyetlerin açıklanması ile yaklaşıp maliyetin tespiti edilmesi	M02M06A06A99F03/04/05C01002C630040/0500G0708000011127104105106107108010901102103040	

Şekil 2. YBM Yetkinliklerine Göre Tasarım Stüdyosu Çıktıları.

### 3. Vaka Çalışmasının Bulguları

Dönem sonunda tüm öğrenciler, bireysel tasarım projelerini grup formatında sunmuşlardır. Bu sunumlar, öğrencilerin tasarım becerilerini ve projeleriyle ilgili yetkinliklerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, öğrencilerin YBM destekli tasarım stüdyosunda kazanması gereken yetkinlikleri ve program çıktıları tamamlayıp tamamlamadıkları belirlenmiştir (**Şekil 2**). Tasarım stüdyosu çıktıları ve öğrencilerin bu çıktıları üretebilmesi için gerekli olan YBM yetkinlikleri (**Şekil 2**) 'de görselleştirilmiştir.

Öğrencilerin birlikte çalışarak ürettikleri projelerinin (**Şekil 4**) notları %50 YBM eğitmeni, %50 tasarım eğitmeni tarafından verilmiştir. YBM notları ders çıktılarına göre verilmiştir (**Şekil 3**).

GRUP NO	MİMARLIK	İÇ MİMARLIK	YBM ÇIKTI NO														Toplam
			1-5-6-7-8-9-11	2	3	4	4	4	4	4	4	10	4	9			
			Reviz. Değerler 10	Reviz. Müddet 5	Özellik 5	Yararlı Model 5	Planlar 10	Konut 10	Özellik 10	Temel 5	Çelik 5	Yalıtımın Performans 5	Tekstil 10	Tekstil Çizim 20			
1			10	5	5	5	10	10	10	5	5	5	10	10	10	50	
2			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
3			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
4			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
5			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
6			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
7			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
8			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
9			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
10			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
11			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
12			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	
13			10	5	5	5	10	10	10	10	5	5	10	10	10	50	

Şekil 3. YBM Not Çizelgesi.

Dönemin başında derse katılan 85 öğrenciden, 9 mimarlık, 11 iç mimarlık öğrencisi teslim yapmamıştır. YBM destekli tasarım stüdyosunun yetkinliklerini kazanamayan 8 mimarlık, 7 iç mimarlık öğrencisi başarısız olmuştur. Kalan 50 öğrenci yetkinlikleri başarıyla tamamlamıştır. Öğrencilerin en fazla başarı gösterdikleri yetkinlikler YBM modeli oluşturma, merkezi dosya, ortak çalışma ortamı, aile hazırlama, ekip çalışması, teknik çizim standartları ve ihale belgelerini hazırlamadır. Ancak başarısız olan öğrenciler bu yetkinlikleri sağlayamamıştır.



Şekil 4. Örnek Öğrenci Projesi.

YBM destekli tasarım öğrencilerinin, mimarlık ve iç mimarlık eğitiminde öğrenmesi gereken yetkinlikler teknik ve yumuşak beceriler olarak 2 gruba ayırmıştır. Dönem sonunda başarılı olan öğrenciler YBM modeli oluşturma, merkezi dosya yönetimi, ortak çalışma ortamı kullanımı, aile hazırlama, teknik çizim standartları ve ihale belgeleri hazırlama gibi teknik becerileri (Yasinta vd., 2024) başarıyla gösterebilmişlerdir. Ekip çalışması, problem çözme, zaman yönetimi, iletişim ve bilgi teknolojisi gibi yumuşak beceriler (Shojaei vd., 2023) ise ders kapsamında çeşitli etkinlikler ve seminerler ile geliştirilmiştir. Anket sonuçlarına göre, başarısız olan öğrenciler YBM öğrenimini zorlayıcı ve zaman alıcı bulduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca, dizüstü bilgisayar ve internet bağlantılarının yetersiz olduğunu ve proje üretmelerini engellediğini ifade etmişlerdir. Donanımsal ve yazılımsal altyapının da yetersizliği bu durumu daha da zorlaştırmıştır.



## 4. Sonuçlar

Bu Vaka çalışması YBM destekli tasarım stüdyosunun, üniversitelerdeki mimarlık eğitimini çağın gerekliliklerine uygun hale getirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Vaka çalışmasından elde edilen ana sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.



1. Üniversitelerdeki mimarlık eğitim müfredatında herhangi bir hükümet-yönetim baskısı olmadığı için çağın gerekliliklerine cevap veremediği gözlemlenmiştir.
2. Üniversitelerin yazılım ve donanım alt yapılarının YBM destekli tasarım stüdyosu verebilmek için değiştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.
3. Öğrencilerin tasarım stüdyosundaki anlayış, tutum ve davranışları YBM sayesinde gelişmiştir.
4. Öğrencilerin görev ve sorumluluklarının net bir şekilde tanımlanması birlikte çalışmayı ve görev paylaşımını kolaylaştırmıştır.
5. Üniversite, eğitmen ve öğrencilerin YBM destekli tasarım stüdyosunun görev ve sorumlulukları yerine getirebilmeleri için gerekli olan teknik altlıklar (yazılım, donanım ve süreçler) tespit edilmiştir.

Li (2022) 'ye göre 2025'teki temel becerilerin üçte biri, günümüzün iş gereklilikleri açısından henüz hayati önemde görülmeyen teknoloji yeterliliklerinden oluşacak. Geleceğe hazır iş gücünün yeniden yetkinlik kazanması ve geliştirilmesi önemli bir konudur. Bu çalışmada Mimarlık eğitiminde ihtiyaç duyulan YBM destekli tasarım stüdyosundaki görev ve sorumlulukların belirlenmesini amaçlayan devam eden araştırmanın bir aşaması sunulmuştur. Sonuçlar, öğrencilerin yeni yetkinlikler kazanmalarının tasarım stüdyosundaki algı, anlayış ve davranış şekillerinin değiştiğini göstermektedir. Bu sadeye kazandıkları yeni yetkinlikleriyle tasarıma daha fazla vakit ayırabilmekte, diğer disiplinlerle daha kolay iletişim kurabilmektedir. Süreç içerisinde ortaya çıkabilecek problemleri ön görüp, ortadan kaldırmışlardır. Sonuç olarak YBM destekli tasarım stüdyosu için eğitim kurumları, eğitmenler ve öğrencilerin yerine getirmesi gereken unsurların ana çerçevesi ortaya konmuştur. Gelecekteki çalışmalarda Yapay zekanın Tasarım stüdyosunda nasıl kullanılacağı araştırılmalıdır. Öğrencilerin karmaşık verileri analiz etmesi, tasarım kararlarının optimizasyonu ve yeni tasarım fikirleri üretmesine yardımcı olabilir. Yapay zekâ ile insan tasarımcılar arasındaki iş birliğinin nasıl geliştirilebileceği incelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- Abdirad, H., & Dossick, C. S. (2016). BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21(17), 250-271.
- Benner, J., & McArthur, J. J. (2019). Data-driven design as a vehicle for BIM and sustainability education. *Buildings*, 9(5), 103. <https://doi.org/10.3390/buildings9050103>
- Besné, A., Pérez, M. Á., Necchi, S., Peña, E., Fonseca, D., Navarro, I., & Redondo, E. (2021). A systematic review of current strategies and methods for bim implementation in the academic field. *Applied Sciences*, 11(12), 5530. <https://doi.org/10.3390/app11125530>
- Guerrero, A., Kubicki, S., Hua, D., Lamb, S., Jacquemart, S., & Daher, E. (2017). IO2. CLASSIFICATION OF BIM CURRICULUM IN EU AND BIM ACTOR COMPETENCE MATRIX.
- Kocaturk, T., & Kiviniemi, A. (2013). Challenges of integrating BIM in architectural education.
- Lee, J. H., Ostwald, M. J., Arasteh, S., & Oldfield, P. (2023). BIM-enabled design collaboration processes in remote architectural practice and education in Australia. *Journal of Architectural Engineering*, 29(1), 05022012.
- Li, L. (2022). Reskilling and upskilling the future-ready workforce for industry 4.0 and beyond. *Information Systems Frontiers*, 1-16.
- Mikhailov, S., Mikhailova, A., Nadyrshine, N., & Nadyrshine, L. (2020, July). BIM-technologies and digital modeling in educational architectural design. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 890, No. 1, p. 012168)*. IOP Publishing.
- Poli, J. P. (2017). IO4. EXPERT SYSTEM FOR TRAINING RECOMMENDATIONS GENERATION.
- Shojaei, R. S., Oti-Sarpong, K., & Burgess, G. (2023). Leading UK construction companies' strategies to tackle BIM training and skills challenges. *International Journal of Construction Education and Research*, 19(4), 383-404.
- Succar, B., & Sher, W. (2014, April). A competency knowledge-base for BIM learning. In *Australasian Journal of Construction Economics and Building-Conference Series (Vol. 2, No. 2, pp. 1-10)*.
- Yasinta, R. B., Purnomo, A., Saputra, R. J., & Wangi, I. P. (2024, February). Skill Requirement of Building Information Modelling (BIM) Professional. In *5th Vocational Education International Conference (VEIC-5 2023) (pp. 1499-1507)*. Atlantis Press.
- Zaed, O., Chen, Z., Grant, M., Dimitrijevic, B., & Bareka, A. (2021). Developing a BIM integrated curriculum framework for undergraduate architectural education in Libya. In *Proceedings of 2nd Conference for Developing Higher Education Institutions in Lybia. Bani Waleed University (pp. 978-9959)*.
- Lamb, S., Rossiter, D., & Li, H. (2017). IO1. REPOSITORY OF BIM EXPERTISE.
- Flyvbjerg, B. (2011). Case study. *The Sage handbook of qualitative research*, 4, 301-316. [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=AIRpMHgBYqIC&oi=fnd&pg=PA301&dq=what+is+case+study&ots=kqALwLkCo7&sig=fufuJTAOJH3qpihOtkBDt27qnHo&redir\\_esc=y#v=onepage&q=what%20is%20case%20study&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=AIRpMHgBYqIC&oi=fnd&pg=PA301&dq=what+is+case+study&ots=kqALwLkCo7&sig=fufuJTAOJH3qpihOtkBDt27qnHo&redir_esc=y#v=onepage&q=what%20is%20case%20study&f=false)

# Mekan Sınırlarında Sayısal Yaklaşımlar: Diyagramdan Kütleyle Bir Model Önerisi

Cemile G. Gürcan Bahadır<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>gurcanc@yildiz.edu.tr; <sup>2</sup>tong@yildiz.edu.tr

## Özet

Mimarlık ve tasarım alanında mekan organizasyonu, kullanıcı ihtiyaçları ve çevresel faktörlerin etkin bir şekilde entegre edilmesi gereken dinamik bir süreçtir. Bu süreç, kullanıcıların yaşam kalitesini ve bina işleyişini doğrudan etkileyen birçok farklı değişkenin dikkate alınmasını gerektirir ve bu nedenle oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşıklığın üstesinden gelmek, süreci daha etkin ve verimli hale getirmek adına, bu araştırma, sayısal tasarım tekniklerinin kullanımını önermektedir. Araştırma, mimari unsurlar ve mekan öğeleri arasındaki ilişkileri ifade eden diyagramları, mekanın işlevselliğini, ve mekan birimlerinin araziye yerleşiminin optimizasyonunu dikkate alacak şekilde oluşturmuştur. Bu faktörlerin birleşimine dayanan kapsamlı bir model geliştirilmiştir. Çalışmada sunulan model, kullanıcı odaklı etkileşim ve kullanım kolaylığını artırmak için yeniden kullanılabilir, modüler ve sistematik bir yaklaşım sunar. Bu model, tasarım sürecinde değişim yaratmak yerine, sürece entegre olmayı hedeflemekte ve mevcut araçlara entegre edilebilen parçalar üretmektedir. Bu yaklaşımın amacı, mekan organizasyonu bağlamında literatüre katkı sunmak ve özellikle mimarlık öğrencilerinin mekan tasarımına bütüncül bir bakış açısı kazanmalarına yardımcı olmaktır. Bu amaçla, deneysel çalışmalar yürütülmüştür ve çalışma kapsamında Rhinoceros Grasshopper ortamına bir eklenti prototipi olarak GeoRoomCrafter (GRC) geliştirilmiştir. Bu prototip, kullanıcıların mekanları hem sayısal hem de imleç hareketi ile manipüle edebilmelerine, bu manipülasyonların sonuçlarını gerçek zamanlı olarak görüntüleyebilmelerine ve bu süreçte yapılan değişikliklerin hemen uygulanmasına olanak sağlar. Bu, kullanıcıların tasarım sürecine daha etkin bir şekilde katılımını mümkün kılar ve tasarımın sonucunu direkt olarak etkiler. Deneysel çalışmanın sonuçları, mekan organizasyonunun sayısal temsilinin mimari tasarımdaki merkezi rolünü vurgular ve bu alandaki gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturur. Özellikle deneyim sahibi olmayan ilk yıl mimarlık öğrencilerinin tasarım sürecinde 2 boyut ve 3 boyut arasındaki geçişleri daha iyi kavramalarına olanak sağlama potansiyeli yaklaşımın özgün yanını ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, belirlenen temel problemlere çözüm sağlamak, değişken parametrelerin sağlanması, yön ve arazi gibi fiziksel çevrenin tasarıma dahil edilmesi ve kullanıcı etkileşiminin artırılması hedeflerini desteklemektedir. Önerilen prototipin çalışma sonuçlarına göre geliştirilmesi ve örneklem sayısı artırılarak daha fazla sayıda deneysel çalışma yapılması öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı tasarım, mekan tasarımı, tasarım aracı, mimarlık eğitimi, kullanıcı etkileşimi.

# Computational Approaches on Space Boundaries: A Model Proposal from Diagram to Mass

İrem DEDE<sup>1</sup> ; Enes YAŞA<sup>2</sup> ; Selahattin ERSOY<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Technical University;

<sup>1</sup>gurcanc@yildiz.edu.tr; <sup>2</sup>tong@yildiz.edu.tr

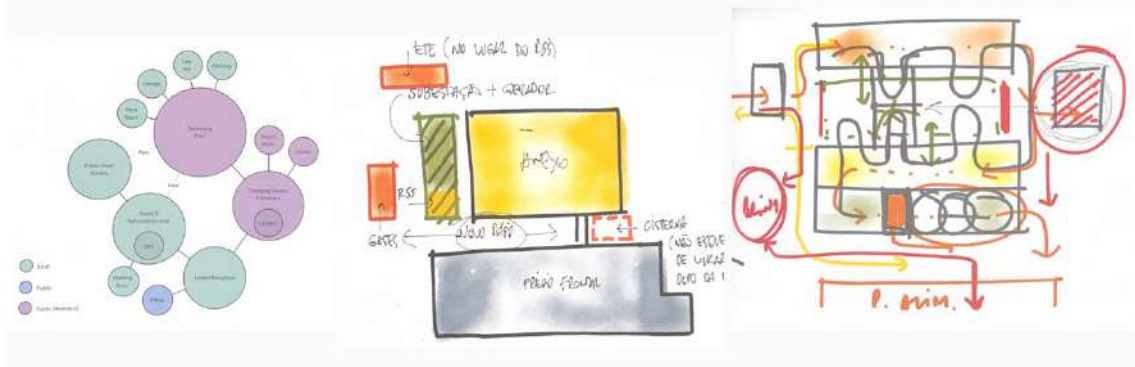
## Abstract

*Space organization in architecture and design is a dynamic process that requires effective integration of user needs and environmental factors. This process involves considering a range of variables that directly affect user quality of life and building operations; thus, it has a complex structure. To overcome this complexity and make the process more efficient, this research proposes the use of computational design techniques. The research formulates diagrams expressing the relationships between architectural elements and spatial components, considering the functionality of the space, and the optimization of the placement of spatial units on the terrain. A comprehensive model based on the combination of these factors has been developed. The model presented in the study offers a reusable, modular, and systematic approach to enhance user-centered interaction and ease of use. Instead of creating change in the design process, the model aims to integrate into the process and produce components that can be integrated into existing tools. The purpose of this approach is to contribute to the literature in the context of space organization and, especially, to assist architecture students in gaining a holistic view of space design. For this purpose, experimental studies have been conducted, and as a plugin prototype for the Rhinoceros Grasshopper environment, GeoRoomCrafter (GRC) has been developed within the scope of the study. This prototype allows users to manipulate spaces both computationally and by cursor movement, to view the results of these manipulations in real time, and to implement changes made in this process immediately. This allows users to participate more effectively in the design process and directly affects the outcome of the design. The results of the experimental study highlight the central role of numerical representation of space organization in architectural design and provide a basis for future work in this field. Particularly, the potential of the approach to enable first-year novel architecture students to better understand transitions between 2D and 3D in the design process reveals the unique aspect of the approach. This approach supports the objectives of providing solutions to identified fundamental problems, providing variable parameters, including physical environment elements such as direction and terrain in the design, and increasing user interaction. It is envisaged that the proposed prototype will be developed according to the results of the study, and more experimental studies will be conducted by increasing the sample size.*

**Keywords:** Computational design, spatial organization, design tool, architecture education, user interaction.

## 1. Giriş

Mimari tasarımda kullanıcı ihtiyaçları ve çevresel faktörler etkili bir şekilde entegre edilerek, kullanıcı konforu ve tasarım işlevselliği artırılır. Mekan planlaması, tasarımın temelini oluşturur ve amaçlanan işlevi yerine getirip getirmediği, uygun ölçekte ve güvenli bir şekilde kullanımı, konumlandırma ve alan ihtiyaçlarını doğru tespit etme gibi unsurları içerir, doğru yapıldığında ise estetik ve işlevin en iyi şekilde birleştirilmesini sağlayarak verimli, konforlu ve etkili bir kullanım alanı ortaya koyar (Alexander, 1964). Mekanların tasarımı ve düzenlenmesi, işlevselliği, ergonomiyi ve mekanın genel algısını etkilemektedir (Nisztuk & Myszkowski, 2018). Bu ihtiyaç ve faktörlerin karşılanması için fonksiyon programı ve mekan ilişkilerini ifade eden diyagramlar oluşturulur (Şekil 1). Fonksiyon programı, mimari unsurlar veya Oxman'ın belirttiği gibi "mimarinin işlevsel, dolaşım ve mekan unsurları" arasında biçimsel ilişkiler kurmanın bir yolu olarak düşünülebilir (1990). Çeşitli kısıtlamaları dikkate alan ve alan kullanımını optimize eden bina yerleşimi otomasyonu, sürdürülebilir bina uygulamalarına ve bir binanın genel performansına katkıda bulunabilmektedir (Weber vd., 2022; Yi, 2016). Performans gereksinimleri her zaman geometrik yerleşim çözümüyle bağdaşmadığı için tasarımın erken aşamalarında, farklı birimler arasında ilişki ve bağlantıların kurulması ve görselleştirilmesi önemlidir (Ikeda vd., 2015; Lobos & Trebilcock, 2014). Mekan ilişkileri aynı zamanda eko-tasarımda önemli bir rol oynayarak yapının biçimini ve önemliliğini etkiler (Marsault, 2018). Etkin mimari tasarım, genellikle mekan organizasyonu da dahil olmak üzere çok sayıda faktörün sentezini gerektiren karmaşık bir süreçtir (Moffett, 2017).



Şekil 1. Fonksiyon diyagramı ve mekan ilişkileri (Makstutis, 2018).

### 1.1. Mekan Organizasyonunda Sayısal Tasarım

Tasarım parametreleri, insan aktivitelerinden çevresel koşullara kadar çeşitli faktörlerle ilişkilidir ve bu karmaşık yapı, mimari tasarımında bütüncül bir yaklaşım gerektirir (Zawidzki & Szklarski, 2020). Geleneksel tasarım

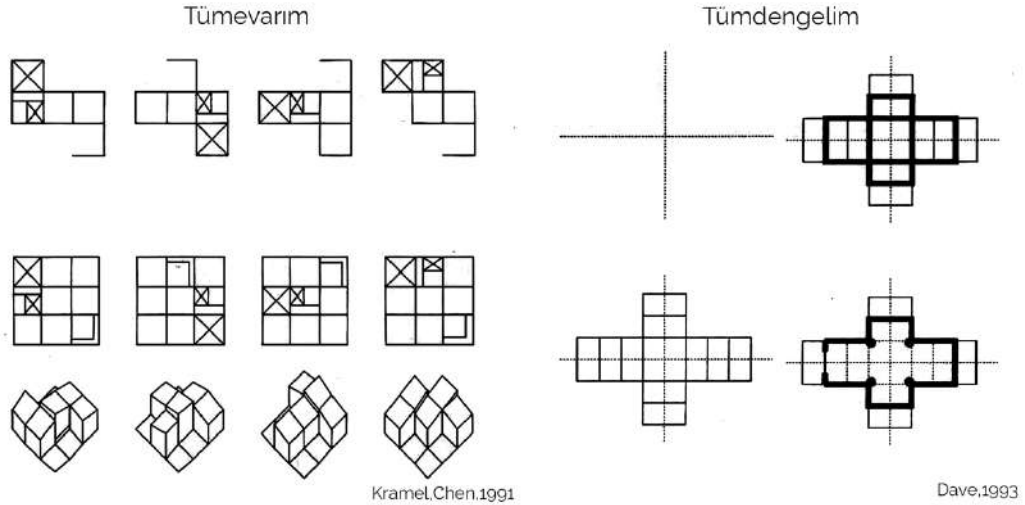
sürecinde tüm tasarım parametrelerinin aynı anda en uygun şekilde sağlanması zorlayıcı olmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek amacıyla, sayısal yazılımların kullanımı yaygınlaşmış ve bu teknolojik gelişmeler, önce araç olarak süreci hızlandırmada ve daha sonra da tasarımcılara problem çözme aşamalarında yardımcı olmuştur (Kalay, 1985, 1990). Mimari tasarımda, parametrik tasarımın yanı sıra genetik algoritmalar ve metamorfik tasarımlar gibi interdisipliner yaklaşımlar da kullanılmaktadır (Hassan vd., 2017; Liddament, 1999). Bu yaklaşımlar, tasarımcıların alternatif kümesi üretmelerine olanak tanımakta ve performans odaklı beklenmedik sonuçlar elde etmelerini sağlamaktadır (Kolarevic, 2004). Diğer taraftan, Öklid dışı geometri olanakları farklı form arayışlarına cevap vermektedir (Oxman, 2006). Ayrıca, hesaplamalı tasarım sistemleri, belirlenmiş veri, ilişki ve kurallardan oluşan geometriyle birlikte fonksiyonel bilgileri sürece dahil etmekte ve tasarımın oluşmasında etkili olmaktadır. Hızlı hesaplama, eş zamanlı manipülasyon ile çevre verileri ve tasarım parametrelerinin plan-kesit ve perspektif düzlemlerinde gerçek zamanlı etkilerinin görülme imkanı ile hızlı karar verme süreçlerini desteklemektedir (Yi, 2016).

1960'lı yıllardan bu yana otomatik mekan planlaması üzerine, hedefleri ve ölçekleri büyük ölçüde değişen çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar bilgisayar bilimi, mühendislik, oyun tasarımı, mimari ve iç tasarım gibi alanları kapsamaktadır. Literatürde ilk örnekler arasında Buffa ve diğerlerinin üretim tesisi düzenlerini optimize etmeye yönelik "CRAFT" programı (Buffa, 1964) ve 2000 sonrasında ise Peng ve diğerlerinin ağ tasarımı ve plan düzenleri üzerindeki çalışmaları yer almaktadır (Peng vd., 2016). Otomatik kat planı düzeni oluşturmanın çeşitli yöntemlerini gözden geçiren Weber (2022) şu ana kadar yalnızca deneysel ve sanatsal mimari tasarım uygulamalarının ve emlak sektörünün yapay zeka tabanlı otomasyon araçlarını benimsediğine dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, tasarımcılar süreci tasarlayan ve yürüten rolü gereği sunulan tekil otomatik tasarım araçları yerine mevcut pratiklere ve halihazırda kullanılan yazılımlarla bütünleşmiş araçları tercih ettiği desteklenmektedir (Cichocka vd., 2017; Nisztuk & Myszkowski, 2018). Mimarlık öğrencileri ise henüz süreç hakkında yeterince bilgi ve deneyime sahip olmadıkları için deneme-yanılma yöntemine daha yatkın olmalarıyla birlikte (Cross, 2004), tasarım sürecinde yönlendirilmeye, bilgiye ve yardımcı araçlara daha fazla ihtiyaç duymaktadır (Lu, 2015).

## 1.2. Tümdengelim ve Tümevarım Yöntemleri

Mekan planlamada sayısal tasarım yaklaşımlarında tümdengelim, tümevarım ve hibrit yöntemler kullanılmaktadır (**Şekil 2**). Tümden gelim yöntemleri hiyerarşik sistemlerin sonunda çalıştığından, önceden tanımlanmamış tasarım aşamaları için yararları daha azdır çünkü yalnız başlarına keşif tasarım aşamalarını kapsayamazlar (Weber vd., 2022). Bu yaklaşımda tasarımcı genellikle tüm nesnenin veya yapının taslağıyla başlar. Bu ilk taslak daha sonra, istenen düzeyde ayrıntı ve bütünlüğe ulaşana kadar sistematik bir şekilde aşamalı olarak detaylandırılır (Mitchell vd., 1989). Çünkü Bu yöntemi kullanılan çalışmalar bölümlenme

algoritmalarının (Bahrehmand vd., 2014; Baki vd., 2018; Upasani vd., 2020) yanında atama algoritmalarını (Heckmann vd., 2020; Homenda & Kwiecinski, 2016) da kullanmaktadır. Tümdengelim yöntemi, iyi tanımlanmış problemlerde ve deneyimli tasarımcılar tarafından kullanıldığında fayda sağlamaktadır (Schmitt, 1993). Tümevarım yönteminde ise birimlerin belirli kurallar üzerinden değişken parametrelerle bir araya gelerek bir mekanlar sistemi oluşturması doğada olduğu gibi daha esnek, dinamik ve çeşitli olanaklar sağlamaktadır (Fischer & Herr, 2007; Hensel vd., 2010; Kotnik, 2010). Mimari araştırmacılar, bu yöntemin, çoğu prototip veya tümden gelim yöntemi gibi daha karmaşık yapılarla çalışan deneyimli mimarlardan ziyade deneyimsiz mimarlar tarafından kullanıldığını kanıtlayabileceklerine inanmaktadırlar (Akin, 1986). Sayısal yaklaşımlarda hücrel özdevinim ve form bulma ile gerçekleştirilen tümevarım organizasyon modelleri başarılı çözümler üretse de geometri kurgusu genellikle eş boyutlara sahip kare ya da küp biçimleri ile ön tanımlı grid çerçeve zemini üzerinde oluşmaktadır (Coates vd., 1996; Herr & Ford, 2015; Krawczyk, 2002). Tasarımda kendi kendini organize eden süreçler kavramı, uygun tasarlanmış bir sistemin alt bileşenlerinde bağımsızlık ve özerklik sağlandığında daha verimli olabileceğini göstermektedir (Alexander, 1964). Bu bağlamda daha fazla çalışma yapılması ihtiyacı doğmaktadır.



Şekil 2. Tümevarım ve Tümdengelim yöntemlerinin plan yerleşiminde örneklenmesi (Dave, 1993; Kramel & Chen, 1991; Schmitt, 1993).

Araştırma kapsamında yapılan ön çalışmalar, iki boyutlu konsept mekan diyagramının doğrudan plan şemasına evrildiği ve üçüncü boyutta bu geometrinin mekan ilişkileri ile entegrasyonu noktasında yaşanan sorunları destekler niteliktedir. Bu sorunlar, mimari proje stüdyolarında, öğretim üyeleriyle yapılan görüşmelerde ve mimarlık fakültesinde gerçekleştirilen eğitimin değerlendirilmesi çalıştay ile desteklenmiştir. Teorik derslerden edinilen bilgilerin proje stüdyolarında uygulanmaması ve mimari tasarımda sistematik ve bütüncül yaklaşımın eksikliği birçok öğretim üyesi tarafından vurgulanmış ve en önemli ortak problemlerden biri olarak rapor edilmiştir. Çalışmada, mimari proje ön tasarım sürecinde mekansal organizasyon oluşturmaya yönelik sistematik bir sayısal tasarım modeli ele alınmaktadır. Mekan ilişkilerinin 3 boyutlu geometrik temsille birlikte ele alınmasının, mekan organizasyonu bağlamında literatüre katkı sağlayacağı ve ilk yıl mimarlık öğrencilerinin mekan tasarımına bütüncül bir bakış açısı kazanmalarına yardımcı olacağı öngörülmektedir. Araştırmanın sonuçları, mekan organizasyonunun sayısal tasarım alanında önemini vurgulamakta ve gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır. Bu bilgiler ışığında, yeniden kullanılabilir ve modüler yaklaşım çerçevesi içinde kullanıcı odaklı etkileşim ve kullanım kolaylığı, tasarım sürecini değiştirmek yerine sürece entegrasyonu için farklı yaklaşım, mevcut araçlara entegre edilebilen parçalar üretilmesi öngörülmüştür. Belirlenen temel bir probleme yönelik, değişken parametrelerin sağlanması, yön ve arazi gibi fiziksel çevrenin tasarıma dahil edilmesi ve kullanıcı etkileşiminin artırılması hedeflenmiştir.

## 2. Yöntem ve Bulgular

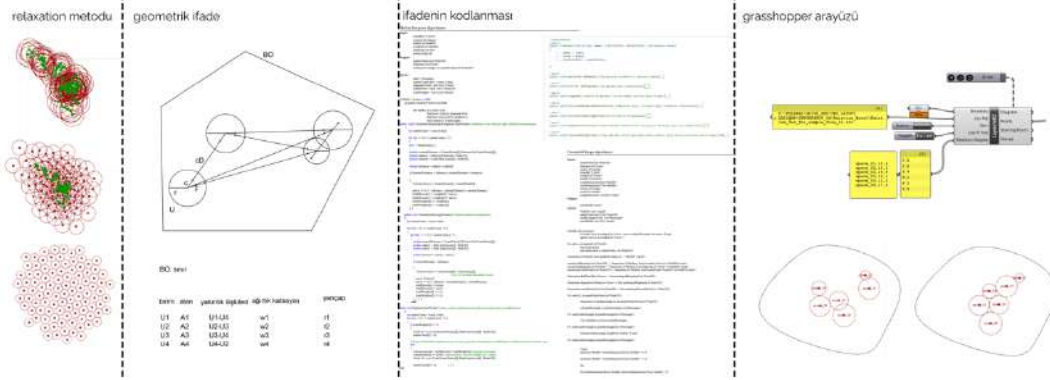
Çalışmanın metodolojisi, prototipin geliştirilmesi süreci ile üç aşamada gerçekleştirilmiştir: (1) tümevarım yaklaşımı ve geometrik temsil oluşturulması (2) prototip geliştirme ve (3) geri bildirim toplama. Öncül çalışmalarla tanımlanan hedefler doğrultusunda prototipin tasarımı sayısal modelleme yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, prototipin fonksiyonel gereksinimleri ve performans kriterleri belirlenmiş ve bu doğrultuda tasarım süreci ilerlemiştir. Öğrencilerin mevcut kullanılabilir araç deneyimlerinden geri bildirim alınması ve mevcut yaklaşımların avantajları ve dezavantajları detaylı bir şekilde analiz edilerek Rhino Grasshopper (Rutten vd., 2007) ortamında GRC-GeoRoomCrafter prototipi geliştirilmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın kapsamı mimari arketip olarak konut birimleri ile kurgulanmış olup farklı tipolojiler için geliştirilmeye açıktır.

### 2.1. Geometrik Temsil

İlk aşamada, tümevarım yaklaşımı ile mekan birimleri arasındaki ilişkilerinin sayısal olarak tanımlanması ve bu tanımlamanın geometrik temsilinin oluşturulması üzerine çalışılmıştır. Visual Studio üzerinde eklenti oluşturmaya yönelik ifade kodlanmıştır. Çalışmada belirlenmiş sınır içinde rastgele oluşturulan noktalar balon diyagramda mekân merkezleri olarak kabul edilmektedir. Mekân birimi alanına göre yarıçap hesaplanmakta, noktaların birbirine etkileyen vektörel kuvvetler bu yarıçapların yakınlık ilişkisi katsayısıyla çarpılmasıyla



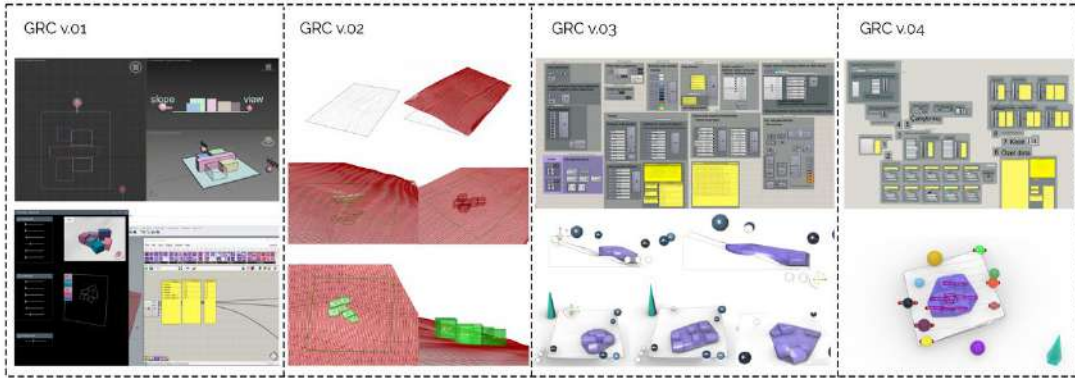
belirlenmektedir. Hareket, her iki nokta arası mesafenin diğer hesaplamalarla birlikte mekanların yarıçap toplamına eşit olduğunda sonlanmaktadır (**Şekil 3**). Csv uzantılı dosya ile birim isimleri, birim alanları ve birimler arası yakınlık ilişkisi verilebilmektedir. Sonuçta mekan ilişkileri diyagramı oluşmaktadır.



Şekil 3. GRC geometrik temsil ve kodlama aşamaları.

## 2.2. GRC: GeoRoomCrafter

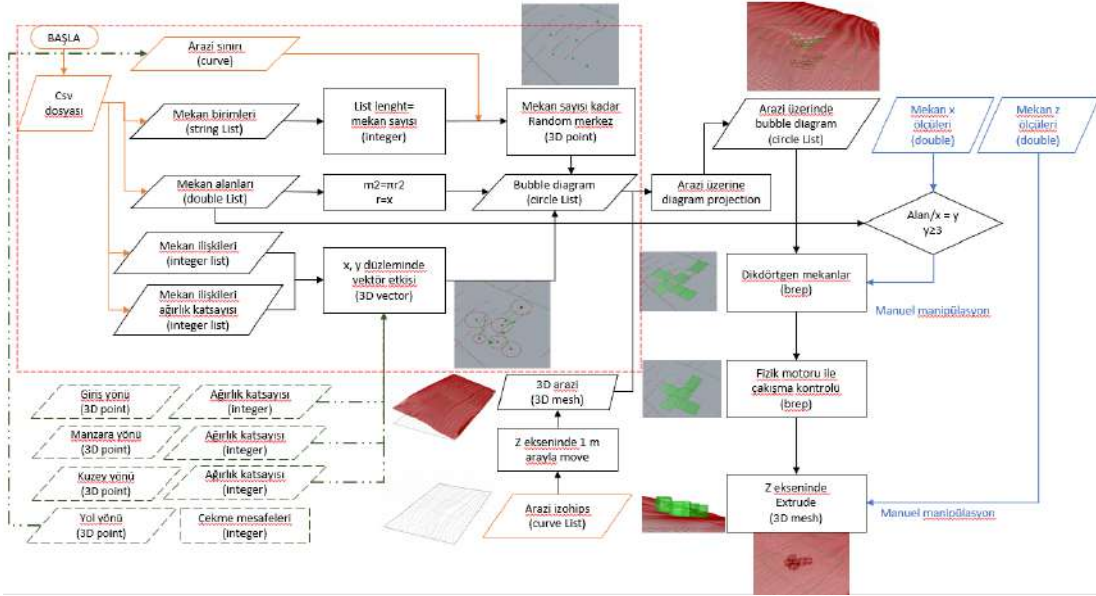
Oluşturulan algoritma üçüncü boyutta kütle ilişkileri için tanımlanmış ve geliştirilmiştir (**Şekil 4**). Bunun için mekan ve geometri kurgusunun bütünleşmesi için diyagramdaki daire merkezleri baz alınarak, oda alanlarının min. 3 metre oda kenarına sahip olması sınırlılığıyla parametrik müdahale edilebilen dikdörtgen mekanlar oluşturulmuştur. Bu dikdörtgen biçimlerin birbiri ile çakışmaları test edilerek fizik simülasyonu ile engellenmiştir. Mekan yüksekliği h parametresi ile bağlanarak dikdörtgen planların 3B geometrik forma dönüşümü sağlanmıştır.



Şekil 4. GRC Prototip geliştirilmesi.

GRC v.01’de Human UI eklentisi (Heumann, 2019) ile mekanların X ve Z eksenindeki ölçülerinin manipülasyonu, eş zamanlı 3 boyutlu ve plan görünüşlerinin bir arada olduğu bir uygulama penceresi oluşturulmuştur. Kullanıcı deneyiminde eklenti ve algoritma arasındaki iletim gecikmeleri, arayüz eklentisinden vazeçilmiştir.

GRC v.02’de geometri kurgusunun üçüncü boyutta topografya ile ilişkisinin oluşturulması için yeni bir tanımlama oluşturulmuştur. Öncelikle arazi sınırı ve izohips girdileri ile arazinin 3 boyutlu algoritması oluşturulmuştur. Bu formların arazi üzerinde eğimle ilişkili yerleşimi farklı kotlara tanımlanan izdüşüm ile mümkün olmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. GRC v.02 Akış şeması.

Araştırmada GRC v.03'te manipülasyon için girdi sağlanan bileşenler gruplandırılmış ve kullanıma hazırlanmıştır. Ek olarak, yine kullanıcı deneyimini iyileştirmek için algoritmaya eklemeler yapılmıştır. Bunlardan ilki mekan ilişkileri ve alan m2lerinin csv dosyası yerine Grasshopper ortamında kolay değişimidir. Daha sonra etki noktaları ve ağırlık katsayıları eklenmiş, bunların kullanıcı tarafından yine aynı ekranda tanımlanabilmesi sağlanmıştır. Kuzey yönü tanımlanmış, kuzey ile ilişkili mekanların tanımlanması sağlanmıştır. Bu ilişki için de ağırlık katsayısı girdisi tanımlanmıştır. En önemli etkileşim odaklı geliştirme ise mekanların başlangıç noktalarının her seferinde rastgele atanmasının kullanıcı tarafından tanımlanacak şekilde değiştirilmesidir. Bu sayede mekanların alanlarına göre büyüklüğü değişen küreler Rhino penceresinde hareket ettirilebilmekte, kullanıcılar eş zamanlı değişimleri daha rahat görebilmektedir. Küreler haricinde oluşan kütlelerin de kullanıcı tarafından hareket ettirilebilmesi için fizik motoru kullanılmıştır. Tüm kütleleri için alacak bir dış kabuk tanımlanmıştır. Kütleler hareket ettikçe kabuk da değişmektedir.

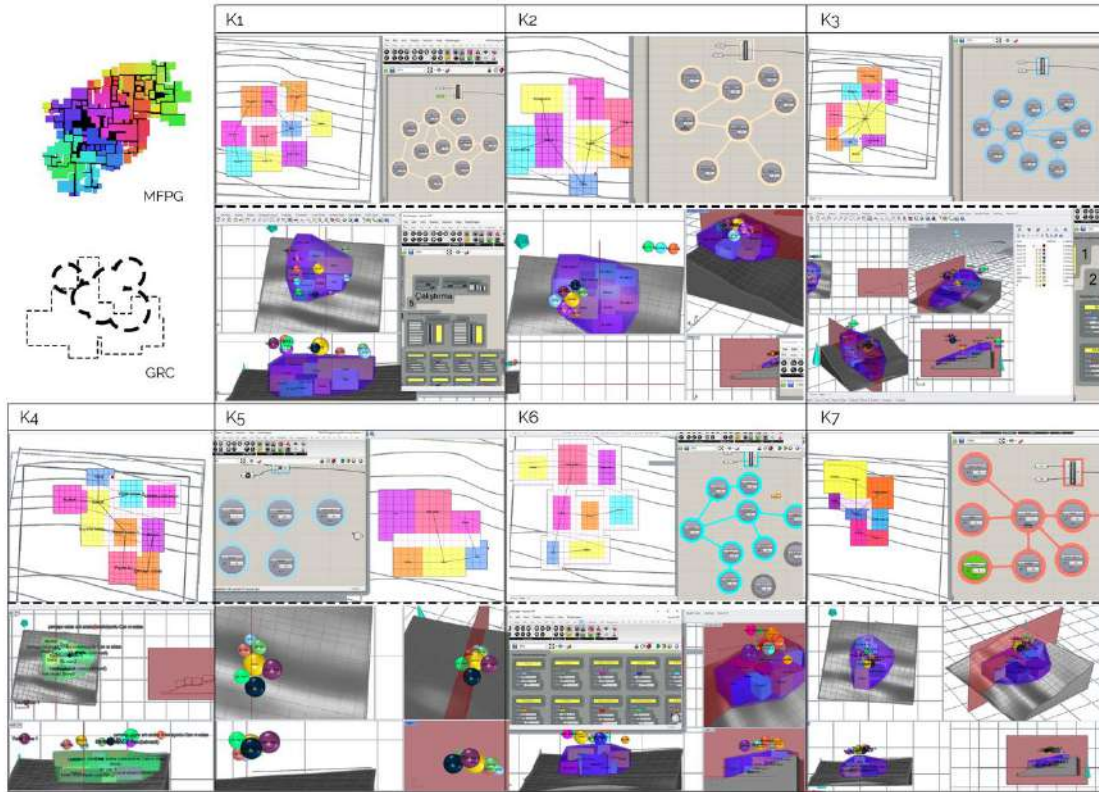
GRC v.04'te prototip öğrencilerle uygulanacak deney hazırlanmıştır. Girdiler liste halinde mekanlara göre yeniden belirlenmiştir. Örneğin v.03'te 'Oda isimleri' altında mekanların isimleri tek bir panelde, 'Oda alanları' altında tüm m2 parametrelerinin yer aldığı listeler olarak kurgulanmışken, v.04'te 'Oda 1' altında renk, küre,

isim, alan, x ölçüsü, yükseklik parametreleri bir arada yer almaktadır. Küreler birbirinden ayırt edilmesi kolay renklerle tanımlanmış olup kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Mekanların alan, hacim ve yükseklik ölçüleri, mekanlar arası uzaklıklar, toplam taban alanı, toplam kabuk taban alanı ve kabuk yüksekliği verileri kullanıcıya bilgi vermek üzere bir araya toplanmıştır. Kütle ve arazi ilişkisinin kesit düzleminde görülebilmesi için oluşan modeli kesecek şekilde bir yüzey tanımlanmıştır. Kesit, kullanıcının daha net görebilmesi için modelin yanına yerleştirilmiştir.

### 2.3. Kullanıcı deneyleri

Üçüncü aşamada öneri prototip GRC ve mevcut kullanılabilir yazılım deneyimlerinden geri bildirimler toplanmıştır. İlk deneysel çalışmada (DÇ1) Hesaplamalı Tasarım dersi kapsamında, Mimari Tasarım 5 Proje dersini alan 6 üçüncü yıl mimarlık öğrencisinden 4 mekan tasarlama aracını deneyimleyerek deneyimlerini bildirmeleri istendi. Planmaker (Rajkumar, 2022), Magnetizing FPG (MFPG) (Egor vd., 2020), Autodesk Forma (Autodesk Forma, 2023) ve Archistar (Archistar Platform, 2022) araçlarını deneyen katılımcılardan olumlu ve olumsuz kullanıcı geri bildirimleri alındı.

İncelenen 4 araçtan MFPG, şematik diyagram oluşturması, kullanım kolaylığı, mekan ilişkilerinin açıkça görülmesi ve manipüle edilebilmesi, renkli görsel ifadeye sahip olması, mekan isim ve alan parametrelerinin bulunması, sirkülasyona sahip olması ve birim ilişkilerinin bir sınır içinde tanımlanması ile tümevarım özelliği göstermesi yönüyle Deneysel çalışma 2 (DÇ2) için seçilmiştir. MFPG, sirkülasyon ve kolay arayüzü ile avantaja sahip olmasının yanında 2 boyutlu olması ve manipülasyon kısıtlaması nedeniyle dezavantajlara sahiptir.



Şekil 6. DÇ2 Katılımcı çalışmaları.

DÇ2’de Mimari Tasarım 1 Projesi dersini alan 7 ilk yıl mimarlık öğrencisinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Deney öncesinde alınan ön bilgilerde katılımcıların hesaplamalı tasarım veya herhangi bir mimari bilgisayar programı kullanmadıkları bilinmektedir. Katılımcılar, sırasıyla MFPG ve geliştirilen GRC araçları hakkında bilgilendirmenin ardından ders kapsamında tasarladıkları tekil konut projesinin alternatiflerini üretmeyi deneyimlediler. Tüm bu sürecin ardından teknoloji kabul ve kullanılabilirlik (TKK) anketini doldurdular. Anket 5’li likert ölçeğinde puanlama ve açık uçlu sorulardan oluşmakta olup literatürde yer alan teknoloji algılanan kullanılabilirlik, algılanan kullanım kolaylığı ve kullanıcı kabulü (Anderson vd., 2018) ve Türkçesi doğrulanmış sistem kullanılabilirlik ölçeklerinden uyarlanmıştır (Demirkol & Şeneler, 2018). TKK anketi, her iki araç için katılımcılar tarafından doldurulmuş olup toplam puanlar aritmetik ortalama ile hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular

Bu çalışmada, DÇ1 sonucunda araçlardan bağımsız bir şekilde katılımcıların beklentileri alt kategoriler halinde derlenmiştir. Burada; arayüz ve etkileşim, hesaplamalı tasarım, mimari tasarım, ek özellikler ve yazılım olarak beş faktör belirlenmiştir. Arayüz ve etkileşim, hesaplamalı tasarım ve ek özelliklerle ilgili olumlu dönüşler daha fazlayken, mimari tasarım ve yazılımla ilgili olumsuz dönüşler daha fazladır (**Tablo 1**).

**Tablo 1.** DÇ1 geri bildirimleri

	Arayüz ve etkileşim	Hesaplamalı tasarım	Mimari Tasarım	Ek özellikler	Yazılım
<b>Olumlu</b>	Sezgisel olarak rahat çözülebilecek arayüz	Eş zamanlı güncelleme	Diyagram ilişkileri görebilmek	Performans analizleri	Örnek dosya
	Yardımcı olacak ipuçları Parametre manipülasyon imkanı	Hızlı oluşturma		Arazi çevre bilgisi	
<b>Olumsuz</b>			İstenilen mekan ilişkilerinin kurulamaması		Program çökmesi
			Koridor parametrelerinin detaylandırılmaması Tasarımın detaylandırılmaması Alternatif çeşitliliğinin az olması		Yeni araç öğrenimi

DÇ2 değerlendirmeleri, algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı ve kullanıcı kabulü olmak üzere üç faktörden oluşmaktadır. Faktör ortalama değerlerinin ölçülmesinde puanı 3 ve üzerinde olan değerlendirmeler olumlu olarak kabul edilmiştir. Anket sonuçlarına göre algılanan fayda puanı MFPG 3,51, GRC 4,51; algılanan kullanım kolaylığı puanı MFPG 3,52; GRC 3,02; kullanıcı kabulü puanı MFPG 3,28, GRC 4,14 olarak hesaplanmıştır (**Tablo 2**). Bu bulgular ışığında, öğrencilerin kullandıkları iki araç için de 3 puanın üzerinde olumlu bir algıya sahip oldukları söylenebilmektedir. MFPG için kullanım kolaylığı daha yüksek iken, GRC için fayda ve kabul puanları daha yüksektir.

Tablo 2. TKK anket için değerlendirme sonuçları.

Sorular	Kişi sayısı	MFPG	Std Sapma	GRC	StdSapma
<b>Algılanan fayda</b>					
Bu aracı kullanmak mekan tasarımını daha hızlı oluşturmama yardımcı oldu	7	<b>3,29</b>	.7559	<b>4,14</b>	.69
Bu aracı kullanmak mekan tasarımında bana kolaylık sağladı	7	<b>3,43</b>	.5345	<b>4,57</b>	.5345
Bu aracı kullanmak mekan tasarımında performansımı arttırdı	7	<b>3,71</b>	.95118	<b>4,57</b>	.5345
Bu aracı kullanmayı mekan tasarımı oluşturma konusunda kullanışlı buldum	7	<b>3,43</b>	1.1338	<b>4,85</b>	.3779
Bu aracı kullanmak mekan tasarımı oluşturmadaki verimliliğimi arttırdı	7	<b>3,71</b>	1.1126	<b>4,43</b>	.5345
<b>Algılanan kullanım kolaylığı</b>					
Bu aracın kullanımını öğrenmeyi kolay buldum.	7	<b>4</b>	.8164	<b>3,43</b>	.7868
Bu araçta yapmak istediğimi uygulamanın kolay olduğunu düşündüm	7	<b>3,86</b>	1.069	<b>3</b>	1.29
Bu aracı açık ve anlaşılır buldum	7	<b>3,43</b>	.7868	<b>2,71</b>	1.112
Bu araçtaki çeşitli fonksiyonları iyi entegre edilmiş buldum.	7	<b>3,29</b>	.4880	<b>3,43</b>	.7868
Birçok insanın bu aracı kullanmayı çok çabuk öğreneceğini sanıyorum.	7	<b>3,29</b>	1.253	<b>2,86</b>	1.3451
Bu sistemin kullanımının kolay olduğunu düşündüm.	7	<b>3,29</b>	1.38	<b>2,71</b>	1.2536
<b>Kullanıcı kabulü</b>					
Bu sistemi sıklıkla kullanmak isteyeceğimi düşünüyorum.	7	<b>3</b>	1.29	<b>4</b>	1
Bu aracı birden fazla amaç için tasarım sürecinde kullanabileceğimi düşünüyorum	7	<b>3,57</b>	1.511	<b>4,29</b>	0.7559

Açık uçlu soru 1 ve 2'ye (AS1-AS2) verilen yanıtlar GRC algoritması için tanımlanan 3B Geometrik temsil, 2B Geometrik temsil, Mekan ilişkileri, Arazi ilişkisi, Çevre ilişkisi, Yazılım etkileşimi, Programlama, Şematik tasarım, Tasarım geliştirme, Basit form, Karmaşık form olmak üzere 11 faktör ile etiketlenmiştir (**Tablo 3**). Kullanılan araçların faydaları arasında 3 Boyutlu geometrik temsil en faydalı faktör olarak görülmektedir. MFPG aracının mimari programlama, GRC aracının ise şematik tasarım ve tasarım geliştirme aşamalarında kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır. Sözlü görüşmede katılımcılara GRC aracında eksik buldukları ve geliştirilmesini bekledikleri özellikler sorulmuştur. Verilen cevaplarda en fazla yazılım bileşenlerinde hata geri bildirimlerinin anlaşılmadığı ve kütlede ikinci kat özelliğinin yer almasının faydalı olacağı ifadeleri bildirilmiştir.

**Tablo 3.** TKK açık uçlu soru cevapları ve etiketleri.

<b>AS1 MFPG ve GRC araçlarının mimari tasarımda mekan organizasyonu için hangi yönlerden faydalı olacağını düşünürsünüz?</b>			
K1	GRC aracı oluşturacağımız mekanı kafamızda canlandırmak ve kesitlerini çıkarmada faydalı olabilir.		3B Geometrik temsil Arazi ilişkisi
K2	GRC aracında 3 boyutlu görme ve kütle organizasyonunu görme konusunda oldukça yardımcı oldu. Formla istediğimizi gibi oynayabiliyor olmak da güzeldi.		3B Geometrik temsil Yazılım etkileşimi
K3	Mekan ilişkilerini daha pratik bir şekilde çözmeye yarayacağını düşünüyorum		3B Geometrik temsil 2B Geometrik temsil
K4	Plan çözme ve alanı daha rahat kavramaya olanak sağlıyor		2B Geometrik temsil Arazi ilişkisi
K5	GRC aracı eğlenceli olduğu için daha iyiydi.		Yazılım etkileşimi
K6	Tasarladığımız yapıyı görsel açıdan görmek daha faydalı oluyor bu sayede daha rahat bir şekilde nasıl yerleştiğimizi anlayabiliyoruz. Kota oturma ve tesviye endişeleri açısından da çok yararlı olduğunu düşünüyorum.		3B Geometrik temsil 2B Geometrik temsil Arazi ilişkisi
K7	Mekanlar için özel istekler verildiğinde tasarımın nasıl bir şekil alacağı konusunda fikir verme konusunda yardımcı olur.		Mekan ilişkileri 3B Geometrik temsil
<b>AS2 İki aracın ayrı ayrı tasarımda hangi süreçte/süreçlerde kullanılabileceğini kısaca anlatınız.</b>			
		MFPG	GRC
K1	MFPG daha basit yapılarda daha konforlu olabilir. GRC ise daha büyük hacimler ve daha kompleks yapılarda kolaylık sağlayabilir.	Basit form	Karmaşık form
K2	MFPG giriş aşamasında GRC ise kesit aşamasında ve daha ileri kısımlarda kullanılabilir.	Programlama	Şematik tasarım Tasarım Geliştirme
K3	MFPG tasarımın ilk başında daha sonra GRC aracını kullanmayı mekan ilişkilerinin daha iyi çözüleceğini düşünüyorum.	Programlama	Şematik Tasarım Mekan ilişkileri
K4	İkisi de planı çözmek için ayrıca çevreyle ilişkili özellikleri kavramak için etkili programlardır.	Programlama Şematik tasarım Çevre ilişkisi	Programlama Şematik tasarım Çevre ilişkisi
K5	GRC aracının projenin hem başlangıcında hem sonunda kullanımı faydalı olacaktır.	Programlama	Şematik tasarım Tasarım geliştirme
K6	Tasarımların başlangıç aşamalarında MFPG kullanılması daha yararlı olacağını düşünüyorum. Daha sonra MFPG kullanılması ve daha detaylarına girilmesi daha iyi olabilir. Kotlara oturma sürecinde de GRC kullanılabilir.	Programlama	Şematik tasarım Tasarım geliştirme Arazi ilişkisi
K7	MFPG aracının plan kurma konusunda, GRC aracında ise eğime yerleşme, kütle oranları ve dış cephenin alacağı şekil konusunda yardımcı olabilir.	Programlama 2B Geometrik temsil	Arazi ilişkisi Karmaşık form



#### 4. Değerlendirme ve Sonuç

Mimari Bu çalışma, mimari tasarımın erken evre sürecinde mekân kurgusu ve geometrik temsilin sayısal yaklaşımla incelenmesini ele almaktadır. Geleneksel tasarım sürecindeki zorlukların üstesinden gelmek için sayısal yazılımlar ve yeni yaklaşımların benimsenmesi, tasarımcılara çok sayıda, farklı alternatifler üretme ve beklenmedik sonuçlar elde etme imkanı sağlamıştır. Bu kapsamda, mekan organizasyonunda sayısal tasarım yöntemleri ve tümevarım ve tümdengelim yaklaşımları incelenmiş ve literatürdeki açıklar belirlenerek öneri prototip tasarımı bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Çalışma bulguları değerlendirildiğinde, öğrencilerin mekanlar arası ilişki ve kütlelerin arazi ile ilişkisinin 3 boyutlu temsil ile daha iyi kavradıkları görülmektedir. Hesaplamalı tasarım ile mekan birimleri alan m<sup>2</sup> ve ilişki değişimlerini anlık olarak perspektif, plan ve kesit düzlemlerinde görebilmek öğrenciler tarafından oldukça olumlu bulunmuştur. Deneysel çalışmalar ile arayüz ve algoritmanın sadeleşerek basitleştirilmesi gerekliliği görülmüştür. Öğrencilerin proje stüdyosu derslerine destek olabilmesi için kullanıcı geri bildirimleri ve bilgilendirme özelliklerinin eklenmesinin faydalı olacağı tespit edilmiştir. DÇ1 katılımcıları üçüncü yıl mimarlık öğrencileri olduğu için DÇ2'ye göre mimari tasarımda detaylı çözüm beklentileri olduğu görülmüştür. 3 boyutlu diyagram gösterimi ve mekan ilişkileri bağlamında öneri prototip hedef kitesinin ilk yıl mimarlık öğrencileri olmasının uygun bir karar olduğu anlaşılmıştır. DÇ2'de katılımcılar hiçbir mimari yazılım deneyiminin olmaması öngörülen problemleri oluşturmamıştır. Sadeleştirilecek bir arayüz ile daha başarılı sonuçlar elde edileceği öngörülmektedir.

Araştırma ile geometri, temsil ve mekan ilişkilerinin birlikte ele alınmasının, mekan organizasyonu bağlamında literatüre katkı sağlayacağı ve mimarlık öğrencilerinin mekan tasarımına bütüncül bir bakış açısı kazanmalarına yardımcı olabileceği öngörülmektedir. Öğrencilerin tümdengelim yaklaşımına ek olarak tümevarım yaklaşımını da geliştirmeleri, modüler ilişki düzeyinde ilerlemelerine olanak tanır. Bu durum, öğrencilerin plan şemasını iki boyutlu tasarlama eğilimlerini üçüncü boyutta mekan ilişkileriyle anlamalarına, farklı parametreleri denemelerine ve hızlı sonuç görmelerine yardımcı olmaktadır. Böylece mekan ilişkilerini oluşturma ve düzenleme konusundaki becerilerini geliştirebilirler. Araştırmanın çıkarımları, mekansal organizasyonun 3 boyutlu temsiline mimari tasarımdaki merkezi rolünü vurgulamakta ve bu alandaki gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır. Çalışmanın bir sonraki aşaması, öneri prototip ve mevcut yazılımların kontrol ve deney grubu ile teknoloji kabul ve kullanılabilirliğin ve kullanıcıya katkısının testlerine devam edilmesidir. Ek bir katkı olarak, öneri prototip kullanım öncesi ve sonrası uzamsal becerinin test edilmesi de planlanan çalışmalar arasındadır. Tüm deneylerden edinilen çıkarımlar ile prototip geliştirilecektir. Bu sayede mimarlık eğitiminde sayısal tasarım yaklaşımları ve araçlarının hedef kitle tarafından kabulü ve faydası ortaya koyulmuş olacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (YTÜ, GAP, Proje Numarası: 5546) tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akin, Ö. (1986). Psychology of architectural design. (No Title).
- Alexander, C. (1964). Notes on the Synthesis of Form (7 ed., Vol. 5). Harvard University Press.
- Anderson, C., Bailey, C., Heumann, A., & Davis, D. (2018). Augmented space planning: Using procedural generation to automate desk layouts. *International Journal of Architectural Computing*, 16(2), 164-177. <https://doi.org/10.1177/1478077118778586>
- Archistar Platform. In. (2022). Archistar. <https://www.archistar.ai>
- Autodesk Forma. In. (2023). Autodesk. <https://www.autodesk.com.tr/products/forma/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Bahrehmand, A., Evans, A., & Blat, J. (2014). Recommendation of Floor Plan Layouts Based on Binary Trees. *egice*. Cardiff,
- Baki, Z. A. A. A., Abdulbaqi, H. A., & Mohialden, Y. M. (2018). A Novel Interior Space Planning Design Based on MDB-FA Method. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(10), 641-646. <http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=10>
- Buffa, E. S. (1964). Allocating facilities with CRAFT. *Harvard business review*, 3, 136-158.
- Cichocka, J. M., Browne, W. N., Ramirez, E. R., & Rodriguez, E. B. T. (2017). OPTIMIZATION IN THE ARCHITECTURAL PRACTICE An International Survey. *Caadria*(April), 387-397. [http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017\\_155.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_155.pdf)
- Coates, P., Healy, N., Lamb, C., & Voon, W. L. (1996). The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules. *Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference*(March), 26-28.
- Cross, N. (2004). Expertise in design: An overview. *Design Studies*, 25(5), 427-441. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.06.002>
- Dave, B. (1993). A computer assisted diagramming system [ETH Zurich].
- Demirkol, D., & Şeneler, Ç. (2018). A Turkish translation of the system usability scale: The SUS-TR. *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(3), 237-253.
- Egor, G., Sven, S., Martin, D., & Reinhard, K. (2020). Computer-aided approach to public buildings floor plan generation. *Magnetizing Floor Plan Generator*. *Procedia Manufacturing*,
- Fischer, T., & Herr, C. M. (2007). The Architect as Toolbreaker? Probing tool use in the practice of generative design, *Caadria*,
- Hassan, F. H., Kit, H. W., Rosni, N. M. L. N., & Azhar, N. D. A. (2017). Non-Overlapping Ratios as Fitness Function in Optimisation Spatial Layout Design. "*Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering* ", 9(2-5), 83-86.
- Heckmann, O., Budig, M., Conti, Z. X., Chern, R., Cheng, X. I., Lo, S., & Tian, T. (2020). User-driven parcellation of high-rise units for future urban habitation: Participatory computational design tools for future urban habitation.

- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2010). Emergent Technologies and Design.
- Herr, C. M., & Ford, R. C. (2015). Adapting cellular automata as architectural design tools. CAADRIA 2015 - 20th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Emerging Experiences in the Past, Present and Future of Digital Architecture, 169-178.
- Heumann, A. (2019). Human UI. In NBBJ. <https://www.food4rhino.com/en/app/human-ui>
- Homenda, W. W. L. L., & Kwiecinski, K. (2016). Attribute Grammars for Controlling House Layout Customization. "COMPUTER INFORMATION SYSTEMS AND INDUSTRIAL MANAGEMENT, CISIM 2016 ",
- Ikedo, Y., Herr, C. M., Holzer, D., Kaijima, S., & Kim, M. J. (2015). Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture. roceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2015,
- Kalay, Y. E. (1985). Redefining the role of computers in architecture: from drafting/modelling tools to knowledge-based design assistants. *Computer-Aided Design*, 17(7), 319-328. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(85\)90165-4](https://doi.org/10.1016/0010-4485(85)90165-4)
- Kalay, Y. E. (1990). Process and Knowledge in Design Computation. *Journal of Architectural Education*, 43(2), 47-53. <https://doi.org/10.1080/10464883.1990.10758560>
- Kolarevic, B. (2004). Digital morphogenesis. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, 17-45.
- Kotnik, T. (2010). Digital Architectural Design as Exploration of Computable Functions. *International Journal of Architectural Computing*, 8(1), 1-16.
- Kramel, H., & Chen, C.-C. (1991). 21. BAU: A Knowledge-Based System for the Investigation of a Basic Architectural Unit. *CAAD Futures' 91: Computer Aided Architectural Design Futures Education, Research, Applications*, 329.
- Krawczyk, R. J. (2002). Experiments in Architectural Form Generation Using Cellular Automata. *Proceedings of the 20th eCAADe Conference(1970)*, 552-555.
- Liddament, T. (1999). The computationalist paradigm in design research. In *Design Studies* (Vol. 20, pp. 41-56).
- Lobos, D., & Trebilcock, M. (2014). Building performance information and graphs approach for the design of floor plans. *Arquiteturarevista*, 10(1), 23-30. <https://doi.org/10.4013/arq.2014.101.03>
- Lu, C. C. (2015). The relationship between student design cognition types and creative design outcomes. *Design Studies*, 36(C), 59-76. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.08.002>
- Makstutis, G. (2018). *Design process in architecture: From concept to completion*. Laurence King.
- Marsault, X. (2018). *Eco-generative Design for Early Stages of Architecture*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- Mitchell, W. J., Liggett, R. S., & Tan, M. (1989). Top-Down Knowledge-Based Design. *The Electronic Design Studio*, 137-148.
- Moffett, K. M. (2017). *Forming and Centering - Foundational Aspects of Aeschitural Design* (Vol. 51).
- Nisztuk, M., & Myszkowski, P. B. (2018). Usability of contemporary tools for the computational design of architectural objects: Review, features evaluation and reflection. In *International Journal of Architectural Computing* (Vol. 16, pp. 58-84): SAGE Publications Inc.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229-265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Oxman, R., & Oxman, R. (1990). The Computability of Architectural Knowledge. *The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era.*, 171-185.

- Peng, C.-H., Yang, Y.-L., Bao, F., Fink, D., Yan, D.-M., Wonka, P., & Mitra, N. J. (2016). Computational network design from functional specifications. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 35(4), 1-12.
- Rajkumar, S. (2022). Planmaker. In <https://www.food4rhino.com/en/app/planmaker>
- Rutten, D., McNeel, R. R. D., & Associates. (2007). Grasshopper3D. In. Seattle, WA, USA.
- Schmitt, G. (1993). *Architectura et machina: Computer aided architectural design und virtuelle Architektur*. Springer-Verlag.
- Upasani, N., Shekhawat, K., & Sachdeva, G. (2020). Automated generation of dimensioned rectangular floorplans. *Automation in Construction*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103149>
- Weber, R. E., Mueller, C., & Reinhart, C. (2022). Automated floorplan generation in architectural design: A review of methods and applications. *Automation in Construction*, 140(June), 104385-104385. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104385>
- Yi, H. (2016). User-driven automation for optimal thermal-zone layout during space programming phases. *Architectural Science Review*, 59(4), 279-306. <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1021747>
- Zawadzki, M., & Szklarski, J. (2020). Multi-objective optimization of the floor plan of a single story family house considering position and orientation. *Advances in Engineering Software*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2019.102766>

# Mimarlıkta Temel Tasarım Eğitimine Görsel Kodlama ve Güncel Sayısal Tekniklerin Entegrasyonu: Bir Stüdyo Denemesi

Erdem Yıldırım<sup>1</sup> ; Aslı Arpak<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi; <sup>2</sup>Yaşar Üniversitesi

<sup>1</sup>erdem.yildirim@deu.edu.tr; <sup>2</sup>asli.arpak@yasar.edu.tr

## Özet

*Bu çalışma, temel tasarım eğitimine görsel kodlama ve güncel sayısal tekniklerin entegrasyonunu incelemektedir. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde 2022-2023 ve 2023-2024 akademik yılları güz dönemlerinde gerçekleştirilen stüdyo çalışmaları temel alınarak, öğrencilerin analitik ve yaratıcı düşünme becerilerini geliştirmeye yönelik yenilikçi bir müfredat uygulanmıştır. Çalışma, manuel ve dijital araçların birlikte kullanımının, öğrencilerin analitik geometriye daha iyi hakim olmalarına ve problem çözme becerilerini artırmalarına olanak tanıdığını ortaya koymaktadır. İlk dört ödevlerde, öğrencilerin önce manuel, ardından dijital olarak çalışmaları sağlanarak, farklı araçların kullanımları deneyimletilmiştir.*



*Öğrenciler, ilk olarak tek boyutlu ip gibi basit malzemelerle çalışarak iki boyutlu kompozisyonlar oluşturmuş, daha sonra iki boyutlu kolaj ve 2,5 boyutlu rölyef çalışmaları yaparak üç boyutlu tasarıma geçiş yapmışlardır. Bu aşamalı yaklaşım, öğrencilerin zorluk derecesinin ve bilgi birikiminin birbirine binerek arttığı bir öğrenme süreci yaşamalarını sağlamıştır. Üç boyutlu tasarımlarda ise, öğrencilerin dijital araçlarla oluşturdukları modellerde daha karmaşık ve detaylı çalışmalar yapabilmeleri sağlanmıştır.*

*Müfredat hızla gelişen teknolojilere uyum sağlamayı hedeflemekte ve öğrencileri geleceğin mimari iş akışlarına daha donanımlı hale getirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma süresince yapılan gözlemler, dijital ve manuel araçların entegrasyonunun, öğrencilerin yaratıcılıklarını ve özgünlüklerini nasıl olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, bu yenilikçi eğitim yaklaşımı, öğrencilerin dijital ortamda çalışırken edindikleri beceriler sayesinde analitik düşünme kapasitelerini genişletmiş ve problem çözme yeteneklerini pekiştirmiştir. Bu çalışma, hızla değişen teknolojik ortamda mimarlık eğitiminin nasıl evrilebileceğine dair bulgular sunarak bu alandaki literatüre katkılar yapmaktadır. Müfredatın sürekli gelişimini ve güncellenebilirliğini sağlamak, eğitimdeki yenilikçiliği ve öğrencilerin güncel teknolojilere uyum sağlamasını desteklemektedir.*

*Bu bağlamda, parametrik tasarım, yapay zekâ ve bilgisayar destekli üretim gibi diğer dijital araçların temel tasarım eğitimine entegrasyonu, öğrencilerin sadece yeni beceriler kazanmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yaratıcı süreçlerinde daha fazla esneklik sunarak kendi iş akışlarını kurgulamalarıyla benzersiz projelerini geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Bu yenilikçi eğitim yaklaşımı, mimarlık pedagojisinin gelişimine katkılarda bulunarak, geleceğin mimarlarını daha iyi donatmayı amaçlamaktadır. Öğrencilerin dijital araçlarla çalışırken edindikleri beceriler, onların analitik düşünme kapasitelerini genişletmiş ve problem çözme yeteneklerini pekiştirmiştir. Bu bağlamda, mimarlık eğitiminde dijital araçların entegrasyonu bireysel iş akışlarının tasarımı, gelecekte daha esnek, yenilikçi ve etkili bir eğitim süreci oluşturmanın önemini vurgulamaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Temel tasarım, mimari tasarım, görsel kodlama, sayısal tasarım, bilgisayar destekli tasarım.

# Integrating Visual Coding and Contemporary Digital Techniques into Basic Design Education in Architecture: A Studio Experiment

Erdem Yıldırım<sup>1</sup> ; Aslı Arpak<sup>2</sup>   
<sup>1</sup>Dokuz Eylül University; <sup>2</sup>Yaşar University  
<sup>1</sup>erdem.yildirim@deu.edu.tr; <sup>2</sup>asli.arpak@yasar.edu.tr

## Abstract

*This study examines the integration of visual coding and contemporary digital techniques into basic design education. An innovative curriculum aimed at enhancing students' analytical and creative thinking skills was implemented, based on studio work conducted at the Faculty of Architecture, Department of Architecture, Dokuz Eylul University, during the fall semesters of the 2022-2023 and 2023-2024 academic years. The study reveals that the combined use of manual and digital tools enables students to better master analytical geometry and improve their problem-solving abilities. In the first four assignments, students were engaged in manual work followed by digital work, allowing them to experience the use of different tools.*

*Initially, students worked with simple one-dimensional materials like strings to create two-dimensional compositions. They then progressed to two-dimensional collages and 2.5-dimensional reliefs, ultimately transitioning to three-dimensional design projects. This step-by-step approach ensured that the complexity and knowledge built progressively, allowing students to tackle more challenging tasks with increased confidence. In three-dimensional designs, students were able to create more complex and detailed models using digital tools.*

*The curriculum aims to adapt to rapidly evolving technologies, preparing students more effectively for future architectural workflows. Observations made during the study indicated that the integration of digital and manual tools positively influenced students' creativity and originality. Additionally, this innovative educational approach expanded students' analytical thinking capacities and reinforced their problem-solving abilities through their work in digital environments. This study presents significant findings on how architectural education can evolve in a rapidly changing technological environment, making meaningful contributions to the literature in this field. Maintaining the continuous development and updatability of the curriculum supports innovation in education and enables students to adapt to current technologies.*

*In this context, the integration of parametric design, artificial intelligence, and computer-aided manufacturing, among other digital tools, into basic design education not only allows students to acquire new skills but also provides them with greater flexibility in their creative processes, enabling them to develop their unique workflows and projects. This innovative educational approach aims to better equip future architects by providing them with the skills needed to thrive in a technologically advanced environment, thereby making significant contributions to the development of architectural pedagogy. The skills students acquire while working with digital tools expand their analytical thinking capacities and reinforce their problem-solving abilities. In this context, the integration of digital tools for personal workflow design in architectural education underscores the importance of creating a more flexible, innovative, and effective educational process for the future.*

**Keywords:** Basic design, architectural design, visual computing, digital design, computer aided design.

## 1. Giriş

Mimarlık eğitimi, tarihsel süreç içinde tasarım ve üretim tekniklerindeki yenilikler ile paralel bir evrim göstermiştir. Özellikle son 30-40 yıl içinde dijital teknolojilerin ve sayısal tasarım araçlarının gelişmesi, mimarlık pedagojisinde dönüştürücü bir rol oynamaktadır. Bu teknolojik ilerlemeler sayesinde eğitim süreçlerine yeni boyutlar eklenmekte, öğrencilere sunulan eğitim içeriği zenginleşmektedir. Çalışmamız, manuel ve dijital araçların eğitim süreçlerine entegrasyonu ve bu iki farklı ortamda kazanım biçimlerinin nüanslarını biraz daha derinlemesine irdelemeyi amaçlıyor. Örneğin, bir çizgi çizme işlemi, manuelde kalemle fiziksel bir etkileşim içerirken, dijital ortamda matematiksel bir ifade olarak başlangıç ve bitiş noktaları arasında tanımlanır. Bu tip temel farklar, öğrenme süreçlerini ve öğrencilerin tasarımı algılama biçimlerini etkiler.

Öğrenciler, tasarım eğitimlerinde geleneksel olarak kağıt, kalem, cetvel, mukavva, falçata gibi manuel araçlar ile çalışmayı öğrenirken, bu araçlar vasıtasıyla skeç yapma, ölçekli çizim yapma ve fiziksel maket üretme becerilerini geliştirirler. Ancak günümüzde öğrenciler eğitimlerinin ilk yıllarından itibaren manuel araçlara ek olarak dijital araçları da kullanmaya başladılar. Her ne kadar skeç yapma ve fiziksel maket üretimi tasarım süreçlerinin ayrılmaz bir parçası olarak kalmaya devam etse de, çizimler ve üç boyutlu (3B) modelleme artık büyük oranda dijital ortamda gerçekleştiriliyor. İlerleyen bölümlerde, manuel ve dijital teknikler arasındaki bu dinamiğin, öğrencilerin tasarım süreçlerine olan katkılarına ve öğrenme deneyimlerini nasıl şekillendirdiğine biraz daha yakından bakıyoruz. Dijital ve manuel süreçlerin bir arada ele alınması, öğrencilere çok yönlü bir bakış açısı kazandırıyor ve tasarım yeteneklerini çeşitlendiriyor.

Yeni oluşturduğumuz ve uyguladığımız özgün Temel Tasarım stüdyosu müfredatı özellikle bilgisayar destekli tasarım (BDT), görsel kodlama, parametrik tasarım, yapay zekâ, 3B tarama, ve bilgisayar destekli üretim (BDÜ) gibi konuları stüdyo egzersizlerine entegre ediyor. Bu stüdyoyu Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde 2022-2023 ve 2023-2024 akademik yılları Güz dönemlerinde, birinci sınıf, birinci dönem mimarlık eğitimi alan öğrencilerin katılımları ile iki kez gerçekleştirdik. Stüdyo boyunca araştırma amaçlı gözlem yaptık. Özellikle pedagojik olarak öne çıkan aşamaları kalitatif olarak kayıt altına aldık. Bu çalışmada, dersin müfredatını, öğrenci projelerinde öne çıkan bazı yanıtları ve edindiğimiz içgörülerini paylaşıyoruz.

Literatürde mimarlık eğitimi içinde sayısal ve parametrik tasarım konularının entegrasyonunu ele alan çalışmalar ağırlıklı olarak eğitimin temel tasarım gibi ilk aşamalarında değil, daha sonraki üçüncü - dördüncü sınıf gibi ileri seviye stüdyolarda karşımıza çıkıyor (Yalınay Çinici, 2008; Varinlioglu & Turhan, 2018). Temel

tasarım veya türevi gibi eğitim sürecinin başında yapılan çalışmalar ise çoğunlukla ya sadece belirli egzersizler süresince verilmeye çalışılmakta, ya da kısıtlı sürede yapılan atölye çalışmaları ile sınırlı kalmaktadır (Agirbas, 2017; Ostrowska-Wawryniuk et al., 2022; Rhodes, 2017; Uysal & Topaloğlu, 2017; Vamvakidis, 2019; Varinlioğlu et al., 2015). Sayısal tasarımın ve dijital araçların kullanımını tüm temel tasarım müfredatı ile yoğuran stüdyo örnekleri oldukça nadir uygulanabilmektedir. (Gündüz et al., 2018). Bu çalışma ise tüm temel tasarım ve birinci sınıf müfredatını bu konular ile bütünleşmiş biçimde kurgulayan bir örnek teşkil etmekte ve literatürdeki bu alana katkı koymayı hedefliyor.

## 2. Manuel + Dijital: İki Dünyanın Potansiyelleri

Ortaya konan müfredatta, temel tasarım dersinin dönüşümünde belirgin bir rol oynayan öğretim stratejilerinden biri, öğrencilere manuel beceriler kazandırmanın ardından bu becerileri dijital ve parametrik tasarım yöntemleriyle nasıl entegre edebileceklerini öğretmeye dayanıyor. Dönemin büyük bölümünde, öğrencilere önce manuel olarak bir tasarım yapma görevi verildi. Daha sonra, öğrencilere aynı ödevi parametrik tasarım yöntemleriyle geliştirerek yenilemeleri istendi. Bu strateji, öğrencilere klasik tasarım becerilerini kazandırmakla kalmayıp aynı zamanda dijital araçların gücünü keşfetmelerine de olanak tanıyor. Bu yaklaşım, öğrencilerin manuel ve dijital tasarım arasında bir köprü kurmalarına ve her iki dünyadan faydalanmalarına olanak sağlıyor. Temel tasarım eğitimine getirilen bu yenilikçi yaklaşımın öğrencilerin yaratıcılıklarını olumlu yönde etkilediğini, tasarım becerilerini geliştirirken matematiksel akıl yürütmeyi daha çok pratik ettiklerini ve aynı zamanda dijital iş akışlarına eğitimlerinin en başından itibaren aşinalık kazanmalarının uzun vadede olumlu sonuçlar vermeye başladığını gözlemliyoruz.

Çalışmada ders izlencesini ve ödevleri ayrıntılı bir şekilde sunuyoruz ve özellikle hangi becerilerin kazandırılması hedeflendiğini detaylandırıyoruz. Bu müfredatta öncelikli olarak temel tasarım eğitiminin başlangıcında öğrencilere, temel tasarım içeriği ile paralel olarak dijital ve parametrik tasarımın temel prensiplerini de aktarıyoruz. Bu kapsam öğrencilere tasarım süreçlerini daha yaratıcı, esnek, sistematik ve dinamik hale getirebilmeleri için gerekli olan temel becerileri kazandırmayı hedefliyor. İkinci olarak çalıştığımız bir konu dijital ekosistemde Büyük Dil Modelleri (Large Language Models) ve yapay zekâ entegrasyonunun öğrenciye potansiyel katkılarıydı. Stüdyoda özellikle metinden-görüntüye üretici sistemler tasarım süreçlerinin erken aşamalarında kullanıldı. Bu yaklaşım, öğrencilere yaratıcılıklarında destek olacak yeni materyaller üretmeleri, soyutlama gibi nispeten kompleks süreçlerde destek almaları, daha yaratıcı çözümler bulmaları ve tasarımlarına kritik bir bakış açısı ile yaklaşmaları konularında destek olabildiğini gözlemledik.



Üçüncü olarak öğrencilere 3B tarama araçları, dijital ortamda modelleri düzenleme araçları ve bilgisayar destekli üretim araçları tanıtıldı. Spesifik olarak stüdyoda PolyCam gibi 3B tarama araçları, Autodesk Meshmixer ve lazer kesim tekniği kullanıldı. Bu beceriler ile öğrenciler çeşitli fiziksel nesnelere tarayabilir, düzenleyebilir ve dijitalleştirilebilir kapasitelere geldiler. Aynı zamanda dijital ortamdaki modellerinden fiziksel çıktılar oluşturabilirler. Bu akış, öğrencilere hem geleneksel ve manuel, hem de dijital tasarım becerilerini etkili bir şekilde birleştirme fırsatı tanıdı. Son olarak öğrencilere Öklitçi ve Öklit dışı geometriler sunuldu. Stüdyo boyunca öğrencilere geleneksel “noktadan mekâna” akışı – nokta, çizgi, düzlem, 3B geometrik şekil, mekân geliştirilmesi – hakkında bilgi aktarıldı. Öklitçi geometrilere ek olarak Öklit dışı geometriler ve alternatif geometrik düşünme biçimleri de parametrik yöntemler ile öğrencilerin repertuarına girdi. Öklit dışı geometriler mimari tasarım süreçlerine yeni bakış açıları getirebilmektedir. Öğrenciler ile Öklit dışı geometrilerin sağlamlıkları, estetik, fonksiyon ve yapısal olarak potansiyelleri tartışıldı. Aynı zamanda bu vesile ile geometriler ile ilişkili olarak “matematiksel tarifleme” konusuna girildi. Matematiksel tariflemenin mimari formlara nasıl eşlik edebileceği, tasarım süreçlerini nasıl formalize edebileceğimiz, öğrencilere bu formalizasyonların tasarım süreçlerinde nasıl avantajlar sağlayabileceği bu aşamada açıldı.

Stüdyo sürecinde öğrencilere ödevler ile bağlantılı belirli iş akışlarını tanıttık ve uygulamalarını istedik. İş akışı öğretimi, algoritmik düşünceyi ve geometrik kurguyu destekliyor, öğrencilerin prosedürel ve kavramsal düşünme becerilerini birlikte geliştirmelerine olanak tanıyor. Öğrencilerin prosedürel ve algoritmik düşünme becerileri geliştikçe kendi iş akışlarını yaratma olanakları doğdu. Öğrencilere kendi iş akışlarını keşfetme ve geliştirme fırsatı sunmanın, onların tasarım projelerinde daha başarılı olmalarını sağlayabileceğini fark ettik. İyi tasarlanmış iş akışlarının, tasarım projelerinin kalitesini artırdığına dair bir korelasyon olabileceğini saptadık.

### 3. Ödev Tanımları

Stüdyoda ilk dört ödevde, her çalışmanın önce manuel olarak, ardından dijital olarak gerçekleştirilmesini hedefledik. Ödevler giderek zorlaşmakta olup, öğrenciler önce tek boyutlu (1B) ip gibi malzemeden iki boyutlu (2B) bir kompozisyon oluşturmakta, ardından 2B kolaj, 2,5 boyutlu (2,5B) rölyef ve nihayet 3B tasarıma geçmektedirler (**Tablo 1**). Ödevler, öğrencilerin geometri ve mekansal ilişkileri keşfetmelerine, çeşitli dijital platformlarda modelleme yapmalarına ve parametrik düşünceyi uygulamalarına olanak tanır. Aşağıda, her bir ödevin teknikleri, çalışma konuları, edimimleri ve kuralları detaylandırılıyor. Bu kapsamda, müzikten doğaya, edebiyattan sanata kadar geniş bir yelpazede konular ele alındı. Öğrencilerin yaratıcı potansiyellerini, oldukça çeşitli ilham kaynakları kullanarak ve farklı çeşitteki bilgileri sentezleyerek iletmemeleri hedeflenmiştir.

**Tablo 1.** Dönemin haftalık kurgusu.

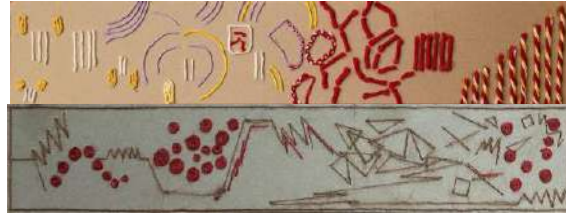
Hafta	Ödev	Teknik	Çalışma	Edinim	Geometri Konuları	Temel Tasarım Edinimleri	Kurallar
1	1 Müzıp	a.Manuel	Verilen bir müzik parçasının ip kullanılarak çizgisel olarak tasviri.	İp bağlama	Nokta, Çizgi, Eğri	Ritim, Tekrar	Tual boyutu: 84 * 15 cm, Zaman çizgisi okunmalı
1		b.Sayısal	Verilen bir müzik parçasının Grasshopper'da çizgisel olarak tasviri.	Rhinoceros ve Grasshopper arayüzüne intibak ve temel Öklid transformasyonlar			
1	2 Doğa-örüntü	a.Manuel	Doğadan esinlenerek elde edilen bir dokununun örüntüsünün soyutlanması	Kolaj	Düzlem, 2B Asal Formlar, Örüntü	Tekrar, İzgara, Hiyerarşi, Soyutlama	Tual boyutu: A3, Min 6 tekrar olmalı
1		b.Sayısal	Örüntünün Grasshopper'da kodlanması	Grasshopper'da ızgara temelli örüntü oluşturma			
1	3 Romandan Mekansallaştırma	a.Manuel	Öğrencinin seçeceği bir romanda, mekan tasviri yapılan bir pasajın rölyef olarak soyutlaması	Maket kartonu ile tanışma	2,5 Boyutlu Rölyef	Kompozisyon, Odak, Soyutlama	Tual boyutu: A4, Hmax= uzun kenar/4
1		b.Sayısal	Pasajın Grasshopper'da 2,5 boyutlu modellemesi	Grasshopperda "image sampling"			
1	4 3B Başyapıt	a.Manuel	Verilen bir başyapıt resmin 3 boyutlu soyutlaması	Maket kartonu ile 3B kütleler oluşturma	3B Asal Formlar, 3B Kompozisyon	Kompozisyon, Soyutlama, Oran	max hacim: 30 * 30 * 30 cm, Asal geometrik formlar kullanılmalı
2		b.Sayısal	Verilen bir başyapıt resmin grasshopperda asal geometrik formlar kullanılarak soyutlaması	Grasshopper'da katı eleman operasyonları / Meshmixer yazılımına intibak			

Tablo 1. (Devam)

Hafta	Ödev	Teknik	Çalışma	Edinim	Geometri Konuları	Temel Tasarım Edinimleri	Kurallar
1	5 3B Yeniden Üretim	Sayısal	Seçilen bir objenin yeniden üretimi	Fotogrametrik yöntemlerle 3B tarama, Meshmixer ve Autodesk Slicer	Öklid dışı geometri	Bir sonraki ödevin altyapısı olacak beceriler	Max hacim: 30 * 30 * 30 cm
4	6 Yuvakuran	Sayısal	3-5 cm boyutunda canlı için bir yuva tasarımı	Yazılımlar arası geçişler ve içeri/dışarı aktarımlar yapılarak iş akışı geliştirme	Nurbs, Mesh, Blob, Kabuk,	Geometri – mekan ilişkisi kurma	Giriş bölümü tanımlı olmalı, 1 adet ana mekan, 1 adet alt mekan olmalı, mevcutta var olan bir ağaçla mekansal ilişki kurmalı

### 3.1. Egzersiz 1a: Manuel “Müzip” Çalışması

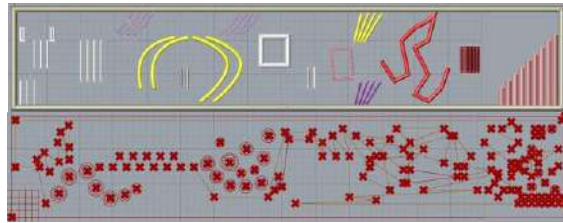
Deney, Bu çalışmada, öğrencilerden bir müzik parçasını noktasal ve çizgisel elemanlarla ifade etmelerini bekledik. Yürütücülerin belirlediği bir müzik albümünden seçtikleri parçayı, 82x15 cm boyutlarındaki bir altlık üzerine soyut bir kompozisyon olarak çizdiler. Öğrenciler, ip kullanarak müziğin zaman çizgisini ve ritmini görsel bir forma dönüştürdüler. Renk veya doku kullanımını öğrencinin tercihine bıraktık. Kullanılacak malzemeler arasında karton, ip ve yapıştırıcı bulunuyordu. Bu egzersizi, öğrencilerin 2B tasarıma başlamalarını sağlamak amacıyla tasarladık. İnce uzun bir tasarım alanında çalışarak, noktasal ve çizgisel elemanlar kullanarak form yaratmayı öğrendiler. Aynı zamanda ritm, tekrar gibi temel tasarım prensiplerini ve nokta, çizgi, eğri gibi geometrik elemanları çalıştılar. Bu süreç, öğrencilerin müziği görsel bir dile çevirme becerisini geliştirdi ve soyut düşünme yeteneğini artırdı.



Şekil 1. Örnek manuel "Müzip" çalışması göstermektedir.

### 3.2. Veri Toplama Egzersiz 1b: Dijital "Müzip" Çalışması

Egzersizin ikinci aşamasında, öğrenciler fiziksel olarak elde ettikleri kompozisyonu dijital olarak modellediler. Bu aşamada araç olarak Rhinoceros ve Grasshopper kullandık. Öğrencilere bu beceriyi geliştirmek amacıyla öncelikle bir ders verdik. Bu ders kapsamında Rhinoceros ve Grasshopper araçlarının temellerini, modelleme tekniklerini ve dijital tasarım prensiplerini öğrettik. Ardından, öğrenciler atölye çalışmasında ve ödev olarak dijital üretim gerçekleştirdiler. Bu süreç, öğrencilerin dijital araçlarla çalışma becerilerini geliştirmelerini, fiziksel ve dijital tasarım süreçleri arasındaki farkları ve benzerlikleri anlamalarını sağladı. Aynı zamanda, dijital ortamda noktasal ve çizgisel elemanları kullanarak form yaratma ve tasarım prensiplerini uygulama yeteneklerini pekiştirdi.



Şekil 2. Örnek dijital "Müzip" çalışması. Manuel olarak yapılan çalışmanın dijital ortamda tekrar üretilmesi.

### 3.3. Egzersiz 2a: Manuel "Doğa-Örüntü" Çalışması

Bu çalışmada, öğrencilerden doğadaki bir dokuyu inceleyerek ilham aldıkları ve kendi geliştirdikleri bir örüntü tasarımlarını bekler. Temel tasarım prensiplerinden grid, hiyerarşi ve kontrasttan yararlanarak ve sadece iki

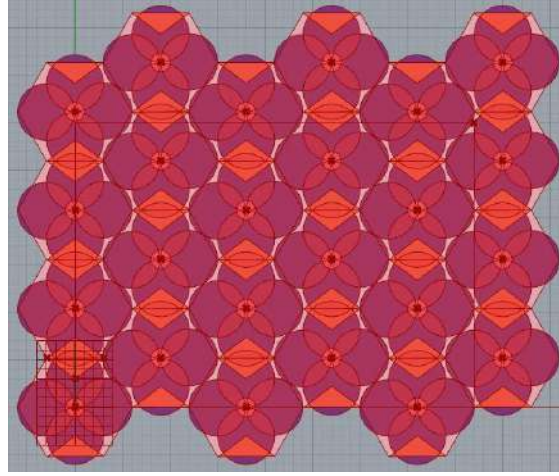
renk kullanarak, A3 boyutlarında bir altlık üzerine çalıştılar. Öğrenciler, noktasal, çizgisel ve düzlemsel elemanlarla doğadan ilham alarak özgün bir örüntü oluşturdular. Kullanılacak malzemeler arasında maket kartonu veya normal karton, renkli kağıtlar, kalemler ve yapıştırıcı bulunuyordu. Bu egzersiz, öğrencilerin doğal formları soyutlayarak 2B tasarım dünyasında yaratıcı kompozisyonlar geliştirmelerini sağladı. Aynı zamanda, doğadan esinlenerek form yaratma sürecinde grid yapıları ve hiyerarşik düzenlemeleri anlamalarına yardımcı oldu. Ritm ve tekrar gibi prensiplerin yanı sıra, öğrencilerin kontrast kullanarak dengeli tasarımlar oluşturma yeteneklerini de pekiştirdi.



Şekil 3. Örnek manuel “Doğa-Örüntü” çalışması.

### 3.4. Egzersiz 2b: Dijital “Doğa-Örüntü” Çalışması

Egzersizin ikinci aşamasında, öğrencilerden fiziksel olarak oluşturdukları örüntüyü dijital ortamda modellemelerini istedik. Bu aşamada araç olarak Rhinoceros ve Grasshopper kullandık. Parametrik tasarım şubesi öğrencileri, konsept aşaması için metinden görsel algoritmalarından yararlanabildi. Öncelikle, öğrencilere Rhinoceros ve Grasshopper araçlarının kullanımı ve dijital modelleme teknikleri konusunda bir ders verdik. Ardından, öğrenciler atölye çalışmasında ve ödev olarak dijital üretim gerçekleştirdiler. Bu süreç, öğrencilerin dijital araçlarla doğal formların soyutlanması ve yeniden yaratılması konusundaki becerilerini geliştirdi. Dijital modelleme, öğrencilere daha karmaşık örüntüler oluşturma ve parametrik tasarım ilkelerini kullanma fırsatı sundu. Aynı zamanda, fiziksel ve dijital tasarım süreçleri arasındaki farkları keşfetmelerini sağladı ve dijital ortamda kontrast, ritm ve hiyerarşik gibi tasarım prensiplerini uygulama yeteneklerini ilerletti.



Şekil 4. Örnek dijital “Doğa-Örüntü” çalışması. Manuel olarak yapılan çalışmanın dijital ortamda tekrar üretimi ve revizyonu.

### 3.5. Egzersiz 3a: Manuel “Komporölyef” Çalışması

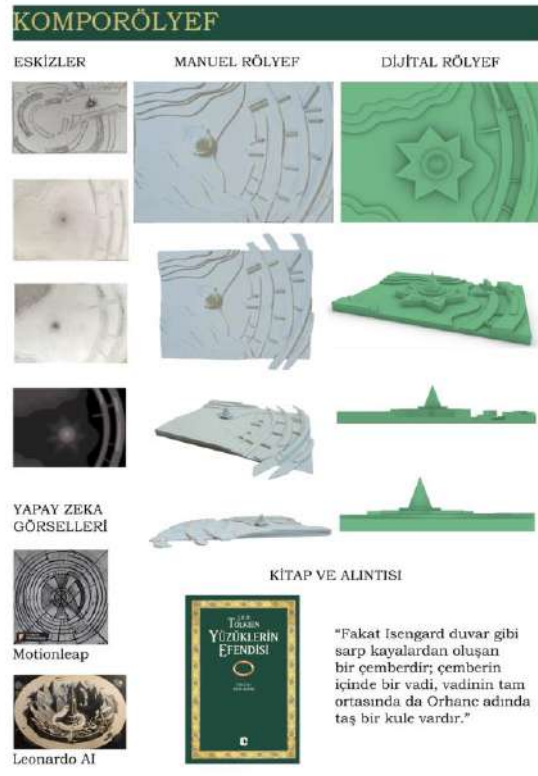
Bu çalışmada, öğrencilerden en sevdikleri romandan seçtikleri en fazla üç cümleyi soyutlayarak 2,5B (rölyef) bir tasarım geliştirmelerini bekledik. Öğrenciler, seçtikleri metin içerisindeki mekan tarifleyen bölümlerden ilham alarak, 2,5B bir kompozisyon oluşturdular. Bu kompozisyon, 3B elemanlar kullanarak, yüzey üzerinde yükseklik ve derinlik katmanları yaratılarak gerçekleştirildi. Kullanılacak malzemeler arasında çeşitli karton türleri, kesici aletler, yapıştırıcı ve boyalar bulunuyordu. Bu egzersiz, öğrencilerin 2B geometrilere yavaş yavaş 3B bilgisi ekleyerek rölyef çalışmalarında becerilerini geliştirmeyi amaçladı. Öğrenciler, metinlerdeki mekan tariflerini soyutlayarak, metin ve görsel arasındaki ilişkiyi araştırdı ve 3B formlar yarattılar. Bu süreç, öğrencilerin mekan algısını ve soyutlama yeteneklerini geliştirmelerini sağladı.



Şekil 5. Örnek manuel “Kompo-rölyef” çalışması.

### 3.6. Egzersiz 3b: Dijital “Komporölyef” Çalışması

Egzersizin dijital aşamasında, öğrenciler manuel olarak oluşturdukları rölyef kompozisyonlarını dijital ortamda modellemelerini istedik. Bu aşamada araç olarak Rhinoceros ve Grasshopper kullandık. Öncelikle, öğrencilere bu araçların kullanımı ve dijital rölyef tasarım teknikleri konusunda bir ders verdik. Bu ders kapsamında, dijital modelleme ve 3B tasarım ilkeleri öğrettik. Ardından, öğrenciler atölye çalışmasında ve ödev olarak dijital üretim gerçekleştirdiler. Dijital modelleme süreci, öğrencilerin fiziksel tasarımlarını daha karmaşık ve detaylı rölyeflere dönüştürmelerine olanak tanıdı. Dijital araçlar, öğrencilerin rölyef tasarımında yükseklik, derinlik ve dokusal farklılıkları daha hassas bir şekilde modellemelerini sağladı. Bu süreç, öğrencilerin dijital ve fiziksel tasarım arasındaki geçişleri anlamalarını ve 3B düşünme becerilerini geliştirdi.



Şekil 6. Örnek dijital "Kompo-rölyef" çalışması. Manuel olarak yapılan çalışmanın dijital ortamda tekrar üretimi ve revizyonu.

### 3.7. Egzersiz 4a: Manuel "3B Başyapıt" Çalışması

Bu ödevde öğrenciler, sanat tarihinden bir başyapıt resmi 3B soyutlamaları için yönlendirdik. Öğrenciler, maket kartonu kullanarak 3B kütleler oluştururlar. Bu süreç, öğrencilerin asal geometrik formlar ve 3B kompozisyon oluşturma becerilerini geliştirmelerine yardımcı oldu. Ayrıca, öğrenciler kompozisyon, soyutlama ve oran kavramları üzerinde 3B olarak çalışmaya yönlendi. Öğrencilerden, seçtikleri bir başyapıtı soyutlarken 30 x 30 x 30 cm sınırlarında bir kompozisyon oluşturmalarını bekledik. Tasarımın %25-50 oranında dolu olmasını ve en az iki farklı yönden bir anlatı sunmasını istedik. Seçilen başyapıtın tanıtımı, eskizler, ortografik set ve maketi teslim etmelerini bekledik (Şekil 7).





Şekil 7. Örnek manuel “3B Başyapıt” çalışmaları.

Ödevin ilk olarak verildiği yılda başyapıt resminin seçimini öğrenciye bıraktık. Ancak seçilen başyapıtların hem niteliği hem de “başyapıt” olması tartışmalıydı. Ödevin verildiği ikinci yılda, öğrenciler yürütücülerin kurguladığı bir başyapıt havuzundan tercih yaparak ilerlediler. Sağlıklı kıyaslama yapabilmek için bir önceki yıl seçilen uygun başyapıtları ikinci yılda havuzda tuttuk.

### 3.8. Egzersiz 4b: Dijital “3B Başyapıt” Çalışması

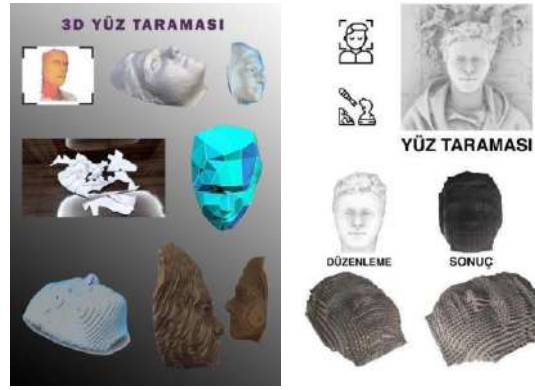
Aynı başyapıt resmini, Grasshopper yazılımında asal geometrik formlar kullanarak soyutlanmasını bekledik. Bu süreçte, Grasshopper’da katı eleman operasyonlarını ve Meshmixer ile Slicer yazılımlarını aktardık. Bu ödevle, öğrencilerin dijital araçlarla 3B modelleme becerilerini geliştirmelerine ve programlar arası geçiş yapabilmelerine yardımcı olduk (Şekil 8).



Şekil 8: Örnek dijital “3B Başyapıt” çalışmaları. Manuel olarak yapılan çalışmanın dijital ortamda tekrar üretimi ve revizyonu.

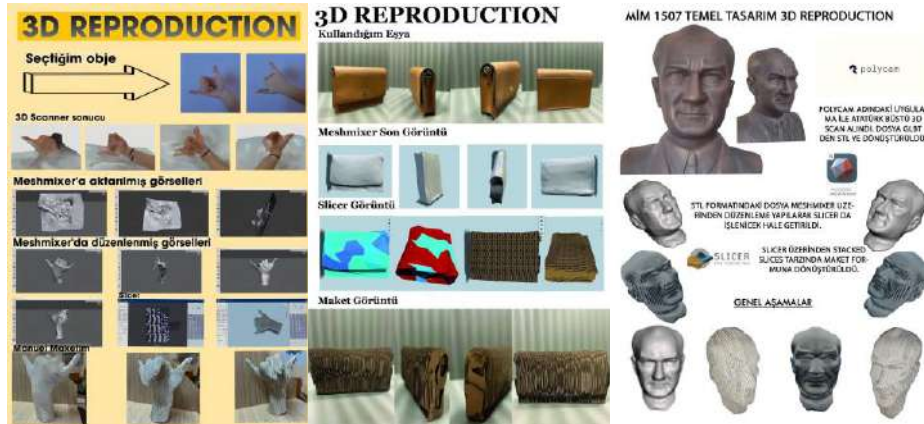
### 3.9. Egzersiz 5: Dijital “3B Yeniden Üretim” Çalışması

Bu ödevde geçmeden önce öğrencilere Öklid dışı geometriyi anlattık. Doğadaki birçok formun asal geometrilerden uzak olduğunu ve bunları modellemek için mesh geometrilerden yararlanabileceğimizi aktardık. Bu ödevde, fiziksel olarak var olan bir geometriyi fotogrametrik yöntemlere dayanan bir mobil uygulama olan Polycam ile 3B tarattık, Meshmixer yazılımında elde edilen taramayı düzelttik ve Autodesk Slicer yazılımı ile farklı CAM yöntemleri kullanarak yeniden ürettirdik. İlk yılda her öğrenciden kendi yüz maskını oluşturmasını istedik, ancak bu uygulama ile elde edilen maketlerin rölyef niteliğinde kaldığını gözlemledik (Şekil 9).



Şekil 9. Örnek “3B Yeniden Üretim” çalışmaları. Dersin uygulandığı ilk dönemde taranacak ve yeniden üretilecek obje olarak öğrencilerin kendi yüzleri konusunu sabit tuttuk.

İkinci yılda, öğrenciler seçtikleri bir objeyi yeniden ürettirler. Böylelikle elde edilen maketler, bir önceki yıla göre çok daha 3B oldu. Ayrıca, ödevin tesliminde seçtikleri objeyi de getirmelerini istedik ve reproduksiyon yaparken oranların tutarlılığını gözlemledik (Şekil 10).



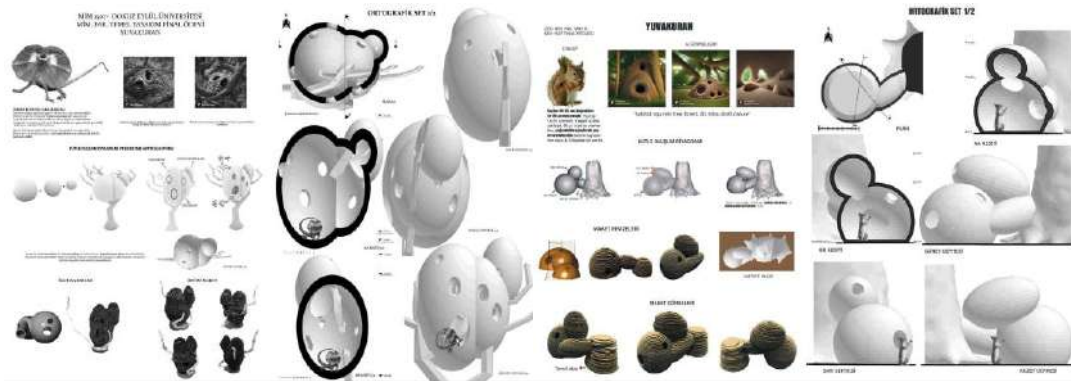
Şekil 10. Örnek “3B Yeniden Üretim” çalışmaları. Dersin uygulandığı ikinci dönemde taranacak ve yeniden üretilecek obje konusunun ucunu açık bıraktık.

Bu ödev, öğrencilere bir sonraki ödev olan Yuvakuran için gerekli becerileri kazandırır. Bu teknik süreçler, öğrencilerin dijital modelleme ve üretim araçlarını etkin bir şekilde kullanmalarına olanak tanır. Bu ödevde "tasarım" eylemini yapım yöntemi tasarımı olarak ele aldık. Ayrıca, ödevle birlikte bir sonraki ödevde kullanılacak BIM programına giriş yapmalarını, asenkron öğrenme yöntemleriyle Archicad arayüze ve 2B çizim araçlarına hakim olmalarını önerdik.

### 3.10. Egzersiz 6: “Yuvakuran” Çalışması

Deneyin Dönem kurgusunda yaklaşık 4 hafta süren final ödevinde, öğrencilerden bir canlı için bir yuva tasarlamalarını istedik. Bu ödevde, öğrenciler çeşitli yazılımlar arası geçişler ve içeri/dışarı aktarımlar yaparak iş akışlarını geliştirdiler. Öklit dışı geometri konusunda edindikleri bilgileri burada uygulayarak, asal geometrilerden uzak doğadaki formları modellemeyi öğrendiler. Ayrıca, parametrik tasarımın temel geometri taşları olan Nurbs, Mesh, Blob ve Kabuk kullanarak çalışmalarını geliştirdiler. Bu ödev, öğrencilerin oluşturdukları geometri ile mekan arasındaki ilişkiyi kurma becerilerini geliştirmeyi de amaçladı.

İlk yıl, ölçekli modelleme konusu ve Archicad yazılımında ölçekli çalışma yöntemlerini anlattık. Öğrencilerden, seçilecek canlının boyutunu kendilerinin belirlemesi, ancak sonuç olarak elde edilecek maketin 42x42x42 cm'lik bir hacme sığması gerektiğini belirttik. Örnek olarak elipsoid temelli kabuk formu türetimine değindik. Tasarlanacak yuvada bir ana hacim ve iki alt hacim olmasını, hacimler arası sirkülasyon tasarımlarını istedik (Şekil 11). edildi.



Şekil 11. Örnek “Yuvakuran” çalışmaları. Dersin uygulandığı ilk dönemde yuvayı kullanacak canlının ve dolayısıyla mekanın ölçeği konusunu öğrencinin tasarım kararlarından biri olarak bıraktık.

İlk yıl teslim edilen projeleri incelediğimizde, örnek olarak gösterilen elipsoid temelli form üretimi demonstrasyonu yüzünden tasarımların form olarak birbirine çok benzediğini ve öğrencilerin ölçek kavramını sunumlarında tam olarak oturtamadıklarını fark ettik. Bu nedenle, ikinci yıl spesifik bir modelleme iş akışı göstermeyip, öğrencilerin kendi iş akışlarını tasarlamaları bekledik. Ayrıca tasarım ve maket ölçeğini 1/1 olarak tuttuk ve 3-5 cm boyutunda bir canlı için bir yuva tasarlamalarını bekledik. Tasarım hacim sınırı olarak 30x30x30 cm'lik bir hacim olarak belirledik. Mekânsal gereksinimi 1 ana mekan, 1 alt mekan ve bir giriş alanı olarak güncelledik.

Ayrıca, tasarımın mevcut bir ağaçla mekansal ilişki kurmasını istedik. Öğrencilerin, bir önceki ödevde öğrendikleri 3B tarama becerilerini burada kullanmalarını bekledik. Seçtikleri ağacın 3B taramasını yaparak sunumlarına entegre etmelerini istedik. Böylelikle öğrencilerin bağlam ile ilişkilerini güçlendirmeleri sağlandı (Şekil 12).



Şekil 12: Örnek "Yuvakuran" çalışmaları. Dersin uygulandığı ikinci dönemde yuvayı kullanacak canlının ve dolayısıyla mekanın ölçeğini 1:1 olarak belirledik.

İkinci yarıyılta elde edilen tasarımlar incelendiğinde, öğrencilerin çok daha farklı ve benzersiz formlar oluşturduğunu gözlemledik. Öğrenciler, kendi iş akışlarını tasarlayarak, yazılımlardaki farklı araçları kullanma prosedürlerini geliştirdiler. Bu sayede, bireysel yeteneklerini daha etkin bir şekilde ortaya koyabildiler. Ayrıca,

sunumlarda BIM araçlarını kullanmaya yönlendirerek, gelecek dönemlerde kullanacakları yöntemlere hazırlık yaptılar. Bu yaklaşım, öğrencilerin hem mevcut projelerinin sunum kalitesi seviyesini yükseltmelerini sağladı hem de ileriye dönük beceri gelişimlerini destekledi.

#### 4. Tartışma ve Gelecek Çalışmalar

Manuel ve dijital araçların birlikte kullanımı, öğrencilerin özellikle analitik geometriyi daha iyi kavramalarına yardımcı olmuştur. Algoritmik ve parametrik düşüncenin bu süreçlere eklenmesinin öğrencilerin problem çözme ve soyut düşünme becerilerini önemli ölçüde artırdığını gözlemledik. Bu bulgu, dijital araçların analitik geometri üzerindeki etkisinin belirgin olduğuna ve öğrencilerin bu bilgileri pekiştirme sürecinde fayda sağladığına işaret etmektedir. Dijital araçların kullanımı, öğrencilerin geometriye daha kesin ve analitik bir şekilde hakim olmalarını sağlamış, dijital ortamda çalışmanın gerektirdiği hassasiyet, öğrencilerin tasarım süreçlerinde daha dikkatli ve özenli olmalarına katkıda bulunmuştur.

Güz döneminde yaptığımız egzersizler, öğrencilerin parametrik modellemenin temellerini öğrenmeleri ve dijital araçlarda temel beceriler kazanmaları açısından öne çıkıyor. Bu altyapı öğrencilerin bahar döneminde alacakları “Mimari Tasarıma Giriş” dersine hazırlık niteliği oluşturuyor. “Mimari Tasarıma Giriş” stüdyosunda öğrenciler mekan tasarımı kapsamında varyasyon üretme ve parametrik tasarımın daha ileri potansiyellerinden faydalanıyorlar. Güz döneminde her ne kadar nispeten daha kapsamlı varyasyon üretme seviyesine öğrencilerin gelemediğini tecrübe etsek de, manuel olarak yapılan çalışmanın dijital revizyonu üretilirken öğrencilerin çeşitli parametreler ile oynayarak denemeler yaptığını kaydettik. Bu ufak çapta tasarım denemeleri tasarım iterasyonları gibi görev yapıp tasarım süreçlerine olumlu katkıda bulundular ve öğrencilerin tasarım algılarını geliştirmeye katkı koydular.

Çalışmanın gelecek safhalarında, öğrencilerin gelişimlerini ölçmek amacıyla hem Vandenberg Mantıksal Döndürme Testi hem de Santa Barbara Katı Kesit Testi dönemin başında ve sonunda uygulanabileceğini düşünüyoruz. Bu testler, aynı zamanda parametrik temel tasarım eğitimi almayan ve bölümde yürütülen konvansiyonel eğitim sisteminde aynı kodlu dersi alan öğrencilere de uygulanabilir. Bu yaklaşım, verilen eğitimin kazanımlarını derecelendirmemize olanak tanıyabilir. Bahsi geçen testler asal geometrik formların algısı üzerinde temellenmektedir. Öklid dışı geometriye dayanan formların algısını ölçmek için daha farklı testler de kurgulayabiliriz.

Ayrıca, VR ve AR gibi 3B algıyı sarmal olarak aktaran araçların erişiminin ve kullanımının artmasıyla, bu teknolojilerin temel tasarım stüdyosuna entegrasyonu düşünülebilir. Bu entegrasyon, öğrencilerin hem

rasyonel hem de amorf formların algılarını ve tasarım yeteneklerini geliştirmelerine önemli katkılar sağlayabilir. Özellikle mekan deneyimini fiziksel ve sanal olarak farklı ortamlarda ve modalitelerde araştırmamıza katkı koyabilir. Çoğu zaman tasarım stüdyosunda ürettiğimiz fiziksel mekanlar ölçekli olarak vücut buluyor. Bu sanal ortamlar, öğrenciye üretilen mekanların 1:1 ölçekte nasıl deneyimlendiğini görme fırsatı sunulabilir.

## 5. Sonuç

Bu çalışma, mimarlık eğitiminde yenilikçi bir müfredatın uygulanmasıyla, öğrencilerin tasarım süreçlerine yansıtıcı bir bakış açısı getirmeyi ve bu süreçlerdeki karar mekanizmalarını, kullanılan araçların etkilerini inceler. Sayısal tasarım araçlarının kullanımı sırasında gözlemlediğimiz çeşitli öğrenci tavırları, bütünleşmiş iş akışlarının öğrenci projelerinin yaratıcılığı, özgünlüğü ve karmaşıklığı üzerinde nasıl olumlu etkiler yarattığını ortaya koyar. En öne çıkan tespitlerimizden biri dijital araçların, öğrencilerin geometriye daha kesin ve analitik bir şekilde yaklaşmaları gerektiğini göstermesiydi. Her ne kadar öğrenciler tasarımı rasyonalize etmek ve sistematığe oturtmaya yönelik geribildirimler alsalar da, dijital çizim ve modelleme sürecinden geçtikten sonra tasarım kararlarını daha iyi artiküle etmeleri gerektiğini deneyimliyorlar. Bir diğer deyişle dijital ortamda çalışmanın getirdiği hassasiyet, öğrencilerin tasarım süreçlerinde daha sistematik, rasyonel ve özenli olmalarını gerektirdi. Bu süreç de öğrencilerin hacim ve geometri tanımlarını daha iyi anlamalarına ve uygulamalarına katkıda bulundu.

Her ödevde, öğrencilerin konsept bulmak için sohbet yapay zekalarını ve konseptlerini görselleştirmek için metinden görüntü üreten platformları kullanmalarını sağladık. Bu sayede öğrenciler, yaratıcı fikirlerini hızla hayata geçirebilme ve soyut kavramları somut görsellere dönüştürebilme yeteneklerini geliştirdiler. İkinci yılda, öğrencilerin metinden 3B model üreten yapay zekaları kullanmalarını da önerdik. Bu araçlar, öğrencilerin yeni gelişen teknolojilere adapte olmalarına olanak tanıdı. Bu doğrultuda müfredatın sürekli gelişimini de göz önünde bulundurduk. Özellikle, yapay zeka araçlarının çok hızlı gelişmesi nedeniyle statik bir müfredat oluşturmanın mümkün olmadığını gördük. Bu dinamik yapıya uyum sağlamak için müfredatımızı esnek ve güncellenebilir tutmayı hedefledik. Öğrencilere, teknolojinin sunduğu en son imkanları kullanarak tasarım süreçlerinde nasıl daha yenilikçi ve etkili olabileceklerini öğretmeyi amaçladık.

Sayısal tasarım, parametrik tasarım, yapay zekâ ve diğer dijital araçların temel tasarım eğitimine entegrasyonu, öğrencilere sadece yeni beceriler kazandırmakla kalmayıp, aynı zamanda yaratıcı süreçlerinde daha fazla esneklik sunarak, onların kendi benzersiz iş akışlarıyla projelerini geliştirmelerine olanak tanıyor. Bu yenilikçi eğitim yaklaşımı, teknolojinin hızla evrildiği çağımızda, öğrencileri geleceğin mimari iş akışları nezdinde daha





donanımlı hale getirmeyi hedefliyor ve böylece mimarlık pedagojisinin gelişimine önemli katkılarda bulunmayı amaçlıyor. Bu müfredatın sunumu ve değerlendirmesi, öğretim yöntemlerinin sürekli olarak yeniden düşünülmesi ve güncellenmesi gerektiğinin altını çizirken, mimarlık eğitiminde sayısal tasarımın entegrasyonunun geniş potansiyelini ve önemini vurguluyor.

## KAYNAKLAR

- Agirbas, A. (2017). Teaching Design by Coding in Architecture Undergraduate Education: A Case Study with Islamic Patterns. *CAAD Futures* 17, July, 249–258. [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?cf2017\\_249](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?cf2017_249)
- Gündüz, G., Oral, H., & Yazar, T. (2018). Integration of Design Geometry with “Computational Making” in Basic Design Studio A Case Study of Lanterns Project. *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 2(August), 439–448.
- Ostrowska-Wawryniuk, K., Strzała, M., & Słyk, J. (2022). Form Follows Parameter: Algorithmic-Thinking-Oriented Course for Early-stage Architectural Education. *Nexus Network Journal*, 24(2), 503–522. <https://doi.org/10.1007/s00004-022-00603-1>
- Rhodes, P. S. (2017). Algorithmic Futures. *The Analog Beginnings of Advanced Parametric Design in First Year Studios*. *Design Journal*, 20(sup1), S822–S834. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1353029>
- Uysal, V. S., & Topaloğlu, F. (2017). Bridging the Gap: A Manual Primer into Design Computing in the Context of Basic Design Education. *The International Journal of Art and Design Education*, 36(1), 21–38. <https://doi.org/10.1111/jade.12048>
- Vamvakidis, S. (2019). Teaching the Fundamentals of Architectural Synthesis, Before a Design Studio Module that Uses Computational Design Thinking. In C. Chatzichristou, P. Iacovou, & L. Koutsoumpos (Eds.), *Iterations: Practices of Teaching 1st Year Design in ARchitecture* (pp. 241–250). University of Cyprus.
- Varinlioglu, G., & Turhan, G. D. (2018). A Comparative Study of Formal and Informal Teaching Methods in the Digital Architectural Curricula. In A. Kępczyńska-Walczak & S. Białkowski (Eds.), *Computing for a better tomorrow* (pp. 407–416). eCAADe.
- Varinlioglu, G., Halici, S. M., & Alaçam, S. (2015). Computational Approaches for Basic Design Education: Pedagogical Notes Based on an Intense Student Workshop. August 2016, 576–580. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-100267>
- Yalınay Çinici, Ş., Özsel Akipek, F., & Yazar, T. (2008). Computational Design, Parametric Modeling and Architectural Education. *Arkitekt*, 518, 16–23.



## Mekansal Farkındalığın Artırılması: İç Mimarlık Eğitiminde Sanal Gerçekliğin Etkisinin Araştırılması

Sehnaz Cenani<sup>1</sup> ; M. Çağdaş Durmazoğlu<sup>2</sup> ; Ethem Güler<sup>3</sup> ; Z. Gözde Kutlu<sup>4</sup>   
<sup>1,2,4</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi; <sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi  
<sup>1</sup>sdurmazoglu@medipol.edu.tr; <sup>2</sup>mahmut.durmazoglu@medipol.edu.tr; <sup>3</sup>egurer@itu.edu.tr;  
<sup>4</sup>gozde.kutlu@medipol.edu.tr

### Özet

Etkileşim, özellikle iç mimarlık gibi eğitimsel bağlamlarda motivasyonu ve refahı artırmada kritik bir faktördür. Bu çalışma, üniversite düzeyindeki iç mimarlık öğrencilerinin mekansal farkındalık ve karar alma süreçleri üzerinde Sarmal Sanal Gerçeklik (SSG) teknolojisinin etkisini araştırmaktadır. Üç boyutlu ortamların doğrudan etkileşim ve manipülasyonunu sağlayan SSG teknolojisini kullanarak, bu teknolojinin öğrencilerin tasarım görevlerini yerine getirmesini nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu çalışma, iç mimarlık eğitimine SSG teknolojisini entegrasyonunda bir boşluğu doldurmaktadır. Kontrollü bir tasarım protokolü ile, bu çalışmada SG'nin mekansal farkındalığın artırılmasına ve iç mekan tasarım karar alma süreçlerine etkisi incelenmiştir. Yaşları 18 ile 25 arasında değişen, hiç veya çok az SG deneyimine sahip olan ve lisans seviyesinde eğitim alan 19 üniversite öğrencisi (%68 kadın, %32 erkek) çalışmaya gönüllü olarak katılmıştır. Katılımcılar, tek katlı bir konut binası tasarımı içeren bir tasarım görevini tamamlamak için Oculus Rift HMD ve Arkio yazılımını kullanmıştır. Tasarım oturumları, tasarım stüdyosu uzmanları tarafından geliştirilen kriterlere dayanarak değerlendirilmiş ve bu değerlendirmelerde mekansal farkındalık ile iç mekan tasarım kararlarına odaklanılmıştır. Sonuçlar, katılımcıların arazinin coğrafi yönelimine göre iç mekan tasarım kararlarını genellikle başarıyla ele aldığını göstermektedir. İç mekan tasarım kararları açısından, SSG, katılımcılara yardımcı olmuş ancak renk ve malzeme alternatiflerini keşfetmede katılımcılar sınırlı kalmıştır. Katılımcılar özelleştirilmiş tasarımlar geliştirmek yerine genellikle yazılımda mevcut olan tefrişleri kullanmış, SSG ortamında yaratıcılık potansiyelini yansıtmamışlardır. Katılımcıların SG hakkındaki bilgi düzeyi tasarım performanslarını önemli ölçüde etkilememiştir; bu durum önceki deneyimlere bakılmaksızın SG'nin tasarım eğitimine etkili bir şekilde entegre edilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların yenilikçi bir müfredat geliştirmek amacıyla eğitim materyallerine dönüştürülmesi ile iç mimarlık eğitimini SG teknolojisi kullanarak geliştirme konusunda ilerleme kaydedilmesi hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sarmal Sanal Gerçeklik (SSG), iç mimarlık eğitimi, mekansal farkındalık.

# Enhancing Spatial Awareness: Exploring the Impact of Virtual Reality in Interior Architecture Education

Sehnaz Cenani<sup>1</sup> ; M. Çağdaş Durmazoğlu<sup>2</sup> ; Ethem Güler<sup>3</sup> ; Z. Gözde Kutlu<sup>4</sup> 

<sup>1,2,4</sup>Istanbul Medipol University; <sup>3</sup>Istanbul Technical University

<sup>1</sup>sdurmazoglu@medipol.edu.tr; <sup>2</sup>mahmut.durmazoglu@medipol.edu.tr; <sup>3</sup>egurer@itu.edu.tr;

<sup>4</sup>gozde.kutlu@medipol.edu.tr

## Abstract

*Engagement is critical in enhancing motivation and well-being, particularly in educational contexts such as interior architecture. This study explores the impact of Immersive Virtual Reality (IVR) technology on spatial awareness and decision-making processes among undergraduate interior architecture students. By leveraging IVR, which allows for direct interaction and manipulation of three-dimensional environments, the study investigates how this technology influences students' understanding and engagement with design tasks. The study addresses a gap in integrating VR technology into interior architecture education. Through a controlled design protocol utilizing IVR, the study examines the following aspects: the effect on spatial awareness and interior design decision-making. Nineteen interior design undergraduate students (68% women, 32% men) volunteered to be participants in the study, all aged between 18 and 25, with little or minimal VR experience. Participants utilized Oculus Rift HMD and Arkio software to complete a single-story residential building design task. Their design sessions were evaluated based on criteria developed by design studio experts, focusing on spatial awareness and interior design decisions. Results indicate that participants generally demonstrate a grasp of site orientation. However, there were areas for improvement, notably in modifying interior floor levels effectively. Regarding interior design decisions, IVR facilitated compliance with project briefs but showed limited color and material alternatives exploration. Participants tended to use existing furnishings in the software rather than developing custom designs, highlighting opportunities for creative expansion within IVR environments. Participants' familiarity with VR did not significantly impact their performance, suggesting that IVR can be effectively integrated into design education regardless of prior experience. Insights gained from this study could inform innovative approaches to curriculum development, integrating IVR as a studio course tool to enhance spatial understanding and design decision-making. By transforming study outputs into educational materials, the study seeks to advance interior architecture education through immersive technologies, promoting an innovative and engaging curriculum for future interior architecture students.*

**Keywords:** Immersive Virtual Reality (IVR), interior architecture education, spatial awareness.

## 1. Introduction

Engagement is an essential factor that increases motivation and the well-being of the users. Both Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies were reported to deliver engaging user experiences for education, exhibition enhancement, and exploration (Bekele et al., 2018). According to Birt and Vasilevski (2019) compared to previous generations, nowadays people prefer learning by visual media instead of listening or learning. Clark and Mayer (2016) also suggested that this preference was the main reason for people to prefer technology driven teaching and learning with multiple delivery modes instead of using traditional learning methods such as face-to face lectures and tutorials. Therefore, the extended reality (XR) applications have the potential to be an integral part of the design curriculum in the near future. Gül (2018) suggested that depending on the affordance of the environment, different digital design environments allow for different types of ideation and design actions. The ability to interact with the mediated environment is believed to be the most important factor in perceived presence (Lombard & Ditton, 1997). Moreover, immersive virtual environments have the potential to give users a better understanding of the three-dimensional space they inhabit, in comparison to conventional 2D displays (Pausch, Shackelford & Proffitt, 1993). They are known to capture and convey the look and feel of 'real' surroundings to convince some part of the participants' brains that they are physically in this other world (Aldrich, 2009). In addition, Immersive VR offers an active and real time interaction with the environment and the objects in it. Therefore, provides a complete sense of presence and plays a significant role in design and form finding of architectural creations (Schnabel & Kvan, 2003). Previous research has demonstrated that the richness of control over environments and objects can trigger positive user engagement factors, such as enjoyment, fun, and physiological stimulation (O'Brien et al., 2018; Pandey, et al., 2015; Rozendaal et al., 2009). Wang et al. (2024) also state that, "Virtual Reality (VR) is an emerging medium with consequences for studying design processes. In VR, users can design using direct manipulation and move both by walking and using their hands in the physical world and beyond physical spaces using abstract movement such as teleportation". Parallel with this view, Nabors et al. (2020) state that the VR environment provides experiences that help the learner form an internal representation of tasks or skills while directly manipulating his or her environment. In this manner, learning emerges from environmental experiences (Jonassen, 1991). Yildan et al. (2019) state that, in architecture, it is not easy to experience the design to be produced on a 1:1 scale. Design can be represented by sketches, scale models, or 3D models. Although rendering is an effective way to evaluate these design tools, it does not allow interaction with the design. Chowdhury and Hanegraaf (2022) suggest that the immersive environment carries less cognitive load to the participant, in this sense, it will also positively impact the user's health and well-being.

Even though there are few studies (Angulo, 2015; Aydin & Aktaş, 2020; Donath & Regenbrecht, 1999; Özgen et al., 2021; Sopher et al., 2019) on integrating immersive VR (IVR) into architectural education, there are even fewer studies (Guevara et al., 2022; Roshko et al., 2019) on integrating immersive VR technology into interior architecture education. This research aims to address this research gap and contribute to effectively using computer-aided design environments on design tasks. In this context, the study investigates how IVR technology may affect spatial awareness and the decision-making processes of undergraduate students in interior architecture. The cornerstone of the study lies in the established power of engagement. Specifically, the study investigates the following:

- Impact on spatial awareness: how IVR technology affects spatial awareness development in interior architecture students.
- Interior design decisions: how using IVR technology affects the management of the given interior program and color and material choices.

A controlled design protocol anchored in IVR was developed to discuss the effects, which imparted knowledge on interior architecture concepts. The study results may be used to get insights into students' attitudes towards IVR technology and how it can be leveraged to enhance students' well-being and increase their motivation and spatial awareness within design processes.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participants

The study was conducted asynchronously in Istanbul Medipol University and Istanbul Technical University between January 2023 and January 2024, and 19 participants (68% women and 32% men) between the ages of 18 and 25 years were volunteered to be a part of the study. Interior architecture undergraduate (second, third, and fourth year) students who were over the age of 18 and who had no or little experience with VR technology were selected as participants according to the convenience sampling method. The first-year students were excluded from the study as they had just started their design education, and the design task was prepared for higher-level students.

### 2.2. Materials

Participants used *Oculus Rift* (URL-1) head-mounted display (HMD) to complete a design task in *Arkio* (URL-2) software with Pro Edu license (**Figure 1**). The project site for the design task was created with the 3D design software *Sketchup* and then exported to *Arkio*.



**Figure 1.** A photo from immersive VR design sessions

At the beginning of the research, a pilot study was carried out with two participants to identify possible deficiencies, the feasibility of completing the design task within the specified time, and the compatibility of the methods with the research objectives. According to the results of the pilot study, the duration of the sessions was increased from 30 minutes to 45 minutes, and the methods were revised to shorten the study duration without compromising the research's aim.

The design sessions were individual, and each session was timed. After a 15-minute warm-up session in the IVR environment, participants were asked to complete the design task of designing a single-story residential building with a floor area of approximately 100 m<sup>2</sup> according to the project brief and site plan in 45 minutes (**Figure 2**). The goal of the experiment was to develop an interior design proposal for a single-story residential building situated on a lot that has access to roads both on the Northern and Southern sides, has an adjacent building on the East, and green space on the West side of the lot. In the project brief, it was mentioned that areas with different floor levels can be designed; the size, number and location of windows and doors can be changed; provided that the external boundaries of the building are kept constant, dividing walls can be designed; also, furniture, material, color selection and other design decisions can be made. The program given to the participants includes designing a sleeping area, living area, open kitchen/dining area, bathroom/WC, parking space for one car, and garden. The research framework of the study is shown in **Figure 3**.

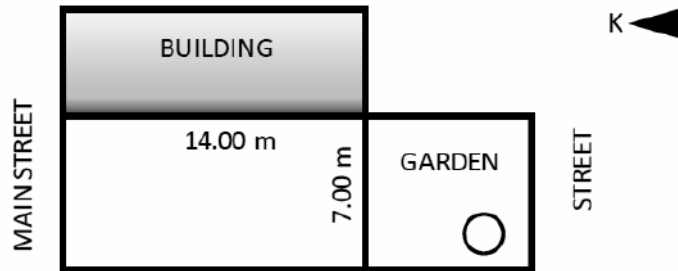


Figure 2. Layout of the project site given to the participants

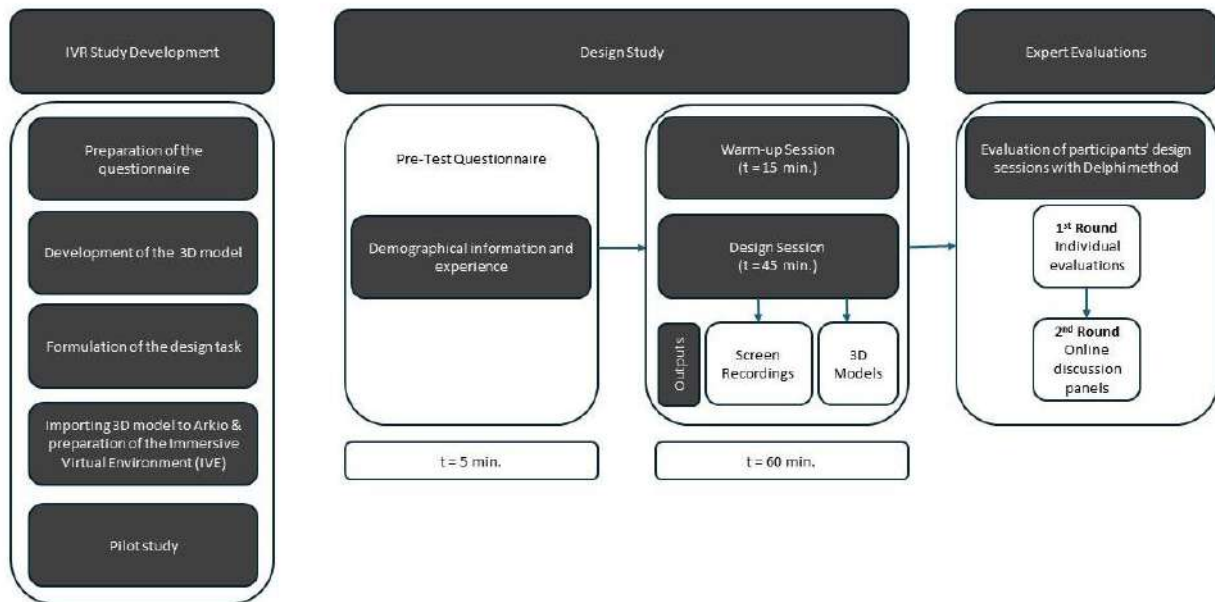


Figure 3. Research framework

Prior to the study, to assess their level of expertise with VR technology, participants were asked to fill in a questionnaire regarding their familiarity with CAD tools and VR technology and their use of the technology in design tasks.

### 2.3. Data Analysis

Participants' screens while they were performing the design task were recorded. Screen recordings were scored according to eight criteria by four experts, who are design studio lecturers with more than ten years of professional experience and the authors of this study. The Delphi method was used to reach consensus among experts. The Delphi method is a methodical communication approach initially crafted as an interactive forecasting technique involving a panel of experts (URL-3). In the first round, all experts evaluated participants' design process independently. In the second round, in several online discussion panels, all experts collaboratively identified important issues, reviewed their scores, and reached a consensus. In these online discussion panels, experts reviewed and discussed the group's ratings, and if necessary, they revised their original scores. These online discussion panels let us understand what experts disagree on and why their perspectives vary.

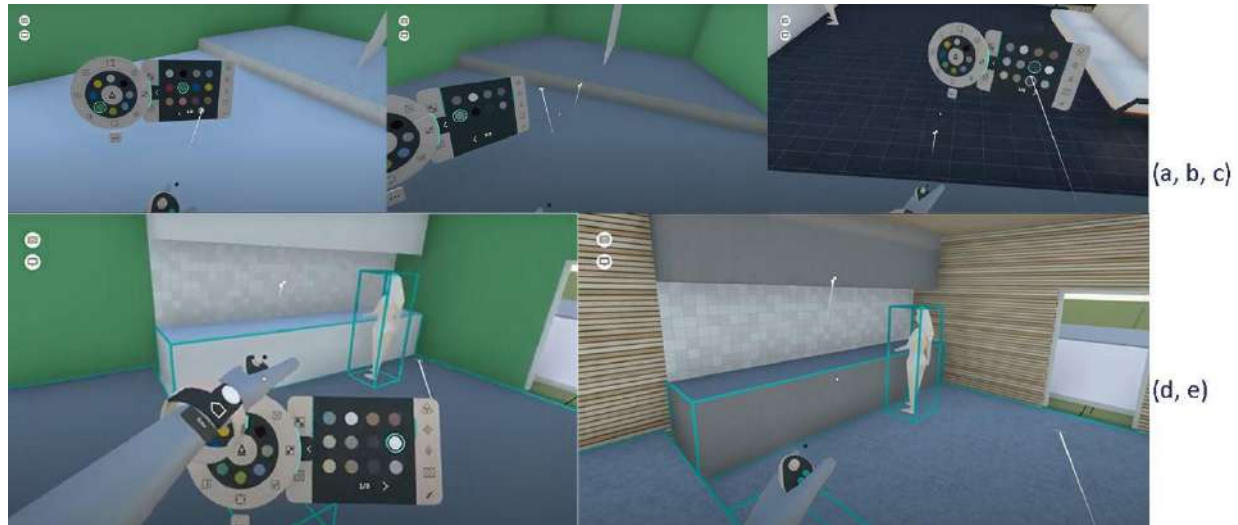
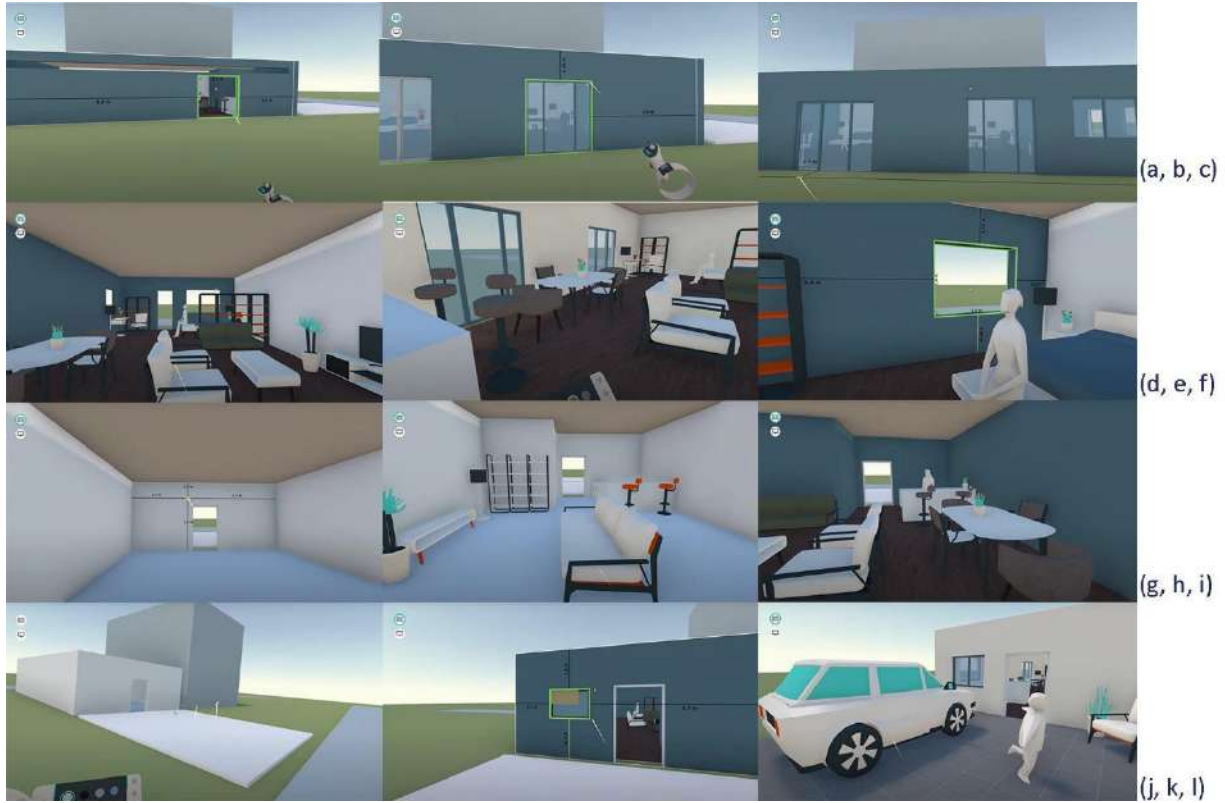


Figure 4. Material and color selection process for floor covering (a, b, c) and kitchen furnishings (d, e) of participant ID:10



**Figure 5.** Design process of participant ID:4 (a, b, c) window design trials for West façade; (d, e, f) interior design decisions according to the given program and geographical orientation; (g, h, i) interior design process of the living and dining spaces adjacent to South façade; (j, k, l) garden and outdoor design decisions on South-side of the project site.

This study suggests a set of eight criteria for the evaluation of the design task based on the literature (Chang, et al., 2022; Evers et al., 2023; Goldschmidt 1992; Hou et al., 2024; Wang et al., 2024) and the most critical design issues authors encountered in interior architecture studios. The eight criteria used in the evaluations, grouped under two categories: spatial awareness and interior design decisions, are shown in **Table 1**.



**Table 1.** Criteria used in the evaluations

Spatial Awareness					Interior Design Decisions		
Spatial awareness regarding the site and orientation	Decisions related to openings on the building envelope	Consideration of the scale of the furnishings	Adequacy of the volumes	Consideration of different floor levels	Compliance with the project brief	Consideration of material and color alternatives	Consideration of furnishing alternatives
Design decisions regarding East-side features of the project site	Availability of a new opening	Consideration of the scale of furnishings during spatial design decision making process	Adequacy of the designed volumes (space size) compared to the whole spatial layout and suitability to the function	Availability of a different floor level to differentiate functions or zonings	Sleeping area	Walls	Designing own furnishing
Design decisions regarding West-side features of the project site	Openings on East façade				Living area	Floor	Using existing furnishing
Design decisions regarding North-side features of the project site	Openings on West façade				Kitchen/dining area	Ceiling	Color and material trials
Design decisions regarding South-side features of the project site	Openings on North façade				Bathroom/WC	Outdoor (parking space and garden)	
	Openings on South façade	Parking space Garden					

As can be seen in **Table 1**, these criteria have sub-categories, and, in the end, each participant's design session was evaluated and then scored according to 25 items in total. In relation to these criteria, screenshots of participant ID:10's material and color selection process for floor covering and kitchen furnishings can be seen in **Figure 4**. Moreover, **Figure 5** shows the design process of participant ID:4 regarding window design trials for West façade (a, b, c); interior design decisions according to the given program and geographical orientation (d, e, f); interior design process of the living and dining spaces adjacent to South façade (g, h, i); garden and outdoor design decisions on South-side of the project site (j, k, l).

### 3. Results & Discussion

This section describes the results of participants' individual design sessions. Criteria chosen for the evaluation of the design task can be grouped into two categories according to the themes focused on this study as:

- Criteria that were used to assess the influence of the IVR environment on spatial awareness,
- Criteria that were used to assess the influence of the IVR environment on interior design decisions.

Evaluating participants' design sessions using a large set of questions that cover IVR environment's influence on first the spatial awareness and second on interior design decisions provided a detailed insight into the effects of using IVR in the interior design process. To evaluate the design sessions in depth, certain criteria (e.g., "spatial awareness about the site and orientation", "placement of openings on the building envelope") were measured with more than one question by devising sub-categories that correspond with the main aspect that were evaluated. In contrast, certain criteria (i.e., "consideration of the scale of the furnishings", "adequacy of the designed volumes" and "consideration of different floor levels") were evaluated with a single question in a binary coding scheme. In other words, participants were expected to present a clear intent in their design decisions and follow through that intent in their execution throughout the design session to meet the requirements.

#### 3.1. Influence of VR on Spatial Awareness

The influence of IVR on spatial awareness was assessed by reviewing each design session according to the requirements stated in the related criteria. Participants of the study had the advantage of designing in an IVR environment which allows them to experience the project site in three dimensions, see the results of their decisions in real time and evaluate them. Since participants had the means to make more informed

design decisions, we expected them to pay attention to specific aspects such as location, immediate surroundings and orientation of the project site, scale, and volume.

Results showed that 68% of the participants got above average scores, and 32% of the participants had perfect scores when their design sessions were evaluated according to their spatial awareness regarding the site, surroundings, and orientation (**Figure 6a**). Since it was evident that more than half of the participants had adequate understanding of the project site, its surroundings and orientation, it was expected to see this understanding reflected on the participants' choices regarding the openings on the building envelope. Unsurprisingly, results showed that 74% of the participants got above average scores, while 15% of the participants had perfect scores when their design sessions were evaluated in terms of the decisions related to the openings on the building envelope (**Figure 6b**).

In terms of spatial awareness, the results showed that more than half of the participants were aware of their surroundings, orientation, and the project site (**Figure 6a**). However, it was revealed that 58 % of the participants had trouble with developing their layout in accordance with the adjacent building on the East façade. Although the participants were in a three-dimensional interactive environment that they can explore, we suspect that the excitement of using a new technology and the pressure of fulfilling the requirements in the design brief in the allotted time might factor in this oversight.

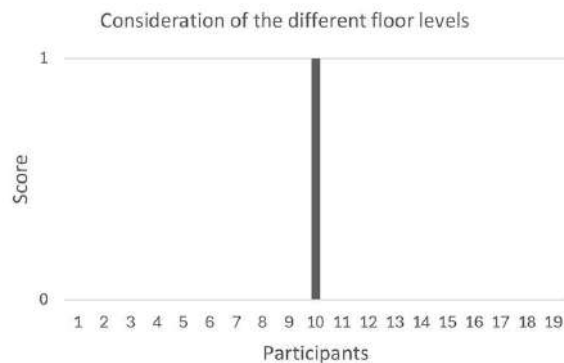


**Figure 6.** Criteria used in the evaluations – “Spatial awareness regarding the site and orientation” (a) and “Decisions related to openings on the building envelope” (b)

Remaining criteria used to assess the influence of IVR on spatial awareness were “consideration of the scale of the furnishings”, “adequacy of the designed volumes” and “consideration of different floor levels”. Results indicated that more than half of the participants (74%) successfully take scale into consideration in their design decisions (**Figure 7a**). Although the results support that the participants paid attention to scale in their design process, we found that almost half of the participants (47%) designed adequately proportioned volumes for specific functions (**Figure 7b**).



**Figure 7.** Criteria used in the evaluations – “Consideration of the scale of the furnishings” (a) and “Adequacy of the volumes” (b)



**Figure 8.** Criterion used in the evaluations – “Consideration of different floor levels”

It is also noteworthy to report that only one participant chose to use elevation to differentiate between functions in their design process (Figure 8).

### 3.2. Influence of VR on Interior Design Decisions

Similar to spatial awareness, the influence of IVR on interior design decisions was assessed by reviewing each design session focusing on criteria such as “compliance with the project brief”, “consideration of furnishing, material and color alternatives”. Results of the study showed that using IVR technology to develop and visualize design did not negatively affect the participants` compliance with the project brief. More than half of the participants (84%) fulfilled more than four (out of six) requirements outlined in the project brief during their design process. However, it was observed that most of the participants (89%) neglected to make any decisions regarding outdoor and/or parking space (Figure 9a).

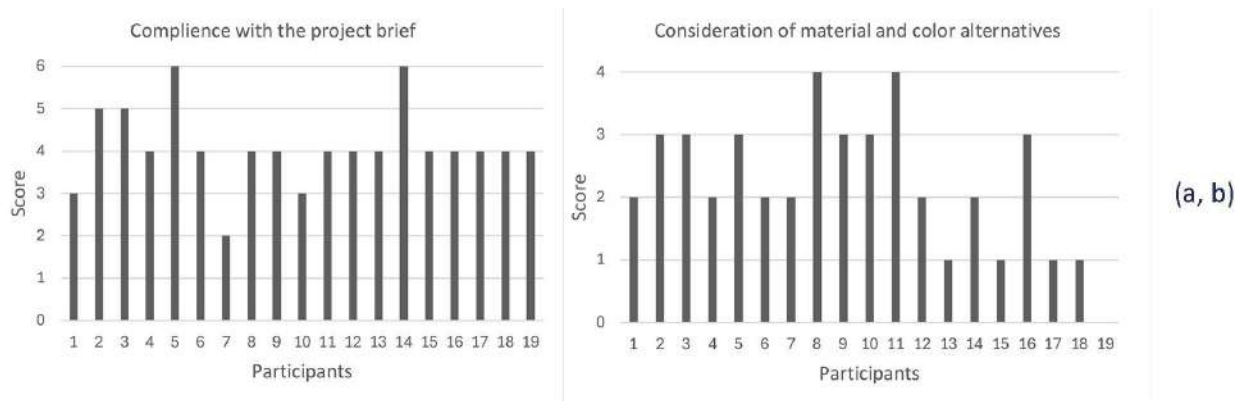
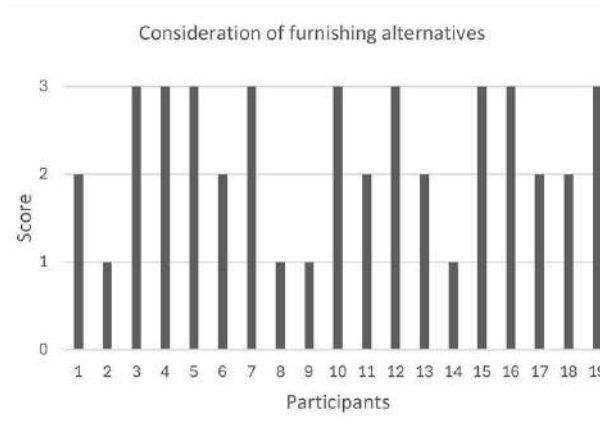


Figure 9: Criteria used in the evaluations – “Compliance with the project brief” (a), “Consideration of material and color alternatives” (b)

Since the IVR environment that the participants use during their design sessions allow color or texture modification on objects both pre-made or made - in situ, we expected participants to take advantage of this feature and try out different texture and color alternatives for building elements such as interior/exterior walls, floors, and ceilings as well as furnishings in their design sessions. In terms of material and color, results showed that only 22% of the participants preferred to change the color or the material of just one of the building elements such as floors, walls, or ceilings. Additionally, we observed that close to

half of the participants (42%) tried to change the color or the material of three or more distinct building elements (**Figure 9b**).

Lastly, results showed that 22% of the participants only used furnishing alternatives that were already available in the IVR environment and did not develop any of their own. However, results also showed that almost half of the participants (47%) were extremely interested in evaluating furnishing alternatives as well as designing some of their own and changing the color and textures of these objects (**Figure 10**).



**Figure 10.** Criterion used in the evaluations – “Consideration of furnishing alternatives”

When we take every criterion into consideration and calculate the final score for each design session, each participant ends up with a total score out of 25 points. Results showed that the participant with the highest score out of the group had 22 points and second, highest scores belonged to the 16% of the participants with 19 points. Overall results showed that 84% of the participants scored higher than the group average (**Figure 11**). According to the findings, although the design task on the IVR platform enabled interior architecture undergraduate students to use the concepts of material, furnishing, and scale better, they need to consider more geographical orientation in their design proposals.

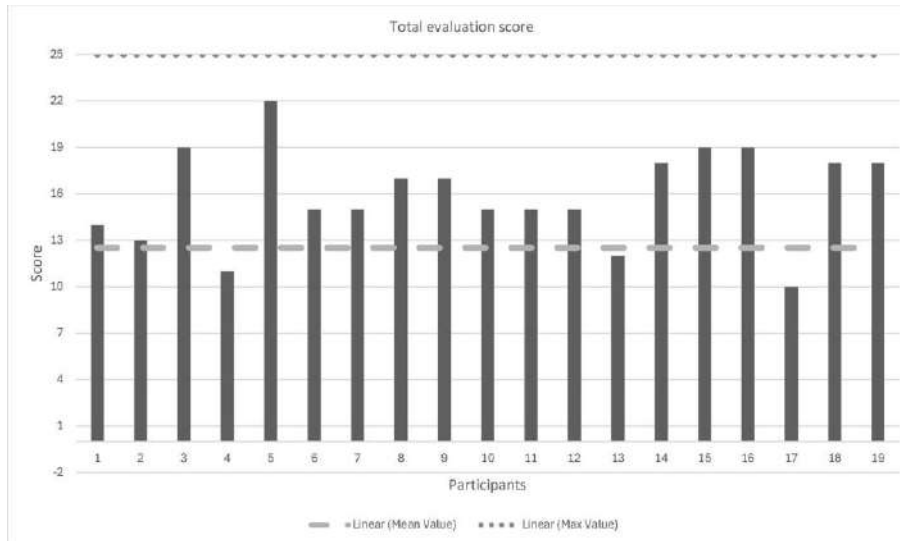


Figure 11. Total evaluation scores of participants

We also asked participants several questions such as “how often do you use computer-aided design or (Photoshop and similar) image processing programs daily” or “please indicate your level of familiarity with virtual reality technology”. According to the findings, 10 out of 19 participants indicated that they often use computer-aided design or (Photoshop and similar) image processing programs daily. Similarly, nine out of 19 participants stated that they are slightly familiar with VR technology. However, we could not find any strong relation between being familiar with the IVR technology and successfully using it. Moreover, participants indicated that they enjoyed designing with VR technology (with an average score of 6.2 out of 7). They stated that the use of VR is important within the framework of the Interior Architecture curriculum (with an average score of 6.2 out of 7) and using VR technology is important to get familiar with information technologies and might be interested in using VR in the future (with an average score of 6.3 out of 7). It is believed that the findings of this study will provide significant benefits on mental health and well-being of interior architecture students by supporting them with design tools that increase their engagement and motivation.

The current paper focuses only on interior architecture undergraduate students; however, further research and development are also required to fully understand the utilization of IVR and implementation of it into design studios courses. Therefore, the next stage of the study is to include architecture students in the study. By this way, we will be able to draw conclusions about the differences between these two groups and better understand how we can improve the design education curriculum for both disciplines. In addition, investigating the effects of using different design methods on the design process by employing the same framework might provide valuable insights regarding the advantages of using IVR technology in interior architecture education. The present challenges involve staying abreast of hardware advancements and the shortage of specialized software solutions for design prototyping.

#### 4. Conclusion

Departing from the fact that engagement is an essential factor that increases motivation and the well-being of the users, the study focuses on the usability of IVR technology in a specific design task and the effects of this technology on the spatial awareness of interior architecture undergraduate students. According to Wang et al. (2024), unlike sketching on paper, users can freely draw, create, and manipulate 3D objects in vastly different virtual environments, where they can move around as virtual avatars and potentially share the space with others. Given the unique design possibilities in VR, they believe it could soon become a common design tool. Parallel with this opinion, the results generally show that, although unfamiliar with the IVR technology, students positively tried to engage in the design process by discovering different potentials of the new medium. Moreover, as Schnabel et al. (2001) stated, manipulating virtual environments during the design process pushed students to perceive space better, for example, its fluidity and functionality, without using 2D representations. This study provides significant benefits to students for developing positive attitudes toward innovative design methods, better understanding the effects of alternative methods on the design process as designers and using these methods more integrated within design processes. The fact that there is no strong relationship between being familiar with the IVR technology and successfully using it can be seen as a motivating factor in adapting this technology into the design curriculum in the future.

On the other hand, the scarcity of modifying the interior floor levels among the students shows that the IVR environment needs to support designers to make tectonic design moves efficiently. Another area for improvement is the oblivion of the orientation (especially regarding the East façade opening decisions), probably caused by the lack of changing the view scale, and so forgetting to make the dialogue between the part and the whole eternally. Although Nabors et al. (2020) mentioned that the VR environment



provides experiences that help the learner form an internal representation of tasks or skills while directly manipulating their environment, this potential also carries risks, like losing the dialogue between the parts and the whole.

The researchers aim to evaluate the research outputs as educational material in the interior architecture education curriculum to transform it into an innovative education model. In this context, at the end of the research, it aims to develop an immersive virtual reality design layout for academic staff in the preparation and implementation of alternative interior architecture undergraduate education agendas and include the use of IVR technology and to follow student development, and to adapt it to the education curriculum as a studio course.

### Acknowledgments

We would like to thank Research Assistant Uğur Efe Uçar from Istanbul Technical University, Department of Interior Architecture, for his help in conducting the experiments; Elif Sude Aşkın for classification of the collected data and participant recruitment at Istanbul Technical University and documenting the process; Research Assistant Ennur İncesakal from Istanbul Medipol University, Department of Architecture for participant recruitment. Furthermore, we would like to thank Istanbul Medipol University Technology Transfer Office VR LAB supervisor Yusuf Saatçi for his invaluable help conducting the experiments and providing the VR laboratory and the equipment. The authors would also like to thank participants from Istanbul Medipol University, Department of Interior Architecture and Environmental Design (Turkish and English Programs), and Istanbul Technical University, Department of Interior Architecture, for volunteering in this study.

This study is supported by Istanbul Medipol University Scientific Research Projects Commission under project number 2022/44. This study was conducted using quantitative and qualitative approaches that require data collection from participants requiring the permission of the Ethics Committee Istanbul Medipol University Social Scientific Research Ethics Committee with decision number 160.

### REFERENCES

Aldrich, C. (2009). Learning online with games, simulations, and virtual worlds: Strategies for online instruction (Vol. 23). John Wiley & Sons.

- Angulo, A. (2015). Rediscovering Virtual Reality in the Education of Architectural Design: The Immersive Simulation Of Spatial Experiences. *Ambiances. Environment Sensible, Architecture et Espace Urbain*, 1. <https://doi.org/10.4000/ambiances.594>
- Aydin, S., & Aktaş, B. (2020). Developing an integrated VR infrastructure in architectural design education. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 495468. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.495468>
- Bekele, M. K., Pierdicca, R., Frontoni, E., Malinverni, E. S., & Gain, J. (2018). A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 11(2), 1-36. <https://doi.org/10.1145/3145534>
- Birt, J., & Vasilevski, N. (2019). Piloting mobile mixed reality to enhance building information modelling delivery in construction education. In *ASCILITE 2019: 36th International Conference of Innovation, Practice and Research in the Use of Educational Technologies in Tertiary Education: Personalised Learning. Diverse Goals. One Heart* (pp. 365-369). ASCILITE.
- Chang, Y. S., Kao, J. Y., & Wang, Y. Y. (2022). Influences of virtual reality on design creativity and design thinking. *Thinking Skills and Creativity*, 46, 101127. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101127>
- Chowdhury, S., & Hanegraaf, J. (2022). Co-Presence in remote VR Co-design: using remote virtual collaborative tool arkio in campus design. In *Proceedings of the 27th CAADRIA conference* (Vol. 2, pp. 465-474).
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. John Wiley & sons.
- Donath, D., & Regenbrecht, H. (1999). Using Immersive Virtual Reality Systems for Spatial Design in Architecture. In *Proceedings of AVOCAAD'99 Conference*. Brussels, Belgium, 307–318.
- Evers, S., Dane, G. Z., van den Berg, P. E., Klippel, A. K., Verduijn, T., & Arentze, T. A. (2023). Designing healthy public spaces: A participatory approach through immersive virtual reality. In *Proceedings of the 26th AGILE Conference on Geographic Information Science*, P. van Oosterom, H. Ploeger, A. Mansourian, S. Scheider, R. Lemmens, and B. van Loenen (Eds). *AGILE: GIScience Series*, 4, 24. <https://doi.org/10.5194/agile-giss-4-24-2023>
- Goldschmidt, G. (1992). Criteria for design evaluation: a process-oriented paradigm. *Evaluating and Predicting Design Performance*, NY: John Wiley & Sons, 67-79.
- Guevara, D., de Laski-Smith, D., & Ashur, S. (2022). Interior design students' perception of virtual reality. *SN Social Sciences*, 2(8), 152. <https://doi.org/10.1007/s43545-022-00423-7>
- Gül, L. F. (2018). Studying gesture-based interaction on a mobile augmented reality application for co-design activity. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 12(2), 109-124. <https://doi.org/10.1007/s12193-017-0252-0>
- Hou, N., Nishina, D., Sugita, S., Jiang, R., Kindaichi, S., Oishi, H., & Shimizu, A. (2024). Virtual reality space in architectural design education: Learning effect of scale feeling. *Building and Environment*, 248, 111060. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111060>
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?. *Educational Technology Research and Development*, 39, 5-14.
- Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), JCMC321. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>

- Nabors, L., Monnin, J., & Jimenez, S. (2020). A scoping review of studies on virtual reality for individuals with intellectual disabilities. *Advances in Neurodevelopmental Disorders*, 4(4), 344-356. <https://doi.org/10.1007/s41252-020-00177-4>
- O`Brian, H. L., Cairns, P., Hall, M. (2018). A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (UES) and new UES short form. *International Journal of Human-Computer Studies*, 112, 28-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.01.004>
- Özgen, D. S., Afacan, Y., & Sürer, E. (2021). Usability of virtual reality for basic design education: a comparative study with paper-based design. *International Journal of Technology and Design Education*, 31, 357-377. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09554-0>
- Pandey, M., Luthra, V., Yammiyavar, P. G., & Anita, P. Y. (2015). Role of immersive virtual reality in fostering creativity among architecture students. In *Proceedings of The Third International Conference on Design Creativity (3rd ICDC)*, (pp. 319-325).
- Pausch, R., Shackelford, M. A., & Proffitt, D. (1993, October). A user study comparing head-mounted and stationary displays. In *Proceedings of 1993 IEEE research properties in virtual reality symposium* (pp. 41-45). IEEE.
- Roshko, T., Hare, J., & Layne, N. (2019). Virtual reality environment as a learning tool in a graduate level interior design studio. *The International Journal of Design Education*, 13(4), 39. DOI:10.18848/2325-128X/CGP/v13i04/39-49
- Rozendaal, M. C., Keyson, D. V., de Ridder, H., & Craig, P. O. (2009). Game feature and expertise effects on experienced richness, control and engagement in game play. *AI & SOCIETY*, 24(2), 123-133. <https://doi.org/10.1007/s00146-009-0188-3>
- Schnabel, M. A., Kvan, T., Kruijff, E., & Donath, D. (2001). The first virtual environment design studio. In *Education and Curricula-Virtual Meeting Places* (Vol. 14, pp. 394-400).
- Schnabel, M. A., & Kvan, T. (2003). Spatial understanding in immersive virtual environments. *International Journal of Architectural Computing*, 1(4), 435-448.
- Sopher, H., Fisher Gewirtzman, D., & Kalay, Y. E. (2019). Going immersive in a community of learners? Assessment of design processes in a multi-setting architecture studio. *British Journal of Educational Technology: Journal of the Council for Educational Technology*, 50(5), 2109e2128. <https://doi.org/10.1111/bjet.12857>
- Wang, P., Miller, M. R., Han, E., DeVeaux, C., & Bailenson, J. N. (2024). Understanding virtual design behaviors: A large-scale analysis of the design process in Virtual Reality. *Design Studies*, 90, 101237. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2023.101237>
- Yıldan, İ., Çağdaş, G., & Tong, H. (2019). Sarmal sanal gerçeklik ortamının topolojik ilişkilerin algısına etkisi [The effect of the immersive virtual reality on perception of topological relations in architectural design education], *XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu MSTAS 2019* [In Turkish] 169-184.
- URL-1: <https://www.oculus.com/rift-s/features/>
- URL-2: <https://www.arkio.is>
- URL-3: <https://www.rand.org/topics/delphi-method.html>

# Tasarım Eğitiminde Yapılandırmacı ve Doğrudan Öğretim Yaklaşımlarının Etkinliklerinin Karşılaştırılması

Çetin Tüker<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi; <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>cetintuker@gmail.com; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

## Özet

*Tasarım proje derslerinde öğrencilerin, tasarımcı düşünce ve davranışlarını öğrenmeleri, fikir, ölçek, malzeme, uygulama ve form gibi unsurları kullanarak tasarım problemlerine çözüm getirmeleri beklenir. Bu derslerde yaratıcılığı kısıtladığı gerekçesiyle doğrudan öğretim yerine, öğrencilerin kendi deneyimlerine dayanarak bilgi inşa etmelerini hedefleyen ve mentörlerin örtük geri bildirimleriyle yönlendirilen yapılandırmacı (constructivist) yaklaşımlar tercih edilir. Ancak, özellikle başlangıç seviyesindeki öğrenciler örtük geri bildirimleri yanlış yorumlayabilir ve yanlış anlamalar öğrenciler arasında yayılabilir. Bu durum, öğrencilerin proje dersinden geçer not alsalar da problemi nasıl çözdüklerini anlamamış olmalarına ve kalıcı bilgi oluşturmamalarına yol açabilir. Bu araştırma başlangıç seviyesindeki (1-4 yarıyıl) mimarlık öğrencilerinin mimari proje derslerinde bilginin ve geri bildirimlerin detaylı ve açıkça aktarıldığı doğrudan öğretim (direct instruction) yaklaşımıyla eğitilmelerinin, başarı düzeylerin nasıl etkilendiğini incelemeyi amaçlamaktadır. Kontrol gruplu son test modeli uygulanarak, 27 öğrenci deney (n=14) ve kontrol (n=13) gruplarına ayrılmıştır. Çalışmada mimarlıkta insan ölçeği konusunun temel eğitimine odaklanılmıştır. Her iki gruba da sadece temel bilgilerden oluşan ve tasarım kalitesiyle ilgili bilgi içermeyen aynı eğitim materyali iki farklı yöntemle aktarılmıştır. Deney grubuna doğrudan öğretim yöntemi uygulanmış olup bu, kısa bir sunum, ardından kısa bir hatırlatma sınavı ve sunumun tekrarından oluşmaktadır. Kontrol grubuna yapılandırmacı yaklaşım uygulanmış olup bu, bilgi arama sürecini küçük ölçekte modellemek üzere geliştirilmiş ve A4 kağıtlara basılmış bilgi föylerinin öğrenciler tarafından çalışılmasından oluşmaktadır. Toplam 40' süren eğitimden sonra öğrenciler 90' süren bireysel tasarım çalışması sonucu eskizleri ve yazılı raporlar teslim etmişlerdir. Bulgular, doğrudan öğretim alan deney grubundaki öğrencilerin, kontrol grubuna kıyasla edindikleri bilgileri tasarım önerilerinde kullanma eğiliminde olduğunu göstermiştir (deney: 13/14; kontrol: 7/13). Sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p=.033$ ) ve etki büyüklüğü orta-güçlüdür ( $F_c=.445$ ,  $p=.021$ ). Tasarımların kalite puanları arasında (bu değişkeni etkileyen bir eğitim verilmediği için) anlamlı bir fark görülmemiştir. Bu çalışma, mimarlık tasarım stüdyosunda doğrudan öğretim yönteminin, bilgi arama sürecine dayalı yaklaşımdan daha etkili olabileceğini göstererek, yapılandırmacı yaklaşıma dayalı eğitim modellerinin gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca, alanyazındaki deneysel veriye dayanmayan yaygın kanının aksine doğrudan öğretimin mimarlık eğitiminde etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Doğrudan öğretim, yapılandırmacı öğretim, mimarlık eğitimi, tasarım eğitimi, tasarım stüdyosu.

# Comparison of the Effectiveness of Constructivist and Direct Instruction Approaches in Design Studio Education

Çetin Tüker<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Mimar Sinan Fine Arts University; <sup>2</sup>Yıldız Technical University

<sup>1</sup>cetintuker@gmail.com; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

## Abstract

*In design project courses, students are expected to learn to think and behave like a designer and find solutions to design problems using elements such as idea, scale, material, application, and form. In these courses, constructivist approaches that aim to help students build knowledge based on their own experiences and implicit feedback from mentors are preferred instead of direct instruction because it restricts creativity. However, especially at the beginner level, students may misinterpret implicit feedback, and misunderstandings may spread among them. This may restrict students from understanding how they solved the problem and prevent creating permanent knowledge, even if they get a passing grade in the project course. This research examines how beginner-level architecture students' success levels (1-4 semesters) are affected by the direct instruction approach in which information is conveyed explicitly in detail and clearly in architectural project courses. A posttest with an experiment-control group model has been chosen. 27 students were divided into experimental (n = 14) and control (n = 13) groups. The study focused on basic education on the human scale in architecture. The same training material, which consisted only of basic information and did not include information about design quality, was delivered to both groups using two different methods. The direct instruction method was applied to the experimental group, which consisted of a short presentation, followed by a short reminder exam and repetition of the presentation. A constructivist approach was applied to the control group. It consisted of students studying information sheets printed on A4 papers, which were developed to model the information search process on a small scale. After 40 minutes of training, students submitted sketches and written reports due to 90 minutes of individual design work. The findings showed that students in the experimental group who received direct instruction were more likely to use the knowledge they acquired in design suggestions compared to the control group (experimental: 13/14; control: 7/13). The results are statistically significant ( $p=.033$ ), and the effect size is medium-strong ( $\Phi_c = .445$ ,  $p=.021$ ). There was no significant difference between the quality scores of the designs (since no training was given to affect this variable). This study emphasizes that educational models based on the constructivist approach should be reviewed by showing that the direct teaching method in the architectural design studio can be more effective than the approach based on the information search process. Additionally, it shows that direct instruction can be an effective method in architectural education, contrary to the common belief in the literature that is not based on experimental data.*

**Keywords:** Direct instruction, constructivism, architectural education, design education, design studio.

## 1.Giriş

Tasarım proje derslerinde, öğrencinin tasarımcı düşünce ve davranışlarını öğrenmesi ve fikir, ölçek, malzeme, uygulama, form gibi unsurları kullanarak tasarım problemlerine çözüm getirmesi beklenir. Öğrencinin, destek derslerinde verilen bilgileri projelerine transfer edebileceği varsayılır. Proje derslerinde yaratıcılığı kısıtladığı ve ezbercilik olduğu gerekçesiyle doğrudan öğretim (direct/explicit instruction) yaklaşımı tercih edilmez. Bunun yerine örtük geri bildirimlerle öğrencinin kendi bilgisini, kendi bireysel tecrübelerine dayanarak (aktif katılımı [Phillips, 1995]) inşa etmesini hedefleyen ve bu yöntemle elde edilen bilginin de daha kalıcı olacağı gerekçesiyle, yapılandırmacı (constructivist) yaklaşımlar tercih edilir. Ancak özellikle başlangıç seviyesindeki proje derslerinde, mimarlık eğitimine yeni başlamış öğrencilerin örtük geri bildirimleri yanlış yorumlaması, yanlış anlamaların öğrenciler arasında yayılması, olumlu geri bildirim almış bir çözümün bağlamına bakılmadan diğer öğrenciler tarafından şeklen kopyalanması gibi sorunlarla sıklıkla karşılaşılır. Tüm bunların sonucunda öğrenci proje dersinden geçer not alabileceği bir çözüm bulmuş olsa da problemi nasıl çözdüğünü anlamamış ve kalıcı bir bilgi şeması kurgulayamamış olabilir.

Alanyazından bildiğimize göre, hiçbir kalıcı öğrenme olmadan da problem çözmek mümkündür (Sweller ve ark., 1982). Yapılandırmacı yaklaşımlar, deneye değil ideolojik ve din benzeri (“quasi- religious” Phillips, 1995, s. 11) temellere dayandığı (Phillips, 1995), bilgiyi “sosyopolitik süreçler ve fikir birliği meselesi” (Phillips, 1995, s. 11) olarak tanımladığı için, öğreticinin bilgiyi etkili ve sistemli bir şekilde aktarmaya dayalı rolünü zayıflattığı ve öğrenci merkezli olmak adına öğrencilerin yeni konuları öğrenmelerini zorlaştırdığı için (Kirschner, 2006) eleştirilmiştir. Sawyer (2021), stüdyo derslerine giren profesörlerin öğrenci projelerini eleştirirken neler söylediğini incelediği çalışmasında, (yn: stüdyo ortamı yapılandırmacı olsa da) profesörlerin kendi yaratıcı düşünce süreçlerini öğrencilere örtük değil açıkça aktarmayı tercih ettiklerini belirlemiştir. Bilginin insan zihninde nasıl işlendiğini ve depolandığını açıklayan bilgiyi işleme teorisi (Atkinson ve Shiffrin, 1968; Baddeley ve Hitch, 1974), özellikle başlangıç seviyesindeki öğrencilerin karşılaştığı bu sorunların sebeplerini çalışma belleği ve uzun dönem bellek ayırımını yaparak ve bilginin nasıl işlenip depolandığını detaylandırarak açıklayabilmektedir. Buna göre bilgiyi işleme teorisini temel alan doğrudan öğretim yaklaşımına göre düzenlenmiş ve yeni başlayan öğrencileri hedefleyen bir proje dersi, öğrencinin tasarım sorununu çözmesi için referans alabileceği temel bilgilerin açık, net ve detaylı bir şekilde aktarılmasını sağlayabileceği için yanlış anlamaları engelleyebilir, bağlam-anlam ilişkisini destekleyebilir ve yapılandırmacı yaklaşımlara göre daha verimli sonuç verebilir.

### 1.1 Amaç

Araştırma başlangıç seviyesindeki mimarlık öğrencilerinin (1-4 yarıyıl) mimari proje derslerinde doğrudan öğretim yaklaşımıyla eğitilmelerinin, yapılandırmacı yaklaşıma kıyasla başarı düzeyini nasıl etkilediğini incelemeyi amaçlamaktadır.

### 1.2 Alanyazın

Doğrudan öğretim (direct / explicit instruction) nesnel dünya bilgisinin kişinin dışında var olduğunu kabul eden ve bilgiyi olduğu gibi öğrenciye aktarmayı hedefleyen bilişselci teoriyle (Jonassen, 1991) ve bilgiyi işleme teorisiyle (Atkinson ve Shiffrin, 1968; Baddeley ve Hitch, 1974) açıklanır. Doğrudan öğretim öğreticinin kapsamlı, açık ve detaylı yönlendirmesini içeren bir yaklaşımdır. Kirschner ve ark. (2006)'a göre doğrudan öğretim "öğrencilerin öğrenmesi gereken kavram ve sıralı adımları tam olarak açıklayan bilgileri sağlamanın yanı sıra, insan bilişsel mimarisine uyumlu öğrenme stratejisi desteği sağlamaktır." (s. 75). Buna göre etkili bir doğrudan öğretim uygulamasında bilgi öğrenciye örtük (implicit) olarak değil, açık ve net olarak (explicit) aktarılır. Öğretici bilgiyi sadece aktarmakla kalmaz, öğrencinin aktarılan bilgiyi tam ve net olarak anlaması için gereken açıklamaları yine açıkça yapar. Öğrenme stratejisi de yine öğretici tarafından öğrenilmesi beklenen kazanımlara göre belirlenir. Yeni gelen bilgi, öğrencinin önceki bilgileri üzerine ekleneceği için öğretici, bilgilerin hangi sırayla, hangi yoğunlukta ve hangi yöntemlerle aktarılacağını da planlar.

Doğrudan öğretim, eğitim literatüründe sıklıkla öğrencinin pasif kaldığı ve öğretmenin bilgiyi çoğunlukla sunuş yoluyla aktardığı bir öğretim yöntemini tanımlamak için kullanılır ve sıklıkla ezberlemeyle yol açtığı varsayılır. Ancak bu tanım eksik, varsayım hatalıdır. Rosenshine (2008) doğrudan öğretim kavramının eğitim literatüründe hangi anlamlarda kullanıldığını derlediği çalışmasında, doğrudan öğretimin hem öğrencinin pasif dinlediği verimsiz bir yöntemi, hem de verimli olduğu deneysel araştırmalarla da belgelenmiş bir öğretim yöntemi tanımladığını göstererek bu çelişkiye dikkat çekmiştir (**Tablo 1**). Aynı çalışmasında Rosenshine verimli bir doğrudan öğretim sürecinin unsurlarını dokuz maddeyle listeler (**Tablo 2**).

**Tablo 1.** Doğrudan Öğretim kavramının eğitim literatüründe geçen anlamları.

1	Öğretimin kalitesine bakılmaksızın bir öğretmen tarafından yürütülen akademik öğretim
2	Eğitimde öğretmen etkileri araştırmalarında etkili öğretmenlerin kullandığı öğretim prosedürleri (yn: Eğitimde öğretmen etkileri kavramı, öğretmenlerin öğrenci başarısı üzerindeki etkilerini inceleyen bir araştırma alanını ifade eder. Bu araştırmalar genellikle öğretmenlerin eğitimdeki rolünü, öğrenci başarısını ne şekilde etkilediğini, öğretmenlerin farklı özelliklerinin veya yöntemlerinin öğrenci başarısı üzerindeki etkilerini analiz eder.)
3	Öğretmenlerin öğrencilere bilişsel stratejileri öğretirken kullandıkları öğretim prosedürleri
4	DISTAR (Direct Instruction Systems in Arithmetic and Reading - Aritmetik ve Okumada Doğrudan Öğretim Sistemleri) programlarında kullanılan öğretim prosedürleri (yn: DI şeklinde büyük harfle ifade edilir)
5	Öğretmenin ders anlattığı ve öğrencilerin pasif bir şekilde oturduğu ortamlar gibi doğrudan öğretimin olumsuz ifadelerle tasvir edildiği öğretim

Orijinal kaynaktan yeniden basılmıştır: Barak Rosenshine, 2008, Five Meanings of Direct Instruction. p.1)

**Tablo 2.** Verimli doğrudan öğretim sürecinin unsurları.

Geçmiş dersin tekrarı
Yapılacak dersin hedeflerinin belirtilmesi
Ders materyalinin öğrencinin çalışma belleğini aşmayacak şekilde aktarılması ve her adımdan sonra uygulama yapılması
Her öğrencinin aktif uygulama yapabilmesinin sağlanması
Bilginin açık, net ve detaylı aktarılması
Öğrenciye çok sayıda soru sorulması ve henüz öğrenilen bilginin hatırlanarak kalıcılığının sağlanması
Uygulama sırasında öğreticinin yol göstericiliği
Olası kavram yanlışlarının sistematik geri bildirimle önüne geçilmesi
Öğrencinin bireysel çalışmalarına yönelik açık ve doğrudan öğretim yapılması

Orijinal kaynaktan yeniden basılmıştır: Barak Rosenshine, 2008, Five Meanings of Direct Instruction. p.2)

Yapılandırmacı (constructivist) öğrenme teorisi, kişinin nesnel dünyayı kendi deneyimleriyle anlamlandığı, bilginin bunun bir fonksiyonu olduğu (Jonassen, 1991) ve öğrenmenin deneyimden üretilen anlamla eşdeğer olduğunu (Bednar ve ark., 2013) savunur. Bu teori, bireylerin eğitime aktif katılımı kendi



deneyimlerinden öğrenmelerini ve bilgiyi kendi zihinsel yapılarıyla inşa ettiklerini vurgular. Piaget'e göre (1952) öğrenme süreci, bireylerin mevcut bilgi yapılarını yeni deneyimlerle sürekli olarak geliştirmeleri ve değiştirmeleriyle gerçekleşir.

Vygotsky'se (1978), yapılandırmacı öğrenme sürecinde sosyal etkileşimin ve kültürel bağlamın önemine dikkat çekmiştir. Vygotsky'ye göre, öğrenme bireyler arasındaki etkileşimler yoluyla, özellikle daha yetkin bireylerle iş birliği yaparak ve dil aracılığıyla gerçekleşir. Vygotsky'nin "yakınsal gelişim alanı" (zone of proximal development) kavramı, bireylerin potansiyel yeteneklerini açığa çıkarmak için uygun destek ve rehberlik aldıklarında daha üst düzeyde performans sergileyebileceklerini vurgular (Vygotsky, 1978). Yapılandırmacı yaklaşım, keşfe dayalı (discovery), problem tabanlı (problem-based), sorgulayarak (inquiry), deneyime dayalı (experiential) öğrenme (Kirschner ve ark., 2006) ve proje tabanlı (project-based) öğrenme (Kokotsaki ve ark., 2016) gibi çeşitli pedagojik stratejilerle uygulanır. Bu yaklaşımlar, öğrencilerin aktif olarak öğrenme sürecine katılmalarını, kendi öğrenme yollarını keşfetmelerini ve bilgiyi uygulamalı deneyimlerle içselleştirmelerini teşvik eder. Bu yapılandırmacı yaklaşımlar, öğrencilerin kendi öğrenme süreçlerini kontrol etmelerini, aktif katılımlarını ve öğrenmeyi anlamlı ve kalıcı hale getirmelerini hedefler. Böylece, bireyler bilgiye pasif alıcılar olarak değil, aktif üreticiler olarak katılırlar ve öğrenme sürecinde daha derin ve kalıcı bir anlayış geliştirirler. Yapılandırmacı öğrenme kuramı, bilgiyi işleme kuramından farklı olarak, öğrenmenin tam olarak insan zihninde ne zaman oluştuğunu ve bilginin hangi süreçlerden geçerek işlendiğini ve depolandığını açıklamaz.

Mimarlık okullarında verilen mimari tasarım stüdyosu derslerinde, öğrencilerin bir tasarımcı gibi düşünme ve tasarımcı gibi davranma becerilerini geliştirmeleri hedeflenir. Bu süreç, öğrencilerin yaratıcılıklarını ve eleştirel düşünme becerilerini kullanarak karmaşık tasarım problemlerine çözüm üretmelerini içerir. Öğrencilere verilen projeler genellikle ilk yarıyıllarda basit problemlerle başlar ve zamanla daha karmaşık hale gelir.

Bu derslerde öğrencilerden, tasarım süreçlerinde fikir üretme, ölçeklendirme, malzeme seçimi, fiziksel ve kültürel çevreyle ilişkilendirme, bağlam analizi, uygulama teknikleri ve form yaratma gibi unsurları dikkate alarak çözüm önerileri geliştirmeleri beklenir. Öğrenciler, her bir tasarım problemine özgün ve yenilikçi çözümler bulmaya çalışırken, aynı zamanda bu unsurlar arasındaki karmaşık ilişki ağını anlamaya ve yönetmeye çalışırlar.

Stüdyo dersleri genellikle atölye çalışmaları, bireysel ve grup projeleri, eleştiri oturumları ve jüri değerlendirmeleri gibi çeşitli etkinlikleri içerir. Öğrenciler, projeleri üzerinde çalışırken mentorluk ve geri

bildirim alır, bu da onların tasarım süreçlerini sürekli olarak gözden geçirmelerine ve iyileştirmelerine olanak tanır. Bu süreç, öğrencilerin hem teorik bilgi hem de pratik becerilerini geliştirmelerine yardımcı olur. Tasarım eğitimi literatüründe doğrudan öğretim ve yapılandırmacı yaklaşımları kıyaslayan kontrol gruplu çalışmalar yok denecek kadar azdır. Yapılandırmacı yaklaşımların stüdyo sürecinde çeşitli bağlamlarda uygulanmasına odaklanıldığı vaka çalışmaları ezici çoğunluğu oluşturmaktadır. Vaka çalışmaları değişkenleri henüz bilinmeyen bir alanda keşif amacıyla kullanıldıklarında verimlidir. Değişkenlerin net belirlendiği araştırmalarda kontrol gruplu deneysel çalışmalar, içsel ve dışsal geçerlilikleri vaka çalışmalarına göre yüksek olduğu için, bağlam dahilinde kıyaslama yaparak genellenebilir yüksek kaliteli kanıtlar sağlar. Bu bağlamda literatürde boşluklar olduğu görülmektedir.

Mimarlık ve sanat eğitimi üzerine İngilizce literatürdeki ampirik çalışmaları kapsayan bir sistematize taramada (Sawyer, 2017) 1984-2017 yılları arasında hakemli akademik dergilerde yayınlanmış, belirlenen kriterlere uyan ve yüksek öğretim seviyesine odaklanan 45 yayın incelenmiştir. Buna göre tasarım stüdyosu eğitimi, literatürde yapılandırmacı, açık uçlu ve öğrenci merkezli olarak tanımlanmaktadır. Taramaya dahil edilmiş çalışmaların büyük bölümü vaka çalışmalarıdır. Aynı literatür taramasına göre sadece iki yayında (Andjomshooa, ve ark., 2011; Vanada, 2016) doğrudan öğretimle yapılandırmacı yaklaşımlar karşılaştırılmıştır. Bunlardan da sadece bir tanesi (Andjomshooa, ve ark., 2011) öntest-sontest kontrol gruplu deney çalışmasıdır.

Çalışmada mimarlık ikinci sınıf öğrencisi 32 kişiye dönem başında bir konut tasarımı problemi verilmiş, öğrencilerin teslim ettiği eskizler analiz için saklanmıştır. Ardından grup akademik başarı ortalamaları yaklaşık olarak eşit ve 16'şar kişiden oluşan iki gruba ayrılmıştır. Deney grubuna yapılandırmacı yaklaşım, kontrol grubuna doğrudan öğretim yöntemiyle eğitim verilmiştir (makalede eğitimin içeriği hakkında bilgi verilmemiştir). Dönem sonunda araya giren yaz tatilinden dönüşte, gruplara aynı eskiz problemi bir başka arazide konumlandırılmak üzere bir günlük bir çalışma olarak yeniden verilmiştir. Eskizler değerlendirildiğinde yapılandırmacı yaklaşımla eğitim alan deney grubunun doğrudan öğretimle eğitim almış olan kontrol grubuna göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Buna göre yapılandırmacı yaklaşımla verilen eğitimin daha akılda kalıcı olduğu ve başka benzer problem çözümlerine transfer edilebilirliğinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Andjomshooa, ve ark., 2011).

Ancak çalışmanın detayları incelendiğinde gruplara verilen eğitim içeriklerinin detay ve süre açısından eşit olmadığı görülmektedir. Dahası, doğrudan öğretim uygulandığı belirtilen kontrol grubuna tam olarak neyin nasıl aktarıldığı konusunda bir detay verilmemiş, uygulanan yöntem sadece bir örnekle tarif edilmiştir. Örnekte yatak odasını gürültülü bir alana yerleştiren öğrencilere kontrol grubunda o bölgenin gürültülü

olduğu ve yatak odasını sessiz bir yere yerleştirmesi gerektiği doğrudan söylenmiş, deney grubundaydı araziye çıkması, yerinde dinlemesi, ses kaydı yapması, bu ses kaydını arkadaşlarına, ailelerine dinletip yorum almaları istenmiştir. Sonuçta her iki öğrenci de yatak odasının yerini değiştirmiştir. Ancak makaleye göre deney grubunun bilgisi daha kalıcı olmuştur (Andjomshoaa, ve ark., 2011). Yazarların verdiği bu örneğe göre kontrol grubuna aktarılan bilgi çok yetersizdir. Bir cümleyle yerleşimin yanlış olduğu ve değiştirmesi gerektiğini söylemek oldukça kısıtlı ve çok kısa süreli bir bilgi aktarımıdır. Rosenshine'in (2008) sıraladığı verimli doğrudan öğretimin unsurlarına göre bilgi öğrenciye açık, net ve detaylı aktarılmalıdır. Deney grubuysa araziye gidip yerinde ses kaydı yaparak ve sesleri çevresine dinleterek sorun üzerinde çok daha fazla süre düşünmüş belli bir sonuca varmıştır. Bu durumda deney grubunun bilgiyi daha uzun süre hatırlaması, beklenen bir durumdur. Örnekte verilen örnekteki durum çok karmaşık bir sorun değildir. Daha karmaşık sorunlarda anlatılan yöntem sorunun öğrenci tarafından hiç çözülememesine veya çözülsün bile hiçbir öğrenme kazanımı elde edilememesine de yol açabilirdi. Çünkü önceki çalışmalardan biliyoruz ki hiçbir kalıcı öğrenme olmadan da problem çözmek mümkündür (Sweller ve ark., 1982).

Bir başka çalışmada (Al-Sayed, ve ark., 2010) profesyonel mimarların mekânsal konfigürasyonlara ilişkin (yn: Mekânsal konfigürasyon: Bir bütün içinde yer alan ve birbirine bağlı olan parçalar (örneğin, kentsel sokaklar) arasındaki düzenlemeler ve ilişkiler ağıdır. Bu kavram, mekânın fiziksel bileşenlerinin bir araya gelerek oluşturduğu yapısal ve işlevsel örüntüleri inceler.) açık (explicit) bilgiye sahip olmalarının, tasarım problemlerini sezgisel olarak çözmelerine örtük bilgiye kıyasla daha olumlu katkısı olduğu sonucuna varılmıştır. Burada vurgulanan mekânsal konfigürasyonlara ilişkin açık bilgi, mimarlık alanındaki bir tasarım problemini oluşturan unsurlar arasındaki ilişkiyle ilgili kristalize bilgidir. Yani mimarın sorunu oluşturan unsurların aralarındaki ilişkiyi açık ve net olarak bildiği anlamına gelir. Bu bilgi seviyesi sorunu iyi anlaması ve bir çözüm getirebilmesi için önemlidir. Sweller'e (1988) göre problem çözmek için dört unsura ihtiyaç duyulur. Alana özgü; (i) kristalize bilgi; (ii) uygulama/yöntem bilgisi; (iii) problem çözme stratejileri; (iv) beceri. Bunlardan ilk üç tanesi doğrudan öğretimle aktarılabilir bilgilerdir. Dördüncüsü ilk üçünü çok sayıda farklı problem üzerinde uygulayarak elde edilen tecrübeye dayalı bilgidir.

Kirschner ve ark.'a (2006) göre minimal yönlendirmeci yaklaşım; (i) öğrencilerin kendi çözümlerini inşa etmelerinin en etkili öğrenmeyle sonuçlanacağını; (ii) alana dair en iyi öğrenmenin, alanın kendi uygulama yöntemlerinin öğretim yöntemi olarak uygulanmasıyla oluşacağını kabul eder. Schön (1987) kendi yapılandırmacı anlayışına göre mimarlık öğrencisinin proje stüdyosunda gerçek hayatın karmaşıklığını simüle eden projelerle çalışması gerektiğini ve öğrencinin bir uzman gibi düşünmeyi ve davranmayı eylem içinde yansıtma (reflection-in-action) ve eylem üzerine yansıtma (reflection-on-action) öğreneceğini iddia eder. Deneysel veriye dayanmayan, sadece dört vaka çalışmasıyla desteklemeye çalıştığı bu görüşleri

subjektif bulunarak eleştirilmiştir (Webster, 2008; Cáceres, 2017). Minimal yönlendirmeci yaklaşımın Kirschner ve ark.'a (2006) tarafından vurgulanan kabullerin bazı sorunları vardır. Öncelikle, acemiler ve ustaların problemleri çözme yöntemleri farklıdır (Chi ve ark., 1981). Bir acemi öğrenci bilmediği bir alanda problem çözmeye çalıştığında ya diğer alanlardaki bilgilerini transfer etmeye ya da “rastgelelikle yaratım ilkesi” (Sweller ve ark., 2019) gereği çözüm icat etmeye yoğunlaşır. Süreç içinde örtük geri bildirimleri doğru yorumlayamayabilir, akranlarınca yanıtlanabilir veya bağlamdan kopuk şekilsel benzerliklere takılabilir. Öğrenci süreç sonunda bir çözüm bulmuş olsa da problemi nasıl çözdüğü, problemden neleri öğrenmesi gerektiği, sonraki benzer problemlere nasıl uygulaması gerektiğiyle ilgili bir öğrenme hiç gerçekleşmemiş olabilir.

Tasarım eğitimi alanındaki yayınların büyük bir bölümü bir stüdyo deneyimin aktarıldığı vaka çalışmaları veya bir stüdyo eğitiminin nasıl olması gerektiğini tartışan kuramsal yayınlardır. Kontrollü deneysel çalışmaların sayıca azlığı öğretim yöntem ve yaklaşımlarının birbirleriyle kıyaslanmadığını ve hangi yöntemin verimli bir öğrenmeyle sonuçlandığının deneysel verilerle desteklenmediğini göstermektedir. Stüdyo eğitimi alanında “ya doğrudan öğretim ya da yapılandırmacı yaklaşım” şeklinde bir hatalı ikilem (false dichotomy) olduğu anlaşılmaktadır. Yapılandırmacı yaklaşımın ve doğrudan öğretimin her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları olduğunu ve her yaklaşımın etkinliğinin öğrenme hedefi, ilgili alan, öğrencilerin ön bilgileri ve diğer öğrenci özellikleri gibi düzenleyici faktörlere bağlı olduğu alan literatüründe gözden kaçırılmıştır. Oysa her iki yaklaşımın da aynı stüdyo ortamında farklı öğrenme çıktıları için kullanılması daha verimli ve kalıcı bir öğrenmeyle sonuçlanabilir. Alanda bu bağlamda yeterli sayıda olmadığı için bu konuda bilimiz yeterli değildir. Örneğin, yapılandırmacı eğitim yaklaşımlarından biri olan sorgulamaya dayalı (inquiry based) öğrenmeyle doğrudan öğretim hakkında tasarım eğitimi alanı dışında yapılan yüksek kaliteli deneysel çalışmaların derlendiği bir çalışmada (de Jong, ve ark., 2023) her iki yöntemin de birlikte kullanıldığı durumlarda en etkili öğrenme sonuçlarının alınabildiği gösterilmiştir. Bu nedenle doğrudan öğretimin stüdyo derslerinde kullanılmasının eğitimi desteklemek için iyi bir yaklaşım olabileceği düşünülebilir.

### 1.3 Araştırma Soruları

Alanyazındaki boşluk göz önüne alındığında mimari tasarım alanındaki bazı temel konuların öğrenciye doğrudan öğretim ve yapılandırmacı yaklaşım unsurlarıyla aktarılmasının verimlilik açısından karşılaştırılması bir araştırma alanı olarak seçilebilir. Bu bağlamda aşağıdaki araştırma sorusu belirlenmiştir. AS1: Mimari proje derslerinin ilk dönemlerinde acemi öğrencilere uygulanacak ve verimli doğrudan öğretimin unsurlarını (Tablo 2) içeren bir yöntemin, yapılandırmacı yaklaşım unsurlarını içeren bir öğretim ortamı tasarımına kıyasla, hedeflenen davranışları tasarım süreçlerinde kullanmaya çabalayan öğrenci sayısına etkisi hangi düzeydedir?

## 2. Yöntem

Bu çalışmada, gerçek bir stüdyo sürecindeki karmaşıklık, zaman alıcılığı ve pek çok karıştırıcı değişkenin yaratacağı zorluklar göz önünde bulundurularak, değişkenlerin ve koşulların daha kolay kontrol edilebildiği, karıştırıcı etkenlerden arındırılmış bir günlük bir kontrollü deney uygulaması tasarlanmıştır. Kısa süreli uygulama, kullanılacak yöntemin ve değişkenlerin net bir şekilde tanımlanmasını gerektirir. Buna göre, deney grubuna doğrudan öğretim yöntemi uygulanmış olup bu, kısa bir sunum, ardından kısa bir hatırlatma sınavı ve sunumun tekrarından oluşmaktadır. Kontrol grubuna yapılandırmacı yaklaşım uygulanmıştır. Ancak yapılandırmacı uygulamalar literatürde muğlak tanımlanmış olduğu için, Kuhlthau (1991; Kuhlthau, ve ark., 2008) tarafından çerçevesi çizilmiş olan bilgi arama sürecini (information search process) küçük ölçekte modellemek üzere geliştirilmiş ve A4 kağıtlara basılmış bilgi föylerinin öğrenciler tarafından çalışılması şeklinde uygulanmıştır. Benzer yöntem stüdyo süreçlerinde öğrencilerin kütüphane araştırmalarıyla bilgiye ulaşması şeklinde stüdyo yöneticileri tarafından öğrencilere sıklıkla önerilir. Kütüphane araştırmaları Kuhlthau (1991) tarafından yapılandırmacı öğrenme süreci olarak tanımlanmıştır.

### 2.1 Hipotez

H<sub>1</sub>: Doğrudan öğretim yönteminin eğitim içeriğiyle ilişkili tüm bağımlı değişkenler üzerinde yapılandırmacı yaklaşıma kıyasla  $\alpha=0.05$  düzeyinde manidar bir şekilde daha etkili olacaktır.

H<sub>0</sub>: Doğrudan öğretim yönteminin eğitim içeriğiyle ilişkili tüm bağımlı değişkenler üzerinde yapılandırmacı yaklaşıma kıyasla  $\alpha=0.05$  düzeyinde manidar bir etkisi yoktur.

### 2.2 Deney Tasarımı

Bu çalışmanın deney tasarımı kontrol gruplu son test modelidir.

### 2.3 Değişkenler

Çalışmanın bağımsız değişkeni öğretim yöntemleridir. Bunlar yapılandırmacı (constructivist – kontrol grubu) ve doğrudan öğretim (direct / explicit instruction – deney grubu) yaklaşımlarıdır. Öğrencilerin öğretim sonunda kazandıkları davranışlar olan bağımlı değişkenler, beş ana başlık altında ve 13 adettir (Tablo 3). Bunlar sırasıyla; (i) üç boyutlu ilişkiler (UCB1-7); (ii) yaratıcılık (Yar1-2); (iii) esneklik (Esn1); (iv) sirkülasyon (Sir 1-2); ve (v) genel değerlendirmedir. Bağımlı değişken grupları yazarlar tarafından belirlenmiştir.

**Tablo 3.** Öğrenci kazanımları (bağımlı değişkenler).

Bağımlı Değişken	Kısaltma	Veri Türü	
		Kategorik	Süreklili
<b>Üç Boyutlu İlişkiler (UCB)</b>			
1 Tasarımda galeri / atrium kullanmaya çaba gösterir (hedef değişken)	UCB1	Var/yok	1-10
2 Aynı boşluğu paylaşan yan mekânlar arasında tavan yüksekliğini çeşitlendirerek farklı ölçekte mekanlar yaratmaya çaba gösterir (hedef değişken)	UCB2	Var/yok	1-10
3 Bölücü duvarlarla ayrılmış ardışık mekanlarda tavan yüksekliğini çeşitlendirerek farklı ölçekte mekanlar yaratmaya çaba gösterir (hedef değişken)	UCB3	Var/yok	1-10
4 Aynı boşluğu paylaşan yan mekânlar arasında taban kotunu çeşitlendirerek farklı ölçekte mekanlar yaratmaya çaba gösterir	UCB4	Var/yok	1-10
5 Bölücü duvarlarla ayrılmış ardışık mekanlarda taban kotunu çeşitlendirerek farklı ölçekte mekanlar yaratmaya çaba gösterir	UCB5	Var/yok	1-10
6 Eserlerin sergilendiği yüksekliklerin çeşitlendirilmeye çaba gösterir	UCB6	Var/yok	1-10
7 Üç boyutlu ilişkiler genel değerlendirme	UCB7		1-10
<b>Yaratıcılık</b>			
8 Mekanın ele alınışında alışılmamış ve yenilikçi bir dil önermeye çaba gösterir	Yar1		1-10
9 Serginin ele alınışında, alışılmamış ve yenilikçi bir dil önermeye çaba gösterir	Yar2		1-10
<b>Esneklik</b>			
10 Çeşitli sergi kurgularına adapte olabilir, esnek bir iç mekan önermeye çaba gösterir	Esn1		1-10
<b>Sirkülasyon</b>			
11 Sergi alanlarının tutarlı bir hikâye anlatabilecek şekilde planlanmasına çaba gösterir	Sir1		1-10
12 Sergi alanları boyunca verimli bir ziyaretçi dolaşımı tasarlamaya çaba gösterir	Sir2		1-10
<b>Genel</b>			
13 Jürinin serbest değerlendirmesi	Genel		1-10

Öğrencinin öğretim süreci sonunda kazandığı bilgi düzeyindeki davranışları tasarım önerisinde kullanma çabasına girmesi yani uygulama düzeyine çıkarması (kategorik; var-yok), bilgi düzeyinde kazanılan bir davranışın yeni bir durumda kullanılma davranışı olan uygulama düzeyine çıkarmasının, yani uzun dönem

belleğine kaydedildiğinin göstergesidir. Değişkenin kalite puanıysa (sürekli; 1-10 arasında) bilginin ne kadar başarılı ve bağlam dahilinde kullanıldığının jürideki yansımaları gösterir.

#### 2.4 Katılımcılar

Hiçbir mimari tasarım bilgisine sahip olmayan güzel sanatlar (GSF) ve görsel iletişim tasarımı (GİT) 3-6. dönem arasındaki öğrenciler açık çağrıyla belirlenmiştir. Katılımcılar Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi (MSGSU) Grafik Tasarım [GT] (n=18), MSGSU diğer GSF bölümleri (n=10) ve Bahçeşehir Üniversitesi (BAU) GİT Bölümü (n=8) öğrencileridir. Öğrenciler, bölümlere göre eşit sayıda ve rastgele deney-kontrol gruplarına atanmışlardır (Her grup n=18, GT n=9, GSF n=5, GİT n=4). Çalışmanın sonunda eksik materyal teslim eden katılımcılar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Kontrol grubundan n=13 kişi (GRF n=5, GSF n=4, GİT n=4) ve deney grubundan n=14 kişi (GRF n=7, GSF n=3, GİT n=4) değerlendirilmiştir.

#### 2.5 Öğretim Materyalinin İçeriği ve Uygulama Yöntemi

Bu çalışmada “mimaride insan ölçeği” ve “iç mekân yüksekliklerinin ölçek algısına etkileri” eğitim konusu olarak seçilmiştir. Kalite puanlamasını etkilememesi için her iki gruba da verilen eğitim içeriğinde doğrudan tasarım probleminin çözümüne ipucu olacak ve tasarım önerisinin kalitesini etkileyebilecek bir bilgi bulunmamaktadır. Kavramlar, genel tanımlar şeklinde sözel olarak ve jenerik iki boyutlu çizimlerle desteklenerek aktarılmıştır. Eğitim materyalinin odaklandığı konular Tablo 4’te verilmiştir.

Kontrol grubuna uygulanan yapılandırmacı eğitim ‘bilgi arama sürecini’ (information search process - Kuhlthau, 1991; Kuhlthau, ve ark., 2008) modellemektedir. Bu terim, bir konu veya sorunla ilgili bilgi toplama, araştırma ve değerlendirme sürecini ifade eder. Özellikle kütüphane, araştırma merkezi veya diğer bilgi kaynaklarına erişim yoluyla gerçekleştirilen bilgi arama süreci, öğrenme ve bilgi edinme sürecinin önemli bir parçasıdır. Öğrenciler bir kütüphanede bilgi arama sürecine katıldıklarında, sadece bilgiyi pasif bir şekilde almakla kalmazlar; aksine, bir konu veya kavramın kendi anlayışlarını oluşturmak için bilgi arama, değerlendirme ve sentezleme süreçlerinde aktif olarak yer alırlar (Kuhlthau, 1991; Kuhlthau, ve ark., 2008). Buna dayanarak kontrol grubuna konuların illüstrasyon ve metinle açıklandığı 10’ar sayfalık 5 föyden oluşan (toplam 50 sayfa) basılı materyal verilmiştir. Beş föyden sadece bir tanesi, deney grubuna gösterilen sunumun görsel ve metin olarak aynıdır. Diğer dört föy çalışmayla ilgisiz konulardır. Amaç kendi kendine araştırma yapan bir öğrencinin karşılaşılabileceği sınırsız büyüklükteki arama uzayını modellemektir.

Deney grubuna 25 görselden oluşan “Mimaride İnsan Ölçeği” başlıklı sunumun, 4’ uzunluğunda sesli ekran görüntü kaydı (yazarın sesinden) topluca ve büyük bir perdeye yansıtılarak önce üç kere arka arkaya izletilmiş, ardından 10 dakikalık bir test yapılmış, hemen ardından iki kere daha izletilmiştir. Ekran görüntüsü

kaydı bir video olmakla birlikte, sunum içinde hiçbir hareketli unsur bulunmamaktadır. Deney grubuna verilen eğitimde Tablo 2'deki, 3,5,6 ve 8. maddeler referans alınmıştır. Buna göre verimli bir doğrudan öğretim uygulamasında bilgi açık net ve detaylı aktarılmalıdır (Rosenshine, 2008). Hazırlanan eğitim materyalinde tüm anlatımlar açık, net, dolaysız ve yanlış anlamaya yer bırakmayacak şekilde hazırlanmıştır. Bilgi aktarımından hemen sonra öğrenciye çok miktarda soru sorularak öğrencinin henüz karşılaştığı bilgiyi hafızasından geri çağırması sağlanır (bkz: geri çağırma pratiği – retrieval practice, active recall). Böylece bu yeni bilgi daha uzun bir süre hatırlanır (Roedlinger ve Butler, 2011; Dunlosky ve ark., 2013). Üç video tekrarından sonra uygulanan 10 dakikalık test bu amaçla uygulanmıştır. Test sonunda cevap kağıtları toplanmamış, öğrencinin testten sonraki iki video tekrarında, test sırasında hatırlayamadığı bilgileri özellikle dinlemesi sağlanmıştır. Böylelikle olası kavram yanlışlarının önüne geçilmiştir.

Çalışma belleği kapasitesi enformasyonun türüne göre değişmekle beraber oldukça sınırlıdır – yedi rakam, altı harf, beş kelime (Miller, 1994; Service, 1998; Hulme ve ark., 1995). Çalışma belleği kapasitesi yaşa ve zihin yorgunluğuna bağlı olarak da olumsuz yönde değişebilir (Covan, 2001). Buna göre, eğitim materyali öğrencinin çalışma belleğinin kapasitesini aşmayacak şekilde 4' uzunluğunda, üç değişken ve bir kavrama odaklanacak şekilde hazırlanmıştır (**Tablo 4**).

**Tablo 4.** Sunumdaki görsellerin odaklandığı üç boyutlu ilişkilerle ilgili bağımlı değişkenler.

Görsel içeriği	UCB1	UCB2	UCB3	UCB4	UCB5	UCB6	İnsan Ölçeği kavramı
1 Mimarlıkta insan ölçeği, boyut, oran							X
2 Mimarlıkta insan ölçeği, boyut, oran							X
3 Mimarlıkta insan ölçeği, boyut, oran							X
4 Beden boyutları ölçüm aracı olamaz							
5 Beden boyutu ve genişlik ilişkisi							
6 Beden boyutu ve yükseklik ilişkisi		X	X				
7 Mekân ölçülerini anlamak için Görsel ipuçları							
8 Mekân ölçülerini anlamak için Görsel ipuçları							
9 Nesne boyutu, mekân boyutlarını algılama, insani ölçek							X
10 Nesne boyutu, mekân boyutlarını algılama, insani ölçek							X
11 Nesne boyutu, mekân boyutlarını algılama, insani ölçek							X
12 Nesne boyutu, mekân boyutlarını algılama, insani ölçek							X
13 Mekân içi nesnelere, insan ölçeği, algılama							X
14 Ölçek, algısal faktörler							X
15 Ölçek, algısal faktörler							X



Tablo 4. (Devam)

	UCB1	UCB2	UCB3	UCB4	UCB5	UCB6	insan Ölçeği kavramı
Görsel içeriği							
16 Ölçek, algısal faktörler							X
17 Yükseklik, insan ölçeği		X	X				X
18 İnsan ölçeği algısı							X
19 Yükseklik, ölçek		X	X				X
20 Yükseklik, ölçek		X	X				X
21 Yükseklik, rahatlık algısı		X	X				
22 Yükseklik, genişlik, basıklık algısı		X	X				
23 Yükseklik, açık havadar, yüce	X	X	X				
24 Alçaklık (Yükseklik)	X	X	X				
25 Aynı mekânda farklı yükseklikleri deneyimlemek	X	X	X				
Toplam	3	9	9	0	0	0	15

Video, arka arkaya sıralanmış kendi içinde durağan görsellerden oluşmaktadır. Üç görsel, “galeri / atrium” (UCB1), dokuz görsel “aynı mekân içinde tavan yüksekliği değişimleri” (UCB2) ve “birbirini izleyen mekanlarda tavan yüksekliği değişimleri”ne (UCB3) odaklanmıştır (Değişkenler listesi için bkz. **Tablo 3**). On beş görselde “mimaride insan ölçeği” veya “insan ölçeği” kelime grubu kullanılmıştır. Sunumda UCB4, 5 ve 6 değişkenlerine odaklanan görsel ve anlatım bulunmamaktadır. Bunlar katılımcıların bilgi transferi yapıp yapamayacağı ölçmek için sunum dışında bırakılmıştır.

## 2.6 Tasarım Problemi

Çalışma sırasında katılımcılardan hayali bir güzel sanatlar üniversitesinin öğrenci projelerinin sergileneceği sergi alanı için öneri eskizleri hazırlamaları istenmiştir. Tasarım önerilerinin 20x20x20 metrelik hayali bir küpün sınırlarını aşmayacak şekilde tasarlanması gerektiği belirtilmiştir. Katılımcıları mekân içinde farklı yükseklikteki alanlar tasarlamaya yönlendirmek için çok büyük (6m) ve küçük (.5m) boyuttaki eserleri içeren bir program verilmiştir.

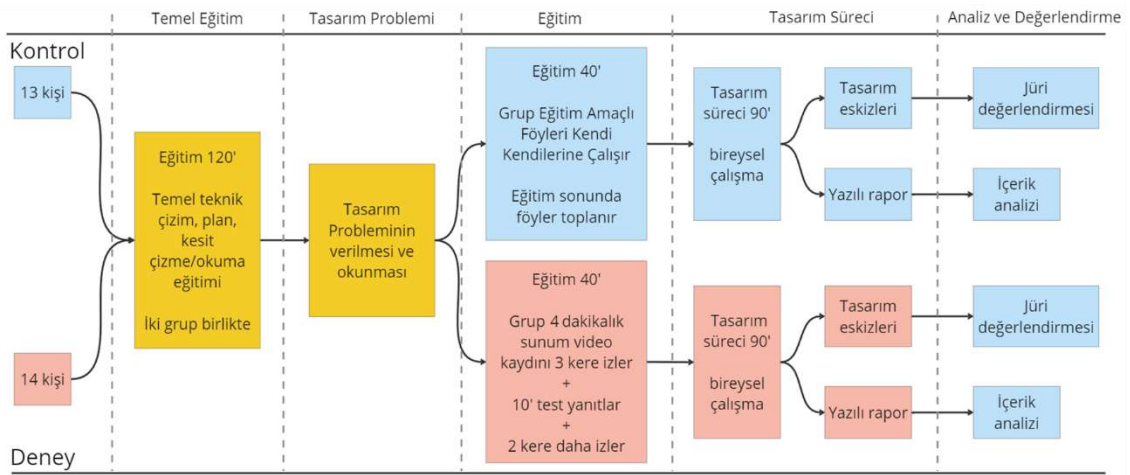
## 2.7 Prosedür

Katılımcılar sabah 10:00'da atölyede toplanmıştır. Daha önce hiçbir teknik çizim eğitimi almamış olan katılımcılara 120' boyunca temel eğitim verilmiştir (plan-kesit-görünüş çizimi). Bu aşamada katılımcılar cetvel kullanmamış, çizimlerini serbest elle yapmışlardır. Örnek nesnelere ve buldukları mekânın plan

ve kesit çizimlerini yapan katılımcıların, tasarım önerilerini teknik çizim diliyle ifade edebilecek seviyeye geldiği görülünce eğitim tamamlanmıştır.

Öğle arasından sonra (60') grup yeniden toplanmıştır. Tasarım problemi A4 kâğıda basılı olarak dağıtılmış, sesli olarak okunmuştur. Bu aşamadan sonra gruplar ayrılmış ve o andan sonra katılımcılardan cep telefonlarını kullanmamaları ve aralarında konuşmamaları istenmiştir. Kontrol grubuna çalışma föyleri verilmiş, 40' boyunca bireysel olarak çalışmaları istenmiştir. Eğitim föylerinin toplanmasının ardından tasarım sürecine geçilmiştir. Bireysel çalışma sürecini gözlemlemesi için bir gözetmen çalışma süresince grubun başında beklemiştir.

Deney grubu, 4 dakikalık "mimaride insan ölçeği" başlıklı sunumun video kaydını 3 kez izlemiş, ardından sunum içeriğiyle ilgili 10 dakikalık bir sınav uygulanmıştır. Sınav kağıtları toplanmamış, sunum 2 kez daha izletilirken yanıtları kontrol etmeleri istenmiştir. Öğretim süreci 40' sürmüştür, ardından tasarım sürecine geçilmiştir. Bireysel çalışma sürecini gözlemlemesi için bir gözetmen çalışma süresince grubun başında beklemiştir.



Şekil 1. Deney uygulama süreci.

Uygulama öncesinde gruplara (1/100 ölçeğinde, 1 cm aralıklı) kareli kağıtlar dağıtılmış ve katılımcılardan tasarımlarını serbest elle plan, kesit (gerekirse perspektif) çizerek aktarmaları istenmiştir. Son olarak da

tasarımlarında hangi kriterleri referans aldıklarını vurguladıkları yarım A4 sayfası uzunluğunda bir rapor yazmaları istenmiştir (**Şekil 1**).

### 2.8 Analiz Yöntemi

Raporlara yazarlar tarafından nitel içerik analizi yapılmıştır. Eğitim materyallerinde (mimaride insan ölçeği) anlatılan konularla ilgili (UCB değişken grubunu hedefleyen) sözcük grupları ve kavramlar raporlarda aranmıştır. Raporda bu sözcük grupları ve ifadelerden en az birinin en az bir kere geçmesi, raporu yazan katılımcının uzun dönem belleğinde eğitimin hedeflediği bilgi kümesinin varlığını gösteren bir bulgu olarak değerlendirilmiştir. Raporda ilgili ifadeler varsa “1 (var)” yoksa “0 (yok)” şeklinde kategorik olarak kodlama yapılmıştır.

Tasarımları üç farklı üniversitelerin mimarlık proje derslerine giren Dr. Öğr. Üyesi seviyesinde jüri, birbirinden bağımsız çalışarak çevrimiçi ortamda değerlendirmiştir. Tasarımda UCB1-6 değişkenlerinin varlığı aranmış. Varsa “1-10” arasında bir kalite puanı verilmiş, yoksa “0 (yok)” olarak işaretlenmiştir. Kategorik değerlendirmede jüri arası uyumsuzluk durumunda öneri tekrar değerlendirilerek uzlaş sağlanmaya çalışılmıştır. Diğer yedi değişken sadece “1-10” arasında kalite puanlarıyla değerlendirilmiştir (değişkenler için bkz: **Tablo 3**).

### 3. Bulgular

UCB1 değişkeni eğitim içeriğinde sadece üç görselde hedeflenmişti. UCB2-3 değişkenleri aynı boyuta odaklanan ve eğitim çıktısı olarak en yoğun hedeflenen değişkenlerdi (9/25 görsel). UCB2-3 değişkenlerini hedefleyen “mimaride insan ölçeği” ve “insan ölçeği” kelime grupları “yükseklik” kavramıyla ilişkili olarak 15 farklı görselde anlatılmıştı. Katılımcı sayısının düşük olması sebebiyle “tavan yüksekliği” boyutuna odaklanan UCB2-3 değişkenleri birlikte değerlendirilmiştir. UCB-6 değişkeniyse katılımcıların teslim ettiği çizimlerde jürinin kolayca ayırt edebileceği netlikte ifade edilmediği için jüri tarafından değerlendirme dışı bırakılmıştır.

UCB1-5 değişkenleri hem “var/yok” şeklinde kategorik olarak hem de 1-10 arasında kalite puanı verilerek değerlendirilmiştir. Üç jüri üyesinin UCB1-5 değişkenleri için yaptığı kategorik değerlendirmelerin birbiriyle uyumluluğunu test etmek için Fleiss’ Kappa değeri hesaplanmıştır (**Tablo 5**). Buna göre UCB1-3 değişkenlerinin çizimlerdeki varlığı/yokluğu için jüri üyelerinin yaptığı değerlendirmeler birbiriyle uyumludur. UCB4-5 değişkenlerine katılımcıların teslim ettiği çizimlerde neredeyse hiç rastlanmadığından (**Tablo 5**) bu değişkenler için Kappa hesaplanmamıştır.

**Tablo 5.** UCB 1-3 Kategorik değişkenlerinin çizimlerdeki varlığı/yokluğu için jüriler arası uyumluluk değerleri.

	UCB1	UCB2	UCB3
Fleiss' Kappa ( $\kappa$ )	.708	.827	.829
p	<0.000	<0.000	<0.000
*Yorum	*Önemli derecede uyuşma	*Neredeyse mükemmel uyuşma	*Neredeyse mükemmel uyuşma

\*Landis ve Koch (1977)

Katılımcıların teslim ettiği çizimlere dayanarak, UCB grubu değişkenleriyle ifade edilen bilgilerin (kalite puanlarından bağımsız olarak) kaçar katılımcı tarafından en az bir kere tasarım önerilerinde kullanıldığı incelendiğinde, UCB2-3 değişkenleriyle ifade edilen tasarım kararlarının kontrol grubunda 7, deney grubunda 13 katılımcı tarafından en az 1 kere kullanıldığı görülmektedir (**Tablo 6**).

**Tablo 6:** Teslim edilen çizimlerde UCB 1-5 değişkenleriyle ifade edilen bilgilerin kaçar katılımcı tarafından en az bir kere kullanıldığını gösteren tablo.

	UCB 1	UCB 2	UCB 3	UCB_2-3*	UCB4	UCB5
Kontrol (n=13)	1	5	6	7	0	2
Deney (n=14)	3	3	12	13	0	2

\*Bu iki değişken de tavan yüksekliğine odaklandığı için birlikte değerlendirilmiştir.

Öğretim yöntemiyle UCB2-3 şeklinde ifade edilen bilgileri tasarım önerilerinde en az bir kere kullanan katılımcı sayısı değişkenleri 2x2 çapraz tablo (kontenjans tablosu) şeklinde düzenlenebilir (**Tablo 7**). Değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını test etmek için (en az 1 gözlem 10'dan küçüktür) Fisher Kesin Olasılık Testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre öğretim yöntemiyle UCB2-3 şeklinde ifade edilen bilgileri tasarım önerilerinde en az bir kere kullanan katılımcı sayısı arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ( $p=.033$ ). Etki büyüklüğü ( $\Phi = \text{Cramer's } V$ )  $\Phi_c = .445$ ,  $p=.021$  olarak hesaplanmıştır (Etki büyüklüğü yorumu için bkz: Kim, 2017).

**Tablo 7.** UCB\_2\_3 için 2X2 çapraz tablo.

		UCB2_3 Özellikleri			
		Hiç Kullanmamış		En Az Bir Kere Kullanmış	
		n	%	n	%
Gruplar	Deney	1	%14,3	13	%65,0
	Kontrol	6	%85,7	7	%35,0
Toplam		7	%100	20	%100

\*Etki büyüklüğü:  $F_c = .445$  ,  $p = .021$  \*(Küçük: 0.1 - 0.3; Orta: 0.3 – 0.5; Büyük: >0.5)

Katılımcıların teslim ettiği raporların nitel analizine dayanarak, UCB grubu değişkenlerini ima eden sözcük gruplarının kaçar katılımcı tarafından en az bir kere tasarım raporlarında kullanıldığı incelendiğinde, deney grubunda tasarım raporu teslim eden 13 katılımcıdan (1 katılımcı rapor teslim etmemiştir) 11'inin, kontrol grubundaysa rapor teslim eden 13 katılımcıdan 5'inin bahsi geçen sözcük gruplarını en az 1 kere raporlarında kullandığı görülmektedir (**Tablo 8**).

**Tablo 8.** UCB grubu değişkenlerini ima eden sözcük grupları ve ifadeler.

Sözcük grupları ve ifadeler	
1	İzleyicileri yönlendirmek için değişen tavan yükseklikleri
2	Yükseklik farkıyla ferahlık / basıklık / aydınlık / karanlık / güç / ihtişam etkisi oluşturmak
3	Eserleri farklı yüksekliklerden görebilmek için asma kat / platform / arakat / yarım kat eklemek
4	Samimi ölçek
5	Yücelik hissi
6	Yüksek / alçak tavan vurgusu
7	Ara kat / asma kat vurgusu
8	Kat yüksekliğiyle eser büyüklüklerini vurgulama / destekleme

Öğretim yöntemiyle UCB grubu değişkenlerini ima eden sözcük gruplarını raporlarında en az bir kere kullanan katılımcı sayısı değişkenleri 2x2 çapraz tablo (kontenjans tablosu) şeklinde düzenlenebilir (**Tablo 9**). Değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını test etmek için (en az 1 gözlem 10'dan küçüktür) Fisher Kesin Olasılık Testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre öğretim yöntemiyle UCB grubu değişkenlerini ima eden sözcük gruplarını raporlarında en az bir kere kullanan katılımcı sayısı arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ( $p = .041$ ). Etki büyüklüğü ( $\Phi = \text{Cramer's V}$ )  $\Phi_c = .474$  ,  $p = .016$  olarak hesaplanmıştır. (Etki büyüklüğü yorumu için bkz: Kim, 2017).

**Tablo 9.** UCB grubu değişkenlerini ima eden sözcük gruplarını en az bir kere kullanan/kullanmayan katılımcı sayısı için 2x2 çapraz tablo.

Gruplar	Deney Kontrol	Hiç Kullanmamış		En Az Bir Kere Kullanmış	
		n	%	n	%
	Deney	2	%20	11	%68.8
	Kontrol	8	%80	5	%31.3
Toplam		10	%100	16	%100

\*Etki büyüklüğü:  $\Phi_c = .474$ ,  $p = .016$  \*(Küçük: 0.1 - 0.3; Orta: 0.3 - 0.5; Büyük: >0.5)

Öğretim yöntemiyle diğer değişkenler (UCB3, UCB7, Yar1, Yar2, Esn1, Sir1, Sir2 ve Genel kalite puanları – UCB1, UCB2, UCB4, UCB5, UCB6 için yeterli sayıda veri elde edilememiştir) arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını test etmek amacıyla Mann-Whitney U Testi uygulanmıştır. Mann-Whitney U testi, iki bağımsız örneklem grubunun ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için kullanılan parametrik olmayan bir testtir. Bu test, bağımsız örneklemelerin normal dağılıma veya eşit varyansa sahip olmadığı durumlarda kullanılır. Mann-Whitney U testi için kesin bir minimum grup büyüklüğü yoktur. Ancak, genellikle örneklem büyüklüklerinin her iki grupta da en azından 5 veya daha fazla olması önerilir. Bu çalışmada UCB1, UCB2, UCB4, UCB5 değişkenleri için grup büyüklükleri beş kişinin altında kaldığı için Mann-Whitney U testi uygulanmamıştır. UCB3 değişkeni için deney grubu büyüklüğü 13 kişi, kontrol grubu büyüklüğü 7 kişidir. Grup büyüklüklerinin eşit olmadığı durumlarda da sonuçların güvenilirliğine temkinli yaklaşılması gerekir. Diğer değişkenlerde grup büyüklükleri deney grubu için 14, kontrol grubu için 13 kişidir. Buna göre, öğretim yöntemi bağımsız değişkeniyle diğer değişkenler (kalite puanları) arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (**Tablo 10**).

**Tablo 10.** Mann-Whitney U testi sonuçları.

	UCB3	UCB7	Yar1	Yar2	Esn1	Sir1	Sir2	Genel
Deney N	13	14	14	14	14	14	14	14
Kontrol N	7	13	13	13	13	13	13	13
Mann-Whitney U	32.5	93.5	62.5	62.5	62.5	88.0	92.0	86.5
p*	.3	.903	.160	.161	.162	.884	.961	.826

\*Anlamlılık seviyesi  $p < .05$

#### 4. Tartışma

Elde edilen bulgulara göre, deney grubunda tasarım raporu teslim etmiş olan 13 öğrencinin 11'i UCB grubu değişkenlerini ima eden sözcük gruplarını kullanmıştır. Bu değer kontrol grubunda 5 öğrencidir. Aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı, etki büyüklüğünün ( $F_c = .474$ ) 'büyük etki' eşğine çok yakın olduğu görülmektedir. Öğrencilerin tasarım önerilerinden çıkan sonuçlar da incelendiğinde deney grubundaki 14 öğrencinin 13'ü UCB2-3 değişkenlerine odaklanan bilgileri en az bir kere, problemin çözümü için kullanmıştır. Bu değer, kontrol grubundaki öğrencilerle karşılaştırıldığında (13 öğrencinin 7'si) istatistiksel olarak anlamlı ve orta ile büyük arasında ( $F_c = .445$ ) bir etki büyüklüğü ortaya çıkmaktadır. Bu iki sonuç birbirini destekler niteliktedir. Bir başka deyişle, doğrudan öğretim görmüş olan öğrenciler kendilerine aktarılan bilgiyi uzun dönem belleklerine almış ve bunu hem tasarım raporlarında sözlü olarak ifade etmişler hem de tasarım önerilerinde uygulamaya çalışmışlardır.

Alanyazında bu sonuçların kıyaslanabileceği benzer deney tasarımına sahip bir çalışma yoktur. Andjomshoaa, ve ark. (2011) çalışması bilginin kalıcılığı açısından doğrudan öğretim ve yapılandırmacı yaklaşımları kıyaslamıştır. Ancak deney ve kontrol gruplarına uyguladıkları eğitimlerin içerikleri ve süreleri hakkında açık bilgi verilmemiş olduğu için buldukları etkinin eğitim yönteminden mi yoksa uyguladıkları eğitimin süresi ve içeriğinden mi kaynaklandığı hakkında bir sonuca varılamaz.

Al-Sayed, ve ark. (2010) çalışmasında, mimarların çözülmesi gereken tasarım sorununu oluşturan unsurlara (mekânsal konfigürasyonlar) ilişkin açık (explicit) bilgiye sahip olmalarının, tasarım problemlerini çözmelerine örtük bilgiye kıyasla daha olumlu katkısı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, tasarımcının sorunu oluşturan unsurları daha iyi anlamasıyla açıklanabilir. Al-Sayed, ve ark. (2010) çalışmasına katılan mimarlar yeni başlayan seviyesindeki öğrenciler olmadıkları için, mimarlığın temel bilgilerini ve mesleki becerileri kazanmış oldukları varsayılabilir. Literatürden biliyoruz ki acemiler ve ustaların problemleri çözme yöntemleri farklıdır (Chi ve ark., 1981). Çalışmamız, acemi öğrencilerin problem çözme yeteneklerinin hangi pedagojik yaklaşımlarla geliştirilebileceğine odaklanmıştır, bu nedenle Al-Sayed ve ekibinin (2010) çalışmasıyla da doğrudan kıyaslanamaz.

Tasarım eğitimi literatürü neden deney grubundaki öğrencilerin kontrol grubuna kıyasla daha fazlasının yeni öğrendikleri bilgiyi tasarım önerilerine aktarmaya çalıştığını açıklamada yetersiz kaldığı için daha temel bir kuram olan bilgiyi işleme kuramına (Atkinson ve Shiffrin, 1968; Baddeley ve Hitch, 1974) ve onun öğretim tasarımındaki kullanımına (Sweller ve ark., 1998) başvurulabilir. Çalışmamızda deney grubu, bilgi işleme teorisini temel alan ve Rosenshine prensiplerine göre hazırlanan bir eğitim almıştır. Buna göre öğrencilere aktarılacak bilgiler, kendi içinde tutarlı bir bilgi şeması oluşturabilecek şekilde düzenlenmiştir. Bilgiler,

öğrencinin çalışma belleği kapasitesini aşmayacak miktarda, kolayca anlaşılabilir şekilde açık ve net bir şekilde sunulmuş, öğrencinin anlatılanları geri çağırarak kullanabilmesi için kısa süreli bir hatırlatma sınavı yapılmıştır. Sınav sonrasında aynı sunumun tekrarlanması, sınav sırasında öğrencinin hatırlayamadığı konulara sunum sırasında odaklanmasını sağlamıştır. Böylelikle öğrenci aktarılan bilgileri uzun dönem belleğinde depolayarak (the information store principle - Sweller ve ark., 1998) konuyla ilgili problem çözerken kullanabileceği hazır bir bilgi şeması oluşturmuştur.

Kontrol grubuna mimarlık eğitiminde sık başvurulan, öğrencinin (örneğin kütüphanede) kendi araştırmasını yaparak bilgiye ulaşması yaklaşımını modelleyen bir yaklaşım uygulanmıştır. Buna göre öğrenciler araştırma yaptığında, aradıkları konu veya kavramla ilgili kendi anlayışlarını oluşturmak için bilgi arama, değerlendirme ve sentezleme süreçlerinde aktif olarak yer alırlar (Kuhlthau, 1991; Kuhlthau, ve ark., 2008). Kontrol grubu geniş bir bilgi uzayından tasarım problemine uygun bilgileri seçmek ve kendi bilgi şemasını oluşturmak için kendi başına (yapılandırmacı yaklaşım gereği) çaba harcamıştır. Yeni başlayan seviyesinde bir öğrenciye gereken bilgilerin sistematik olarak aktarılmaması ve kendi çözümü için arama yapması durumunda, öğrencinin çalışma belleği aşırı yüklenir, zihinsel yorgunluk yaşar ve sonuç olarak problemin çözümünde başarısız olabilir, hatta bu süreçten herhangi bir kazanım da elde edemeyebilir (Sweller ve ark., 1982; Sweller ve ark., 1998; Sweller ve ark., 2019).

Bir problem çözmeye başladığımızda öncelikle uzun dönem belleğimizde depolanmış olan bilgilere başvururuz, eğer kullanılabilir bilgi yoksa diğer bilgi ağlarından transfer etmeye çalışırız veya rastgelelikle yaratım ilkesi (the randomness as genesis principle- Sweller ve ark., 1998) gereği deneme-yanılma yöntemiyle çözüm getirmeye çalışırız. Bu süreç çalışma belleğini kapasitesinin ötesinde yükler ve öğrenci soruna çözüm bulmaya çalışırken asıl öğrenmesi gerekenleri yeterince verimli bir şekilde öğrenemez. Bir problemi çözmek için dört unsura ihtiyaç duyulur. Bunlar alana özgü; (i) kristalize bilgi; (ii) uygulama/yöntem bilgisi; (iii) problem çözme stratejileri ve (iv) beceridir (Sweller, 1988). Bu çalışmada deney grubuna doğrudan öğretim yöntemiyle öncelikle öğrenmeleri beklenen, istenen ve alana özgü bilgi olan 'mimarlıkta insan ölçeği' konusuyla ilgili bilgi şeması kristalize bilgi şeklinde aktarılmıştır. Elde edilen bulgulara göre katılımcılar aktarılan kristalize bilgiyi hemen uygulamaya çalışmışlardır.

Bulgulara göre, tasarım önerilerinin kalite puanlarında (UCB3, UCB7, Yar1, Yar2, Esn1, Sir1, Sir2 ve Genel kalite puanları) gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemektedir (H1 reddedilmiştir). Bu çalışmada eğitim sırasında uygulama ve tasarım kalitesine yönelik bilgi (bilinçli olarak) verilmemiştir. Çalışmanın eğitim kısmında aktarılan bilgi temel kavramlarla ilgilidir. Yani aktarılan temel kavramların hangi bağlamlarda nasıl uygulanabileceği konusunda hiçbir bilgi verilmemiştir. Bilgiyi işleme kuramına göre, bağlam, uygulama



örnekleri ve beceriler de kristalize bilgi gibi uzun dönem bellekte depolanır. Ancak, acemi öğrencilere sadece kristalize bilgi aktarıldığında, bilgi uzun dönem bellekte depolansa bile, öğrencinin bu bilgiyi uygulama bilgisine henüz sahip olmaması nedeniyle, sadece kristalize bilgi aktarımı öğrencilerin problemlere başarılı çözümler sunması için yeterli olmayabilir. Destek derslerinde aktarılan bilgilerin (verimli aktarılmış olsa bile) sıklıkla projeye transfer edilemiyor olma sebeplerinden biri aktarılan bilgilerin nerede ve nasıl kullanılacağına tam olarak anlaşılmamasından kaynaklanabilir. Uygulama/yöntem bilgisi, problem çözme stratejileri ve beceriler bir problemi çözmek için gereken diğer unsurlardır (Sweller, 1988). Aktarılan temel bilginin uygulamaya hangi bağlamlar dahilinde ve nasıl kullanılacağı da doğrudan, açık ve net olarak anlatılmalı ve uygulanmış örnekler irdelenerek (worked example effect – Sweller, 2006) öğrencinin problemi ve çözümlerini tam olarak anlaması sağlanmalıdır. Çalışılmış örnek etkisi, öğrencinin sorunu anlaması ve çözüme giden yolları sorunun ve çözümün bağlamına da yoğunlaşarak bir alan uzmanının yönlendirmesiyle çalışmasıdır. Bu yöntem beceriye dayalı bilginin aktarılmasında etkili bir yöntem olabilir. Buna göre mimari tasarıma özgü uygulama bilgisi ve problem çözme stratejileri de doğrudan öğretim teknikleriyle aktarılabilir ve öğrencinin bu bilgileri stüdyoda çok defa tekrarlayarak otomatize etmesi sağlanabilir. Çok kere tekrar edilerek otomatize edilmiş bilgi ve beceriler çalışma belleği üzerinde yük oluşturmaz (Sweller, ve ark, 1998). Böylelikle çalışma belleği beceri edinmeye değil sorunu çözmeye odaklanabilir.

## 5. Sonuç

Bu araştırmada, mimarlıkta insan ölçeği kavramının yeni başlayan seviyesindeki öğrencilere öğretiminde doğrudan öğretim ve yapılandırmacı yaklaşıma dayalı bilgi arama süreci yöntemleri kıyaslanmıştır. Bu yöntemlerin, öğrenci sayısı ve bilgiyi tasarıma dönüştürme becerisi bakımından etkinliği, kontrol gruplu son test deney deseniyle test edilmiştir. Sonuçlar, bilgi arama sürecini deneyimleyen kontrol grubuna kıyasla, doğrudan öğretim alan deney grubundaki daha fazla sayıda öğrencinin edindikleri bilgileri tasarım önerilerinde kullanma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, doğrudan öğretimin, alanyazındaki deneysel veriye dayanmayan yaygın kanının aksine, mimarlık eğitiminde etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Ancak tasarım önerileri kalite açısından değerlendirildiğinde, gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu sonuç öğrencilere verilen eğitim içeriğinin kaliteye odaklanmamış olmasından, bağlam içermeyen temel bilgilerden ibaret olmasından ve öğrencilerin henüz mimari tasarım sorunlarını çözmedeki deneyimsizliğinden kaynaklanmış olabilir. Sorun çözmedeki deneyimsizlik, öğrencinin uzun dönem hafızasında sorun çözme yöntemleri ve uygulama bilgisinin eksikliğine ek olarak, bağlam dahilinde başarılı bir çözümle başarısız bir çözüm arasındaki farkı ayırt edebilecek bilgisi olmadığı anlamına da gelir. Başarılı bir çözümle başarısız çözüm arasındaki farkı ayırt etmeye dair bilgi, çalışılmış örnek etkisine dayanarak çok

miktarda başarılı/başarısız çözümün, neden başarılı/başarısız olduklarının da irdelenmesiyle öğrenciye kazandırılabilir. Öğrenci, mimari tasarım sorunu çözme eylemi için gereken becerileri otomatikleştirene kadar bir uzman gözetiminde aynı veya benzer sorunun farklı bağlamlardaki çözümüne dair çok sayıda uygulama yapılabilir. Bu yöntemin ne derece verimli olacağı ayrıca deneysel çalışmalarla araştırılmalıdır.

Mimarlık eğitimi alanyazınında yapılandırmacı yaklaşım üzerine üretilmiş ve çoğu uygulanmış bir stüdyo deneyiminin aktarıldığı vaka çalışmaları çoğunluktadır. Vaka çalışmaları bir alandaki olası değişkenleri keşfetmek ve değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri gözlemlemek içindir. Ancak vaka çalışmalarından yüksek kaliteli ve genellenebilir bilgi üretilmez. İki veya daha çok yöntemi birbiriyle kıyaslamak ve yüksek kaliteli genellenebilir bilgi üretebilmek için kontrol gruplu çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışma, doğrudan öğretim yönteminin, bilgi arama sürecine dayalı yaklaşımdan daha etkili olduğunu göstererek alanyazında kontrol gruplu deneysel çalışmalara odaklanılmasına ihtiyaç olduğuna da dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, deneyde odaklanılan yöntem ve koşullarla sınırlıdır. Mekânsal deneyimle ilgili bazı konular doğrudan öğretime uygun olmayabilir. Hangi konuların hangi öğretim yöntemiyle aktarılmasının daha verimli olacağını belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Çalışmada bilgilerin kalıcılığı konusuna odaklanılmamıştır. Benzer bir araştırma, katılımcıların doğrudan öğretim yöntemiyle kazandıkları bilgilerin hangi durumlarda daha kalıcı olacağını inceleyebilir. Sonuçlar, benzer bir deneyin daha geniş bir öğrenci grubuyla, farklı değişkenlere de odaklanarak ve medya destekli bir kurgu içinde de tekrarlanması gerektiğini göstermektedir.

## Teşekkürler

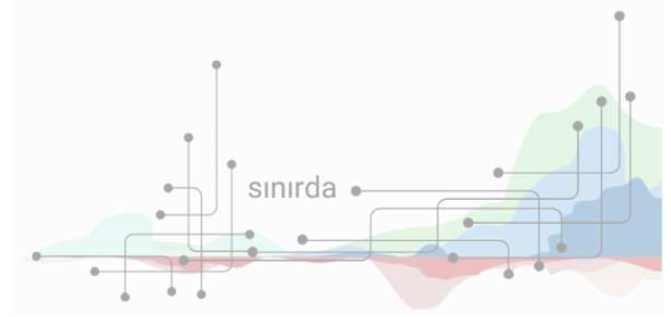
Bu bildiri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bilgisayar Ortamında Mimarlık (BOM) Doktora Programı'nda tez çalışması olarak yürütülen "Sanal Gerçeklik Ortamında Uzaktan Mimarlık Eğitimi Süreçlerinin Pedagojik Dinamikler Bağlamında İncelenmesi" başlıklı doktora tez çalışmasına dayanmaktadır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine değerli katkılarından dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Togan Tong'a teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Al-Sayed, K., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2010). Discursive design thinking: The role of explicit knowledge in creative architectural design reasoning. *AI EDAM*, 24(2), 211-230.
- Andjomshoaa, A., Islami, S. G., & Mokhtabad-Amrei, S. M. (2011). Application of constructivist educational theory in providing tacit knowledge and pedagogical efficacy in architectural design education: A case study of an architecture school in Iran. *Life Science Journal*, 8(1), 213-233.

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 2, pp. 89-195). Academic press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* Vol. 8 (pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Bednar, A. K., Cunningham, D., Duffy, T. M., & Perry, J. D. (2013). Theory into practice: How do we link? In *Constructivism and the technology of instruction* (pp. 17-34). Routledge.
- Cáceres, C. H. (2017). *Re-Educating The Reflective Practitioner: A Critique of Donald Schön's Reflective Practice and Design Education For Engineering*.
- Chi, M. T., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 121-152.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, 24(1), 87-114.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4-58.
- Hulme, C., Roodenrys, S., Brown, G., & Mercer, R. (1995). The role of long-term memory mechanisms in memory span. *British Journal of Psychology*, 86(4), 527-536.
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?. *Educational technology research and development*, 39(3), 5-14.
- de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., ... & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence—The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 100536.
- Kuhlthau, C. C. (1991). Inside the search process: Information seeking from the user's perspective. *Journal of the American society for information science*, 42(5), 361-371.
- Kuhlthau, C. C., Heinström, J., & Todd, R. J. (2008). The 'information search process' revisited: Is the model still useful. *Information research*, 13(4), 13-4.
- Kim, H. Y. (2017). Statistical notes for clinical researchers: Chi-squared test and Fisher's exact test. *Restorative dentistry & endodontics*, 42(2), 152.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75–86.
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving schools*, 19(3), 267-277.
- Landis, J. R. ve Koch, G. G. (1977) "The measurement of observer agreement for categorical data" , *Biometrics*. Cilt. 33, say. 159-174
- Miller, G. A. (1994). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 101(2), 343–352. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.2.343>
- Phillips, D. C. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational researcher*, 24(7), 5-12.

- Piaget, J., & Cook, M. (1952). The origins of intelligence in children (Vol. 8, No. 5, pp. 18-1952). New York: International Universities Press.
- Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in cognitive sciences*, 15(1), 20-27.
- Rosenshine, B. (2008). Five meanings of direct instruction. Center on Innovation & Improvement, Lincoln, 1-10.
- Sawyer, R. K. (2017). Teaching creativity in art and design studio classes: A systematic literature review. *Educational research re-view*, 22, 99-113.
- Sawyer, R. K. (2022). Teaching creative thinking: how design professors externalize their creative thinking in studio classroom talk. *Mind, Culture, and Activity*, 29(1), 21-42.
- Schön, D. A. (1987). *Educating the reflective practitioner*. Jossey-Bass Publishers.
- Service, E. (1998). The effect of word length on immediate serial recall depends on phonological complexity, not articulatory duration. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 51(2), 283-304.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- Sweller, J., Mawer, R. F., & Howe, W. (1982). Consequences of history-cued and means-end strategies in problem solving. *The American Journal of Psychology*, 455-483.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292.
- Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Webster, H. (2008). Architectural education after Schön: Cracks, blurs, boundaries and beyond. *Journal for Education in the Built Environment*, 3(2), 63-74.



## OTURUM 3 |

Tasarımda Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti, Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon

**Oturum Başkanı**  
**Prof. Dr. Neşe ÇAKICI ALP**  
**Doç. Dr. Sema ALAÇAM**

# Mimari Temsilin Üretiminde Makine Öğrenimi ve Yeni Yaklaşımlar Üzerine Bir Değerlendirme

Nazlıcan Birinci Ertürk<sup>1</sup> ; Serkan Palabiyik<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi; <sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi  
<sup>1</sup>birincinazican@gmail.com; <sup>2</sup>serkan@balikesir.edu.tr

## Özet

*Hesaplamalı tasarım kuramının geliştirilmesiyle birlikte tasarım alanında kural tabanlı sistemler kullanılmaya başlanmış ve insan-bilgisayar etkileşiminin ön planda olduğu yeni bir mimari temsil yaratma ortamı doğmuştur. İnsan merkezli tasarım anlayışının en temel düzeyde bir makine olan bilgisayarın yönettiği bir tasarım anlayışına dönüştüğü bu dönemde yapay zekâ teknolojisi bu karşılıklı üretim sürecini hızla değiştirmiştir. Her iki disiplinin de mimari temsilin tanımlanması ve üretilmesi için başvurulabilecek ve tasarım sürecini özgün ve pratik hale getirebilecek teknolojiler olarak görülebileceği düşünülmektedir. Özellikle son 10 yıldır, yapay zekânın bir ürünü olan makine öğrenimi, yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirildiği bu süreci yönetmektedir. Yapay zeka destekli üretken tasarım araçlarının keşfi sayesinde birçok mimar kısmen de olsa inşa problemlerinin dışında kalarak dijital ortamda gelişen görece özerk bir mimarlık pratiği içinde yer almış, tasarım kavramı, tasarım araçları ve tasarımcı kimliği de dönüşmeye başlamıştır. Günümüzde halen artan bir ivmeyle mimarlıkta tasarım süreci ve mimari temsilin üretim biçimleri değişmekte, insan ürünü yaratıcı tasarım yöntemleri yerini yapay zeka ürünü dijital tasarım araçlarına bırakmaktadır. Giderek hızlanan, sonuç ürüne değil sürece odaklanan, bu yönüyle süreci kolaylaştıran, ancak öte yandan sonuç ürünle alakalı özgünlük, orjinallik, yenilik ve tekrar edilebilirlik gibi pek çok parametre bakımından eleştirel bir tasarım pratiği gelişmiştir. Bu çalışmada, mimari tasarım sürecinin ve mimari temsilin üretim biçiminin değişimini ortaya koymak, mimarlık alanında sağlayabileceği avantajlar ve kullanımına yönelik potansiyellere dikkat çekmek, meslek disiplini çerçevesinde konuya ilişkin bir tartışma ortamı yaratmak amaçlanmıştır. Mimari temsilin üretiminde makine öğrenimi araçlarından yararlanılan yeni yaklaşımlar ve mimarlık pratiği üzerindeki önemli etkilerini gündeme getirmek istenmiştir.*

*Bu doğrultuda, mimarlık alanında tasarım süreci ve mimari temsilin üretim araçlarının yaşadığı radikal ve hızlı dönüşümü konu edinen araştırmalara yönelik bir bibliyometrik analiz gerçekleştirilmiştir. İncelenen araştırmalar ışığında, tasarım kavramının, tasarım sürecinin ve tasarım ürününün değişimi yorumlanmıştır. Böylelikle, mimarlık literatüründe alana olan ilgiye dikkat çekmek, farklı ele alınış biçimlerini sorgulamak, yapay zeka odaklı üretken tasarım araçlarının mimarlık pratiğine adaptasyonu ve etkinliğine karşı tutumlar üzerine düşünme fırsatı sunmak hedeflenmektedir. Dijital tasarım kavramının mimarlık kuramı çerçevesinde incelenmesi, veri tabanlı tasarımla birlikte tasarım parametrelerinin kavramsal değişimi ve mimarlık literatüründe yeni tasarım yaklaşımlarına karşı tutumlar değerlendirilmiştir. Böyle bir bakış açısının, pratikte yaşanan bu hızlı dönüşümü kuramsallaştırabileceği düşünülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** makine öğrenmesi, hesaplamalı tasarım, mimari temsil

# An Evaluation on Machine Learning and New Approaches in the Production of Architectural Representation

Nazlıcan Birinci Ertürk <sup>1</sup> ; Serkan Palabiyik <sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Balikesir University; <sup>2</sup>Balikesir University

<sup>1</sup>birincinazican@gmail.com; <sup>2</sup>serkan@balikesir.edu.tr

## Abstract

*With the development of computational design theory, rule-based systems began to be used in the field of design and a new environment for creating architectural representation in which human-computer interaction is at the forefront was born. In this period when the human-centered design approach has transformed into a design approach managed by the computer, which is a machine at the most basic level, artificial intelligence technology has rapidly changed this mutual production process. It is thought that both disciplines can be seen as technologies that can be used to define and produce architectural representation and make the design process original and practical. Especially in the last 10 years, machine learning, a product of artificial intelligence, has been managing this process in which new design approaches are developed. Thanks to the discovery of artificial intelligence-supported productive design tools, many architects have, at least partially, stayed out of construction problems and taken part in a relatively autonomous architectural practice that develops in the digital environment, and the concept of design, design tools and designer identity have begun to transform. Today, the design process in architecture and the production methods of architectural representation are changing with increasing momentum, and human-made creative design methods are being replaced by digital design tools produced by artificial intelligence. An increasingly accelerating design practice has developed, focusing on the process rather than the final product, facilitating the process in this respect, but on the other hand, a critical design practice has developed in terms of many parameters related to the final product, such as originality, originality, innovation and repeatability. In this study, it is aimed to reveal the change in the architectural design process and the production method of architectural representation, to draw attention to the advantages it can provide in the field of architecture and the potential for its use, and to create an environment for discussion on the subject within the framework of the professional discipline. It is intended to bring to the agenda new approaches that use machine learning tools in the production of architectural representation and their important effects on architectural practice. In this regard, a bibliometric analysis was carried out on research on the radical and rapid transformation of the design process and the production tools of architectural representation in the field of architecture. In the light of the research examined, the change of the design concept, design process and design product was interpreted. Thus, it is aimed to draw attention to the interest in the field in the architectural literature, to question different ways of addressing it, and to provide the opportunity to think about attitudes towards the adaptation and effectiveness of artificial intelligence-oriented productive design tools into architectural practice. Examining the concept of digital design within the framework of architectural theory, conceptual change of design parameters with data-based design, and attitudes towards new design approaches in the architectural literature were evaluated. It is thought that such a perspective can theorize this rapid transformation in practice.*

**Keywords:** machine learning, computational design, architectural representation

## 1. Giriş

1960lı yıllarda geliştirilmeye başlanan bilgisayar destekli teknolojiler, tasarım sürecini insan-makine arasında diyaloga dönüştürecek bir mimari pratik arayışını gündeme getirmiştir. Geliştirilen CAD programlarıyla bilgisayarın tasarım sürecinin parçası olduğu bir sayısal ortam yaratılmıştır. Bu tür yazılımların sunduğu imkanlar, hızlı gelişen potansiyel hesaplama gücüyle birleştiğinde, mimari alanda bir tartışma başlamış ve bilgisayar destekli tasarımın gündeme geldiği tartışma ortamı, mimarlık kuramı içerisinde insan merkezli tasarıma odaklanan mimarlık geleneğinin eleştirisine yol açmıştır. Bu süreçte, Christopher Alexander hesaplamalı tasarımın temel ilkelerini ortaya koymuş, form tasarımı sorununu ele almak için bilgisayarların neden ve nasıl kullanılması gerektiğini teorileştirmiştir (Chaillou, 2019). Hesaplamalı tasarım kuramı, mimari tasarımın sayısal ortamdaki temsilini sunmak üzere başvurulan analiz, modelleme ve tasarım yöntemlerini içermektedir (Palabiyik ve Demircan, 2020). Hesaplamalı tasarım kuramının geliştirilmesiyle birlikte tasarım alanında kural tabanlı sistemler kullanılmaya başlanmış ve insan-bilgisayar etkileşiminin ön planda olduğu yeni bir mimari temsil yaratma ortamı doğmuştur. İnsan merkezli tasarım anlayışının en temel düzeyde bir makine olan bilgisayarın yönettiği bir tasarım anlayışına dönüştüğü bu dönemde yapay zekâ teknolojisi bu karşılıklı üretim sürecini hızla değiştirmiştir.

Yapay zeka teknolojisi, ilk kez 1950li yıllarda insan gibi düşünmek ve eylemleri taklit etme üzere programlanmış makineler icat etme fikri ile ortaya çıkmış (Frankenfield, 2023), bilgisayara daima yeni veri öğretmek ya da veriyi pekiştirmek düşüncesiyle yazılan algoritmalar sayesinde makine öğrenimi kavramı gündeme gelmiştir. 1960'lı yıllarda makine öğrenimi sayesinde bilgisayarın öğrenebilen ve öğrenerek üretebilen bir organizma gibi kullanıldığı disiplinler arası araştırmalar gündemdeyken, hesaplamalı tasarım teorisi ile birlikte tasarım kodlanabilir ve türetilebilir hale gelmiştir (Heidari, 2018). Dolayısıyla, makine öğrenimi ve tasarım alanlarını bir araya getiren sürecin, hesaplamalı tasarım kuramı ile başladığı söylenilebilir.

Hesaplamalı tasarım kuramı ile yapay zeka teknolojisinin aynı dönemin araştırma alanları olarak gelişmeye başlaması tesadüf değildir. Her iki disiplinin de mimari temsilin tanımlanması ve üretilmesi için başvurulabilecek ve tasarım sürecini özgün ve pratik hale getirebilecek teknolojiler olarak görülebileceği düşünülmektedir. Mimari temsilin dijital temsile dönüştürülmesi, yeni mimari üretimlerin oluşturulabilmesi ve bu süreçte iki disiplinden de yararlanılması üzerine odaklanan pek çok araştırma bulunmaktadır. Araştırma süreçlerinde elde edilmiş teorik bilginin pratik bilgiye aktarılmaya çalışıldığı deneysel çalışmalar, teknolojik devrimin ivmesi ve tasarım alanındaki gelişmelere bağlı olarak ancak 1990'lı yıllardan sonra anlamlı sonuçlar verebilmiştir (Heidari, 2018).



Özellikle son 10 yıldır, yapay zekânın bir ürünü olan makine öğrenimi, yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirildiği bu süreci yönetmektedir. Yapay zeka destekli üretken tasarım araçlarının keşfi sayesinde birçok mimar kısmen de olsa inşa problemlerinin dışında kalarak dijital ortamda gelişen görece özerk bir mimarlık pratiği içinde yer almış, tasarım\_kavramı, tasarım araçları ve tasarımcı kimliği de dönüşmeye başlamıştır. Günümüzde halen artan bir ivmeyle mimarlıkta tasarım süreci ve mimari temsilin üretim biçimleri değişmekte, insan ürünü yaratıcı tasarım yöntemleri yerini yapay zeka ürünü dijital tasarım araçlarına bırakmaktadır. İnsana ihtiyaç duymaksızın, yapılandırılmamış bir veri tabanı ile dahi mimari üretim yapılabilen bu teknoloji, tasarımcının/mimarın rolünü tartışılır hale getirmekte ancak öte yandan yeni uzmanlık alanlarının da doğabileceğini göstermektedir.

### 1.1. Araştırmanın Amacı ve Yöntemi

Bu çalışmada, mimari tasarım sürecinin ve mimari temsilin üretim biçiminin değişimini ortaya koymak, mimarlık alanında sağlayabileceği avantajlar ve kullanımına yönelik potansiyellere dikkat çekmek, meslek disiplini çerçevesinde konuya ilişkin bir tartışma ortamı yaratmak amaçlanmaktadır. Mimarların düşüncelerini somutlaştırdıkları pasif bir araç olmaktan çok, onları şekillendirici aktif bir araç olarak yorumlanan mimari temsilin üretiminde makine öğrenimi araçlarından yararlanılan yeni yaklaşımlar ve mimarlık pratiği üzerindeki önemli etkilerini gündeme getirmek istenmiştir. Mimari pratikte yaşanan kavramsal ve anlamsal değişimin nasıl ve hangi etkenlerle gerçekleştiği, bu değişimin mimari temsilin üretimi noktasında nasıl sonuçlar doğurduğu ve hangi süreçleri tetiklediği ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

İki literatürü bir araya getiren araştırma yönteminin önemli bir kısmını literatür araştırması oluşturmaktadır. Günümüzde tasarım alanında yaşanan teknolojik evrim<sup>1</sup>, dijital tasarım yaklaşımlarını beraberinde getirmiştir. Yaygın olan dijital tasarım pratiğini temelde, hesaplamalı tasarım ve makine öğrenimi yaklaşımlarının birlikteliği oluşturmaktadır. Bu kapsamda, bilgisayar destekli tasarım ve veriye dayalı tasarım disiplinleri, hesaplamalı tasarım ve makine öğrenimi ara kesitinde gerçekleştirilen bu araştırmanın kuramsal çerçevesini oluşturmaktadır.

Akabinde mimarlık alanında tasarım süreci ve mimari temsilin üretim araçlarının yaşadığı radikal ve hızlı dönüşümü konu edinen araştırmalara yönelik bir bibliyometrik analiz gerçekleştirilmiştir. İncelenen

<sup>1</sup> Chaillou (2019)'ya göre, yapılı çevrenin ve insana özgü tüm mekansal kullanımların, insan vücudundan elde edilen temel ölçütler ve oranları esas alınarak standartlaşması gerektiği düşüncesiyle geliştirilen "modülerlik" (Modulor), tasarım süreçlerine bilgisayarın bir araç olarak dahil edildiği "hesaplamalı tasarım", yapı elemanlarının / parçalarının belirli algoritmalara dayalı olarak şekillendirildiği bir tasarım yöntemi olarak "parametrik tasarım" ve son olarak makinelere insansı özellikler vermek hedefiyle geliştirilen "yapay zeka", tasarım alanında teknolojik evrime geçişin dört adımındadır.

araştırmalar, tasarım kavramının, tasarım sürecinin ve tasarım ürününün değişimi üst başlıkları altında kategorize edilmiştir. Böylelikle, mimarlık literatüründe alana olan ilgiye dikkat çekmek, farklı ele alınış biçimlerini sorgulamak, yapay zeka odaklı üretken tasarım araçlarının mimarlık pratiğine adaptasyonu ve etkinliğine karşı tutumlar üzerine düşünme fırsatı sunmak hedeflenmektedir. Dijital tasarım kavramının mimarlık kuramı çerçevesinde incelenmesi, dijital tasarımla birlikte tasarım parametrelerinin kavramsal değişimi ve mimarlık literatüründe yeni tasarım yaklaşımlarına karşı tutumlar değerlendirilmiştir. Böyle bir bakış açısının, pratikte yaşanan bu hızlı dönüşümü kuramsallaştırabileceği düşünülmektedir.

## 2. Bilgisayar Destekli Teknolojiler ve Hesaplamalı Tasarım

Yapay zeka teknolojisinin henüz tasarım alanına entegre edilemediği 1960'lı yıllarda bilgisayar destekli teknolojiler geliştirilmektedir. 1959'da Profesör Patrick Hanratty, mühendislik ürünü parça tasarımına yönelik CAD (Bilgisayar Destekli Çizim) yazılımının ilk prototipi olan PRONTO'yu piyasaya sürmüştür. 1963 yılında Harvard Üniversitesi'nde çalışan Ivan Sutherland, doktora tezinde SketchPad adında bir program yazmıştır. Bu program ise, modern Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımının bir öncüsü olarak kabul edilmektedir (Alharthi, 2015). Bu tür yazılımların sunduğu imkanlar, hızlı gelişen potansiyel hesaplama gücüyle birleştiğinde, mimari alanda bir tartışma başlamış ve bilgisayar destekli tasarımın gündeme geldiği tartışma ortamına Christopher Alexander'ın katılmasıyla birlikte "hesaplamalı tasarım kuramı"nın temelleri atılmıştır. Alexander, form tasarımı sorununu ele almak için bilgisayarların neden ve nasıl kullanılması gerektiğini teorileştirmiştir (Chaillou, 2019).

Hesaplamalı tasarım kuramı, mimari tasarımın sayısal ortamdaki temsilini sunmak üzere başvuru ve analiz, modelleme ve tasarım yöntemlerini içermektedir (Palabiyik ve Demircan, 2020). Tasarımı belirli parametrelere bağlı olarak ve algoritmalar kullanarak gerçekleştiren hesaplamalı tasarım modelleri, mimari tasarım alanında başvuru analiz, modelleme ve tasarım yöntemlerindedir. Mimari tasarımın sayısal ortamdaki temsilini geometrik 'semboller' yerine geometrik 'ilişkiler' olarak sunmaktadırlar (Palabiyik ve Demircan, 2020). Hesaplamalı tasarım modelleri, insanın yaratıcı tasarım etkinliğini anlamak için çok ciddi potansiyeller barındırmakta, bilgisayarı kullanarak bir tasarım sürecinin anlaşılabilmesini ya da süreci matematiksel olarak modelleyebilmeyi sağlamaktadır (Koç, 2022). Karmaşık şekillerin çözülmesine izin vererek, tasarım maliyetlerini düşürmeye ve daha fazla tasarım yinelemesi (tekrar) oluşturmaya yardımcı olmaktadır (Chaillou, 2019).

1990'lı yıllarda mimari pratiği yapısal zorlukların ötesine taşıyan ve çeşitli algoritmalar kullanarak herhangi bir formu yapılaşdırma noktasında önemli bir sınırı aşan parametrik tasarımla<sup>2</sup> birlikte mimarlıkta yeni biçim ve kavramlar ortaya çıkmıştır. 2000'lerde David Rutten tarafından geliştirilen Grasshopper yazılımı ile birlikte ise üç boyutlu gerçekçi tasarımlar ve görüntüler üretilebilir hale gelmiştir (Chaillou, 2019; Manavis vd., 2022). Parametriklik, organik şekiller üzerinde daha fazla kontrol sağlama imkanını arttırmıştır. Geometrilerini sistematikleştirerek, tüm binalar inşa edilebilir elemanlara bölünebilir ve montaj sistemleri çözülebilir hale gelmiştir. Parametrik mimarinin dezavantajlarını iyileştirebilen yeni bir yaklaşım olan Çekişmeli Üretici Ağ (GAN) teknolojisinin 2014 yılında üretilmesiyle birlikte yapay zeka, belirli sayıda değişken ve kural için oluşturulmuş deterministik bir model tasarlamak yerine, bilgisayarın verilerden toplanan veya kullanıcı tarafından iletilen bilgilerden yeni parametreler oluşturmasına izin verir hale gelmiştir (Chaillou, 2014).

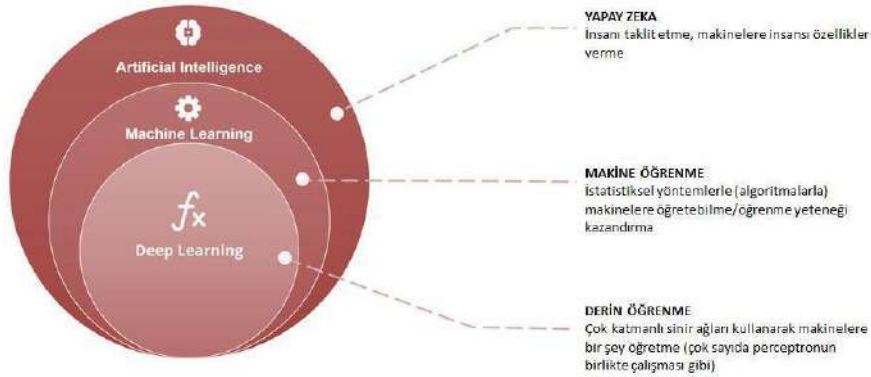
### 3. Veriye Dayalı Tasarım, Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi

Yapay zeka, eylemleri taklit ederek insan zekasının bir simülasyonunu programlayan makineler ve yazılımlar tarafından işlenebilen bir zeka türüdür (Frankenfield, 2023). Alan Turing'in 1950 yılında yayınladığı makale (Computing Machinery and Intelligence) ile gündeme gelen (Url-1) yapay zeka teknolojisi, data analysis (veri analizi), machine learning (makine öğrenmesi) ve deep learning (derin öğrenme)<sup>3</sup> alanlarını kapsayan bir bütündür (Şekil 1).

---

<sup>2</sup> Parametriklik, parçadan bütüne ilişkilerden bileşen-sistem ilişkilerine, sistemden sisteme ilişkilere ve sistem-alt sistem ilişkilerine kavramsal geçişi içermektedir (Schumacher, 2008).

<sup>3</sup> Temel makine öğrenimi modelleri, öğrenme sürecinde insan müdahalesine ihtiyaç duymaktadır. Derin öğrenme modeliyle bir algoritma, kendi sinir ağı aracılığıyla bir tahminin doğru olup olmadığını belirleyebilmekte ve hiçbir insan yardımına ihtiyaç duymamaktadır. Aralarındaki temel fark bundan ibarettir. Her ikisi de yapay zeka kategorisine girse de, insana en çok benzeyen ve yapay zekaya güç veren şeyin derin öğrenme olduğu bilinmektedir (Grieve, 2020).



Şekil 1. Yapay zeka, makine öğrenme ve derin öğrenme arasındaki ilişki (Url 1).

1952 yılında, birkaç matematiksel algoritma geliştirerek bilgisayara dama öğreten Arthur Samuel, "Makine öğrenimi" terimini ortaya atmıştır. Makine öğrenimi, analitik model oluşturmayı otomatikleştiren bir veri analizi yöntemidir. "Verileri ayrıştıran, bu verilerden öğrenen ve daha sonra bilinçli kararlar vermek için öğrendiklerini uygulayan algoritmalar içeren bir yapay zeka uygulamasıdır" (Grieve, 2022). Bir bilgisayarın veri üzerinden öğrenmesini ve kendini geliştirmesini sağlayan algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Şapçı ve Taşlı Pektaş, 2021). "Makine öğrenimi, toplanmış ve ön işleme yapılmış, analize hazır verileri, yani öğrenen makine için "deneyim" olan veri setlerini kullanarak, en doğru tahmini yapan veya sistemin performansını arttıran hesaplama yöntemleri olarak tanımlanabilir." (Mohri vd. 2018'den aktaran Emsen, 2022).

Frank Rosenblatt'ın 1957 yılında Cornell University'de yayınladığı Perceptron adlı makale ile birlikte günümüzde kullandığımız tüm yapay zeka ve makine öğrenme algoritmalarının temeli atılmıştır. Perceptron, Rosenblatt'ın yazdığı bir algoritma ve kendi fikrine sahip olma yeteneğine sahip ilk makinedir. Rosenblatt, insan zihnini kopyalamaya çalışmaktadır (Url-1). Görüntülerde örüntü aramak için geliştirilen ve temel örüntü tanımanın başlangıcı olarak kabul edilen bu makine, verilen datanın belirli bir sınıfa ait olup olmadığına karar vermektedir (Koç, 2022). 1969 yılında Minsky ve Papert'ın yayınladığı bir kitapla (An Introduction to Computational Geometry), Perceptrons adı verilen çok katmanlı perceptron fikri oraya atılmış ve Rosenblatt'ın algoritmasının (XOR algoritması) eksik olduğunu söylenmiştir. Bu gelişme yapay zekanın (AI) ölümü/kısmı olarak tarihe geçmiş, yaklaşık 20 yıl bu alanda bir gelişme kaydedilememiştir.

1990lı yıllarda dijital verilerin ve internet kullanımının artması ile birlikte, yapay zeka makine öğrenimi adıyla yeniden gündeme gelmiştir. 1980li yılların başlarında, yapay zeka araştırmaları algoritmalarla ziyade mantıksal bilgiye dayalı yaklaşımları kullanmaya odaklanırken, makine öğreniminde ise artık hedef yapay zekayı geliştirmek değil pratik sorunları çözmek ve hayatı kolaylaştırmaktır (Koç, 2022). Makine öğrenimi alanında yapılan bu araştırmalarla birlikte, elde edilen veriyi kullanma sürecinde, bir bilgisayar sisteminin deneyime bağlı olarak kendi kendine öğrenmeye ve gelişmeye devam etmesi sağlanmıştır. Bilgisayar veriyi ileriye götürüp geliştirirken hatalarına geri dönüp, kendi hatalarından ders çıkarmaya başlamakta, yani bilgisayar artık ileri besleme ve geri bildirim sayesinde deneyimlerinden öğrenmektedir. İnsanın algılayamayacağı yapıları algılamak için bilgisayarlar kullanılmaya başlanmıştır.<sup>4</sup>

#### 4. Mimari Tasarımda Hesaplamalı Tasarım ve Makine Öğreniminden Yararlanmak

Zhang (2017)'a göre, tasarım alanı ve yapay zeka alanını bir araya getirerek insan-makine işbirliğini başlatan gelişme, 1963 yılında Sutherland'ın ürettiği SketchPad programı olmuştur. Kullanıcı bilgisayarla etkileşimli bir tasarım sürecini yönetebilse de, üretilen tasarım ürünü oldukça kısıtlı ve temel düzeydedir. Hesaplamalı tasarım kuramının evrimsel sürecine paralel şekilde gelişim gösteren yapay zeka teknolojisinin tasarım alanına adaptasyonu ise ilk kez, Nicholas Negroponte ve Leon Groisser'in MIT'de kurduğu Architecture Machine Group (Arch Mac) (1967)'un, 1973'te geliştirdiği Urban 5 adlı araştırma projesiyle gerçekleşmiştir. Negroponte'nin hedefi, geleneksel insan-makine dinamiklerini değiştirerek tasarım sürecini diyaloga dönüştürecek bir mimari makine icat etmektir. Yaklaşımı, yapay zeka, sibernetik, konuşma teorisi, öğrenme teknolojileri, eskiz tanıma ve temsil konularındaki son tartışmalardan önemli ölçüde etkilenmiştir. Arch Mac laboratuvarı, tasarım sürecini ve aktörlerin rolünü sorgulayan mimari uygulamalar ve yapay zeka ile desteklenen akıllı arayüzler geliştirmek için mimarlık, mühendislik ve bilgi işlemi bir araya getirmiştir. Urban 5, laboratuvarın 1973'te geliştirdiği ilk araştırma projesidir. Negroponte, "Architecture Machine" adlı kitabında Urban 5'i kendi başına bir tasarım aracı olarak değil, "tasarım prosedürlerini izleyebilen bir sistem" olarak tanımlamıştır. Urban 5'in asıl hedefi, tasarım projesi hakkında bir makine ile görüşmenin arzu

<sup>4</sup> 1994 yılında Amerika'daki IBM Thomas J Watson Research Center'da Gerald Tesauro adlı bir araştırmacı, tavla oynamak için ML algoritmalarını kullanmıştır. TD-Gamman adlı oyunda algoritma, kendi kendine karşı 100.000 kez oynamış ve Dünya Şampiyonunu yenmiştir. Akabinde 1997 yılında IBM, Deep Blue adında bir bilgisayar üretmiştir. Deep Blue, tamamen machine learning/deep learning üzerine geliştirilmiş bir algoritmadır (Url-1) ve dünyanın bilinen en ünlü satranç şampiyonu Garry Kasparov'u 6 setlik maç sonunda yenmiştir. IBM, bu gelişmeden sonra IBM Watson adında bir yapay zeka merkezi kurmuştur. IBM Watson, 2011 yılında Amerika'da Jeopardy adıyla bilinen bilgi yarışmasına katılmış ve yapay zeka yarışmadaki 2 şampiyonu yenerek kendini bir kez daha ispat etmiştir.

edilirliğini ve uygulanabilirliğini incelemek, bilgisayarı kullanıcının kendi tasarım kriterlerinin ve biçimsel kararlarının oluşturulmasında nesnel bir araç olarak kullanmaktır (Pertigkiozoglou, 2017).

Urban 5, mimar-kullanıcı ile önce ona talimat vererek, sonra ondan öğrenerek ve sonunda onunla diyalog kurarak iletişim kurmuştur. Bu iletişim için grafik dili ve İngilizce yazınsal dil kullanmıştır. Grafik dili, mimari biçimlerin soyut temsilini yansıtmaktadır. Ekranda görünen metin (fiiller) ise İngilizce yazınsal dildir. Tasarımcıya farklı türde işlemlere izin veren farklı görüntüleme modları sunulmakta, yeni bağlamlar yaratma imkanı verilmektedir. Bu insan-makine ilişkisinin son aşamasında, tasarımcı ve bilgisayar arasında bir diyalog vardır. Atanan kriterler ile oluşturulan form arasında bir tutarsızlık olduğunda, bilgisayar mimarı bilgilendirmekte ve bir sonraki adım için “yoksay” ya da “biçimi değiştir” gibi komutlarla yönlendirmektedir. Urban 5, sınırlı seçeneklere sahip basit bir program olsa da, ele alınan noktalar temelde mevcut CAD programlarının kısıtlamalarını yansıtmaktadır. Bununla birlikte, Negroponte'nin ve Arch Mac keşiflerinin zamanlarının ilerisinde olduğu, insan-makine tasarımı etkileşimlerine dair bir içgörü sunarak “gerçek diyalog” önerdiği görülmektedir (Pertigkiozoglou, 2017).

1976 yılında Cambridge Üniversitesi'nde Profesör olan Cedric Price, “Generator” adında bir yazılım geliştirmiştir. Negroponte'nin çalışmalarını kabul eden Price, yapay zeka teknolojisini kullanarak kullanıcıların davranışlarına akıllıca yanıtlar veren, bunlara uyum sağlayan ve sürekli değişen otonom bina fikrini geliştirmiştir. Ancak Negroponte'nin çalışmasının ya da Price'ın prototiplerinde arayüz ve süreç prosedürü işliyor olsa da, gerçekçi yanıtlar alma noktasında zayıf kalmıştır (Chaillou, 2019).

Hesaplama tasarımı ve makine öğrenimini bir araya getiren bu tip deneysel çalışmalar, teknolojik devrimin ivmesi ve tasarım alanındaki gelişmelere bağlı olarak ancak 1990'lı yıllardan sonra anlamlı sonuçlar verebilmiştir (Heidari, 2018). Ancak bu yıllarda pek çok uzmanlık alanında yapay zeka ile ilgili önemli adımlar atılsa da tasarım alanındaki etkinliğine dair anlamlı sonuçlar veren çalışmalardan söz edilememektedir. Bu sebeple makine öğreniminin tasarım alanındaki kullanımı, diğer sektörlerle göre görece yeni bir araştırma alanıdır. Bu iki alanı bir araya getiren ve mimarlık disiplini içinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilen gelişme, 2014 yılında GAN adı verilen algoritmanın üretimi olmuştur. Makine öğrenimi prensibiyle çalışan algoritma, makine öğrenimi teknolojisini tasarım alanına entegrasyonunu sağlamış ve son 10 yılda bilgisayar ortamında veri tabanlı tasarım eğilimi oldukça hızlı bir sürece evrilmiştir.

Goodfellow ve arkadaşlarının 2014 yılındaki araştırmalarıyla ortaya çıkan GAN (Goodfellow, 2014), mimari çözümlerin tanınmasında ve üretilmesinde kullanılan bir evrimsel sinir ağı sistemidir (Şapçı ve Taşlı Pektaş,

2021). Herhangi bir makine öğrenimi modelinde olduğu gibi GAN da kendisine sunulan veriler arasından istatistiksel olarak anlamlı olguları öğrenmektedir. Min-max algoritmasına dayanarak geliştirilen bu algoritmanın mimarisi, iki evrimsel modelin karşıt çalışmasıyla öğrenmenin gerçekleştiği bir sistemdir (Şahin ve Talu, 2021). Üretici ve ayırmacı olmak üzere iki temel modelden oluşan GAN, görüntü oluşturma becerilerini iyileştirmek için iki model arasındaki bir geri bildirim döngüsünden yararlanmaktadır. Üretici model görüntüleri oluştururken, ayırmacı model ona çıktısının kalitesi hakkında bazı geri bildirimler sağlamaktadır. Üretici yanıt olarak daha da gerçekçi görüntüler üretmek için geri bildirimlere uyum sağlamaktadır. Bu geri bildirim döngüsü aracılığıyla GAN, gözlemlenen veriler arasında bulunan olguları hesaba katarak gerçekçi sentetik görüntüler oluşturma yeteneğini geliştirmektedir (Chaillou, 2019; Goodfellow, 2014). Sistem bu teknikle “deep fake” denilen gerçekçi görüntüler üretilmektedir.

Aynı yıl OpenAI tarafından, insan iletişimini simüle etmek için büyük miktarda veriyi kullanan GPT (Generative Pre-Trained Transformer / Üretken Eğitim Öncesi Dönüştürücü) ve GPT'nin kullanımına aracılık eden ChatGPT adındaki yapay zeka dil modeli geliştirilmiştir. ChatGPT ile çok miktarda metin verisi üzerinde eğitilen yapay zeka, belirli bir komut istemine dayalı olarak metinler üretebilmekte, kullanıcı ile doğrudan iletişim kurmaktadır. Hemen her alanda uzmanlık sergileyen ChatGPT, tasarım alanında da sıklıkla başvuru alan bir araç/aracı konumuna gelmiştir.

Özellikle son 10 yıldır, yapay zekânın bir ürünü olan makine öğrenimi, yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirildiği bu süreci yönetmektedir. Yapay zeka destekli üretken tasarım araçlarının keşfi sayesinde birçok mimar kısmen de olsa inşa problemlerinin dışında kalarak dijital ortamda gelişen görece özerk bir mimarlık pratiği içinde yer almış, tasarım kavramı, tasarım araçları ve tasarımcı kimliği de dönüşmeye başlamıştır.

## 5. Mimari Temsilin Üretiminde Yeni Yaklaşımlar

Mimarlıkta, özellikle 2000li yıllardan itibaren, sonuçtan (product) çok sürecin (process) tartışılmasını sağlayan bilgisayar teknolojileri (Güleç, 2017) ve yapay zekaya (AI) erişimin artmasıyla birlikte, tasarım yöntemlerinde hem kavramsal hem biçimsel bir değişim yaşanmıştır (Morel ve Bier, 2023). İnsan ürünü yaratıcı tasarım yöntemleri yerini yapay zeka ürünü dijital tasarım araçlarına bırakmaktadır. Bu alanlardaki teknolojik gelişmeler, mimarlıkta kavramsallaştırma, tasarlama, uygulama ve sunma yöntemlerini değiştirmiştir (Güleç, 2017). Son 10 yıldır mimarlık alanında GAN algoritmasının eğitilmesiyle, temelde aynı çalışma prensibini kullanan fakat farklı uygulamalar için geliştirilen metin tabanlı ya da görsel tabanlı alternatif algoritmalar türetilmektedir. Gerçekçi ve yüksek çözünürlüklü görsel üretimi noktasında birbirinden farklı mimari yapılara sahip yazılımlar geliştirilmektedir. İnsana ihtiyaç duymaksızın,

yapılandırılmamış bir veri tabanıya dahi mimari üretim yapılabilen bu araçlar, tasarımcının/mimarın rolünü tartışılır hale getirmekte ancak öte yandan yeni uzmanlık alanlarının da doğabileceğini göstermektedir.

Akademik literatür incelendiğinde, tasarım alanında oldukça yeni bir araştırma alanı olan makine öğrenimi ve GAN teknolojisinin henüz deneysel çalışmalara konu olduğu, algoritmanın tanınması ve potansiyellerinin keşfi üzerine temel düzeyde araştırmaların yürütülmekte olduğu görülmektedir. Yazılım alanına hakimiyetin artırılması ve teknolojinin tasarım alanına adaptasyonunun desteklenmesi hedefiyle yeni araçlar geliştirilmekte, yeni araştırma alanları yaratılmaktadır.

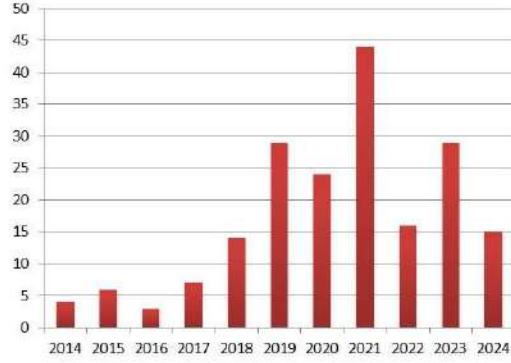
Çalışmanın bu bölümünde, değişen bu süreç mimarlık disiplini içerisinde yer alan akademik literatür üzerinden incelenmiştir. Dijital ortamda sentezlenerek üretilen ve bu çalışmada “mimari temsil” olarak tanımlanan tasarım ürünlerinin, yapay zeka destekli üretken tasarım araçlarıyla üretilmesi konusunu, tasarım kavramının, tasarım sürecinin ve tasarım ürününün değişimi üzerinden değerlendirebilmek için mevcut akademik literatür özelinde bir bibliyometrik analiz gerçekleştirilmiştir. Bibliyometrik analiz, konunun içeriğine ve niteliğine dair değil, genişliğine ve niceliğine dair yorum yapmayı sağlayan bir analiz yöntemi ve nümerik veriler üzerinden konuşmayı sağlayan bir literatür dökümü, kaynaklar arasındaki olası ilişkiselikleri analiz edip söz konusu alandaki evrim sürecinde yaşanan değişimleri eşitli analiz biçimleriyle ortaya koymayı hedefleyen bir çaba olarak açıklanabilir (Palabiyik ve Demircan, 2020). Bu anlamda sistematik literatür analizinden farklılaşmaktadır. Bibliyometrik analizin temel amacı alanın entelektüel gelişimini gözler önüne sermektir (Erdoğan ve Taşlı Pektaş, 2022).

Çalışmada iki aşamalı bir analiz yöntemi uygulanmıştır. Öncelikle son 10 yılda Web Of Science veri tabanında yayınlanan mevcut literatürü nümerik hale getirmek ve bibliyometrik verileri görselleştirmek amacıyla VOSviewer aracından yararlanılmıştır. VOSviewer, çoklu veri tabanlarından elde edilen bibliyometrik verileri kullanarak haritalama yapan bir yazılımdır (Demircan ve Palabiyik, 2023). Bu araç vasıtasıyla öncelikle araştırma alanındaki genel eğilimi görmek hedeflenmiştir. Bu doğrultuda genelden özele daralan bir çerçeve ile taramalar gerçekleştirilmiş, “mimarlık” alanı ile sınırlandırılan taramalarda son 10 yılda yayınlanan araştırmalar filtrelenmiştir.

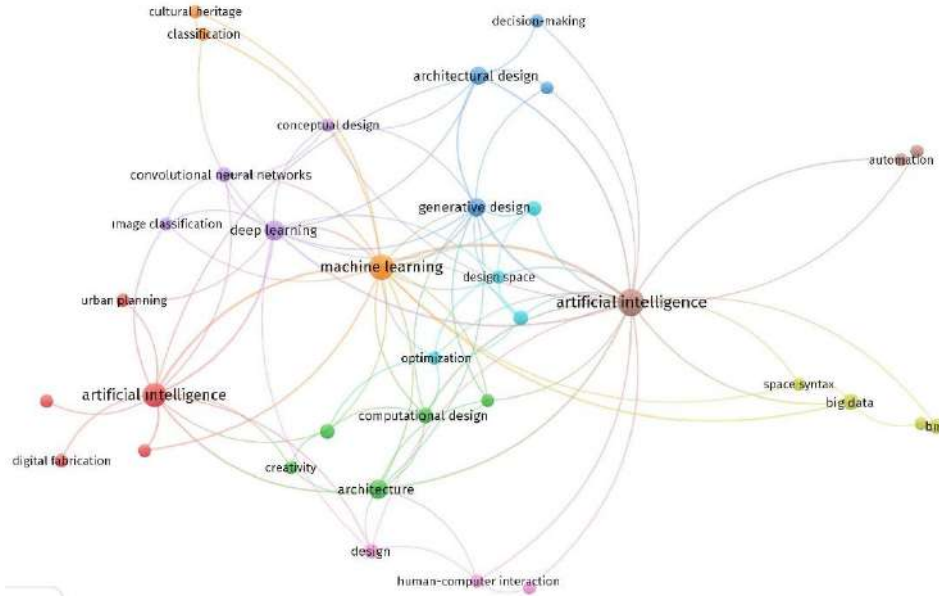
WOS üzerindeki ilk tarama, 26.05.2024 tarihinde, “architecture” (mimarlık) ve “artificial intelligence” (yapay zeka) anahtar kavramlarıyla gerçekleştirilmiş, çoğunlukla 2019-2023 yılları arasında yayınlandığı görülen 191 kaynağa ulaşılmıştır (**Şekil 2**). Kaynaklardaki en az iki anahtar kavramın ortak kullanımına yönelik bir analiz



gerçekleştirildiğinde, anahtar kavram uzamının büyük oranda makine öğrenimi ile ilişkilendiği görülmüştür (Şekil 3).

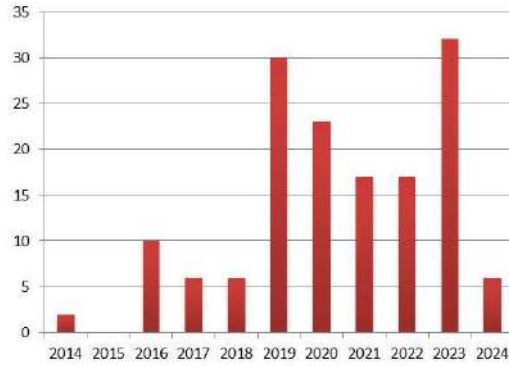


Şekil 2. Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı ("architecture" ve "artificial intelligence" taramasının sonuçları).

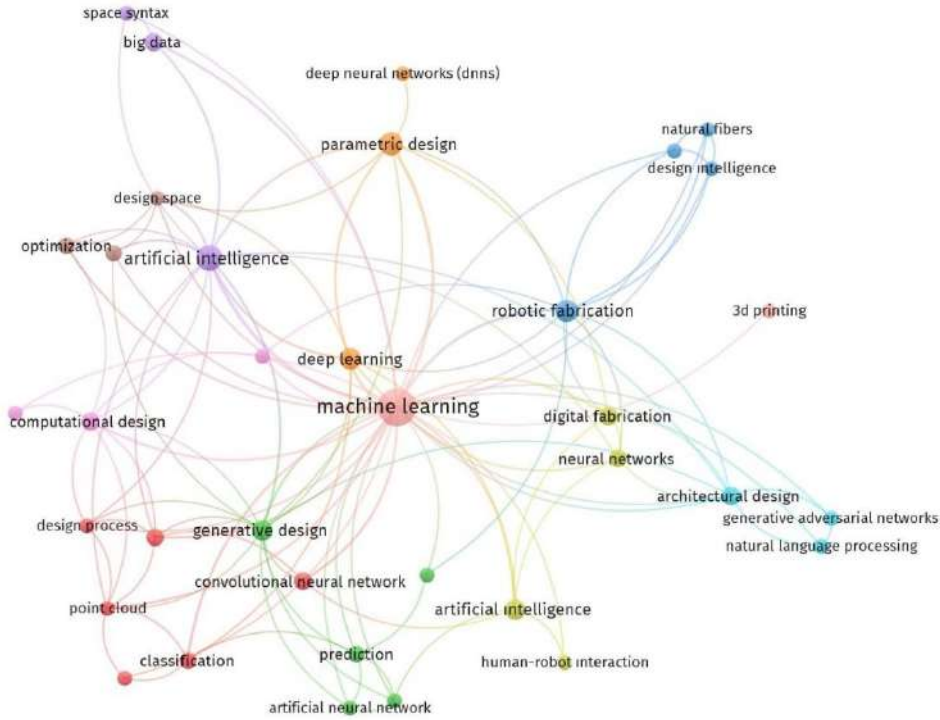


Şekil 3. Ortak kullanılan anahtar kavram haritası (VOSviewer'da oluşturulmuştur.).

WOS üzerindeki ikinci tarama, 26.05.2024 tarihinde, “architecture” (mimarlık) ve “machine learning” (makine öğrenimi) anahtar kavramlarıyla gerçekleştirilmiş, çoğunlukla 2019-2023 yılları arasında yayınlandığı görülen 146 kaynağa ulaşılmıştır (**Şekil 4**). Kaynaklardaki en az iki anahtar kavramın ortak kullanımına yönelik bir analiz gerçekleştirildiğinde, anahtar kavram uzamının büyük oranda hesaplamalı tasarım ile ilişkilendiği görülmüştür (**Şekil 5**).

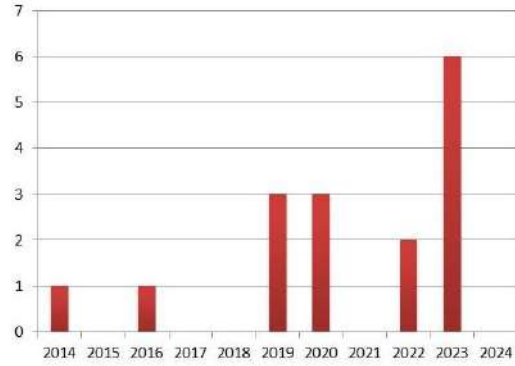


**Şekil 4.** Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı (“architecture” ve “machine learning” taramasının sonuçları).

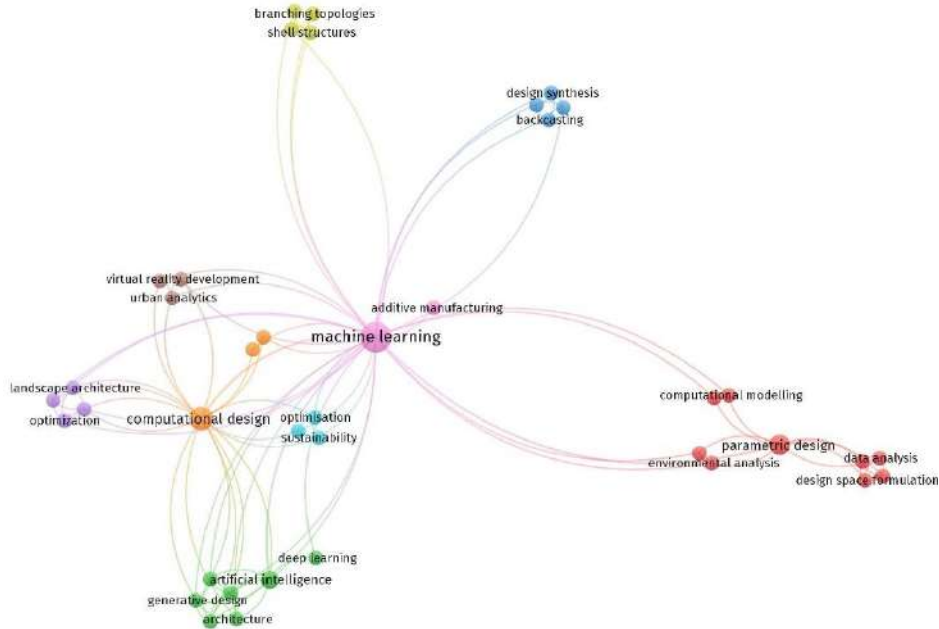


Şekil 5. Ortak kullanılan anahtar kavram haritası (VOSviewer’da oluşturulmuştur.).

WOS üzerindeki son tarama, 26.05.2024 tarihinde, “computational design” (hesaplamalı tasarım) ve “machine learning” (makine öğrenimi) anahtar kavramlarıyla gerçekleştirilmiş, çoğunlukla 2023 yılında yayınlandığı görülen 16 kaynağa ulaşılmıştır (Şekil 6). Kaynaklardaki en az iki anahtar kavramın ortak kullanımına yönelik bir analiz gerçekleştirildiğinde, anahtar kavram uzamının üç temel disiplinin de birbiri ile ilişkilendiği ve spesifik alan araştırmalarına eğilimlerin gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 6: Yayın sayılarının yıllara göre dağılımı ("computational design" ve "machine learning" taramasının sonuçları)



Şekil 7: Ortak kullanılan anahtar kavram haritası (VOSviewer'da oluşturulmuştur.)

WOS veritabanı ve VOSviewer aracından yararlanılarak gerçekleştirilen bibliyometrik analiz sonuçları, bu üç disiplinin ara kesitindeki araştırma konularına, alandaki genel eğilime, yıllara göre yayın sıklığına, anahtar kavramlar ve araştırma alanları arası ilişkilerin değişimine ışık tutmuştur. Yöntemin ikinci aşamasında alanla ilgili gelişmeleri sistematik bir şekilde sunabilmek adına bir içerik analizi gerçekleştirilmiştir. Burada analiz edilen kaynaklar, son 10 yılda dijital ortamda erişime açılmış tüm akademik literatürü ve gayri resmî yayınları kapsamaktadır. Tasarım sürecinin değişimi mimari temsilin dijital temsile dönüşümü üzerinden okunurken, özellikle literatürdeki tez çalışmalarında yararlanılmıştır. Sebebi, alana bütüncül bir bakış sunabiliyor olmaları ve farkı ele alış biçimlerini değerlendiriyor olmalarıdır. Erişilen çalışmalar buradakilerle sınırlı olmayıp, tasarım/tasarlama sürecindeki değişimi aktarabilmek üzere alandaki diğer araştırmalara atıfta bulunulmuştur. Daha dar bir kapsamla mimari temsilin üretimini yapay zeka ve hesaplamalı tasarım çerçevesinde değerlendiren diğer çalışmalar, yayın şekli bakımından çokça çeşitlilik gösterdiğinden, tüm bu kaynakların VOSviewer’da olduğu gibi tek seferde analizini yapacak ve ağ haritasını çıkarabilecek bir bibliyometrik analiz aracı bulunmamaktadır. Bu sebeple erişilebilen kaynaklar manuel olarak Excell formatında tasnif edilmiş, böylelikle hem yayınların niceliğine dair sayısal veri edinilmiş, hem de içerik analizinden yararlanarak tasarım kavramının, sürecinin ve ürünün değişimi değerlendirilmiştir.

### 5.1. Tasarım Kavramının Değişimi: Temsiliyet, Mimari Temsil, Dijital Temsil

Akın (1986), temsil kavramının iki açılımından söz etmektedir. Bunlardan ilkinde göre, *“temsil etmek bir terim, karakter, sembol ya da benzeri şeylerle ifade etmek ya da betimlemektir. İkincisine göre ise, temsil etmek akılda canlandırmak ya da tasvir etmek, sunmaktır.”* (Gürer ve Yücel, 2005). Çoğunlukla görsel temsillerin kullanıldığı mimarlık alanında temsil biçimi iki boyutlu grafiklerle, üç boyutlu nesnelere arasında gidip gelirken, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte dijital ortamda iki ve üç boyutlu deneyimler de temsil kapsamına dahil edilmiştir. Üç boyutlu mimari temsiller, iki boyutlu mimari temsillere göre temsil edilen olgu ya da nesne hakkında daha detaylı bilgi vermektedir. Deneyim ise detay bilgisini arttıran önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. *“Mimarlar mimari temsili kullanarak kendileriyle, meslektaşlarıyla, mühendislerle, işveren ve toplumla iletişime geçmektedir. Mimari temsilde meydana gelebilecek paradigmal değişimler mimarların algı yapılarını etkileyebilmekte, onların sahip olduğu dünya görüşünü değişikliğe uğratabilmektedir. Mimari temsil mimarlara erk ve meşruiyet kazandırırken, mimarlık problemlerini bir tasarım olgusu şeklinde ele almalarını sağlamıştır”* (Gürer ve Yücel, 2005).

Tasarlanan mimari ürün/nesne/yapıyı temsil eden 2b ve 3b materyaller –yani mimari temsiller- dijital ortamda üretilen sentetik (sentezlenerek üretilen) ürünlerdir. Bu yönüyle dijital temsil olarak da adlandırabileceğimiz bu mimari üretimler, insan tarafından makineye sunulan fakat makine tarafından

kontrol edilebilen bir süreçte gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar belirli ölçeklerde sınırlandırılmış bir veri havuzundan yararlanılsa da, makine kendisine sunulan parametrelerle eşleştirdiği bir mimari ürünü yani o parametrelerin temsil ettiği mimari ürünü yorumlayarak yeni bir varyasyonunu yani farklı bir mimari temsili üretebilmektedir (Morel ve Bier, 2023). Dolayısıyla bir aşamadan sonra insanın kontrol edemediği bu süreçte makine önce bir mimari temsili çözümlenmekte, sonra yeniden üretmektedir. Çözümlemede kullandığı teknik hesaplamalı tasarımla açıklanabilir. Makinenin metin olarak kabul ettiği girdiyi bir mimari ürünle eşleştirebilmesi için, önce o mimari ürün ya da ona referans veren tüm mimari tasarım ürünlerini biçim/form bakımından da çözümlemesi gerekmektedir.

## 5.2. Tasarım Sürecinin Değişimi: Mimari Temsili Dijital Temsile Dönüştürmede Kullanılan Yapay Zeka Odaklı Üretken Tasarım Araçları

Mimarlığın yeni biçimsel olasılıkları eleştirel bir şekilde benimseme ve anlama çabasına yanıt olarak iki yaklaşım hakim olmuştur. Bunlardan ilki, paralel ya da tekrar eden temaların arayışı içinde geçmiş teorilerin ve uygulamaların yeniden değerlendirilmesidir. Bu yaklaşım tarihsel önceliğe dayanmakta ve geçmiş kavramları metaforik veya dolaylı olarak yeni bir bağlamda ilişkilendirmeye çalışmaktadır. Sonuç olarak tarihsel süreklilik, dönüşüm ve evrim oluşturmayı amaçlarken, dijital araçları, insanın yaratıcılığının ve yorumunun hizmetinde olan kayıt ve temsil araçları olarak ele almaktadır. İkinci yaklaşım ise, varlıklarını mimarlık disiplininin dışındaki yabancı kavram ve mekanizmalardan alan yeni ve benzeri görülmemiş temaların araştırılmasıdır. Bu anlayış, önceki anlayışın ötesinde ve öngörülebilir olayların bağlamı dışında kanıt aramakta, hesaplama mekanizmalarını eleştirel olarak değerlendirmek için gerekli olan yeni bir teorik çerçeveyi amaçlamaktadır. Dijital cihazlar bilineni keşfetmeye yarayan araçlar olarak değil, bilinmeyene girmeyi sağlayan platformlar olarak görülmektedir. Hesaplmalı mekanizmalar yalnızca mevcut kavramları keşfetmek için değil aynı zamanda tamamen yeni kavramlar oluşturmak için de kullanılmaktadır. Bu anlamda dijital cihazlar algı sınırlarını aşan formların keşfedildiği platformlar haline gelmektedir (Terzidis, 2004).

Günümüzde makine öğrenimi, bu alanlarda var olan büyük veri havuzlarını düzenleme ve sistematize etmek üzere kullanılmakta ve bu amaçla farklı öğrenme ve analiz algoritmaları geliştirilmektedir. Yazılım sektörüyle doğrudan ilişkili olan bu alanda hakimiyeti arttırmak için kullanılan ve yazılım için gerekli eğitim platformlarının yanı sıra kod üretimlerinin paylaşımına sunulduğu kütüphaneler ve yazılım için kullanılan programlama dilleri bulunmaktadır. Doğrudan yazılım sektörünün hızlı gelişimi ile alakalı olarak günümüzde sıklıkla yeni bir araç üretilmektedir. Bu araçlar tasarım sürecini teknik bir bilgisiz olmayan bir kullanıcının dahi yönetebilmesini sağlarken, yapay zekayı tasarım sürecinin neredeyse her aşamasında söz sahibi haline getirmektedir. *“Mimarlık ürünü artık bilgisayar teknolojisinin neredeyse kendiliğinden oluşturduğu biçimiyle*

*kendisini dışa vurmaktadır. Farklılık ya da yenilik, artık ürünün kendisinde değil onun oluşum sürecinde ortaya çıkmaktadır." (Güleç, 2017).*

Günümüzde mimarlık alanında tasarım sürecini pratik, özgün ve tekrar edilebilir hale getirmek amacıyla kullanılan algoritmaların büyük bir çoğunluğu, 2014 yılında üretilen GAN algoritmasının alt yapısını kullanmaktadır. GAN'den türetilen her bir araç, parametrik tasarım imkanlarını genişlemesi ve makine öğrenimi algoritmalarının nitelik ve nicelik bakımından artış göstermesi ile paralel olarak geliştirilerek sektöre kazandırılmaktadır. 2014 yılı sonrasında yapay zekanın tasarım alanına adapte edilebilirliği ve mimari temsilin dijital temsile dönüştürülebilirliği üzerine gerçekleştirilen çoğu teorik pek çok araştırma, son 5 yıldır çeşitlendirilerek uygulama alanı bulmakta ve mimarlık disiplininde aktif olarak kullanılmaktadır.

Xiaoyun Zhang'ın 2017 yılında Notre Dame Üniversitesinde hazırladığı tez çalışmasında, bir mimari eskizi inceleyen herhangi birinin göz hareketlerinin takibi ile eskizde temsil edilen mimari düşüncenin analiz edilebileceği iddia edilmektedir. Göz hareketlerinden elde edilen görsel bilginin analizinde GAN algoritmasından yararlanılmaktadır. Araştırmada, mekanik göz hareketlerinin, insan tasarımcılar tarafından bilinçsizce uygulanan ortak bir görsel düşünme prosedürünü ortaya çıkardığı ima edilmekte, böyle bir prosedürün makineler tarafından öğrenilmesi durumunda, tasarımın görsel sunumunda göz hareketinden türetilen bu tür gayri resmi/öznel dinamikleri kullanan yaratıcı bir sürecin mümkün hale getirilebileceği sonucuna varılmaktadır (Zhang, 2017). Zhang'ın bu araştırması ile birlikte uluslararası literatürde benzer araştırmalara rastlanmaya başlanmıştır. Tasarım alanında, GAN algoritmasının mimari kat planlarının üretiminde kullanımının potansiyelleri ile ilgili anlamlı araştırmalar bulunmaktadır. Bu alandaki öncül araştırmalar plan düzleminde görüntü alternatiflerinin üretilebilmesinde Pix2Pix modelini kullanmıştır.

2018 yılında Weixin Huang ve Hao Zheng, mimari çizimleri tanımak ve oluşturmak, odaları farklı renklerle işaretlemek ve ardından apartman dairelerine kat planları oluşturmak için pix2pixHD kullanılmıştır. Mimari plan çizimlerinin özelliklerinin kademeli olarak öğrenildiği ve ağlarda parametre olarak saklandığı görülmüştür. Ağlar derinleştikçe ve eğitim süresi arttıkça, grafikteki özellikler daha özlü ve net hale gelmektedir. Araştırma, tasarımcıların, çalışma ilkelerini anlayarak ve örnek ağları görselleştirerek tasarım tekniklerinin ve fikirlerinin doğrulayıp özetlenebileceğini düşündürmektedir (Huang ve Zheng, 2018).

Stanislas Chaillou'nun 2019 yılında yayınladığı tez çalışması, yapay zekanın tasarım alanına adaptasyonu konusunda yapılmış öncül çalışmalardandır. Söz konusu adaptasyonun, 2014 yılında geliştirilen GAN algoritması sonrasında başladığı, bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda

anlaşmıştır. Tez çalışmasında, parametrelerin oluşturulması yoluyla kat planlarının analizi ve üretimi için bir çerçeve önerisi geliştirilmiş, yöntem olarak Üretken Düşman Sinir Ağlarını veya GAN'lardan yararlanmıştır (Chaillou, 2019).

Chaoyun Wu'nun 2020 yılında yayınladığı tez çalışması makine öğrenimi yoluyla bir bilgisayar tarafından nelerin öğrenilip öğrenilemeyeceğini araştırmak ve makine öğreniminin mimarlar için ne anlama geldiğini değerlendirmek üzere yapılmış araştırmalardandır. Çalışmada, Pix2Pix algoritmasını kullanılmıştır. Tez sonucunda makine öğreniminin yaratıcı bir tasarım aracı olamayacağı, ancak geleneksel tasarım problemlerini çözmede güçlü bir araç olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu temelde, GAN teknolojisini konut kat planlarının ve vaziyet planlarının tasarım sürecine entegre etmek için Pix2Pix kullanılabilecek bir prototip model önerisinde bulunmuştur (Wu, 2020).

### 5.3. Tasarım Ürününün Değişimi: Mimari Temsilin Yorumlanması

Yapay zeka odaklı tasarım araçlarıyla birlikte tasarım sürecini hızlandıran, ancak öte yandan sonuç ürünle alakalı özgünlük, orijinallik (Güleç, 2017), yenilik ve tekrar edilebilirlik gibi pek çok parametre bakımından eleştirel bir tasarım pratiği gelişmiştir. Teknik bir bilgisi olmayan bir kullanıcının dahi yönetebildiği bu üretken tasarım süreci, yeni bir mimarlık pratiğinin habercisi durumundadır. Tasarlama pratiği mekandan ve kullanıcıdan bağımsız gerçekleştirilebilen bir eyleme dönüşürken, tüm teknik kısıtlamaların ve zamanın ötesindeki mimari düşünceler üretilebilir ve türetilebilir hale gelmiştir. Herkes tarafından erişilebilir bu algoritmalar, bir yandan kullanıcıya fayda sağlarken diğer yandan makine öğrenimi prensibiyle çalışmaları için kendini daima geliştirir durumdadır. Sistem her geri bildirimden yeni bir veri öğrenmekte, pekiştirdiği bilgiyle daha iyi ya da daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla tasarlanmak istenen sonuç ürünle alakalı bilgisayara verilen her bir parametre (prompt) bilgisayar tarafından yorumlanmakta ve tekrar kullanıcıya sunulmaktadır. Bu geri bildirimlerin sıklığı ile hedef tasarıma ulaşma süresi ters orantılıdır. Geleneksel tasarım anlayışındaki tasarım kriterlerinin yerini ise artık tasarım parametreleri oluşturmaktadır. Parametrelerin doğru kombinasyonu, hedef tasarımın doğruluk oranını arttırmak açısından önemlidir.

Algoritmalar sayesinde biçimsel grameri ya da mimari niteliği çözümlenen bir mimari temsil, dijital ortama aktarılabilen ve mimari alternatifleri yaratılabilmektedir. Bu işlem aynı zamanda mimari temsili oluşturan her bir mimari niteliğin bir kod olarak kabul edilerek bilgisayara öğretilmesinin ve bu yöntemle herhangi bir mimari temsilin kalıcı, tekrar edilebilir ve yeniden üretilebilir hale getirilebilmesinin yolunu açmaktadır.



## 6. Sonuçlar

Hesaplama tasarımı yaklaşımları ve yapay zeka destekli makine öğrenimi algoritmalarının kullanıldığı yazılımlarla birlikte, günümüzde giderek hızlanan, sonuç ürüne değil sürece odaklanan, bu yönüyle süreci kolaylaştıran, ancak öte yandan sonuç ürünle alakalı özgünlük, orijinallik, yenilik ve tekrar edilebilirlik gibi pek çok parametre bakımından eleştirel bir tasarım pratiği gelişmiştir. Teknik bir bilgisi olmayan bir kullanıcının dahi yönetebildiği bu üretken tasarım süreci, yeni bir mimarlık pratiğinin habercisi durumundadır. Tasarlanan mimari ürün/nesne/yapıyı temsil eden 2b ve 3b materyaller –yani mimari temsiller- dijital ortamda üretilen sentetik (sentezlenerek üretilen) ürünlerdir. Tasarlama pratiği mekandan ve kullanıcıdan bağımsız gerçekleştirilebilen bir eyleme dönüşürken, tüm teknik kısıtlamaların ve zamanın ötesindeki mimari düşünceler üretilebilir ve türetilebilir hale gelmiştir. Herkes tarafından erişilebilir bu algoritmalar, bir yandan kullanıcıya fayda sağlarken diğer yandan makine öğrenimi prensibiyle çalıştıkları için kendini daima geliştirir durumdadır. Sistem her geri bildirimden yeni bir veri öğrenmekte, pekiştirdiği bilgiyle daha iyi ya da daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla tasarlanmak istenen sonuç ürünle alakalı bilgisayara verilen her bir parametre (prompt) bilgisayar tarafından yorumlanmakta ve tekrar kullanıcıya sunulmaktadır. Bu geri bildirimlerin sıklığı ile hedef tasarıma ulaşma süresi ters orantılıdır. Geleneksel tasarım anlayışındaki tasarım kriterlerinin yerini ise artık tasarım parametreleri oluşturmaktadır. Parametrelerin doğru kombinasyonu, hedef tasarımın doğruluk oranını arttırmak açısından önemlidir.

Hesaplama gücünün geliştirilmesi, tasarım alanında iki boyutlu ve üç boyutlu tasarım çalışmalarında makine öğreniminin kullanılmasına olanak sağlamıştır (Yetiş, 2019). 2014 yılında geliştirilen ve makine öğrenimi prensibiyle çalışan GAN algoritması makine öğrenimi teknolojisinin mimarlık disiplinine adaptasyonunu başlatan bir adım olmuştur. GAN, makine öğreniminde model bir çerçevedir. Benzer veya aynı özelliklere sahip çıktı verilerini öğrenmek ve oluşturmak için özel olarak tasarlanmıştır. Algoritma sayesinde çözümlenen mimari temsil dijital ortama aktarılabilen ve mimari alternatifleri yaratılabilmektedir. Bu işlem aynı zamanda mimari temsili oluşturan her bir mimari niteliğin bir kod olarak kabul edilerek bilgisayara öğretilmesinin ve bu yöntemle herhangi bir mimari temsilin kalıcı, tekrar edilebilir ve yeniden üretilebilir hale getirilebilmesinin yolunu açmaktadır. Tasarım alanında, GAN algoritmasının mimari kat planlarının üretiminde kullanımının potansiyelleri ile ilgili anlamlı araştırmalar bulunmaktadır. Öte yandan, GAN algoritmasının devamlı eğitilmesiyle, temelde aynı çalışma prensibini kullanan fakat farklı spesifik uygulamalar için geliştirilen metin tabanlı ya da görsel tabanlı alternatif algoritmalar türetilmektedir. Gerçekçi ve yüksek çözünürlüklü görsel üretimi noktasında birbirinden farklı mimari yapılara sahip yazılımlar geliştirilmektedir.

Bir tasarım, geleneksel tasarım anlayışına göre bakıldığında farklı tasarımcılar tarafından farklı ele alınış biçimleriyle yorumlanırken, günümüzde yapay zeka destekli hesaplamalı tasarım anlayışıyla birlikte farklı araçlar/algortmalar tarafından farklı varyasyonlarla yeniden üretilebilmektedir. Her aracın aynı tasarım kriterlerini farklı yorumlama biçimleri olabildiği gibi, oluşturdukları/ürettikleri temsiller üçüncü bir göz tarafından da yoruma açık kalabilmektedir. Bu durum, yapay zekanın sürekli geri bildirimleriyle zenginleşmekte ve mimari temsili ideal olana en yakın hale getirmek hedeflenmektedir. Bu sebeple bu çalışmada tasarımın kendisi ile değil, yorumlanan mimari temsilin üretim biçimi ve süreci ile ilgilenildiği söylenilebilir.

Sonuç olarak, çalışmada mimari temsilin üretiminde yapay zekanın bir ürünü olan makine öğrenimi araçlarından yararlanılan yeni yaklaşımlar ve mimarlık üzerindeki önemli etkileri irdelenmiştir. Bu çalışma ile birlikte, alana ve tasarım alanında benimsenen yeni tutuma bütüncül bir bakışla mimarlık alanındaki risklerin sınırlarını çizmek ve potansiyellerinin keşfi ile sınır ötesine taşımak hedeflenmektedir. Günümüzde, geleneksel tasarım anlayışının yerini yapay zeka destekli hesaplamalı tasarım anlayışına bırakmaya başladığı bir eşikte olunulduğu düşünülmekte, bu eşğin ancak yeni tasarlama biçimlerinin farkındalığıyla ve tasarım süreçlerinde dijital tasarım araçlarına yer açılarak aşılabileceği düşünülmektedir. Tasarım alanında yaşanan bu hızlı ve radikal dönüşüm süreci aslında geleneksel-dijital arasındaki sınırı zorlayan birçok araç ve süreçle daha hızlı bir şekilde yüzleşmenin yolunu açmıştır. Bu yüzleşmenin benimsenebilirliği ve avantajları ile potansiyellerinin doğru bir şekilde sisteme adapte edilebilirliğinin, mimarlık alanında hızlı bir yol alınmasını sağlayacaktır.

### Teşekkür

Bu bildiri, sorumlu yazar Nazlıcan Birinci Ertürk'ün Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalında devam etmekte olan ve danışmanlığını Doç. Dr. Serkan Palabiyik'in yürüttüğü doktora tezinden üretilmiştir.

Sorumlu yazar Nazlıcan Birinci Ertürk, TÜBİTAK BİDEB 2211-A Doktora Bursiyeri'dir.

### KAYNAKLAR

- Alharthi, W. J. (2015). Investigation into the Impact of Using Virtual Heritage to Depict the Historical City of Al Madinah (PhD Thesis). University of Kent, England.
- Chaillou, S. (2019). AI + Architecture: Towards a New Approach (Master of Architecture). Harvard GSD. Cambridge, ABD.
- Demircan, D., Palabiyik, S. (2023). Mimari tasarım eğitiminde 21. yüzyıldaki değişimin bibliyometrik analiz yöntemi üzerinden incelenmesi. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 26(1), 91-110.

- Emsen, H. H. (2022). Bilişim çağında mimarlık: Tasarım, yapım ve planlama alanlarında makine öğrenimi çalışmalarının bibliyometrik analizi (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Erdoğan, E. & Pektaş, Ş. T. (2022, June 21-22). A Bibliometric Analysis on the Concept of Computational Design in Architecture. Proceedings of the 13th Computational Design in Architecture National Symposium, Kocaeli, Turkey, pp. 85-96.
- Frankenfield, J. (2023). Artificial Intelligence: What It Is and How It Is Used. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>
- Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., Bengio, J. (2014). Generative Adversarial Networks. arXiv:1406.2661
- Grieve, P. (2022). Deep learning vs. machine learning: What's the difference?. <https://www.zendesk.com/blog/machine-learning-and-deep-learning/>
- Güleç, G. (2017). Mimarlıkta orjinallik paradigmasının değişimi üzerine analitik bir çalışma (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Gürer, T. K., Yücel, A. (2005). Bir paradigma olarak mimari temsilin incelenmesi. itüdergisi/a, Cilt:4, Sayı:1, 84-96.
- Heidari, P. (2018). Questioning design tools in the early stage of architectural design process: Pen and paper vs. digital sketching (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Huang, W., Zheng, H. (2018). Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning. Cambridge, MA, ACADIA.
- Koç, M. (2022). Mimarlar İçin Makine Öğrenmesi ve Yapay Zeka 101, Mimarlar Derneği 1927, [https://www.youtube.com/watch?v=kZ7ZW76We5c&ab\\_channel=MimarlarDerne%C4%9Fi1927](https://www.youtube.com/watch?v=kZ7ZW76We5c&ab_channel=MimarlarDerne%C4%9Fi1927)
- Manavis, A., Firtikiadis, L., Spahiu, T., Efkolidis, N., Kyratsis, P. (202). Parametric architectural design using shapes and structures. Journal of Graphic Engineering and Design, Volume 13 (4), 13-20.
- Morel, P. & Bier, H. (2023). Reflections on Disruptive Technologies and the Convergence of New Paradigms in Architecture. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-14160-7>
- Palabiyık, S., Demircan, D. (2020). Mimarlıkta Hesaplamalı Tasarım Yöntemlerine Ait Potansiyellerin Yaşam Döngüsü Modeli Üzerinden Değerlendirilmesi. MTD, Sayı: 21, 91-123. Doi: 10.17365/TMD.2020.21.5
- Pertigkiozoglou, E. (2017). Nicholas Negroponte ve Architecture Machine Group MIT. MEdium. <https://eliza-pert.medium.com/1973-a1b835e87d1c>
- Schumacher, P. (2008). A New Global Style for Architecture and Urban Design. AD Architectural Design - Digital Cities, 79(4), 14-23.
- Şahin, E., Talu, M. F. (2021). Bıyık Deseni Üretiminde Çekişmeli Üretici Ağların Performans Karşılaştırması. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 10 (4), 1575-1589.
- Şapcı, B. & Taşlı Pektaş, Ş. (2021). Integrating User Experience Knowledge into Early Architectural Design Processes through Machine Learning. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(1), 67-94.
- Terzidis, K. (2004). Algorithmic Design: A Paradigm Shift in Architecture?. 22nd eCAADe Conference Proceedings, Copenhagen (Denmark), 15-18 September 2004, pp. 201-207.

- Wu, C. (2020). Machine Learning in Housing Design: Exploration of Generative Adversarial Network in Site Plan/Floorplan Generation (Master of Architecture). MIT, ABD.
- Yetiş, G. (2019). Auto-conversion from 2D drawing to 3D model with deep learning (Master of Architecture). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Zhang, X. (2017). Envisage: Investigating Design Intentions, Visual Perception through Eye Tracking of Architectural Sketches (Master of Architectural Design and Urbanism). University of Notre Dame, ABD.
- Url 1 - <https://www.udemy.com/course/makine-ogrenmesi-egitimi/>

# Mimarlık Eğitiminde Sinirsel Bulanık Mantık Temelli Bir Yapay Zeka Dersi Uygulaması

Setenay Uçar<sup>1</sup> ; Salih Ofloğlu<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Antalya Bilim Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi

<sup>1</sup>setenay.ucar@antalya.edu.tr; <sup>2</sup>salih.ofluoglu@antalya.edu.tr

## Özet

Yapay zeka, son dönemlerde çeşitli uygulamalar yoluyla her kesimden kullanıcının farklı şekillerde yararlanabildiği bir teknoloji haline gelmiştir. Yapay zeka, büyük alfa-sayısal ve görsel veri depolarının taranması ile derlenen veriyi farklı çalışma alanından kullanıcıların spesifik ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde düzenleyebilmekte, zengin temsil yöntemleriyle ifade edebilmekte ve kullanıcıların üretimlerine ve bilgili kararlar alabilmelerine katkı sağlamaktadır. Geçmişte mühendislik alanlarında kullanılan yapay zekaya dayalı birçok yöntemin mimarlık gibi yaratıcı alanlarda kullanımı artmıştır. Yapay zeka destekli görselleştirme teknikleriyle malzeme, ışık, biçim ve bağlamla ilişki kuran görsellerin üretilmesi tasarım konseptini oluşturulmasını hızlandırmakta ve diğer sayısal yöntemlerde uzun süre alacak alternatiflerin üretilmesine imkan vermektedir. Yapay zekanın çok kriterli ve karmaşık parametreleri içeren problemlerde de tasarım girdi ve kısıtlılıkları hızlı bir şekilde bütünsel olarak dikkate alarak geometrik çözümler üretmesi de uzun zamandır katkı sağladığı alanlardandır. Yapay zekanın tasarım aşamasında uygulamalardan olan yapay sinir ağları, bulanık mantık, sinirsel bulanık mantık ve ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System / Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) gibi yöntemler yapı hayata geçirilmeden önce gerçekçi sonuçların değerlendirilmesi için önemli faydalar sağlayabilmektedir; bu sayede tasarım çıktılarının daha fazla sürdürülebilirlik ve konfor koşullarını sağlaması mümkün olabilmektedir.

Bu araştırma, Antalya Bilim Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü müfredatında bulunan "Mimarlık ve Yapay Zeka" isimli seçmeli lisans dersinde edinilen eğitim tecrübesini paylaşmaktadır. Tasarım için gerekli olan hayal gücü ve yaratıcılık gibi becerilerle ilgili olarak yapay zeka araçlarının kullanılması pedagojik açıdan birçok potansiyel ve zorluğu barındırmaktadır. Günümüzde deneysel yürütülen bu tip eğitim uygulamalarının önümüzdeki yıllarda mimarlık müfredatında daha etkili içerik ve öğretim yöntemleriyle önemli faydalar sağlayabileceği beklenmektedir. Mimarlık öğrencilerine uygulanan ankette elde edilen verilere göre, 4. sınıf için açılmış olan seçmeli dersin 2. Sınıf güz veya bahar dönemlerinde açılması halinde öğrenciler tarafından daha faydalı olacağı değerlendirilmiştir. Bu dersi aldıktan sonraki girecekleri stüdyo derslerinde uygulama yapılması öğrencilerin tasarım gelişimi, tasarıma karar verme, tasarımda enerji veya konfora etki edecek parametreleri kavrayarak tasarıma etkisini analiz edebilecekleri dönem olabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmada sinirsel bulanık mantık ile sayısal verilerden mimari çözüm yaratma yaklaşımı mimarlık bölüm öğrencileri üzerinde ilk kez denenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda öğrencilerin sınıf çalışmaları ve ödevlerle tasarımı etkileyebilecek birden fazla faktörün belirlenebilmesi ile iç hava kalitesinin mekanda kullanıcı sayısı ile ilişkisi, cephe gölgelendirme elemanı ile cephede pencere duvar boyutu üzerine etkisi ve aydınlatma elemanları ile binanın yönüne karar verme gibi analizler yaparak farklı girdilerin çıktılara etkisi analiz edilmiştir.

**Anahtar kelime:** Mimarlık eğitimi, Sayısal tasarım, Sinirsel bulanık mantık, Yapay zeka.

# A Neuro Fuzzy Logic Based Artificial Intelligence Course Application in Architecture Education

Setenay Uçar<sup>1</sup> ; Salih Ofloğlu<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Antalya Bilim University, Faculty of Fine Arts and Architecture

<sup>1</sup>setenay.ucar@antalya.edu.tr; <sup>2</sup>salih.ofluoglu@antalya.edu.tr

## Abstract

*Artificial intelligence has recently become a technology that users from all walks of life can benefit from in different ways through various applications. Artificial intelligence is able to organise the data compiled by scanning large alpha-numerical and visual data stores in a way to meet the specific needs of users from different fields of study, express them with various representation methods and contribute to the production and informed decisions of users. Many methods based on artificial intelligence, which have been used in engineering fields in the past, have increased their use in creative fields such as architecture. The production of visuals that relate to material, light, form and context with AI-supported visualisation techniques accelerates the creation of the design concept and allows the production of alternatives that would take a long time in other numerical methods. Artificial intelligence has long contributed to the generation of geometric solutions in problems involving multi-criteria and complex parameters by quickly considering design inputs and constraints holistically. Methods such as artificial neural networks, fuzzy logic, neuro fuzzy logic and ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System), which are among the applications of artificial intelligence in the design phase, can provide significant benefits for the evaluation of realistic results before the building is implemented; thus, it is possible for the design outputs to provide more sustainability and comfort conditions.*

*This research shares the educational experience gained in the bachelor elective course 'Architecture and Artificial Intelligence' in the curriculum of Antalya Bilim University, Faculty of Fine Arts and Architecture, Department of Architecture. The use of artificial intelligence tools in relation to skills such as imagination and creativity required for design has many potentials and challenges in terms of pedagogy. It is expected that this type of educational practices, which are currently experimental, can provide significant benefits with more effective content and teaching methods in the architecture curriculum in the coming years. According to the data obtained from the questionnaire applied to the architecture students, it was evaluated that the elective course selected for the 4th year would be more beneficial if it was selected in the fall or spring semesters of the 2nd year. It has been determined that the application in the studio courses they will take after taking this course can be the period in which students can analyse the effect of design development, design decision making, comprehending the parameters that will affect energy or comfort in design. In this study, the approach of creating architectural solutions from numerical data with neuro fuzzy logic has been tested for the first time on architecture department students. As a result of the studies, the effect of different inputs on outputs was analysed by making analyses such as the relationship of indoor air quality with the number of users in the space, the effect of the facade shading element on the window wall size on the facade and the effect of the lighting elements on the direction of the building by determining more than one factor that can affect the design with classworks and assignments.*

**Keywords:** Architecture education, Numerical design, Neuro fuzzy logic, Artificial intelligenceinteraction.

## 1. Giriş

Mimari Yapay zeka; öğrenme, problem çözme ve örüntü tanıma gibi genellikle insan zekasıyla ilişkilendirilen bilişsel sorunları çözmeye adanmış bilgisayar bilimi alanıdır (Chassignol vd., 2018; Ma vd., 2014). Yapay zeka benzeri yaklaşımların varlığı çok eski tarihlere dayansa da, pratik olarak günlük süreçlerde kullanılabilmesi kısa bir süre önce mümkün olabilmıştır.

Sağlık, finans, medya, üretim, ulaşım sektörleri yapay zekanın en fazla kullanıldığı alanlarından bazılarıdır (Abduljabbar vd., 2019). Bu sektörlerde yapay zeka, süreçlerin otomasyonu ve verimliliğin artırılması açısından önemli katkılar sağlayabilmektedir (Nikitas vd., 2020). Yapay zeka, eğitim alanında da Eğitim 4.0 adıyla eğitim müfredatlarında daha fazla yer bulmaya ve kişiselleştirilmiş öğrenme imkanı veren bir platform olmaya başlamıştır (WEF, 2024).

Yapay zekanın da yer aldığı dijital teknolojilerin kullanımı konusunda inşaat sektörü, diğer sektörlerin oldukça gerisindedir. Dijital teknolojilerin kullanımının benimsenmesinin inşaat sektöründe diğer sektörlerde olduğu gibi verimlilik üzerinde önemli etkisi olacağı ön görülmektedir (McKinsey, 2015). Dijitalleşmenin daha fazla yaygınlaşmasını sağlama ve dolayısıyla sektörün verimliliğini artırma açısından yapay zekanın inşaat sektörüne entegrasyonu önemlidir.

İnşaat sektörünün önemli disiplinlerinden olan mimarlık alanında dijital teknolojilerden kişisel bilgisayarların ve grafik yazılımların erişilebilir olduğu 1990'lardan beri tasarım, yapı projelendirme ve uygulama görevlerinde faydalanılmaktadır. Mimarlık okulu müfredatlarında da 2B ve 3B çizim, modelleme, görselleştirme ve hesaplamalı tasarım gibi konuları kapsayan çoğunlukla seçmeli dersler verilmektedir. Okullarda yapay zeka kullanımı deneysel aşamdadır; ancak geçmişten beri kullanılmakta olan hesaplamalı tasarım yöntemleri dikkate alındığında halihazırda bazı mimarlık okulları bu konularla ilgili belirli bir aşinalığa sahiptirler. Günümüzde yapay zeka ile ilgili konular bağımsız seçmeli bilişim derslerinde veya proje atölyeleri gibi mevcut müfredattaki derslerde tasarımla ilgili fikir üretme, geliştirme veya analiz yapabilme gibi işlerde görevlerde kullanılabilir. Mimarlıkta yapay zekanın dahil edildiği ortamlar, bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları, görselleştirme veya prototipler için hızlı sonuçlar üretebilmek için kullanılan programlar ve semantik veri ile zengin bina bilgi modelleme (BIM) yazılımlarından oluşmaktadır (Ceylan, 2021; Špaček vd., 2020; Steenson, 2018). Bu ortamlar arasında belirli bir konseptin metinsel ve görsel tarifinin yapıldığı istemlerin (prompt) girilerek görsellerin üretilmesini sağlayan yazılım ortamları sıklıkla tercih edilmektedir. Taslak olan fikirler kısa süre içerisinde bağlamla ilişkili gerçekçilikte görsele dönüştürülerek yeni fikirler oluşabilme ve eksikler fark edilebilmektedir.

Yapay zeka geleneksel eğitim sisteminin yerine tümüyle geçiyor olmasa da, eğitim ortamının yapay zekadan etkilenmekte ve yeniden şekilleniyor olması tartışılmalara neden olmaktadır (Chassignol vd., 2018). Öğrencilerin bağlama dair değerlendirmeleri kavrayamadan hazır planlamalara güvenmesi, malzeme ve doku hazırlığında yapay zeka render ürünlerine güvenerek bu elemanların bir araya gelme şekliyle ilgili detayları dikkate almaması, kullanıcı konforu ile psikolojisini göz ardı eden tasarımlar üretmesi mimarlık mesleğinin doğası ile bağdaşmamaktadır.

Yapay zekanın uygulanması ile benzer tartışmalar geçmişte, İmaj İşleme, Bilgisayar Destekli Çizim/Tasarım (CAD), Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) gibi yazılım teknolojilerinin ilk kullanıma başladığı yıllarda da gerçekleşmiştir. Bu yeniliklerin öğretildiği derslerin mimarlık eğitim müfredatlarına eklenmesi ve proje atölyelerinde farklı dijital yöntemlerle teslimlerin yapılması belirli bir zaman almıştır. Günümüzde kalem-kağıta dayalı teslimler 2B/3B CAD yazılımları ile yapılabilmekte, elle yapılan boyama ve kolaj işlemleri imaj işleme ve illüstrasyon yazılımlarının ile gerçekleştirilebilmekte, fiziki maketler yerine veya onlarla birlikte 3B modeller teslim edilebilmekte, yapı performansı BIM temelli simülasyonlarla test edilebilmektedir (Ceylan, 2021; Şpaček vd., 2020). Mimarlık mesleğine faydalı olabilecek yeni teknolojileri veya iş yapma şekillerini reddetmek yerine, anlamak ve katkı sağlayabileceği alanlarda eğitim ortamlarına dahil etmek hem mimarlık eğitimi hem de pratiği açısından değerli olacaktır.

Öğrencilerin karşılaştıkları zorlukları aşabilmede, yaratıcı kabiliyetleri geliştirmede ve yeni bir eğitim deneyimi yaşamlarında yapay zeka önemli bir misyon üstlenebilmektedir (Chassignol vd., 2018). Eğitimde uygulama örneklerine bakıldığında yapay zekanın hem öğretmenlerin hem de öğrencilerin yüklerini azaltan ve öğrencilere etkili öğrenme deneyimleri sunan bir öğrenme aracı olarak kullanılabilir (Zhai vd., 2021; Loecx, 2016). Mimarlık alanında yapılan araştırmalar mimarlık tarihi gibi bir kuramsal bir derste de yapay zekanın entegre edilerek öğrencilerin dikkatini çekerek öğrenmelerini kolaylaştırıcı yönde etkileyebileceğini göstermiştir (Fareed vd., 2024; Mohamed ve Sadek, 2023; Başarır, 2022). Yapay zeka ile çalışma yapmak yeni bir dil öğrenmek gibi farklı yazılım terimlerine hakim olmayı gerektirmektedir (Sadek ve Mohammed, 2023). Bu sürecin okul hayatında gerçekleşmesini sağlamak, mimarlık öğrencilerinin mezun oldukları dönemde daha bilgili ve hazır olarak çalışma hayatına başlayabilmelerine imkan verebilecektir.

## 2. Mimarlıkta algoritma tabanlı yapay zeka sistemlerinin eğitimdeki yeri

Mimarlık eğitimi uygulama odaklı olarak kurgulanmıştır. Bu uygulama temelli yaklaşımda çok katmanlı birçok parametre dikkate alınarak sonuca öğeler arası dinamik bir yaklaşımla ulaşılır. Birçok durumda, özellikle de tasarım problemlerinde bazı kısıtlayıcılar ve çevresel ve bağlamla ilişkili unsurlar gözden kaçabilir veya bu unsurlar arası optimum bir düzen sağlayacak çözümlerin üretilmesi gerekebilir. Bu gibi insan düşünce



yapısına göre bazen dikkate alınamayan veya, gözden kaçan veya hesaplanması güç olan durumlarda yapay zekanın kullanımı, süreçte kontrolü sağlama ve doğruluğa yakın tahmin yürütme konusunda tasarımcıya yardımcı olabilmektedir. Müfredatta bu tür teknolojilerin varlığı öğrencilerin bu durumlarda tasarım kriterleri hakkında farkındalığının artmasına, mezun olduklarında gerçek dünyada daha donanımlı mimarlar olarak çalışmalarına katkıda bulunacaktır.

Yapay zeka insan zekası gibi düşünme ve öğrenme süreçlerinin taklit edilmesine odaklanmış olsa da mimarlık alanında kullanımı yeni gelişmeler sayesinde ilişki kurma ve analiz yapma gibi alanları da kapsamaya başlamıştır. Yapay zekanın farklı alt alanları ile hesaplamalı basitleştirilmiş matematik modelleriyle çok çeşitli mimari tasarıma karar verme ve öneri sunma yönleri açısından katkı verebilecek sonuçlara ulaşılabilir mümkün olmaktadır (Bölek vd., 2023). Ayrıca öğrencilerin performanslarını ve algılarını etkileyebilecek yaratıcılık, sorumluluk ve eleştirel düşünme gibi özellikleri geliştirmek için insan-bilgisayar etkileşimi oluşturularak algoritmalar yaratılabileceği yaklaşım denenmiştir. Derin öğrenme veya makine öğrenme ile veri işleyerek öğrenme davranışı analizine yönelik gereksinimleri kendilerinin ayarlayabileceği şekilde bir sistem uygulamanın yöntemi değerlendirilmiştir (Zhai vd., 2021; Kaplan ve Haenlein, 2019; Williamson vd., 2018; Malik ve Ahmad, 2017). Yapay zekanın eğitimdeki zorlukları teknik perspektif, öğretmen ve öğrencilerin rolleri ve sosyal etik konular açısından da dikkat çekici olduğu ve yapay zeka mühendisleriyle birlikte çalışmaları gerektiği bulgularına ulaşılmıştır (Zhai, 2021).

Yapay zeka ile hesaplamalı sayısal veriler ile konsept oluşturma ve yaratıcı çözümler geliştirme bakımından önemli bir kullanım alanı bulunmaktadır. Tasarımın erken aşamasında karar verme yöntemi olarak uygulanabilen bu yaklaşım, zamandan kazanma ve doğru kararlar verebilmenin önünü açabilmektedir. Öğrencilerin kendi mimari dillerini oluşturabilmeleri için uygulanan bir vaka çalışmasında ortaya çıkan sonuçlar ilham verici ve orijinal konseptler olarak deneyimlerini değerlendirmiştir (Zhai vd., 2021). Bu süreç ise öğrencilere tasarım aşamasında yararlanabilecekleri potansiyeli de göstermektedir. Benzer çalışmaları inceleyerek yapılan karşılaştırmada Vattam vd., (2011) öğrenciler ve öğreticilerin, uzmanlara ve deneyimli öğretmenlere kıyasla sistemdeki görünmez nedensel davranışlara dair akıl yürütme konusunda çok fazla başarılı olmadıkları belirlenmiştir. 2014'te yapılan araştırmada ise yapay sinir ağı yöntemi ile sayısal veriler kullanan sistem, öğrencilerin girdilerine göre anında geri bildirim sağlayarak soyut kavramlara kademeli olarak erişmelerine ve pratik alıştırmalar yapmalarına yardımcı olduğunu göstermiştir (De Melo vd., 2014). Kullanılan yöntem aynı zamanda tecrübe fayda sağlayabilecek sonuçların bulunmasında önemli katkı sağlayacaktır. Yapay sinir ağları ve makine öğrenme yöntemleri büyük verilerin sonuçlarını bulma konusunda insan zekasını simüle ederek sonuca hızlı ulaşma olanağı sağladığı için gerçekçi sonuçlara ulaşmak mümkündür (Zhai vd., 2021). Bu sistemler, öğrenme yöntemi ile insan beyni ile gerçekleştirdiği işlemlerde

olduğu gibi sonuçlara ulaşabilme konusunda sorun çözme ve hız olarak büyük bir avantaj sağlayabilmektedir. Bu sistemlerin çoğalmasında da her alanda olduğu kadar mimarlık eğitiminde de uygulanması ve özellikle mimari tasarım aşamasında karar vermeye önemli destek sağlamaktadır. İnsanlarında erişemediği problem çözme veya gözden kaçırılan ince noktaları yakalayabilme yeteneği sayesinde eğitime de entegre edilmesi, yapay zekadan destek alma konusunda fayda sağlayarak ortaya ürün çıkarma konusunda bir yenilik olarak değerlendirilebilmektedir.

Yapay zekanın mimarlıkta kullanımı açısından önemli bir potansiyele sahip olan Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network), girdi ve çıktı arasındaki ilişkileri makine öğrenimi yoluyla öğrenebilen bir dizi algoritma ile değerlendirir. Mimarlık eğitiminde ve pratiğinde yapay sinir ağlarının kullanılması, mimarlara daha önce hayal edilemeyecek fırsatlar, avantajlar ve bakış açıları sağlayabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde yapay sinir ağlarının mimari tasarımda, problem çözümü, form oluşturma, mekansal programlama, restorasyon çalışmaları ve performans ölçümleri gibi faydalar sağlayabileceği görülmektedir. Bunlara ilave olarak enerji etkin binalar üretilmesi konusunda alternatifler vermesi, cephe çözümleri sağlanması, havalandırma, bina yönlendirilmesi veya malzeme kullanımına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Uçar, 2023). Mimari yapılarda aynı zamanda iç mekana yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin, mekanın kullanımında insan için çok fazla değişkeni vardır, bu durumda da tasarım öncesi değerlendirme yaparken en fazla etki edecek faktörü gözden kaçırmak, değerlendirmeye almamak veya kullanıcı alaka düzeyini belirleyememek gibi sorunlarla karşıımıza çıkabilmektedir. Bazı durumlarda tasarımcının alaka düzeyini ve karşılıklı ilişkilerini değerlendirmek zorlaşabilir (Şimkovič vd., 2019). Böyle bir durum karşısında bir yapay zeka yöntemi olan yapay sinir ağları ile öğrenme yoluyla bilgi toplamak, depolamak, öğrenmeye dayalı olarak yeni verileri tahmin etmek için kullanılabilir. Elde edilecek sonuçlar ise gerçek verilere dayandığı için tahmini sonuçlarda aynı doğruluğa sahip olacaktır. Bu anlamda öğrencilere bu yöntem onlara eleştirel düşünmeyi, analiz etmeyi, soyutlamayı ve veri kaynaklarını aramayı sağlamaktadır (Şimkovič vd., 2018). Öğrencilerin buldukları sonuçlardan ilham alarak tasarım önce bilgi sahibi olarak bilinçli ilerlemeleri sağlanabilir. Araştırmalara göre, gelecekteki araştırmalarında yapay zeka ile ilişkilendirilebilmesi için öğrenme sistemlerine bu konuların dahil edilmesi faydalı olacaktır (Sadek ve Mohamed, 2023; Chassignol ve diğerleri, 2018; Loeckx, 2016).

Yapay sinir ağları gibi algoritma tabanlı bir diğer yöntemi sinirsel bulanık mantıktır. Yapay zeka yöntemlerinden bir diğeri olan sinirsel bulanık mantığın, MC Culloch ve Pits tarafından, önerme mantığı hesaplama modeli ve kuramına dayanan mantıksal işlemler yapılarak 1984'de ilk kez yapay zeka mimaride karar verme ve yeniden tasarlama sürecinde faydalı olacağı söylenmiş ve yeni fırsatlar yaratacağı belirtilmiştir (Piccinini 2004; Dixon vd. 1984). Yapay sinir ağlarının öğrenme ve en uygununu bulma yöntemi

ile bulanık mantık yöntemi gibi insan düşünce yapısına yakın olan sistemlerin birleşmesi ile oluşmuştur. Form bulmaya yönelik sinirsel bulanık mantıkta en uygun sonuca yaklaşmak için tasarıma dair parametrelerin girdi hazırlanması gerekir. Hazırlanan parametrelerin girdileri ve çıktıları için 0 ile 1 arasında normalize edilmesi ve her parametrenin değerlendirilebilmesi için hesaplama yapılması gerekir. Bu hesaplamalar için kullanılacak çok paradigmatlı sayısal hesaplamalı yazılımlar yardımıyla sonuca ulaşabilmek mümkündür. Caetano vd.'ne (2020) göre sinirsel bulanık mantık, özellikle parametrik tasarımlardaki gibi bağlamsal girdilere dayalı formları optimize etmek için kullanılır. Bu yöntemin mimarlıkta kullanımlarına yönelik genellikle yapılan çalışmaların bulanık mantık üzerine olduğu görülmektedir. Sinirsel bulanık mantık yöntemi ise kısıtlı çalışmalara sahiptir; son yıllarda mimarlık alanında da uygulanmaya başlamıştır. Sinirsel bulanık mantık ve bulanık mantık arasındaki en belirgin fark, bulanık mantıkta sistemde eğitime ve öğretmenin bulunmaması, sinirsel bulanık mantıkta ise eğitim ve öğrenme sonucu çıktılar ulaşmak için yazılım yoluyla kural oluşturma süreci bulunmasıdır. Tahmin yürütmenin ve hesaplama yapmanın zor olduğu durumda uygulanabilen bu yöntem ile var olan bilgiler sisteme girilerek sözel verilerin sayısal verilere çevrilmesi ile sayısal sonuç elde edilmesi ve sözel yorumlara dönüşebilmesi şeklinde olmaktadır. Elde edilen çıktılar kurallar ile birlikte oluşacağı için önerilerde birlikte sonuçlara ulaşılabilir. Sinirsel Bulanık Mantık ve bulanık mantık yöntemlerinin mimarlıkta kullanımı ile ilgili bazı uygulamalara bakıldığında, 2017 yılında Yıldız ve Aktaş, bulanık mantık yöntemi ile erken tasarım aşamasında değişken parametrelere bağlı olarak öneri tasarımlar oluşturularak cephe modeli oluşturmuşlardır (Yıldız ve Aktaş 2017). Banaei vd.'nin (2017) yaptığı çalışmada iç mekan ile ilgili yapay zeka ile benzer form ve ölçek gibi parametrelere göre analizi yapılarak sonuçların başarılı olup olmadığı incelenmiştir. 2020 yılında Yıldırım ve Demirarslan, yapay zekanın tasarım aşamasında kullanıldığı ve analiz kısmında değişken parametrelerin bir araya getirilmesi aşamasında sistem tarafından verilerin işlenerek tasarım probleminde uygun çözüm önerileri sunduğunu savunmuşlardır (Yıldırım ve Demirarslan 2020). Uçar'a (2023), sinirsel bulanık mantık yöntemi ile bir örnek bina tasarımında Pasif Ev konseptine sahip sıcak iklimlere uygun yapı olup olamayacağı tartışarak, havalandırma, bina yönlendirme, malzeme seçimi, cephe pencere duvar oranı ve cephe gölgelik elemanı analiz ederek enerji verimli binalar elde edilmesi konusunda alternatif sonuçlar bulunabileceği göstermiştir. Seçilen bu uygulamalar bulanık mantık ve sinirsel bulanık mantık yöntemlerinin sayısal veriler ile sözel karar verme yöntemi olarak kullanılmasının bina yapımı öncesi tasarıma katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Gallo'ya (2020) göre, mimari çözümler için yapay zeka yöntemleri ile yaklaşmak süreci olumlu etkilemektedir (Bölek vd., 2023; Gallo, 2020). Sinirsel bulanık mantıkta tasarım yapabilmek için benzer yapılarla ilgili bilgileri bulmak için veri tabanlarını keşfedebilmek gerekir. Çevre analizlerinde, mekânsal çözümlenelerde, enerji verimlilikleri ile ilgili konularda tasarım aşamasında da benzer yöntemleri kullanabilirler. Tasarımın erken aşamasında bina yönlendirme, cephe tasarımına pencere duvar oranlarına karar verme veya cephe güneş

kırıcıları gibi ek eleman ihtiyaçları gibi parametrik tasarım veya algoritmik tasarım araçlarını kullanılabilir. Böylece binaların performanslarını arttırarak enerji verimliliği sağlayabilecek yöntemin belirlenmesini tasarım öncesi sinirsel bulanık mantık ile belirlemek mümkün olabilmektedir. Mimarlık tüm yapılı çevreden sorumlu olması nedeniyle birbirine bağımlı unsurların bir araya gelmesinde öngörebilmek, süreçte çözülmesi gereken problemi saptamak, çözümü için fikir üretebilmek için yapay zekanın faydalarından yararlanılabilir (Bölek, 2023; Bhatt vd., 2016; Celani 2012). Bu analizler mimarlık mesleğinde değişimin eğitimdeki değişimle bağlantılı olabileceğini ve geleceği yönlendirebileceğini göstermektedir.

Aşağıdaki bölümde bir yapay zeka yaklaşımı olarak sinirsel bulanık mantık yönteminin, tasarımda karar verme sürecinde kullanımının yer aldığı seçmeli bir derste, öğrencilerin yaptıkları uygulamalar üzerinden ne tür kazanımlar elde ettiği ve bu tip derslerin mimarlıkta müfredattaki yerlerini ne olması gerektiği incelenmektedir.

### 3. Yöntem

Çalışmada Antalya Bilim Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü lisans eğitim müfredatında seçmeli ders olarak verilen bir yapay zeka eğitiminin öğrencilere olan katkısı değerlendirilmektedir. Bu çalışmada ağırlıklı olarak, tasarım öncesi çok yönlü karar verme yöntemlerinden sinirsel bulanık mantık uygulaması üzerine odaklanılmıştır. Çalışma öğrencilerin yapay zeka dersinde edindikleri tecrübelerle odaklanmaktadır. Bu amaçla farklı görselleştirme ortamları ile sinirsel bulanık mantık yöntemi kullanılarak bina tasarımını etkileyecek aşağıdaki alanlarda karar verme süreci incelenmiştir:

- İç hava kalitesinin mekanda insan sayısına bağlı olarak değişimi,
- Cephe gölgelendirme elemanı pencere boyutları arasındaki ilişki,
- İç mekanda aydınlatma elemanlarının bina yönüne etkisi.

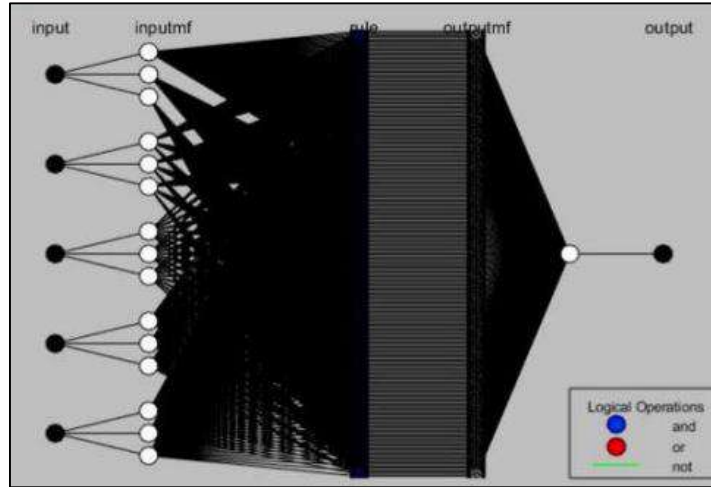
Hedeflenen amaçlara yönelik kullanılacak farklı yazılım ortamları incelenerek (C++, Knime, Aforge.net vb.) MathWorks şirketinin MATLAB çok paradigmatlı sayısal hesaplama yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir. MATLAB'ın büyük boyutlu matematiksel hesaplamaları yapabilmesi sinirsel bulanık mantık yöntemi için oldukça uygundur. Sinirsel bulanık mantık yöntemi ile, ayrıca öğrencilerin, tasarımda sadece görsel değil sayısal verilerin de karar verme sürecinde etkisi olduğunun görmeleri sağlanmıştır. Verilerin sayısal karşılığının oluşturulması için öncelikle girdilerin yer aldığı verilerin normalleştirilmiş (normalize) olması gerekmektedir. Toplanan verilerin eğitim ve test olmak üzere iki parça şeklinde hazırlanması için ilk aşamada girdilerin sayısal değerlerinin belirlenmesi yer almaktadır. Girdilerin her biri için kullanılacak değer aralıkları 0 ile 1 arasında lineer transformasyon ile yazılım aracılığıyla aşağıdaki formüle (1) göre

normalleştirilmiştir. Normalleştirme için uygulanan formüle göre sonuçların 0 ile 1 arasında değer verilmesi sağlanmıştır.

$$x_n = \frac{x_0 - x_{min}}{x_{0max} - x_{min}} \quad (1)$$

Normalize edilen sayılar ile çıkan sayısal verilerden sözel olarak nasıl yorumlanacağına tartışıldığı eğitimde, cephe modeli oluşturmak, enerji verimliliği için termal konforun sağlanması veya pencere duvar oranlarının etkisinin bu şekilde analiz edilerek yorumlanabileceğini tasarım öncesi uygulanabilirliği tartışılmıştır. Uygulanan yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır:

- Tasarımı etkileyecek faktörlerin belirlenmesi
- Faktörlerle ilgili parametrelerin oluşturulması,
- Oluşturulan parametrelere ait sayısal değerlerin belirlenmesi,
- Sayıların MATLAB yazılımına yüklenmesi ve analiz edilmesi



**Şekil 1.** MATLAB programında girdilerin çıktıya ulaşma sürecinde karar verme sisteminde oluşturulan modelin yapısı.

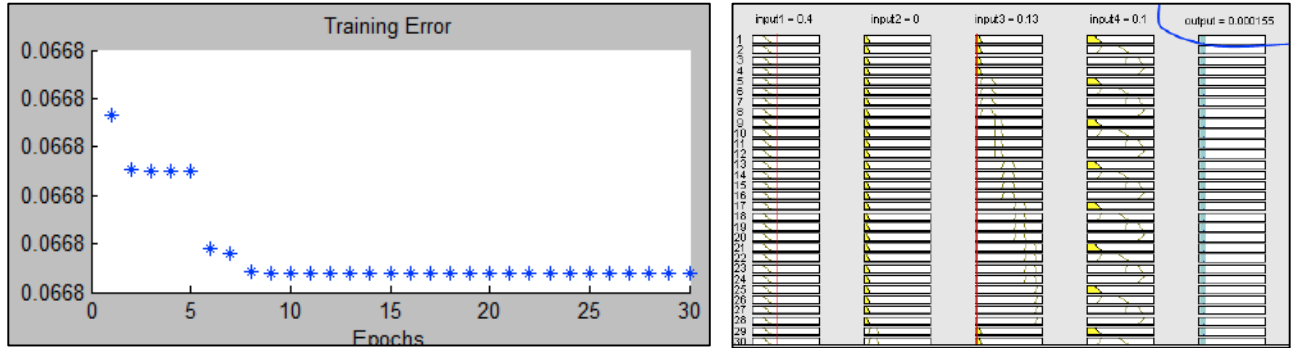
Girdi ve çıktılardan oluşan modelde sonuca ulaşma aşamasında gerçekleşen strüktürel yapısı **Şekil 1**'de gösterilmektedir. Tasarımı etkileyen faktörlerin sayısına göre girilen girdi miktarı 5 olarak belirlenmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- 1- İç hava kalitesinin mekanda insan sayısına bağlı olarak değişimi için girdiler: pencere duvar oranı, bina yönü, iç hava ve dış hava sıcaklığı farkı, kullanıcı sayısı, metrekaaredir.

- 2- Cephe gölgelendirme elemanı pencere boyutları arasındaki ilişki için girdiler: pencere duvar oranı, bina yönü, iç ve dış hava sıcaklığı farkı, yalıtım malzemesi U değeri, doğal havalandırma olup olmaması (pencerelerin açılıp açılmaması)
- 3- İç mekanda aydınlatma elemanlarının bina yönüne etkisi için girdiler: pencere duvar oranı, bina yönü, yapı metrekaresi, mekan metrekaresi ve kullanıcı sayısıdır.

Her girdinin alt fonksiyonları hazırlanarak **Şekil 1**'de olduğu gibi, üçer gruba ayrılarak (büyük/ orta/ küçük veya yüksek/ orta/ düşük gibi) alt üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktadır. Bu her ayrılan yapı kendi içinde bir araya geldiğinde yazılım içerisinde kurallar oluşturmaktadır. Bu kurallar ise, rastgele bir veri istediğimizde anında çıktığı elde etmeyi sağlamaktadır.

Öğrenciler bu süreçte sonuca ulaşana kadar haftalık ödevler ve sınıf çalışmaları ile girdileri bulma, girdilerin sayısal verilere çevrilmesi ve normalize edilmesi, normalize edilen verilerin Excel tablolarının hazırlanması ve Matlab yazılım programı ile uygulamaya koyulması süreçlerinin içermektedir.



Şekil 2. Öğrencilerin elde ettiği verileri sisteme öğretme aşaması ve sonuca ulaşma için kullanılan kural sayfası.

Ders sonrası derse katılan 33 öğrenci ile anket çalışması yapılmıştır. Bunlardan 1 kişi ikinci sınıf öğrencisi 5 kişi 3. Sınıf öğrencisi 27 kişi 4. Sınıf öğrencisinden meydana gelmiştir. Öğrencilerle yapılan anket çalışması bu deneysel yaklaşımın katkılarını tartışırken aynı zamanda bu tür derslerin mimarlık müfredatında nasıl ve hangi dönemde yer alabileceğini de tartışmaktadır. Likert tipinde seçmeli ve açık uçlu olmak üzere toplam 14 sorudan oluşan anket formu ile seçmeli derste edindikleri bilgilerle diğer derslere bu yöntemin uygulanmasının eğitime etkisi incelenmiştir. Belirlenen anket sonuçlarına göre öğrenciler, derse almadan önce düşünceleri ile derse aldıktan sonraki düşüncelerini araştırarak, güvenilirliği, uygulanabilirliği, gereksinimleri karşılama, mesleğe etkisi, yaratıcılık ve kullanım alanları sorgulanırken, yapay zeka ile kendi

kendine öğrenme süreci ile tasarım ile geleneksel yöntemlerle tasarım geliştirme adımlarını takip etmek arasında etki analiz edilmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu Öğrencilere uygulanan anket verileri, mimarlık eğitiminde sinirsel bulanık mantık yöntemi ile erken tasarım aşamasında karar verme konusunda kolaylık sağlayan, tasarımda doğru başlangıç yapabilmek için kullanılabilen bir yöntem olabileceği öğrencilerinde stüdyo derslerinde kullanabileceği gibi mezun olduktan sonra yapacakları işlerde de kullanabilecekleri bir yöntem olabileceğini göstermektedir. Bu konuda öğrencilerin yorumları şu şekildedir;

*“Render alanlarında oldukça başarılı buluyorum ve eskizleme yöntemlerinde.”*

*“Tasarım ve konsept aşamasında”*

*“Yalnızca fikir verme konusunda.”*

*“Yapay zeka söyleneni direkt olarak uygulama konusunda başarılı”*

*“Yapay zekanın tasarımdan ziyade görselleştirme ve yapıların dış mekanları ve çevre hakkında daha belirgin, başarılı olduğunu düşünüyorum.”*

*“Yapay zeka, veri işleme yetenekleri, optimizasyon potansiyeli ve yenilik yapma kabiliyeti nedeniyle mimaride üretken tasarım, BIM geliştirme, sürdürülebilirlik, proje yönetimi ve VR / AR entegrasyonu için en başarılı olanıdır.”*

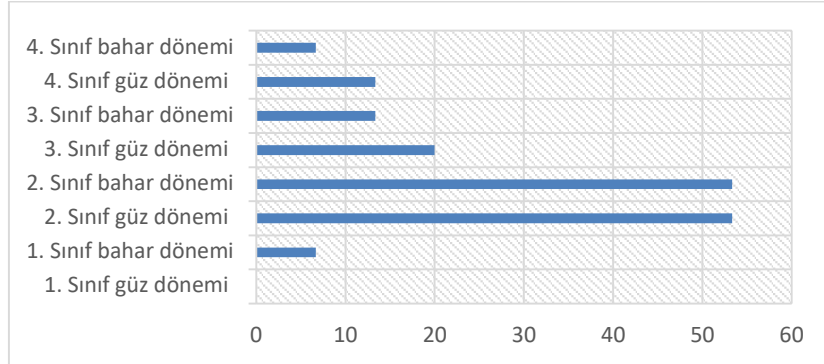
*“Alan oluşturma”*

*“Tasarım sürecinde yapay zeka, aklınızdaki tasarımla ilgili render ve konseptleri çok hızlı bir şekilde oluşturabilir. Bu sadece işleri hızlandırmakla kalmayacak, aynı zamanda geniş bir yaratıcılık ve yeni tasarımlar yelpazesi sunacaktır”*

Tasarıma etki edecek parametrelerin analizini yapmak da öğrenciler açısından farkındalık yaratarak hangi faktörlerin tasarıma hangi etkiye sahip olabileceğini gözlemlemelerini sağlamıştır. Tasarım sürecinde bu şekilde bir katkı almak bazı zorlu tasarım problemlerinde doğru olabilecek çözümü bulma açısından fayda sağlamakta, zaman ve emek gücünden tasarruf edilmesini neden olmaktadır.

Elde edilen bulgulara göre:

- Sınıf öğrencilerinin katılım sağlayabileceği şekilde güz dönemine yapay zeka dersi açılması ve ardından alacakları proje dersleri öğrencilerin tasarım gelişimi, parametreleri kavrayarak tasarıma etkisini daha iyi kavrayabilecekleri dönem olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 3. Öğrenci cevaplarına göre dersi almak istedikleri dönem grafiği.

- Öğrenciler tarafından anketlere verilen açık uçlu soruların yanıtlarında, görseller üretmeye dönük yaklaşımın tasarım yetenekleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu düşündükleri ve bu konuya dair tasarım adımlarını takip ederek *probleme çözüme katkısının daha az olacağını* belirtmişlerdir. Ancak tamamlanmış projeler üzerinden görsel yapay zeka destekli program kullanmanın daha faydalı olabileceğini sunmuşlardır.  
“Görselleştirmeye katkısı var, tasarım sürecinin tamamlanmasına, probleme çözüme katkısının daha az olacağını düşünüyorum”  
“Görselleştirme, hızlı öneri geliştirme (özellikle başlangıç aşamasında)”  
“Yapay zeka görünüşü olan alanlarda daha başarılı olduğunu düşünüyorum.”
- Mimarlıkta daha önceki bulanık mantık üzerinden yapılmış çalışmalar incelendiğinde sinirsel bulanık mantıkla da tasarım öncesi karar verme yönteminin mimarlar için faydalı olabileceği analiz edilmiştir. Birden fazla parametrenin bulunduğu tasarım öncesi başlangıç fikirleri için kullanılabilir bir yöntem olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Öğrencilerin de açık uçlu sorulara verdiği yanıtla bu alanda cephe tasarımında bu yöntemi kullanabileceklerini belirtmişlerdir.  
“Cephe tasarımı, peyzaj, malzeme alanı”  
“Cephe tasarımı için faydalı olabilir”  
“Pencerelerin oranları cephedeki kapladığı alanı önceden hesaplayabilmek”
- Derse katılan 33 öğrenciden 25’inin doldurduğu çoktan seçmeli ankette, öğrencilerin %66,6’sı yapay zekanın çalışma hayatına geçtiklerinde müşterinin tüm gereksinimlerini karşılayamayacaklarını belirtmiştir. Yapay zeka ile üretilen çözümlerin güvenilir ve uygulanabilir



olduğunu düşünen öğrencilerin oranı %40'dır. Öğrencilerin kendi çalışma alanında yapay zekanın kullanılabilir olması yaratıcılıklarını arttırdığı fikrini %73,4'ü desteklemiştir. Öğrenciler, tasarımcının sezgisel yeteneklerini yapay zekanın karşıladığına dair %80'i olumlu görüş bildirmiştir. Mezun aşamalarında olan bu öğrencilerin %26,7'si yapay zekanın mesleklerine olumlu veya olumsuz etki sağlayacağı konusunda kararsız kaldıklarını, %53,4'ü meslekleri üzerine olumsuz etkiye sahip olacağını, 20'si olumsuz etkiye sahip olacağına dair fikre katılmadıklarını belirtmişlerdir. Anket sonuçlarının öğrenci sayılarının düşük olması nedeniyle elde edilen çıktılar genellenmesi mümkün değildir. Elde edilen verilerle aşağıda bulunan **Tablo 1**'deki sonuçlara ulaşılmıştır.

**Tablo 1.** Ankette öğrencilerin çoktan seçmeli soruları değerlendirmeleri.

Değerlendirme sorusu	Soru seçenekleri				
	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
Mimarlık eğitim müfredatında yapay zeka dersinin olması gerekli görüyorum	% 6,7	% 0,0	% 0,0	% 53,3	% 40
Kendi çalışma alanımda yapay zekanın kullanılabilir olması yaratıcılığımı arttırdı.	% 6,7	% 6,7	% 13,3	% 26,7	% 46,7
Yapay zeka tasarımcının sezgisel yeteneklerini karşılamada yeterli olduğunu düşünüyorum.	% 13,3	% 0,0	% 6,7	% 53,3	% 26,7
Yapay zekanın Mimarlık mesleği üzerinde olumsuz bir etkisi olacağını düşünüyorum.	% 26,7	% 26,7	26,7	% 20	% 0,0
Yapay zeka ile üretilen çözümlerin güvenilir ve uygulanabilir olduğunu düşünüyorum.	% 13,3	% 6,7	% 40	% 40	% 0,0
Yapay zeka müşterinin tüm gereksinimlerini karşılamaktadır.	% 13,3	% 53,3	% 13,3	% 20	% 0,0

- Öğrencilerin süreç sonunda görüşleri tasarım sürecinde hem yapay zekanın hem de geleneksel yöntemin birlikte kullanılarak devam ettirilmesi yönünde olduğu ve sadece yapay zekaya dayalı yöntemlerin kullanımının tasarım yeteneklerini olumsuz etkileyeceği yönündedir. Öğrenci yorumlarından bazıları şu şekildedir;
  - “İkisinin de karar miktarlarda kullanılması”
  - “Tasarım adımlarını takip ederek üretmesi daha mantıklı”
  - “Mimarların öğrenme ve proje geliştirme sırasında yapay zekadan yararlanabileceğini düşünüyorum”
  - “İkisi de kullanılırsa ortaya daha iyi sonuçlar çıkabilir.”
  - “Hangi yöntemin daha iyi sonuç vereceği, spesifik tasarım hedeflerine ve projenin bağlamına bağlıdır. Ancak, genellikle hibrit bir yaklaşım, hem yapay zekanın sağladığı avantajlardan faydalanmayı hem de insan yaratıcılığını ve duyarlılığını korumayı mümkün kılar. Bu, daha yenilikçi, etkili ve kullanıcı odaklı tasarımlar elde etmek için ideal bir yöntemdir.”
  - “Seçim, hız ve yenilik için yapay zeka, hassasiyet ve kullanıcı uyumu için geleneksel yöntemler profesinin özel ihtiyaçlarına bağlıdır. Her iki yaklaşımın birleştirilmesi de her birinin güçlü yönlerinden yararlanabilir.”
  - “Sahip olunan tasarım fikri yapay zeka ile desteklenebilir.”
  - “Hibrit kullanım tercih edilmelidir. Her ikisi de tek başına yeterli olmamaktadır. İnsan etkisi ve yapay zeka harmanlanınca ortaya yaratıcı dizaynlar ortaya çıkıyor.”
  - “Bence en iyi kombinasyon, yapay zekayı daha hassas bir tasarıma ulaşmak için bir araç olarak kullanmak ve yapay zekanın bize sunduğu etkinliği ve daha hızlı gelişimi de göz önünde bulundurarak tasarım oluşturmaktır.”
  - “Hem yapay zeka hem de geleneksel olarak ikisinin de harmanlanarak yapılması yapılan işleri daha farklı yerlere getirebileceğini düşünüyorum.”
- Anket sonuçlarına göre sadece yapay zekaya dayalı tasarım yapmanın öğrencilerin kendilerinin tasarım yeteneklerini körelteceği yönünde fikirlere sahip oldukları görülmüştür. Öğrenci yorumları aşağıda belirtilmiştir;
  - “Yapay zekanın insanların zevkini anlayıp ona göre sonuçlar çıkartıp seçenek sunması bizim için daha faydalı olabilir. İki yöntem bir arada kullanılabilir ancak yapay zekanın tasarımcıların tasarım yeteneklerini biraz körelttiğini düşünüyorum.”
  - “Yapay zeka bize bazı noktalarda yardımcı olabilir fakat yüzde yüz yapay zekaya güvenerek bir projenin uygulanması fikri pek doğru gelmiyor. O yüzden tasarımcının tasarım sırasında yapay zekadan yardım alarak oluşturulan projelerin daha sağlıklı olabileceği yönünde düşünmekteyim.”

“Tasarım geliştirme sürecinin, problem ve çözüm odaklı olmasına katkısının olacağını düşünmüyorum. Tamamlanmış projelere alternatif üreterek daha iyi noktaya taşıyabilir.”

Bu çalışma ile mimari tasarım projelerinde form yaratmadan önce yapay zeka ile oluşturulan alternatif sonuçların değerlendirilmesi ve çıktılar ile sonucun bir form yaratmada yaratıcılığa etkisini ölçerek kullanımının etkin olup olmayacağını öğrenciler tarafından değerlendirilmesi yapılmıştır. Öğrencilere bu süreçte daha fazla zaman tanımak ve tasarım stüdyolarına entegre edebilmek de yapacakları tasarıma katkı sağlayıp etkisini inceleyebilmeleri için önemli bir adım olacaktır. Mezun olmadan önce bu yöntemleri öğrenmek ve uygulamaya koymak, ilerideki karşılaşacakları gelişmiş teknolojik yöntemlere de açık olmalarını sağlayabilir. Yapay zeka tüm alanlarda olduğu gibi mimarlık alanında da önümüzdeki yıllarda daha yaygın bir kullanıma sahip olacaktır. Öğrencilerin bu alanda donanımlı olarak yetişmesi mimarlık okullarının önemli bir sorumluluğudur. Okulların yapay zekanın yapısını ve kullanım potansiyellerini inceleyerek, doğru, etkili ve etik kullanımları teşvik etmesi yerinde olacaktır. Yapay zekanın sadece bir seçmeli ders olarak değil, hem proje atölyelerini hem de kuramsal dersleri kapsayacak şekilde müfredatın hemen tümünde kullanım imkanları bulunmaktadır. Dengeli bir eğitim yaklaşımıyla yapay zeka, yaratıcılığı arttırma, tasarıma ait çok kriterli problemlerde bütüncül çözümler üretme, verimlilik ve iş gücünün doğru kullanımı açısından önemli faydalar sağlayabilmektedir. Öğrencilerin eğitim esnasında memnuniyeti ve eğitimi alan son sınıf olan öğrencilerinin ifade ettiği, dersin daha erken bir dönemde bu dersi görmenin faydalı olabileceği görüşü dikkate alınabileceği gibi teknolojik yeniliklere uyum sağlama konusunda müfredatı da bu anlamda güncelleştirmek mümkün olabilir. Bu çalışmadaki gibi öncül deneysel çalışmaların gelecekte daha doğru yöntem ve içerikte sunulacak eğitimlere katkı vermesi temenni edilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189. <https://doi.org/10.3390/su11010189>
- Banaei, M., Ahmadi, A., ve Yazdanfar, A. 2017. Application of AI methods in the clustering of architecture interior forms. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3): 360-373. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.05.002>
- Başarı, L. (2021). Modelling AI in architectural education. *Gazi University Journal of Science*, 35(4), 1260-1278. <https://doi.org/10.35378/gujs.967981>
- Bhatt, M., Suchan, J., Schultz, C., Kondyli, V., & Goyal, S. (2016, March). Artificial intelligence for predictive and evidence based architecture design. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 30, No. 1).
- Bölek, B., Tural, O., & Özbaşaran, H. (2023). A systematic review on artificial intelligence applications in architecture. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 4(1), 91-104. <https://doi.org/10.47818/DRArch.2023.v4i1085>

- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287-300. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>
- Celani, G. (2012). Digital fabrication laboratories: pedagogy and impacts on architectural education. *Digital Fabrication*, 469-482. <http://dx.doi.org/10.1007/s00004-012-0119-3>.
- Ceylan, S. (2020, May). Using Virtual Reality to Improve Visual Recognition Skills of First Year Architecture Students: A Comparative Study. In *CSEDU (2)* (pp. 54-63). <https://doi.org/10.5220/0009346800540063>
- Ceylan, S. (2021, April). Artificial Intelligence in Architecture: An Educational Perspective. In *CSEDU (1)* (pp. 100-107). <https://doi.org/10.5220/0010444501000107>.
- Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A., & Bilyatdinova, A. (2018). Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.233>
- De Melo, F. R., Flôres, E. L., De Carvalho, S. D., De Teixeira, R. A. G., Loja, L. F. B., & de Sousa Gomide, R. (2014). Computational organization of didactic contents for personalized virtual learning environments. *Computers & Education*, 79, 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.012>
- Dixon, J. R., Simmons, M. K., ve Cohen, P. R. 1984. An architecture for application of artificial intelligence to design. In 21st Design Automation Conference Proceedings, pp. 634-640. IEEE.
- Fareed, M. W., Bou Nassif, A., & Nofal, E. (2024). Exploring the Potentials of Artificial Intelligence Image Generators for Educating the History of Architecture. *Heritage*, 7(3), 1727-1753. <https://doi.org/10.3390/heritage7030081>
- Gallo, G., Tuzzolino, G., & Fulvio, W. (2020). The role of Artificial intelligence in architectural design: conversation with designer and researchers. In Conference proceedings of the 7th International Conference on Architecture and Build Environment S. ARCH (pp. 1-8). S. Arch.
- Guney, D. (2015). The importance of computer-aided courses in architectural education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 176, 757-765. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.537>
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>
- Loeckx, J. (2016). Blurring boundaries in education: Context and impact of MOOCs. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 17(3), 92-121. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v17i3.2395>
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of educational psychology*, 106(4), 901.
- Malik, K. R., & Ahmad, T. (2017). E-assessment data compatibility resolution methodology with bidirectional data transformation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7), 3969-3991. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00767a>
- McKinsey Global Institute. (2015). *Digital America: A tale of the haves and have nots*. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/high%20tech/our%20insights/digital%20america%20a%20tale%20of%20the%20haves%20and%20have%20mores/digital%20america%20full%20report%20december%202015.pdf>

- Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njoya, E. T., & Karampatzakis, D. (2020). Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era. *Sustainability*, 12(7), 2789. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
- Piccinini, G. 2004. The First computational theory of mind and brain: a close look at mcculloch and pitts's "logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Synthese*, 141(2): 175-215. <https://doi.org/10.1023/B:SYNT.0000043018.52445.3e>
- Sadek, M. R., & Mohamed, N. A. G. (2023). Artificial Intelligence as a pedagogical tool for architectural education: What does the empirical evidence tell us?. *MSA Engineering Journal*, 2(2), 133-148. <https://doi.org/10.21608/MSAENG.2023.291867>
- Šimkovič, V., Tholt, T., & Zajíček, V. (2018). A Component Assemblies project as a case study for linking research and education. *World Trans. on Engng. and Technol. Educ*, 16(3), 275-280.
- Šimkovič, V., Zajíček, V., & Hajtmanek, R. (2019, March). User tracking in VR environment. In *2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)* (pp. 80-84). IEEE.
- Špaček, R., Uhrík, M., & Hajtmanek, R. (2020). Architectural education: a reflection of three generations. *Global Journal of Engineering Education*, 22(3), 142-148.
- Steenon, M. W. (2018). Why architecture and artificial intelligence?. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, 24(3), 16-19. <https://doi.org/10.1145/3187013>.
- Uçar, S. (2023). Akdeniz iklim koşullarında pasif ev standartlarının uygulanabilirliğinin sinirsel bulanık mantık ile tahmini ve tasarım sürecine dahil edilmesi: Yarı olimpik kapalı havuz örneği (Tez No: 787528) [Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. Ulusal Tez Merkezi.
- Vattam, S. S., Goel, A. K., Rugaber, S., Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Gray, S., & Sinha, S. (2011). Understanding complex natural systems by articulating structure-behavior-function models. *Journal of Educational Technology & Society*, 14(1), 66-81.
- WEF (World Economic Forum). (2024). *Shaping the Future of Learning: The Role of AI in Education 4.0*. <https://www.weforum.org/publications/shaping-the-future-of-learning-the-role-of-ai-in-education-4-0/>
- Williamson, B., Pykett, J., & Nemorin, S. (2018). Biosocial spaces and neurocomputational governance: brain-based and brain-targeted technologies in education. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 39(2), 258-275. <https://doi.org/10.1080/01596306.2018.1394421>
- Yıldırım, B. ve Demirarslan, D. 2020. İç Mimarlıkta Yapay Zekâ Uygulamalarının Tasarım Sürecine Faydalarının Değerlendirilmesi. *Humanities Sciences*, 15(2):62-8
- Yıldız, B. ve Aktaş, B. 2017. Mimari Tasarım Sürecinde Karar Verme: Bulanık Mantık Tabanlı Cephe Modeli Önerisi. 11. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, ss.173-181, 14-15 Haziran 2017, Ankara.
- Zhai, X., Chu, X., Chai, C. S., Jong, M. S. Y., Istenic, A., Spector, M., Liu, J. Y., Yuan, J. & Li, Y. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complexity*, 2021, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2021/8812542>

# Designing Architectural Spatial Layouts: Changes in Process and Boundaries


Aysegul Ozlem Bayraktar Sari <sup>1</sup>   
<sup>1</sup>Cardiff University  
<sup>1</sup>bayraktarsariao@cardiff.ac.uk

## Abstract

*This article examines how digital technologies are transforming architectural spatial layout design, focusing on how "boundaries" in architecture have expanded to include new possibilities created by advancements in computational design and artificial intelligence. It discusses how traditional design methods are being integrated with or replaced by these new technologies, broadening creativity and innovation while also introducing challenges and opportunities for architects. The study highlights the importance of regularly reviewing existing research to fully understand the shift from old methods to modern AI and computational techniques in architecture. It details significant changes toward more data-driven and complex processes that improve efficiency and innovation in design. The article identifies key challenges such as maintaining creative architectural practices while adopting automation, embracing new technologies, and integrating these into traditional workflows. It recommends future directions like developing easy-to-use interfaces, comprehensive training programs, and hybrid design tools that combine precise algorithms with human creativity. These steps are crucial for effectively managing the expanded scope of architecture. In conclusion, the article calls for a balanced approach to technological advancement, respecting traditional architectural values while encouraging collaboration across disciplines to improve the functionality and aesthetics of the built environment, ensuring that progress supports the broader needs of society.*

**Keywords:** Architectural spatial layout design, computational design methods, artificial intelligence (AI).

# Mimari Mekânsal Yerleşimlerin Tasarlanması: Süreç ve Sınırlardaki Değişiklikler

Aysegul Ozlem Bayraktar Sari <sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Cardiff University

<sup>1</sup>bayraktarsario@cardiff.ac.uk

## Özet

*Bu makale, dijital teknolojilerin mimari mekan düzeni tasarımını nasıl dönüştürdüğünü incelemekte ve mimaride "sınırlar"ın, hesaplamalı tasarım ve yapay zeka gelişmeleriyle yaratılan yeni olanakları kapsayacak şekilde nasıl genişlediğine odaklanmaktadır. Geleneksel tasarım yöntemlerinin bu yeni teknolojilerle nasıl entegre edildiğini veya yerlerini nasıl bu yeni teknolojilere bıraktığını tartışmakta, yaratıcılığı ve yeniliği genişletirken mimarlar için zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Çalışma, mimarlıkta eski yöntemlerden modern yapay zeka ve hesaplama tekniklerine geçişin tam olarak anlaşılabilmesi için mevcut araştırmaların düzenli olarak gözden geçirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Tasarımda veriye dayalı ve daha karmaşık süreçlere doğru önemli değişiklikler ve bu değişikliklerin tasarımın verimliliğini ve yeniliğini nasıl artırdığı detaylandırılmaktadır. Otomasyonu benimserken yaratıcı mimari uygulamaları sürdürme, yeni teknolojileri benimseme ve bunları geleneksel iş akışlarına entegre etme gibi ana zorluklar belirtilmektedir. Makale, algoritmik kesinlikle insan yaratıcılığını birleştiren kullanımı kolay arayüzler, kapsamlı eğitim programları ve hibrit tasarım araçları geliştirilmesi gibi gelecek yönlendirmeleri önermektedir. Bu adımlar, mimarinin genişleyen kapsamının etkin bir şekilde yönetilmesi için hayati öneme sahiptir. Sonuç olarak, makale, teknolojik ilerlemenin dengeli bir yaklaşımını savunmakta, geleneksel mimari değerlere saygı gösterirken disiplinler arası işbirliğini teşvik ederek yapılan çevrenin işlevselliğini ve estetiğini iyileştirmeyi ve böylece ilerlemenin toplumun daha geniş ihtiyaçlarını desteklemesini sağlamayı amaçlamaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Mimari mekansal yerleşim tasarımı, hesaplamalı tasarım yöntemleri, yapay zeka.

## 1. Introduction

In the realm of architecture, 'boundary' signifies more than just the physical limits of structures; it encompasses the evolving frontiers of design possibilities enabled by digital innovation. This study embarks on an explorative journey to understand how technological advancements, particularly in computational design and artificial intelligence with a special emphasis on designing architectural spatial layouts, are redefining these boundaries, challenging architects to both preserve their craft and embrace the new horizons of creativity. As we stand "On the Border," the boundaries of architecture continually evolve, driven by data-centric and complex processes that compel architects to reconcile with the new while preserving the essence of their craft.

The architectural design field has significantly evolved with digital technology's rise, where traditional spatial layout methods now integrate or even get replaced by computational techniques and AI applications. This shift has broadened creative and innovative prospects while introducing challenges and opportunities for architects. As the discipline's boundaries continually expand towards more data-driven and complex processes, architects are faced with the challenge of adapting to these new tools and methodologies.

This study aims to investigate the progression of architectural space design from conventional methods to the utilization of computational and AI-based approaches. It seeks to uncover the significant ways in which new technologies have reshaped architecture and design, redefining their boundaries. The research scope encompasses a comprehensive examination of the historical development of architectural design methods, the shift towards computational design, and the influence of machine learning and artificial intelligence in architecture. Through a detailed review of existing literature, this study provides insights into how digital technologies have impacted architectural design processes and their boundaries.

The findings underscore a significant shift towards efficiency, complexity, and innovation in architectural design facilitated by computational and AI technologies. The challenges, such as integrating these technologies into traditional design processes and striking a balance between automation and architectural creativity, are critically examined. Furthermore, the discussion extends to the potential future directions of architectural design, highlighting emerging technologies that further expand the field's creative and functional boundaries.



## 2. Architectural Spatial Layout Design Overview

Architectural spatial layout refers to the systematic planning and organization of space within buildings and related structures, aimed at optimizing functionality, aesthetic appeal, and occupant experience. It shapes a building's functionality, user flow, comfort, and usability by defining spatial relationships and geometric forms according to specific functions (Ching, 2007). Spatial configuration involves identifying suitable locations and dimensions for a group of interconnected objects to ensure they meet all design criteria and optimize design quality based on design preferences (Michalek et al., 2002).

Architectural space layout plays an important role in the design process because it directly impacts a building's usability and occupant experience, affecting their behaviour, comfort, and efficiency. Functional spatial layouts effectively adapt to each space's intended use, allowing for logical flow and organization. For instance, well-designed, functional hospital layouts can enhance the workflow of medical staff, alleviate patient stress, and potentially enhance recovery outcomes (Ulrich et al., 2008). Similarly, well-designed educational spaces also enhance students' learning and interaction with teachers (Tanner, 2009). Beyond functionality, architectural spatial design is an important consideration from a sustainability approach. An efficient layout can reduce the reliance on artificial lighting and climate control, thereby reducing the building's carbon footprint and energy consumption (Kwok & Grondzik, 2007). In addition to these elements, architectural layout design strategically positions rooms for optimal light, views, and accessibility while incorporating aesthetic considerations and addressing economic, structural, and cultural factors (Lobos & Donath, 2010). Also, flexibility is important in architectural spatial layout design, allowing for future modifications or multiple uses to enhance a building's longevity and adaptability by enabling easy space modifications as needs evolve (Brand, 1994). Additionally, safety and security are crucial in floor plan design, necessitating the inclusion of fire exits, emergency routes, and secure entrances to protect occupants.

In architectural spatial layout design, architects must balance complex and often conflicting criteria based on the building's function and type (Lobos & Donath, 2010). This is particularly challenging in complex structures such as hospitals, where optimizing multiple criteria is critical. Effective decision-making early in the design process is crucial, as these decisions significantly influence construction ease, potential for future modifications, and the overall success of the project. Therefore, meticulous, and strategic planning from the start is vital to ensure that the final design fulfils all intended objectives and requirements efficiently. The architectural layout design, a fundamental component of architectural practice, has undergone significant transformation from its early days to the present day. Initially rooted in the manual drafting and crafting models, the field has progressively adopted technological advancements, leading to profound

changes in how architects create and execute spatial designs. The shift from traditional methods to computational design and the integration of artificial intelligence (AI) has clearly broadened the scope of architectural possibilities while introducing new challenges and opportunities.

This paper examines the evolution of architectural layout design, from traditional methods in Section 3, through the adoption of computational tools in Section 4, to the integration of artificial AI in Section 5. Each section discusses changes in design processes and boundaries, challenges, and future implications, concluding in Section 6 with an overview of how these technological advances have transformed architectural practices and their potential for future innovation.

### 3. Traditional Architectural Spatial Layout Design

Traditionally, architectural spatial layout design was a manual and intuitive process, heavily reliant on the architect's skill, experience, and creativity. Drawing boards, rulers, and compasses were the primary tools, with extensive use of physical models to visualize spaces (Ching, 2014). This period, characterized by direct material engagement, allowed architects to develop a deep understanding of spatial relationships and design principles through hands-on experience. Traditional design techniques are still valued for their ability to foster creativity and a deep, intuitive connection with the craft of architecture. However, this approach was labour-intensive, demanding meticulous attention to detail and extensive revisions to achieve desired outcomes. Also, the reliance on manual processes not only slowed down project timelines but also raised the probability of human error. To improve efficiency and reduce human error, there is an increasing trend towards automated and interactive design workflows in architectural space layout design. There's a notable shift from traditional sketch-based project refinement to automated layouts creation using computational techniques.

#### a. Changes in Process and Boundaries

Overtime, these boundaries have expanded with technological advancements, moving from purely manual to semi-automated processes, providing new ways to conceptualize and visualize architectural spaces.

#### b. Challenges

The primary challenges of traditional architectural spatial layout design include:

- I. Labour Intensity: The manual nature of traditional methods made the design process very labour-intensive, often requiring extensive time investment to refine and finalize designs.

- II. Limited Flexibility: Once a project advanced beyond initial sketches, making changes became increasingly difficult, reducing the design's adaptability to new information or changing client needs.
- III. Increased Error Potential: Manual processes were susceptible to human error, with mistakes potentially leading to costly revisions or construction issues.
- IV. Scalability Issues: Traditional methods do not scale well with the size and complexity of projects, as each element requires individual attention and adjustment.

### c. Future Directions

The integration of traditional and digital tools suggests a promising direction for the future of architectural design:

- I. Automation of Routine Tasks: Automating routine tasks in the design process can save time and reduce errors, allowing architects to focus on more creative aspects of design.
- II. Enhancing Flexibility: The integration of digital tools into architectural spatial layout design processes greatly enhances the flexibility to make and apply changes to projects swiftly. Digital tools streamline revisions, allowing for quick adjustments and iterations, which are seamlessly integrated into the overall design without the need for extensive manual redrawing. This not only saves time but also ensures that the project remains viable and responsive throughout its development.
- III. Minimizing Error with Digital Tools: Digital tools enhance precision and allow simulations that help architects identify and correct errors early, reducing costly revisions during construction.
- IV. Enhanced Collaboration: Digital platforms can facilitate better collaboration, merging traditional hands-on methods with the efficiency of digital tools (Oxman, 2006). Traditional methods' poor scalability can be addressed using cloud-based collaborative tools that allow multiple stakeholders to work on large-scale and complex projects.

## 4. Computational Design Methods for Architectural Spatial Layout Design

Computational design methods transform architecture by using algorithms, parametric modelling, and optimization to create innovative, sustainable designs. With these methods, traditional manual drafting is replaced by a more dynamic, data-driven approach enabled by technology. It streamlines the design process, enables efficient iteration, and fosters collaboration with stakeholders through clear visualizations, addressing modern architectural challenges effectively. The integration of digital design processes in architecture, closely tied to advancements in industry and technology, signifies a profound shift from traditional to computational methodologies. This transformation has enabled the exploration of complex

geometries and innovative fabrication methods, mirroring developments in sectors like automotive and aerospace (Kolarevic et al., 2001). Digital technologies have not only revolutionized the design process by enabling the manipulation of topological and non-Euclidean geometries but have also redefined the relationship between design and production (Kolarevic et al., 2001).

During the modernist era, architecture was profoundly influenced by industrialization, with leading figures such as Le Corbusier (1958). Their approach treated architectural form and function as modular, repeatable elements, much like industrial components. This philosophy set the stage for treating architectural design as a series of algorithmic challenges, a notion expanded by researchers like Negroponte. His work and others in computational design have evolved to optimize spatial configurations using algorithms, showcasing how industrial efficiencies have shaped modern architectural practices.

Computational design (CD) has revolutionized building design, transforming conventional processes that rely heavily on manual drafting. Key developments included Sutherland's (1963) Sketchpad, which introduced the first computer-aided design (CAD) system, and the CRAFT algorithm by Buffa et al. (1964) for space planning. Although initially limited in scope, these innovations laid the groundwork for more sophisticated tools. Alexander (1964) and Alexander et al. (1977) further contributed to this field by using relational graphs and tree structures to represent spatial relationships.. Additionally, Negroponte (1975) and his colleagues at MIT investigated early CAD applications in architecture through projects like URBAN II and URBAN V, setting the stage for widespread adoption of computational tools in architecture.

Algorithmic thinking in parametric and computational design involves abstracting design problems into steps and rules, breaking them down into manageable parts, and arranging operations logically for computer execution (Jabi, 2013). Terzidis (2004) defines algorithmic design as creating space and form using rules derived from architectural principles, highlighting the creative benefits of computational complexity in design.

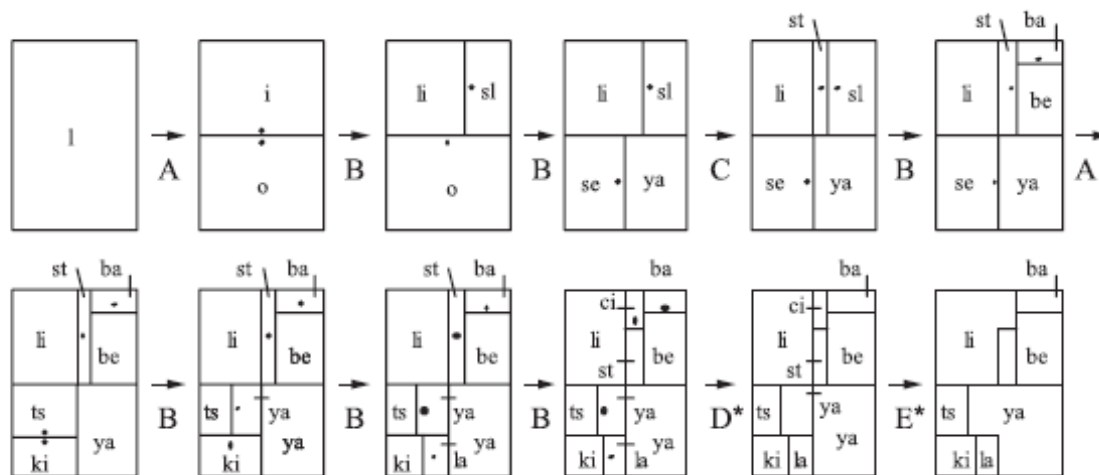
Parametric design, vital to computational design since the late 20th century, enables architects to manipulate relationships between various design parameters. Moretti (1971) initially saw it as managing interrelations among design dimensions, while Kalay (1989) described it as a dynamic process where geometric relationships are updated based on changing parameters. Kolarevic (2003) emphasized its focus on parameters over shapes, allowing for multiple consistent outcomes and easy modifications. This method has shifted architectural practices from manual techniques to more systematic, adaptable approaches that enhance design through iteration and customization (Jabi, 2013).

Generative design is defined as a computational design approach that autonomously generates solutions to complex problems by leveraging algorithmic and rule-based processes. Initially defined by Mitchell (1975), generative design systems are described as tools that can generate multiple viable solutions to specific problems. Mitchell's work emphasized defining and evaluating potential solutions, showcasing the collaborative roles of human designers and computers in enhancing design processes. This approach employs structured processes to explore various solutions within set constraints and objectives, particularly in architecture, engineering, and product design, where algorithms generate alternatives that align with designer-specified requirements. The use of generative design has developed over time, Frazer (1995) contributed form of the foundation of evolutionary architecture. Frazer (1995) suggests that generative design in virtual computer environments simulates natural selection and adaptation, reflecting how these biological processes can influence design methods. Building on this concept, genetic algorithms, as detailed by Holland (1992), play a crucial role in translating these biological principles into computational strategies. These algorithms use a process of selection, mutation, and crossover to evolve solutions to design problems, mimicking the evolutionary process. Using genetic algorithms as a foundation, Frazer (1995) demonstrates how they can optimize complex architectural tasks by iterating through potential solutions, selecting the best features, and leveraging natural evolutionary strategies in a digital context. Following this approach, Jo and Gero (1998) developed an evolutionary design model focused on large office layouts, demonstrating the integration of genetic algorithms with design workflows for effective space planning. Elezkurtaj and Frank (1999) furthered this approach by creating a user-friendly generative design system using genetic algorithms for architectural layouts.

Architectural spatial layout research began with Buffa (1955), who focused on functional diagrams for layout design. Levin (1964) highlighted the early efforts to automate this process, a theme further developed through the computational optimization of space by Krejcirik (1969) and the geometric definition of spaces by Weinzapfel et al. (1971). Eastman (1973) introduced the concept of the "space planning problem (SLP)" to describe challenges in automating spatial arrangement generation, marking a significant move toward integrating computational methods in architecture. Since the 1970s, graph theory has been integral to automating the generation of architectural space layouts, enabling the representation of spaces and their connections using nodes and edges. Levin (1964) and Grason (1971) were pioneers in using graphs to optimize architectural layouts and floor plans. Subsequent developments include Roth et al. (1982), who introduced a method to transform graphs into rectangular floor plans, and Bhasker and Sahni (1986), who developed a linear time algorithm for generating rectangular floor plans from triangulated graphs. Medjdoub and Yannou (2001) introduced a method that used graphs to generate initial topological solutions and suggested enhancing these solutions by integrating dynamic spatial organization techniques.

More recent study, X.-Y. Wang et al. (2018) modified existing floor plans by adjusting room connections to create new layouts. Wang and Zhang (2020) had advanced their methods to use graph transformations and dual graphs, enhancing the customization and creation of floor plans. These studies highlight the profound impact of graph theory on architectural design, offering advanced tools to represent relationships and optimize spatial configurations.

Shape grammar is a computational design method used in architectural spatial layout design that employs rules and algorithms for manipulating geometric shapes. By systematically applying sets of shape rules, architects can generate diverse design alternatives. These rules dictate how shapes can be combined, split, or transformed within a computational framework. Notable works in this field include Stiny and Gips (1971), who introduced shape grammars, and Knight (1999), who discussed the applications of shape grammar in architectural design, education, and practice. Stiny and Mitchell (1978) adapted Andrea Palladio's architectural grammars into a modern framework to develop Villa Malcontenta's plans. Koning and Eizenberg (1981) crafted grammatical rules for interpreting Frank Lloyd Wright's architectural styles. Colakoglu (2005) applied shape grammars to design the Hayat houses, while Duarte (2005) used similar methods to recreate Álvaro Siza's Malagueira residences (**Figure 1**), showcasing the diverse applications of shape grammars in architecture.



**Figure 1.** Generation of spatial layouts for Álvaro Siza's Malagueira residences (Duarte, 2005).

Also, there are another advanced computational approach in architecture like Fractals, L-Systems, Cellular Automata, Swarm Intelligence, and Multi-Agent Systems each uniquely contribute to the generation of complex patterns and behaviours. Fractals (Mandelbrot, 1983) create recursive designs, L-Systems (Lindenmayer, 1968) model plant growth for organic geometries, Cellular Automata (Wolfram, 1984) simulate cell interactions for urban design, Swarm Intelligence (Kennedy & Eberhart, 1995) optimizes design layouts, and Multi-Agent Systems (Wooldridge, 2009) simulate complex socio-spatial interactions. Simulation and analysis in architectural spatial layout design are computational methods are used to predict and evaluate the performance of building designs before they are built. Also, optimization in architectural spatial layout design refers to the process of making a design as effective or functional as possible within a given set of constraints and criteria. These methods support architects in addressing complex challenges, promoting sustainability and innovation inspired by natural and social behaviours.

Also, the evolution of architectural spatial layout design has been significantly influenced by the integration of advanced tools such as Computer-Aided Design (CAD), Building Information Modelling (BIM), Grasshopper, and Dynamo. CAD software allows architects to create detailed 2D and 3D floor plans, facilitating the visualization of spatial arrangements and enabling precise design modifications. BIM technology enhances collaboration and information sharing among project stakeholders by creating a digital representation of the building, including spatial relationships and building components (Sacks et al., 2018). Additionally, visual programming tools like Grasshopper and Dynamo enable architects to create parametric models, generate complex geometries and spatial configurations, and streamline design processes through automation and optimization.

#### a. Changes in Process and Boundaries

The integration of computational design methods into architectural spatial layout design has significantly reshaped both the processes and boundaries of architectural practice. These shifts have not only redefined how architects work but have also expanded the scope and potential of architectural achievements.

Key changes in processes due to computational design include automation and efficiency, collaborative workflows, and parametric and generative design. Tools like CAD and BIM have automated many design process stages, from initial drafting to detailed documentation, enhancing efficiency, and reducing errors while speeding up revision cycles for more rapid iterations. Additionally, the use of BIM and collaborative platforms has transformed traditional architectural workflows into more integrated and collaborative operations. These platforms allow real-time data sharing among various teams, improving coordination and reducing conflicts across disciplines. Advanced tools like Grasshopper and Dynamo have also equipped

architects with capabilities for rapid exploration of a wider range of design alternatives through parametric and generative design.

Boundary changes brought about by computational methods have greatly expanded architectural capabilities, enabling the creation of complex geometries and innovative material uses that were previously unachievable. This expansion has allowed architects to push the limits of form and function and explore new architectural languages. Moreover, the interdisciplinary nature of computational design integrates knowledge from fields like environmental science, engineering, and data science, aiding in addressing complex design questions such as sustainability and user interaction.

### **b. Challenges**

The integration of computational design methods into architectural spatial layout design offer significant benefits but also introduced several challenges that can impact their adoption and effectiveness:

- I. Difficulty Learning the Design Tools: The complexity of advanced computational tools like Grasshopper and Dynamo often requires a steep learning curve, which can be a barrier for many architects not familiar with programming, thus limiting accessibility. Also, frequent updates and maintenance required for computational tools can disrupt ongoing projects and necessitate additional training for users.
- II. Oversimplification and Quantitative Bias: Reliance on quantitative data can overshadow qualitative aspects such as aesthetics, and the oversimplification of architectural problems into mathematical models often does not adequately capture the complexity and variability of real-world design challenges. There is also a risk of over-reliance on automation, which can limit innovation by confining architects to solutions suggested by algorithms.
- III. Workflow and Cost Implications: The integration of computational tools requires substantial adjustment in design workflow management. Also, the cost of implementing computational design software and hardware can also be prohibitively expensive, especially for smaller firms, due to the need for high-performance computing resources. And, as projects increase in size and complexity, some tools may not perform efficiently at larger scales, leading to delays and increased costs.

### **c. Future Directions**

Future directions for computational design in architectural spatial layout could include several transformative advancements:



- I. Improved User Interfaces and Training: Develop user-friendly interfaces and comprehensive educational programs to reduce the learning curve and make computational tools accessible to a wider range of professionals.
- II. Development of Hybrid Decision-Making Tools: Developing hybrid tools that blend algorithmic suggestions with human input can help preserve creative freedom, allowing architects to use computational outputs as foundational elements to innovate and customize designs further. Also, future computational tools should integrate qualitative aspects such as aesthetics with quantitative data using advanced AI, enabling more comprehensive and holistic design solutions. Enhanced integration with artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) is anticipated to streamline complex decision-making process and enable designs that respond better to human and environmental needs.
- III. Reducing Workflow and Cost Challenges: To address workflow and cost challenges in architectural design, future tools should integrate smoothly into existing systems via modular designs or add-ons and emphasize scalable, efficient solutions. Adopting cloud-based computing and subscription models can also make advanced tools more affordable and accessible, especially for smaller firms, by reducing costs and distributing the financial load.

## 5. Artificial Intelligence (AI) for Architectural Spatial Layout Design

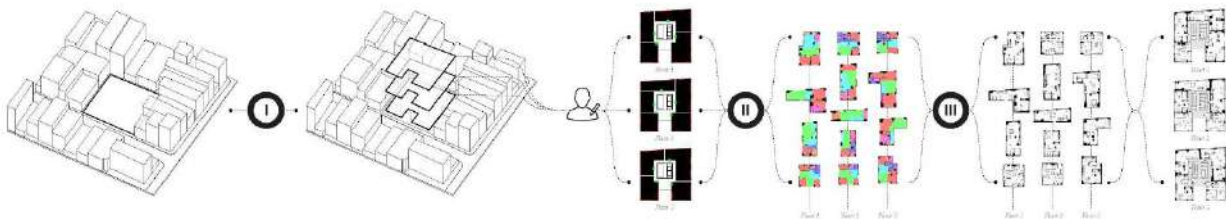
Artificial Intelligence (AI) involves creating computer systems that emulate human cognitive abilities such as learning, problem-solving, and decision-making. Since its early theoretical foundations in the 1940s, AI has advanced notably, beginning with McCulloch and Pitts' (1943) neural network model, Turing's (1950) introduction of the Turing Test, McCarthy et al.'s (1955) coining of the term AI and Rosenblatt's (1958) Perceptron model. Today, AI is essential across various industries, its scope continuously expanding and evolving (Chaillou, 2022). Machine Learning (ML), a critical branch of Artificial Intelligence (AI), is defined as the ability of computers to learn and make decisions from data without being explicitly programmed (Samuel, 1959). Machine learning (ML) algorithms learn from data to make predictions or decisions on new, unseen data without specific programming. This contrasts with traditional programming, where rules are hardcoded without any adaptive learning component. ML leverages data to build models that tackle complex issues, especially when creating rule-based programs is impractical, relying on the availability of relevant data. Deep learning is a subset of ML that utilizes algorithms known as artificial neural networks to model and interpret complex data and patterns (Goodfellow et al., 2016). Deep Neural Networks (DNNs) are intricate architectures in the domain of deep learning, engineered to handle complex data via multiple layers.

Deep neural networks come in various forms, each differentiated by their operational capabilities and the methodologies they utilize to generate outputs. These include Convolutional Neural Networks (CNNs), Recurrent Neural Networks (RNNs), Generative Adversarial Networks (GANs), Autoencoders, Transformer Models, Diffusion Models, and Graph Neural Networks (GNNs). Convolutional Neural Networks (CNNs) excel in processing data with a grid-like structure, such as images, due to their architecture which mimics the human visual cortex. Key components include convolutional layers that detect features by applying filters, pooling layers that reduce data dimensionality, and fully connected layers that classify the input based on the learned features. Recurrent Neural Networks (RNNs) are designed to process sequential data by maintaining a memory of previous inputs, enabling them to perform well in tasks like natural language processing and speech recognition. This ability to remember past information makes RNNs ideal for applications where understanding the context over time is crucial. Generative Adversarial Networks (GANs) are a type of generative model introduced by Goodfellow et al. (2014) that include two main components: a Generator that creates convincing synthetic data, and a Discriminator that classifies data as real or synthetic. Graph Neural Networks (GNNs) are a type of deep neural network specifically designed to handle data structured as graphs, effectively capturing relationships and interactions within complex networks (Scarselli et al., 2009).

The progression of Artificial Intelligence (AI) in architecture has been notably driven by innovations in fields such as engineering and computer science. This interdisciplinary influence has resulted in a wide range of applications and theoretical models within the architectural field. The integration of AI into architecture began with pioneering work by Negroponte (1975) exploring AI's potential in optimizing architectural layouts, which evolved into the collaborative Computer-Aided Design (CAD) systems used today. The integration of Machine Learning, particularly through deep neural networks, into architecture marks a significant transformation, enhancing design, maintenance, and floor plan analysis, and breaking traditional constraints through innovative, data-driven, and adaptable solutions. Machine Learning revolutionizes architecture by enhancing design, visualization, and performance, enabling advanced techniques such as style transfer and 3D modelling, and integrating with BIM for automated processes and robotics, thereby boosting efficiency, creativity, and sustainability in the field.

The implementation of machine learning in architecture has fostered two innovative approaches: image-based methods, which leverage neural networks like CNNs and GANs for generating and analysing visual designs, and graph-based methods, which utilize Graph Neural Networks (GNNs) to represent and evaluate architectural structures and relationships through graph data structures.

Since their introduction by Goodfellow et al. (2014), Generative Adversarial Networks (GANs) have significantly evolved, enabling more sophisticated architectural design applications. Developments like Conditional GANs by Mirza and Osindero (2014), iGAN by Zhu et al. (2016), and advanced image-to-image translation techniques such as Pix2Pix and Pix2PixHD developed by Isola et al. (2017) and T.-C. Wang et al. (2018) respectively, have enhanced the realism and detail of generated architectural images. Notably, CycleGAN by Zhu et al. (2017) allows for image translation without paired data, which is particularly beneficial in architecture. Huang and Zheng (2018) further demonstrated GANs' utility in converting conceptual designs into detailed architectural plans, illustrating their transformative impact on architectural design. As et al. (2018) used Deep Neural Networks (DNNs) and Generative Adversarial Networks (GANs) to create new designs from graph-based data models extracted from Revit. Peters (2018) mapped out room functions in color-coded areas of a home without fixed windows. Newton (2019) applied GANs to create floor plans using a small dataset derived from Le Corbusier's architectural projects. Wu et al. (2019) automate room placement and wall predictions, offering limited user customization in the design process. Chaillou (2019) used GAN applications to generate detailed, statistically driven floor plans, incorporating building massing, space distribution, and furniture layout (**Figure 2**). Rahbar et al. (2019) employed the pix2pix algorithm to create spatial layouts within predetermined boundaries. Uzun et al. (2020) utilized Deep Convolutional GANs (DCGANs) to automatically generate architectural plans in the style of Andrea Palladio, evaluating their effectiveness as a generative tool.



**Figure 2.** Architectural layout generation process (Chaillou, 2019).

The use of Graph Neural Networks (GNNs) is increasingly significant in architectural floor plan design. In this context, Hu et al. (2020) developed a framework called Graph2Plan that employs a specialized GNN to automate the creation of architectural layouts (**Figure 3**). This model integrates user inputs to enhance the efficiency and adaptability of generating floor plans. Hybrid approaches have also been utilized, such as the method name House-GAN introduced by Nauata et al. (2020), which combines graph constrained GANs with GNNs for architectural layout planning, and mapping constraints into functional designs. Nauata et al. (2021) improved this approach with House-GAN++, enhancing output quality and vectorization processes.

Liu et al. (2022) introduced a new method using a Graph Convolutional Network (GCN) and an Auto-Regressive Transformer to produce detailed, vector-based space layouts, improving customization and input specificity. Zhao et al. (2021) evaluated floor plan generation for emergency departments using DCGAN, pix2pix, and CycleGAN, and found CycleGAN most effective due to its single-image training capability and ability to adapt architectural features. Luo and Huang (2022) developed FloorplanGAN, a framework that combines vector-based generation with raster-based discrimination to create flat layouts. Rahbar et al. (2022) introduced a hybrid method combining agent-based modelling and deep learning to generate 2D architectural layouts with the pix2pix algorithm. Azizi et al. (2022) presented a method that combines long-short-term memory (LSTM) and variational autoencoder (VAE) attributed graphs to embed and generate floor plans. Aalaei et al. (2023) introduced a technique for automatically creating architectural layouts using graph-constrained conditional Generative Adversarial Networks (GANs), drawing inspiration from Hu et al. (2020). Their method improves input customization and spatial accuracy, addressing non-axis-aligned space challenges.

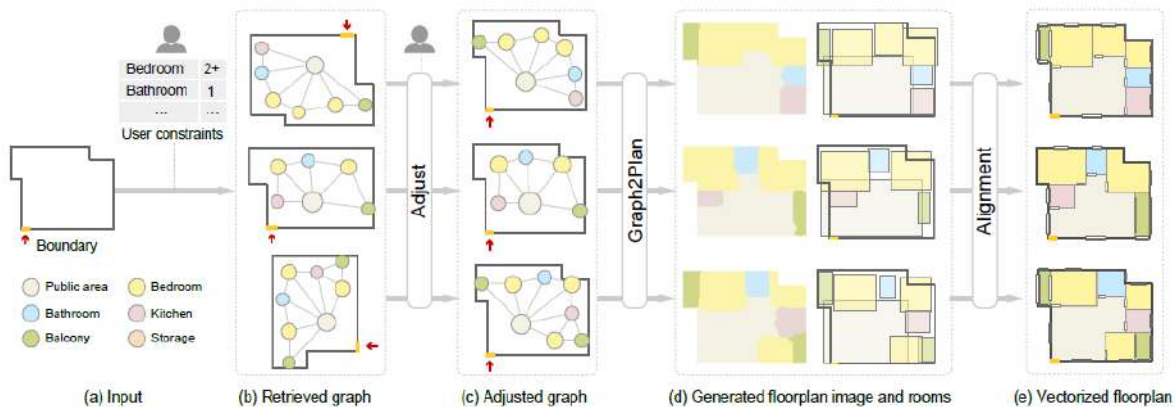


Figure 3. Architectural automated layout generation framework (Hu et al., 2020).

### a. Changes in Process and Boundaries

AI in architectural design significantly transforms processes and expands boundaries. AI tools enhance efficiency and precision in spatial planning by automating routine tasks and analysing complex data, traditionally requiring extensive human intervention. As Lobos and Donath (2010) highlight, AI's ability to

process and synthesize vast amounts of data from diverse sources facilitates more informed decision-making at every project stage, leading to designs that better meet functional and environmental criteria.

## b. Challenges

Machine learning (ML) presents significant opportunities for architectural spatial design. However, there are challenges in effectively applying ML within architectural spatial layout design, particularly due to the diverse and complex nature of architectural data:

- I. Complex Data Management: Architectural data involves diverse formats such as text, images, 2D and 3D models that need extensive preprocessing to become analysable. Each type of data might come in different formats and standards, making integration a significant hurdle. Standardizing this data to feed into ML algorithms is crucial, as inconsistent data can lead to inaccurate models and unreliable outputs. Simplifying these data types for ML applications can be both complex and time-intensive, but it is crucial for effective analysis and integration into architectural projects.
- II. Data Scarcity in Architecture: While there is a rich source of data in architectural design, particularly through Building Information Modelling (BIM), the availability of structured, machine-readable data is often limited. The effectiveness of ML models is heavily dependent on the quality and quantity of the training data available. In architecture, high-quality, project-specific data can be scarce or expensive to obtain. Moreover, because each project is unique, data from one project may not be entirely applicable to another, complicating the training process.
- III. Complexity of Architectural Problems: Architectural design problems are inherently complex and multifaceted, often involving multiple objectives and constraints that are difficult to quantify and balance. For instance, optimizing a building's layout for both energy efficiency and user comfort requires nuanced decision-making that traditional ML models might not handle well without significant customization.
- IV. Integrating ML with Design Workflow: Architects require a high level of control over the design process to ensure that the final outcomes meet specific aesthetic and functional criteria. However, ML models, especially those based on deep learning, tend to function as "black boxes," providing little visibility into how decisions are made. This opacity can pose significant challenges when integrating ML into architectural design because comprehending the reasoning behind design choices is essential. Also, many architectural design tools, such as AutoCAD, Revit, and SketchUp, are already entrenched in current workflows. Integrating ML functionalities into these established tools without disrupting existing operations is challenging. Compatibility issues might arise, requiring extensive customization or plugin development to ensure smooth interoperability.

I. User Skill Requirements: Architects need to be proficient in using advanced ML tools, necessitating updates in educational curricula and continuous professional development to bridge the gap between traditional architectural skills and new technological demands.

### c. Future Directions

To address the challenges associated with integrating machine learning (ML) into architectural spatial layout design, several future directions can be pursued to enhance the effectiveness and adoption of ML technologies:

- I. Enhanced Data Management Solutions: Developing robust data management platforms or tools is essential for integrating machine learning in architecture. These systems should automate the conversion of various data types—like text, images, and 3D models—into standardized formats. For instance, converting scanned building plans into a consistent dataset simplifies ML analysis, reduces prep time, and enhances data reliability.
- II. Data Augmentation and Synthetic Data Generation: To overcome the issue of data scarcity and the non-transferability of data across different projects, investing in data augmentation techniques and synthetic data generation can be valuable. These methods can artificially increase the volume and diversity of training data, allowing ML models to learn from a broader array of scenarios and enhancing their generalizability.
- III. Development of Specialized ML Models: Creating ML models that are specifically tailored to handle the complexity of architectural design problems is necessary. These models should be designed to account for multiple objectives and constraints, such as balancing energy efficiency with user comfort. Specialized models could incorporate domain-specific knowledge to better understand and predict outcomes in architectural contexts.
- IV. Integration Strategies for ML and Design Tools: Developing standardized APIs and middleware solutions that can integrate ML functionalities into existing architectural tools like AutoCAD, Revit, and SketchUp without disrupting current workflows is essential. These integrations should allow for smooth interoperability and provide architects with enhanced capabilities that complement traditional design processes.
- V. User Skill Training: Establishing comprehensive training programs and updating educational curricula to include ML skills relevant to architecture can address the gap in user skills. Continuous professional development courses should be made available, focusing on the application of ML in architectural design, to ensure that practicing architects can stay updated with the latest technologies

## 6. Conclusion

The integration of digital technologies in the field of architectural spatial layout design marks a paradigm shift in the boundaries and processes traditionally associated with the discipline. This transition from conventional methodologies to computational and AI-driven approaches has facilitated unprecedented levels of creativity, efficiency, and precision, enabling the design of complex, optimized, and personalized architectural spaces. However, this technological evolution is accompanied by considerable challenges that must be systematically addressed to harness its full potential.

Among the challenges are the steep learning curves associated with new computational tools and artificial intelligence systems, which can be formidable barriers to adoption. There exists a potential risk of over-dependence on technological solutions, which may diminish the creative agency of architects, relegating them to the role of operators. Furthermore, issues in data management emerge due to the diversity and volume of data required for machine learning applications, complicating the seamless integration of AI into existing workflows. The financial implications of adopting advanced technologies also pose significant constraints, particularly for smaller architectural firms, while the integration of new tools frequently disrupts established workflows, necessitating substantial procedural adjustments.

Future implications of these technological shifts are substantial. Architects are expected to function within an increasingly data-centric framework that promotes interdisciplinary collaboration. Anticipated developments include the creation of more user-friendly interfaces and comprehensive training programs, which aim to mitigate the steep learning curves associated with these technologies. Additionally, there may be an increased prevalence of hybrid design tools that meld human creative insights with algorithmic precision, ensuring that technology supplements rather than supplants the architect's creative input.

Moreover, as technological capabilities expand, architects will need to critically balance these possibilities with ethical considerations, particularly those concerning sustainability and the societal impacts of their designs. The profession must carefully navigate these expanded boundaries to leverage technological advancements while adhering to the core values of architecture as a discipline centred around human experience.

In summary, the trajectory towards a more integrated and technologically driven practice in architecture presents numerous challenges. Nevertheless, by confronting these challenges directly and focusing on potential areas for advancement and refinement, the field can evolve in a manner that both respects its historical traditions and embraces futuristic innovations. The ultimate objective remains to ensure that

technological progress enriches both the functionality and the aesthetic qualities of the built environment, thus serving the broader community effectively.

## REFERENCES

- Aalaei, M., Saadi, M., Rahbar, M., & Ekhlasi, A. (2023). Architectural layout generation using a graph-constrained conditional Generative Adversarial Network (GAN). *Automation in Construction*, 155, 105053. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105053>
- Alexander, C. (1964). *Notes on the synthesis of form*. Harvard University Press.
- Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I., & Shlomo, A. (1977). *A pattern language : towns, buildings, construction*. Oxford University Press.
- As, I., Pal, S., & Basu, P. (2018). Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, 16(4), 306-327. <https://doi.org/10.1177/1478077118800982>
- Azizi, V., Usman, M., Zhou, H., Faloutsos, P., & Kapadia, M. (2022). Graph-based generative representation learning of semantically and behaviorally augmented floorplans. *The Visual Computer*, 38, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00371-021-02155-w>
- Bhasker, J., & Sahni, S. (1986, 29 June-2 July 1986). A Linear Algorithm to Find a Rectangular Dual of a Planar Triangulated. 23rd ACM/IEEE Design Automation Conference,
- Brand, S. (1994). *How buildings learn : what happens after they're built*. Viking.
- Buffa, E. S. (1955). Sequence analysis for functional layouts. *Journal of Industrial Engineering*, 6(2), 12-13.
- Buffa, E. S., Armour, G. C., & Vollmann, T. E. (1964). Allocating facilities with CRAFT. *Harvard business review*, 3, 136-158.
- Chaillou, S. (2019). *AI + Architecture | Towards a New Approach* [Master's thesis, Harvard University].
- Chaillou, S. (2022). *Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice*. Birkhauser.
- Ching, F. D. K. (2007). *Architecture : form, space, & order* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Colakoglu, B. (2005). Design by Grammar: An Interpretation and Generation of Vernacular Hayat Houses in Contemporary Context. *Environment and planning b: planning and design*, 32(1), 141-149. <https://doi.org/10.1068/b3096>
- Corbusier, L. (1958). *The modular; a harmonious measure to the human scale universally applicable to architecture and mechanics* (2d ] ed.). Harvard University Press.
- Duarte, J. P. (2005). A discursive grammar for customizing mass housing: the case of Siza's houses at Malagueira. *Automation in Construction*, 14(2), 265-275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.013>
- Eastman, C. M. (1973). Automated space planning. *Artificial Intelligence*, 4(1), 41-64. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-3702\(73\)90008-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-3702(73)90008-8)
- Elezkurtaj, T., & Franck, G. (1999). Genetic algorithms in support of creative architectural design. *European Computer Aided Architectural Design And Education*, 17 645-651.
- Frazer, J. H. (1995). *An Evolutionary Architecture*. Architectural Association.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. The MIT Press.







- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in neural information processing systems*, 27.
- Grason, J. (1971). *An approach to computerized space planning using graph theory* Proceedings of the 8th Design Automation Workshop, Atlantic City, New Jersey, USA. <https://doi.org/10.1145/800158.805070>
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1090.001.0001>
- Hu, R., Huang, Z., Tang, Y., Kaick, O. v., Zhang, H., & Huang, H. (2020). Graph2Plan: Learning Floorplan Generation from Layout Graphs. *Acm Transactions on Graphics*, 39(4), 1-14. <https://doi.org/10.1145/3386569.3392391>
- Huang, W., & Zheng, H. (2018). *Architectural Drawings Recognition and Generation through Machine Learning*. <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2018.156>
- Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),
- Jabi, W. (2013). *Parametric Design for Architecture* (Vol. 11). <https://doi.org/10.1260/1478-0771.11.4.465>
- Jo, J. H., & Gero, J. S. (1998). Space layout planning using an evolutionary approach. *Artificial Intelligence in Engineering*, 12(3), 149-162. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0954-1810\(97\)00037-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0954-1810(97)00037-X)
- Kalay, Y. E. (1989). *Modeling objects and environments*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, 27 Nov.-1 Dec. 1995). Particle swarm optimization. Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks,
- Knight, T. (1999). Applications in architectural design and education and practice. *Report for the NSF/MIT Workshop on Shape Computation, Cambridge, Mass., 25-26 April 1999*.
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (1st ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203634561>
- Kolarevic, B., Gross, M. D., & Do, E. Y.-L. (2001). Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. *eCAADe proceedings*.
- Koning, H., & Eizenberg, J. (1981). The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses. *Environment and planning b: planning and design*, 8(3), 295-323. <https://doi.org/10.1068/b080295>
- Krejcirik, M. (1969). Computer-aided plant layout. *Computer-Aided Design*, 2(1), 7-19. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(69\)80028-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0010-4485(69)80028-X)
- Kwok, A., & Grondzik, W. (2007). The Green Studio Handbook: Environmental Strategies for Schematic Design. *Enquiry: A Journal for Architectural Research*, 4. <https://doi.org/10.17831/enq:arcc.v4i2.47>
- Levin, P. H. (1964). *Use of graphs to decide the optimum layout of buildings*. Building Research Station.
- Lindenmayer, A. (1968). Mathematical models for cellular interactions in development II. Simple and branching filaments with two-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology*, 18(3), 300-315. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-5193\(68\)90080-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-5193(68)90080-5)
- Liu, J., Xue, Y., Duarte, J., Shekhawat, K., Zhou, Z., & Huang, X. (2022). End-to-end graph-constrained vectorized floorplan generation with panoptic refinement. European Conference on Computer Vision,
- Lobos, D., & Donath, D. (2010). The problem of space layout in architecture: A survey and reflections. *Arquitetura Revista*, 6, 136-161. <https://doi.org/10.4013/arq.2010.62.05>

- Luo, Z., & Huang, W. (2022). FloorplanGAN: Vector residential floorplan adversarial generation. *Automation in Construction*, 142, 104470. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104470>
- Mandelbrot, B. B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. Henry Holt and Company. <https://books.google.co.uk/books?id=SWcPAQAAMAAJ>
- McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. (1955). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- Medjdoub, B., & Yannou, B. (2001). Dynamic Space Ordering at a Topological Level in Space Planning. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(1), 47-60. [https://doi.org/10.1016/s0954-1810\(00\)00027-3](https://doi.org/10.1016/s0954-1810(00)00027-3)
- Michalek, J., Choudhary, R., & Papalambros, P. (2002). Architectural layout design optimization. *Engineering Optimization*, 34(5), 461-484. <https://doi.org/10.1080/03052150214016>
- Mirza, M., & Osindero, S. (2014). Conditional generative adversarial nets. *arXiv preprint arXiv:1411.1784*.
- Mitchell, W. J. (1975). The theoretical foundation of computer-aided architectural design. *Environment and planning b: planning and design*, 2(2), 127-150.
- Moretti, L. (1971). Ricerca matematica in architettura e urbanistica. *Moebius IV*, 1, 30-53.
- Nauata, N., Chang, K.-H., Cheng, C.-Y., Mori, G., & Furukawa, Y. (2020). House-GAN: Relational Generative Adversarial Networks for Graph-constrained House Layout Generation. European Conference on Computer Vision,
- Nauata, N., Hosseini, S., Chang, K.-H., Chu, H., Cheng, C.-Y., & Furukawa, Y. (2021). House-gan++: Generative adversarial layout refinement network towards intelligent computational agent for professional architects. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,
- Negroponte, N. (1975). The architecture machine. *Computer-Aided Design*, 7(3), 190-195. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-4485\(75\)90009-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0010-4485(75)90009-3)
- Newton, D. (2019). *Deep Generative Learning for the Generation and Analysis of Architectural Plans with Small Datasets*. [https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019\\_135](https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_135)
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229-265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Peters, N. (2018). *Enabling Alternative Architectures : Collaborative Frameworks for Participatory Design* [Master's thesis, Harvard University Graduate School of Design].
- Rahbar, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., Davaie Markazi, A. H., & Hovestadt, L. (2019). Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. *Applied Artificial Intelligence*, 33(8), 689-705. <https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919>
- Rahbar, M., Mahdavinejad, M., Markazi, A. H. D., & Bemanian, M. (2022). Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach. *Journal of Building Engineering*, 47, 103822. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103822>
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, 65 6, 386-408.

- Roth, J., Hashimshony, R., & Wachman, A. (1982). Turning a graph into a rectangular floor plan. *Building and Environment*, 17(3), 163-173. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1323\(82\)90037-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1323(82)90037-3)
- Sacks, R., Eastman, C. M., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). BIM Handbook. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Samuel, A. L. (1959). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3(3), 210-229. <https://doi.org/10.1147/rd.33.0210>
- Scarselli, F., Gori, M., Tsoi, A. C., Hagenbuchner, M., & Monfardini, G. (2009). The Graph Neural Network Model. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 20(1), 61-80. <https://doi.org/10.1109/TNN.2008.2005605>
- Stiny, G., & Gips, J. (1971). 'Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture' (Vol. 71).
- Stiny, G., & Mitchell, W. J. (1978). The Palladian Grammar. *Environment and planning b: planning and design*, 5(1), 5-18. <https://doi.org/10.1068/b050005>
- Sutherland, I. E. (1963). *Sketchpad: a man-machine graphical communication system* Proceedings of the May 21-23, 1963, spring joint computer conference, Detroit, Michigan. <https://doi.org/10.1145/1461551.1461591>
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381-399. <https://doi.org/10.1108/09578230910955809>
- Terzidis, K. (2004). Algorithmic design: a paradigm shift in architecture. Architecture in the Network Society [22nd eCAADe Conference Proceedings/ISBN 0-9541183-2-4] Copenhagen (Denmark),
- Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*(59), 433-460.
- Ulrich, R. S., Zimring, C., Zhu, X., DuBose, J., Seo, H. B., Choi, Y. S., Quan, X., & Joseph, A. (2008). A review of the research literature on evidence-based healthcare design. *Herd*, 1(3), 61-125. <https://doi.org/10.1177/193758670800100306>
- Uzun, C., Birgül Çolakoğlu, M., & Inceoğlu, A. (2020). GAN as a generative architectural plan layout tool: A case study for training DCGAN with Palladian Plans and evaluation of DCGAN outputs. *A/Z ITU JOURNAL OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE*, 17(2), 185-198. <https://doi.org/10.5505/ituja.2020.54037>
- Wang, T.-C., Liu, M.-Y., Zhu, J.-Y., Tao, A., Kautz, J., & Catanzaro, B. (2018). High-resolution image synthesis and semantic manipulation with conditional gans. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition,
- Wang, X.-Y., Yang, Y., & Zhang, K. (2018). Customization and generation of floor plans based on graph transformations. *Automation in Construction*, 94, 405-416. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.017>
- Wang, X.-Y., & Zhang, K. (2020). Generating layout designs from high-level specifications. *Automation in Construction*, 119, 103288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103288>
- Weinzapfel, G., Johnson, T. E., & Perkins, J. (1971). *IMAGE: An interactive computer system for multi-constrained spatial synthesis* Proceedings of the 8th Design Automation Workshop, Atlantic City, New Jersey, USA. <https://doi.org/10.1145/800158.805064>
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*, 311(5985), 419-424. <https://doi.org/10.1038/311419a0>
- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. Wiley Publishing.
- Wu, W., Fu, X., Tang, R., Wang, Y., Qi, Y., & Liu, L. (2019). Data-driven interior plan generation for residential buildings. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 38, 1 - 12.

- Zhao, C., Yang, J., & Li, J. (2021). Generation of hospital emergency department layouts based on generative adversarial networks. *Journal of Building Engineering*, 43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102539>
- Zhu, J.-Y., Krähenbühl, P., Shechtman, E., & Efros, A. A. (2016). *Generative Visual Manipulation on the Natural Image Manifold* Computer Vision – ECCV 2016,
- Zhu, J.-Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision,

## **Peşaj Mimarlığının Taksonomisini Güncellemek: Pratik ve Teori Arakesitinde Kavramsal Bir Okuma**

Barış KALYONCUOĞLU<sup>1-3</sup> ; Bahar BAŞER KALYONCUOĞLU<sup>2</sup> ; PINAR KESİM AKTAŞ<sup>3</sup> ; Cemil AKTAŞ<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi; <sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi; <sup>3</sup>CAPS Kentsel Tasarım

<sup>1</sup>baris@caps.com.tr; <sup>2</sup>bahar.baser@medipol.edu.tr

### **Özet**

*Günümüz mimarlıklarının kuram, tasarım ve uygulama alanları ortak bir dili paylaşıyor olsa da bu dilin terimlerinin ifade ettiği anlamların algılanışı disiplinin farklı aşamalarında ayrılmaya başlamaktadır. Güncel tasarım kuramları hem yüksek eğitimde hem de uygulamada öncü bir terminoloji oluştururken, bu terminolojinin anlamı ile mekân tasarımında ortaya çıkan tezahürü arasındaki ilişki giderek zayıflamaktadır. Mekan tasarımında jeneratif tasarım araçlarının ve yapay zekâ uygulamalarının artan kullanımı, dilin ve anlamının daha iyi anlaşılması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.*





*Bu çalışma, peşaj mimarlığı ve kentsel tasarım alanında değişen söylemlerin izini sürmek amacıyla, "corpus" tekniğine dayalı metinsel bir okuma ile peşaj mimarlığının güncel kavramsal evrenini sayısal verilere dönüştürerek analiz etmeyi hedeflemektedir.*

*Bu çalışma son 10 yılda üretilmiş peşaj tasarım projelerinin "spekülasyonlarını ve performatif içeriklerini" analiz ederek bu soruların yanıtlarını aramayı amaçlamaktadır. Peşaj mimarlığının söylemindeki değişim ve etkileşimlerin anlaşılabilmesinde disiplinin kendi içinde ürettiği metinler en önemli veri setlerindedir. Bu bağlamda peşaj mimarlığının teorik ve pratik alanlarını karşılaştırmada, dönemsel değişimleri yıllara göre izlemede en çok veri içeren kayıtlı bir kaynak olarak yarışmalar için üretilmiş şartname metinleri araştırmanın örneklemini oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında 2014-2024 yılları arasında yayımlanmış kentsel tasarım ve peşaj mimarlığı konulu 45 adet yarışma şartnamesi taranarak, peşaj mimarlığının kavramsal dünyasının içeriğine ilişkin sayısal ve görsel bulgular ortaya konulmaya çalışılmıştır. Oluşturulan ham corpusun analiz edilmesi için çalışmanın doğası ve sürdürülebilirliği göz önüne alınarak "Voyant Tools" ile çalışmalar sürdürülmüştür.*

*Yaptığımız analizler sonucu elde ettiğimiz bulgular göstermektedir ki; peşaj mimarlığı alanında yarışmalar özelinde bakıldığında kuramsal ve kavramsal içerikler insan merkezli bir söylemden ekoloji ve doğa merkezli bir söyleme doğru değişim geçirmiştir. İnsanlar için daha kullanışlı ve konforlu çevreler yaratma eylemi olarak tanımlanan peşaj mimarlığı, tasarımın merkezine doğayı korumayı koyarak, kentsel mekanda dahi doğalcılığı tercih eden bir söylem geliştirmeye başlamıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Veri kavramsallaştırma, AI, Bilgi Taksonomisi, Peşaj Mimarlığı, Kentsel Tasarım

## Updating the Conceptual Taxonomy of Landscape Architecture: A Conceptual Reading at the Interface of Practice and Theory

Barış KALYONCUOĞLU<sup>1-3</sup> ; Bahar BAŞER KALYONCUOĞLU<sup>2</sup> ; PINAR KESİM AKTAŞ<sup>3</sup> ; Cemil AKTAŞ<sup>3</sup>   
<sup>1</sup>İstanbul Technical University; <sup>2</sup>İstanbul Medipol University; <sup>3</sup>CAPS Urban Design  
<sup>1</sup>baris@caps.com.tr; <sup>2</sup>bahar.baser@medipol.edu.tr

### Abstract

*Although the fields of theory, design and practice of contemporary architecture share a common language, the perception of the meanings expressed by the terms of this language begins to diverge at different stages of the discipline. While current design theories constitute a leading terminology in both higher education and practice, the relationship between the meaning of this terminology and its manifestation in space design is gradually weakening. The increasing use of generative design tools and artificial intelligence applications in spatial design creates the need for a better understanding of the language and its meaning.*

*In order to trace the changing discourses in the field of landscape architecture and urban design, this study aims to analyse the current conceptual universe of landscape architecture by transforming it into numerical data through a textual reading based on the 'corpus' technique.*

*This study aims to seek answers to these questions by analysing the 'speculations and performative contents' of landscape design projects produced in the last 10 years. In understanding the changes and interactions in the discourse of landscape architecture, the texts produced within the discipline are among the most important data sets. In this context, the specification texts produced for competitions constitute the sample of the research as a recorded source containing the most data in comparing the theoretical and practical fields of landscape architecture and monitoring periodical changes by years. Within the scope of the research, 45 competition specifications on urban design and landscape architecture published between 2014-2024 were scanned and numerical and visual findings regarding the content of the conceptual world of landscape architecture were tried to be revealed. In order to analyse the raw corpus created, studies were carried out with 'Voyant Tools' considering the nature and sustainability of the study. The findings obtained as a result of our analyses show that; the theoretical and conceptual contents have changed from a human-centred discourse to an ecology and nature-centred discourse in the field of landscape architecture competitions. Landscape architecture, which is defined as the act of creating more useful and comfortable environments for people, has started to develop a discourse that prefers naturalism even in urban spaces by putting nature conservation at the centre of design.*

**Keywords:** Data conceptualisation, AI, Information Taxonomy, Landscape Architecture, Urban Design.

## 1. Giriş:

Günümüz mimarlıklarının kuram, tasarım ve uygulama alanları ortak bir dili paylaşıyor olsa da bu dilin terimlerinin ifade ettiği anlamların algılanışı disiplinin farklı aşamalarında ayrılmaya başlamaktadır. Güncel tasarım kuramları hem yüksek eğitimde hem de uygulamada öncü bir terminoloji oluştururken, bu terminolojinin anlamı ile mekân tasarımında ortaya çıkan tezahürü arasındaki ilişki giderek zayıflamaktadır. Mekan tasarımında jeneratif tasarım araçlarının ve yapay zekâ uygulamalarının artan kullanımı, dilin ve anlamının daha iyi anlaşılması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Birçok popüler üretken yapay zekâ programı ve hizmeti, doğal dil komutlarına dayalı olarak görüntüleri manipüle etmektedir. Bu alanda çok sayıda araştırma yapılmış ve çok sayıda teori üretilmiş olmasına rağmen teori, tasarım ve uygulama alanlarında bu araçların koordinasyonuna odaklanan ortak bir terminoloji çalışması yapılmamıştır.

Mimarlık alanı bize sürekli değişen ve gelişen bir kavramlar evreni, başka bir deyişle akışkan karakterli bir kavramlar evreni sunar. Bu çoklu bilgi alanı kendi içinde evrilirken hem teorideki hem de pratikteki gelişmelerden etkilenmektedir. Ancak etkileşimleri etkin bir şekilde görebilmek için özellikle kavramsallaştırma konusunda pratik ve teori arasında bir köprü/portal oluşturmak gerekmektedir. Bu çalışmada, teorik evrenin varsayımsal arka planı ile pratikler evrenindeki güncel tartışmalar arasındaki etkileşim/dalgalanma düzeyini anlamak için son dönem tasarım projelerinin spekülasyonları ve performatif içeriklerinin analiz edilmesi hedeflenmektedir. Bu araştırma ile peyzaj mimarlığı disiplininin farklı evrenlerini karşılaştırarak, fikirler arasındaki ilişkilere dair görsel içerikli bir ağ haritası oluşturmayı umuyoruz.

## 2. Problemin Tanımı ve Araştırmanın Kapsamı

Yeşil alanların tasarımı sorunsalını merkezine koyan peyzaj mimarlığı, global ölçekte gerçekleşen değişimlerden ve kırılımlardan etkilenmekte, tüm tasarım alanlarında olduğu gibi çeşitli söylem değişiklikleri geçirmektedir.

“Bu söylem değişikliklerinin sınırlarını, kırılım noktalarını ve içeriklerini anlamaya yönelik bir analiz yaklaşımı ne olmalıdır?” sorusu ile başlayan bu araştırmanın çıkış noktasını oluşturan başlıca araştırma soruları şunlardır:

- Peyzaj mimarlığı alanında son 10 yılda nasıl bir söylem değişikliği olmuştur?
- Peyzaj mimarlığı bilgi alanına yeni giren, anlam değişikliği geçiren kelime ve kavramlar nelerdir?
- Peyzaj mimarlığının güncel kavramsal evrenindeki kırılma noktaları, ve bu kırılmaları niteleyen gösterge terimler nelerdir?

- Kavramlar evreninin içerdiği terimlerin değişimi, kuramsal söylemin içeriğini nasıl/ ne şekilde etkileyecektir?

Bu çalışma son 10 yılda üretilmiş peyzaj tasarım projelerinin "spekülasyonlarını ve performatif içeriklerini" analiz ederek bu soruların yanıtlarını aramayı amaçlamaktadır. Peyzaj mimarlığının söylemindeki değişim ve etkileşimlerin anlaşılabilmesinde disiplinin kendi içinde ürettiği metinler en önemli veri setlerindedir. Bu bağlamda peyzaj mimarlığının teorik ve pratik alanlarını karşılaştırmada, dönemsel değişimleri yıllara göre izlemeye en çok veri içeren kayıtlı bir kaynak olarak yarışmalar için üretilmiş şartname metinleri araştırmanın örneklemini oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında 2014-2024 yılları arasında yayımlanmış kentsel tasarım ve peyzaj mimarlığı konulu 45 adet yarışma şartnamesi taranarak, peyzaj mimarlığının kavramsal dünyasının içeriğine ilişkin sayısal ve görsel bulgular ortaya konulacaktır.

### 3. Araştırma Metodolojisi ve Materyal:

Yukarıda yer alan araştırma soruları ekseninde kurgulanan bu araştırma, peyzaj mimarlığının teorik ve pratik alanlarındaki kuramsal değişimi analiz etmek amacıyla; tasarım yarışmaları için oluşturulan metinlerdeki temel kavramlar arasındaki bağlantıları incelemeye odaklanmıştır. Çalışma kapsamında; son 10 yılda kent-peyzaj -mimarlık arakesitinde değişen söylemleri, kırılma noktalarını ve kuramsal omurganın izini sürmek amacıyla, yapay zeka araçları yardımıyla "corpus" tekniğine dayalı metinsel bir okuma ile peyzaj mimarlığının güncel kavramsal evreni sayısal verilere dönüştürülerek analiz edilecektir.

"Corpus" kelime olarak dilbilim ve doğal dil işlemede, derlem (çoğ.: *corpora*) veya metin derlemi, açıklamalı veya açıklamaz, doğal olarak dijital ve daha eski, dijitalleştirilmiş dil kaynaklarından oluşan bir veri kümesidir. Açıklamalı derlem, istatistiksel hipotez testleri, oluşumların kontrol edilmesi veya belirli bir dil bölgesi içindeki dilbilimsel kuralların doğrulanması için derlem dilbiliminde kullanılmıştır. Arama teknolojisinde derlem, aranan belgelerin bir koleksiyonunu ifade etmektedir (Gries, 2009).

Bu araştırmanın odaklandığı peyzaj mimarlığının güncel söylem literatürünü derleyen herhangi bir "corpus" bulunmadığı için öncelikle ilgili konuyu kapsayacak bir corpus (derleme) oluşturulmuştur. Yapılacak çalışma özelinde farklı corpus türleri kullanılabilir. Bunlar;

- Ham *corpus*: Hiçbir etiketleme veya açıklama içermeyen metinlerden oluşan bir *corpus*.
- Etiketlenmiş *corpus*: Kelimelerin veya kelime öbeklerinin dilbilgisi kategorileri veya anlamsal etiketler gibi bilgilerle etiketlendiği bir *corpus*.



- Açıklamalı *corpus*: Metinlerin dilbilgisi, stil veya pragmatik gibi yönlerini açıklayan bilgiler içeren bir *corpus*.

Çalışmanın başlangıcında içerik analizi yapabilmek için öncelikle peyzaj mimarlığı alanında günümüze kadar yayınlanmış metinlerin temel alındığı bir *corpus* çalışmasına ihtiyaç duyulmuş, fakat hem peyzaj mimarlığı hem de ilgili meslek disiplinleri için literatürde bir *corpus* çalışmasına rastlanmamıştır. Bu sebeple, gerek kronolojik veri sunma kabiliyeti, gerekse çeşitli disiplinlerin görüşlerini izleme olanağı vermesi açısından yarışma şartnamelerinin kavramsal içerikli metinleri, kavramsal veri olarak kullanılmıştır. 2014-2024 yılları arasında yapılan kentsel tasarım ve peyzaj mimarlığı alanında proje üretilen yarışmalar taranarak, son on yılın geniş katımlı kentsel tasarım bağlamıyla doğrudan ilişkilenebilecek 45 adet yarışma şartnamesi (**Tablo 1**) metni derlenerek, içerikleri filtrelenmiş ve analiz için kullanılabilir bir “ham corpus” oluşturulmuştur.

**Tablo 1.** Analizi yapılan yarışmalara ait bilgiler (URL-1’den derlenerek hazırlanmıştır.).

No	Yarışma İsmi	Şehir	Yıl	Düzenleyen Kurum
1	ANAMUR ATATEPE SOSYAL MERKEZİ VE ÇEVRESİ ULUSAL MİMARİ PROJE YARIŞMASI	Mersin	2014	Anamur Belediyesi
2	KONYAALTI SAHİLİ MİMARİ VE KİYİ DÜZENLEMESİ FİKİR PROJE YARIŞMASI	Antalya	2014	Antalya Büyükşehir Belediyesi
3	LAPSEKİ HÜKÜMET KONAĞI VE ÇEVRESİ MİMARİ PROJE YARIŞMASI	Çanakkale	2014	Lapseki Kaymakamlığı
4	DÜZCE ÜNİVERSİTESİ KONURALP YERLEŞKESİ GELİŞİM PLANI KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	Düzce	2014	Düzce Üniversitesi Rektörlüğü
5	ANTALYA KEPEZ BELEDİYESİ ODAK YAPI MİMARİ VE ÇEVRE DÜZENLEME FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Antalya	2015	Kepez Belediyesi
6	BEYLİKDÜZÜ BELEDİYESİ YAŞAM VADİSİ, KÖPRÜ VE BAĞLANTILARI YARIŞMASI	İstanbul	2015	Beylikdüzü Belediyesi
7	TEKİRDAĞ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE HİZMET BİNASI, MEYDAN VE ÇEVRESİNİN DÜZENLENMESİ MİMARİ VE KENTSEL TASARIM PROJE YARIŞMASI	Tekirdağ	2015	Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi
8	19 MAYIS İZLEĞİ KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	Samsun	2016	Samsun Büyükşehir Belediyesi
9	ADANA - SEYHAN SUCUZADE MAHALLESİ KENTSEL DÖNÜŞÜM ALANINDA KENT MEYDANI VE ÇEVRESİ KENTSEL TASARIM VE MİMARİ PROJE YARIŞMASI	Adana	2016	Seyhan Belediyesi
10	SİVAS KIZILIRMAK VE ÇEVRESİ FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Sivas	2016	Sivas Belediyesi
11	ANTALYA KEPEZ BELEDİYESİ DOKUMA ALANI FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Antalya	2017	Antalya Kepez Belediyesi
12	BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ MERKEZ YERLEŞKESİ KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	Balikesir	2017	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi
13	BURSA OSMANGAZİ BELEDİYESİ ÇEKİRGE MEYDANI MİMARİ, KENTSEL TASARIM VE PEYZAJ TASARIMI PROJE YARIŞMASI	Bursa	2017	Bursa Osmangazi Belediyesi

Tablo 1. (Devam)

No	Yarışma İsmi	Şehir	Yıl	Düzenleyen Kurum
14	GELİBOLU TARİHİ ALANI – YENİ ŞEHİTLİK TASARIMLARI FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Çanakkale	2017	Çanakkale Savaşları Gelibolu Tarihi Alan Başkanlığı
15	MAHALLE TASARIMI FİKİR YARIŞMASI	Ulusal	2017	İller Bankası Anonim Şirketi
16	İZMİR KARABAĞLAR BELEDİYESİ KAMUSAL AÇIK MEKAN VE KENT MEYDANI KENTSEL TASARIM PROJE YARIŞMASI	İzmir	2017	İzmir Karabağlar Belediye Başkanlığı
17	LÜLEBURGAZ BELEDİYESİ TOSBAĞA DERE REKREASYON ALANI FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Kırklareli	2017	Lüleburgaz Belediyesi
18	NEMRUT KALDERASI SEYİR NOKTALARI MİMARİ PROJE YARIŞMASI	Bitlis	2017	Bitlis Valiliği İl Özel İdaresi
19	7 İKLİM 7 BÖLGE –MAHALLE ULUSAL MİMARİ VE KENTSEL TASARIM FİKİR YARIŞMASI	Ulusal	2017	TOKİ - Emlak Konut GYO A.Ş
20	ODAKULE PASAJI ULUSAL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2018	İstanbul Sanayi Odası
21	TEVFİK SİRRI GÜR STADYUMU İLE ÇAMLIBEL LİMANI ARASI KIYI VE REKREASYON DÜZENLEMESİ FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Mersin	2018	Mersin Büyükşehir Belediyesi
22	OLİVELO İZMİR KENT ÇEPERİNDE EKOLOJİK ORTAK YAŞAM ALANI FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	İzmir	2019	İzmir Büyükşehir Belediyesi
23	BURSA HANLAR BÖLGESİ ÇARŞIBAŞI KENTSEL TASARIM PROJE YARIŞMASI	Bursa	2020	Bursa Büyükşehir Belediyesi
24	İSTANBUL SENİN HALİÇ KIYILARI TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2020	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
25	BAKİRKÖY MEYDANI KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2020	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
26	KADIKÖY MEYDANI KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2020	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
27	SALACAK KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2020	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
28	TAKSİM KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2020	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
29	ÜSKÜDAR'DA MİMAR SİNAN'I ANMAK	İstanbul	2020	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
30	10 EKİM ANİTİ VE ANMA YERİ PROJE YARIŞMASI	İzmir	2020	İzmir Büyükşehir Belediyesi
31	KAYSERİ TALAS MEVLÂNA MAHALLESİ MEYDANI ULUSAL FİKİR YARIŞMASI	Kayseri	2020	Kayseri Talas Belediyesi
32	KENTSEL VE EKOLOJİK OMURGA OLARAK MELES ÇAYI ULUSAL KENTSEL TASARIM FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	İzmir	2020	İzmir Büyükşehir Belediyesi
33	UŞAK BELEDİYESİ YAYALAŞTIRILAN SOKAKLAR MİMARLIK- KENTSEL TASARIM FİKİR PROJE YARIŞMASI	Uşak	2020	Uşak Belediyesi
34	5 OCAK PARKI VE YAKIN ÇEVRESİ KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	Adana	2021	Adana Büyükşehir Belediyesi
35	100. YIL ÇARŞISI VE YAKIN ÇEVRESİ FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Ankara	2021	Ankara Büyükşehir Belediyesi
36	ANTAKYA KÖPRÜBAŞI KENT MEYDANI VE YAKIN ÇEVRESİ KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	Hatay	2021	Hatay Büyükşehir Belediyesi

Tablo 1. (Devam)

No	Yarışma İsmi	Şehir	Yıl	Düzenleyen Kurum
37	BÜYÜKADA FAYTON MEYDANI KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2021	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
38	SALGINLAR VE SAĞLIK EMEKÇİLERİNİ ANMA MEKANI TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2021	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
39	KARADUVAR MAHALLESİ KENTSEL TASARIM PROJE YARIŞMASI	Mersin	2021	Mersin Büyükşehir Belediyesi
40	ŞANLIURFA SARAYÖNÜ KIZILAY MEYDANI VE KENTSEL TASARIM FİKİR YARIŞMASI	Şanlıurfa	2021	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi
41	TALAS MİLLET BAHÇESİ VE KÜLTÜR MERKEZİ KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	Kayseri	2021	Kayseri Talas Belediyesi
42	KÜÇÜKÇEKMECE LAGÜNÜ HAVZASI FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	İstanbul	2022	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
43	ALAEDDİN TEPEŞİ, II. KILIÇARSLAN KÖŞKÜ VE KAZI ALANI MİMARİ FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Konya	2022	Konya Büyükşehir Belediyesi
44	İSTANBUL KARA SURLARI TOPKAPI KALEİÇİ MEYDANI KENTSEL TASARIM YARIŞMASI	İstanbul	2022	Fatih Belediyesi
45	ÇOK KATMANLI DOĞAL VE KÜLTÜREL BİR YAŞAM KORİDÖRÜ OLARAK BALAVCA DERESİ VE YAKIN ÇEVRESİ FİKİR PROJESİ YARIŞMASI	Muğla	2024	Milâs Belediyesi

Bu çalışma halihazırda süren bir araştırma olduğundan, başlangıç noktası olarak yarışma şartnamelerinin seçilmesi özellikle dikkatle oluşturulmuş bir bakış açısının ürünüdür. Kentsel tasarım ve peyzaj mimarlığı alanında düzenlenen yarışmalar, çok katmanlı kentsel sorunları irdelemesi beklenen ortamlardır ve çok çeşitli paydaşların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Genellikle yerel yönetimler ve kamu eliyle gerçekleştirilirler, ağırlıklı olarak akademisyenler ve meslek profesyonellerinden oluşan jürilerin bir araya gelmesiyle şartnameler oluşturulur. Dolayısıyla yarışmalar için hazırlanan metinler; kentlerin, kamusal alanların ve bu alanlarda gerçekleştirilmesi beklenen çalışmaların güncel kamusal, akademik ve profesyonel süzgeçlerinden geçerek oluşmuş metinlerdir. Aynı zamanda kentlerin ve kamusal alanların politik ve sosyal mekanlar olması dolayısıyla pragmatik ve vizyoner metinlerle günceli tariflemeye çalışılan projeksiyonlar ortaya koyan metinlerdir. Bu bildiri kapsamında yapılacak olan pilot çalışmada, yarışma şartnamelerinin metinleri ham *corpusa* dönüştürülerek temel veri olarak kullanılacaktır.

Oluşturulan ham corpusun analiz edilmesi için AnrGram, AntMover, CorpusExplorer, QDA Miner gibi pek çok açık kaynak veya ticari program incelenmiş fakat çalışmanın doğası ve sürdürülebilirliği göz önüne alınarak “Voyant Tools” (Rockwell, G.2003) ile çalışmalar sürdürülmüştür.



Şekil 1. Voyant Tools İşlem Ekranı : 2014-2024 yılları arası ham *corpus* analizleri.

İlgili analiz arayüzünün tercih edilme sebebi, çalışmanın konusu temel kelime ve kelime birleşimleri analizlerinde yeterli olması aynı zamanda açık kaynaklı, web tabanlı ve herkes tarafından kolayca erişilebilir olmasıdır. Bu sayede ilgili alanda yapılacak çalışmaların yaygınlığı teşvik edilebilecek ve geniş bir literatür oluşması sağlanabilecektir.

İlgili arayüzde oluşturulan ham *corpus* metni üzerinden hem yıllara sarıh hem de anahtar kelimeler üzerinden “kelime frekansı” ve “kelime birleşimi”ne odaklanılmıştır. Kelime frekansı ile metinde geçen her kelimenin ne kadar sıklıkla kullanıldığına bağlı olarak dönemsel trend analizi yapılabilmektedir. Bu sayede yıllara göre hangi kavramların daha çok ön plana çıktığı ve gündem oluşturduğu anlaşılabilir. “Kelime birleşimi” analizi ile ise, şartnamelerde birlikte geçen kelime çiftlerini veya kelime grupları belirlenmiş, farklı kategorideki kavramların birbiriyle ilişkileri ve bu ilişkiler ağındaki değişim irdelenmiştir. Gündem ve buna bağlı olarak kuramsal açıdan farklı yıllarda belirli kırılımlar oluşacağı öngörülmekte olup; bu çalışmanın temel bağlamı kuramın mantığını algılamaya çalışarak, devam edecek bir çalışma süreciyle peyzaj

mimarlığının akışkan metadata evrenini algılanabilir bir eksen de diyagramlarla analiz ederek, geleceğin kuramına dair taksonomik bir yaklaşım geliştirmektedir.

## 4. Bulgular ve Tartışma :

### 4.1. Peyşaj Mimarlığının Kuramsal İçeriğine Dair Genel Okuma:

Mimarlık, doğası gereği dinamik ve akışkan bir kavramlar evreninde faaliyet gösterir. Teorik ilerlemeler ve pratik yenilikler bu kavramsal dünyayı sürekli olarak yeniden tanımlamaktadır. Bununla birlikte, teori ve pratik arasındaki boşluğu doldurmak, özellikle de kavramsallaştırmanın kritik aşamasında, bir zorluk olmaya devam etmektedir. Mimarlık var olanı anlamak, düşünölmüş ve yapılmış şeyler üzerine yeniden düşünmek ve kendisini güncellemek için kuramı araç olarak kullanır. Kuramsal bilgi yeniden üretilmiş bilgidir (Tanyeli, 1999). Tıpkı mimarlıkta olduğu gibi, peşaj mimarlığı alanında da giderek genişleyen ve saçaklanan; ancak sistematik bir örüntüsü olmadığından kendiliğindenliğe daha yakın bir düşünsel genişleme olduğu açıktır. Bu kendiliğindenlik, ya da "sürükleniş", "sınır"ları tariflenmiş bir omurgası olmadığı için analiz edilmeye ve kuramsal bir niteliğe bürünmek adına yeniden üretilmeye fazlasıyla ihtiyaç duymaktadır. Tanyeli, 1999; çalışmasında bunu mimarlığın düşünsel konstrüksiyonu olarak tanımlamaktadır. Peyşaj mimarlığı düşünsel konstrüksiyonunu henüz oluşturamamış olsa da, doğal süreçlerle ilişkisinin kuramsal söylem üzerindeki güçlendirici etkisinin farkına yeni yeni varmaktadır.

Nonaka ve Takeuchi (1995) uygulamalı araştırma durumlarında dört bilgi alanı tanımlamıştır: "örtük bilgi", örtük, kabul edilmiş uygulama bilgisi; "kavramsal bilgi", örtük bilgiyi açık hale getirir ve ilkeler ve protokoller olarak kodlar; "sistematik bilgi", aynı zamanda açık ve resmi olarak ifade edilir, doğrulanır ve disiplinin merkezinde bütünleştirilir ve "operasyonel bilgi", sistematik ve kavramsal bilginin farklı uygulama alanlarına çevrildiği (Deming ve Swaffield, 2011). Peyşaj mimarlığının bilgi evreninin zaman içinde bu dörtlü arasındaki döngüsel evrime göre şekillendiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Ancak peşaj mimarlığında araştırma, uygulama ve akademi arasındaki ilişkilerin doğru kurgulanabilmesi için bu bilgi biçimlerinin zaman zaman yeniden okunması gerektiği de açıktır.

Çalışma, Nonaka ve Takeuchi'nin (1995) dört farklı bilgi alanını tanımlayan bilgi yaratma modelinden yararlanmaktadır:

- Örtülü bilgi: Pratiğin içine gömülü, örtük, deneyimsel bilgi, mimari eylemle ifade edilen ham bilgi.
- Kavramsal bilgi: Örtük bilginin ilke ve protokollerle açık bir şekilde ifade edilmesi, terimler, teknik bilgi ve standartlar.

- Sistematik bilgi: Disiplinin merkezinde yer alan, resmi olarak onaylanmış ve bütünleştirilmiş bilgi, akademik bilgi.
- Operasyonel bilgi: Sistematik ve kavramsal bilginin pratik uygulamalara dönüştürülmesi, proje raporu, proje konsepti gibi uygulamaya dönük evrimleşmiş bilgi.

Yukarıdaki sınıflandırma, mimari bilginin bu dört alandaki döngüsel evrimini anlamak için kavramsal taksonomiye olanak veren bir yol haritası çizmektedir. Bununla birlikte, araştırma, peyzaj mimarlığında araştırma, uygulama ve akademi arasındaki bağlantıları güçlendirmek için bu bilgi formlarının sürekli olarak yeniden incelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Peyzaj mimarlığının sürekli kullandığı yukarıdaki dört farklı bilgi biçiminin içerdiği terimler araştırmanın içerik havuzunu oluşturmaktadır.

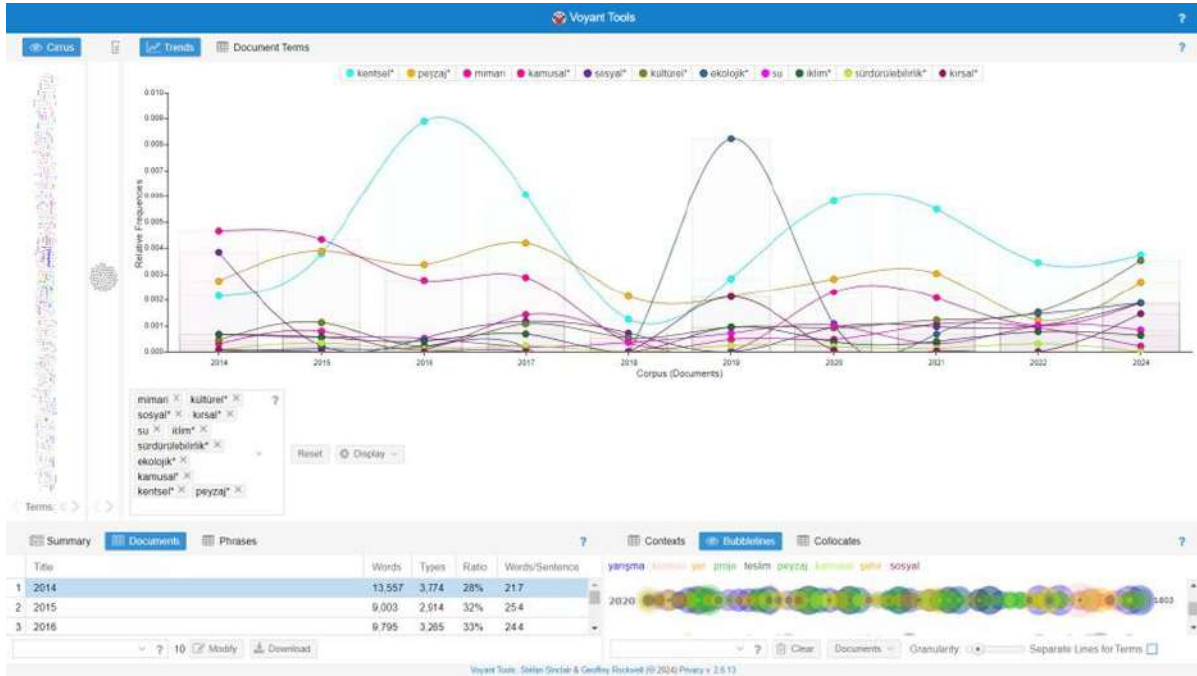
Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan içerik analizi aracı 'Voyant Tool' ile kullanılacak olan "corpus" metinleri peyzaj mimarlığının "pratik bilgi", "örtülü bilgi", "kavramsal bilgi" ve "sistematik bilgi" alanlarını karşılayan terimler ve kavramlar ile oluşturulmuştur. **Şekil 2'**de elde edilen kavramsal anahtar kelimelerin sıklık analizine göre görselleştirilmiş kelime bulutu görülmektedir.



**Şekil 2.** 2014-2024 yılları arası ham *corpus* metinlerinden elenerek çıkarılmış kavramsal ifadelerden oluşan kelime bulutu.

#### 4.2. Peyzaj Mimarlığının Kuramsal Gündeminin Yıllara Göre Değişim Süreci ve Kırılma Noktaları:

İçerik analizi sonucunda ; belli bir dönem üretilen metinlerde “kentsel”, “kamusal”, “işlevsel”, “ekonomik”, “sürdürülebilir”, “esnek”, “yenilikçi”, “çağdaş” gibi daha teknik ve soyut ifadelerle merkezine insanı yerleştiren kavramsal evrenin, 2020 yılından sonra sürdürülebilir kentsel mekan üretme açısından işin ekolojik yanına daha yakın bir dil kullanılmaya başladığı izlenmektedir. Bu hipotezimizi doğrulayan gösterge kelimeler, “ekolojik”, “ekosistem”, “iklim” “su”, “doğal”, “flora”, “fauna”, “dirençli” 2020 yılından önceki dönemlere göre daha fazla sıklıkta metinde tekrar etmekte, hatta bazı yarışmalarda konunun odağını oluşturmaktadır(Şekil 3 ve Şekil 4 ).



Şekil 3. Ham corpus içeriğinde en sık kullanılan kelimeler ve yıllara göre(2014 –2024) sıklık değişim grafiği.



Şekil 4. 2020 öncesi (solda) ve 2020 sonrası (sağda) kelime bileşimleri analizi.

Bu analizler sonucu elde ettiğimiz bulgular göstermektedir ki; peyzaj mimarlığı alanında yarışmalar özelinde bakıldığında kuramsal ve kavramsal içerikler insan merkezli bir söylemden ekoloji ve doğa merkezli bir söyleme doğru değişim geçirmiştir. İnsanlar için daha kullanışlı ve konforlu çevreler yaratma eylemi olarak tanımlanan peyzaj mimarlığı, tasarımın merkezine doğayı korumayı koyarak, kentsel mekanda dahi doğalcılığı tercih eden bir söylem geliştirmeye başlamıştır.

## 6. Sonuç

Bu araştırma kapsamında ele alınan konu peyzaj mimarlığının teori ve pratikler evreninde son on yılda yaşanan değişimin içeriğinin analiz edilmesidir. Güncel tasarım teorileri hem eğitime hem de profesyonel söyleme hâkim olsa da, terminolojileri kavramsallaştırmada ve pratik uygulama alanı arasındaki boşluğu doldurmada giderek daha başarısız olmaktadır. Bunun da ötesinde, iklim krizi ve küresel ölçekli değişimlerden doğrudan etkilenerek söylem değişikliği geçiren peyzaj mimarlığı alanında; teori, tasarım ve uygulamayı koordine edebilecek ortak bir dil çerçevesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, tasarım süreçlerinin dijital araçlar ve doğal dil yönlendirmelerinden büyük ölçüde etkilendiği mekansal görselleştirme için kullanılan üretken yapay zekanın yükselişinde de özellikle belirgindir (Rockwell ve Sinclair, 2016).

Dil çok katmanlı, dinamik ve dönüştüren bir iletişim, düşünce ve yaratıcı ifade aracıdır. Günlük dilin alt katmanlarından biri sayılabilecek profesyonel dil peyzaj mimarlığı ve ilgili meslek disiplinlerinde son yıllarda



çok hızlı bir dönüşüm geçirmektedir. Özellikle kuramsal teorinin ve felsefenin sürekli gelişen ve güncel sorunlarla ilgilenen üretimlerinin büyük oranda batı kaynaklı olması ve çeviri ve yorumlarla dilimizle bütünleşmesi taşıdığı önemli potansiyellere rağmen çoğu zaman çeviride kaybolmakta, karşılığını oluşturamamaktadır. Başladığımız çalışma aslında peyzaj mimarlığının son yıllarda geçirdiği kuramsal dönüşüme odaklansa da aslında bağlantılı meslek, düşünce pratikleri ve güncel tartışmaların sınırlarını araştırmaya devam edecektir. Şu anda temel bir keşfetme pratiği olan çalışmamızın temelini oluşturan yarışma şartnamelerinin ana kavramları ve güncel literatürdeki dönüşümün bulanık bir resmini sunmaktadır. Çünkü ilgili yarışma şartnameleri yıllar bazında incelenmiş, bazı yıllarda çok sayıda bazı yıllarda pek az sayıda elde edilen şartname metinleri güvenli ve istikrarlı bir analiz altlığı oluşturmamıştır. Aynı zamanda ilgili şartnamelerin oluşturulmasında harcanan emek, katılım genişliği ve gelecek vizyonu temel tanımlamalar üzerinde bağlayıcı olmuştur.

Güncel çalışmamızın sınırlarının farkında olarak başladığımız keşif yolculuğunda oluşturduğumuz bu bulanık resimde dahi bizi heyecanlandıran ve devam etmemizi sağlayacak önemli kırılma noktaları bulmak önemli bir kazanım olarak bu çalışmayla kaydedilmiştir. Araştırmanın devam eden olan aşamalarında ilgili corpus metinleri akademik, profesyonel ve eleştirel metinlerin açık kaynakla elde edilerek derlenmesiyle etiketlenmiş corpuslar oluşturularak kuramsal metinler üzerinde analizlere devam edilecektir.

## KAYNAKLAR

- Deming, M.E.; Swaffield, S. R. (2011). Landscape Architecture Research: Inquiry Strategy, Design. Wiley and Sons Publication. New Jersey.
- Gries, St.T., (2009). What is Corpus Linguistics? , Language and Linguistics Compass 3/5 (2009): Blackwell Publishing Ltd <https://compass.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-818X.2009.00149.x>
- Nonaka, I., Takeuchi, H. (1995). The knowledge creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press.
- Rockwell, G.(2003). "What is Text Analysis, Really?", Literary and Linguistic Computing, Vol. 18, No. 2, 2003, p. 209-219.
- Rockwell, G.; Sinclair,S. (2016). Hermeneutica: Computer-Assisted Interpretation in the Humanities, MIT Press.
- Swaffield, S. R. (2002). Theory in landscape architecture: A reader. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Tanyeli, U. (1999). Söylem ve Kuram: Mimari Bilgi Alanının Sınırlarını Çizmek. Mimarlık Dergisi. 5, 38-41, <http://dergi.mo.org.tr/dergiler/4/534/7881.pdf>
- URL-1 : <https://www.arkitera.com/kategori/yarisma/> (Erişim Tarihi: 22.05.2024)

# Reimagining Pixels: Exploring Data-driven Panels to Enhance Human-Machine Interaction

Ömer Kasım Karout<sup>1</sup> ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> Istanbul Technical University

<sup>1</sup>omarkarout1996@gmail.com; <sup>2</sup>akcaykavakoglu@itu.edu.tr

## Abstract

**Introduction** - Technological advancements have redefined the pixel from a basic visual unit to a key element in digital imagery. Understanding pixels involves exploring their perception by the human eye and mind and recognizing visual cues like color, intensity, spatial arrangement, and composition. These cues are essential for interpreting visual information which has been studied across psychology, neuroscience, design, visual arts, and computer science within various contexts. AI developments have enhanced methods for image processing, making pixel knowledge a prominent research topic. This shift in image perception, from mere visuals to numerical data, has influenced how artists and scientists explore interaction. This study aims to examine elements of image perception and explore the potentials of the data-driven mechanical panels to enhance human-machine interaction through reproduction and prototyping within an experimental learning environment.

**Design/Methodology/approach** - An experimental research method is used in this study to create a prototype based on a kinetic art installation done by Daniel Rozin to comprehend all of the necessary elements needed to achieve basic data-driven panels. The learning outcomes from this reproduction stage are used to integrate AI with architecture in a later stage of a broader study. The first step of this study is to define the main elements that would turn any array of objects into an image. After thorough understanding, a prototype of data-driven panels is designed through four stages: (1) Image capturing, (2) Image processing, (3) Image data remapping, (4) prototype building. The expected outcome of this study is a prototype that reflects the image of the subject interacting with it and reacts to sounds and music in the surrounding environment.

**Discussion** - The rise of artificial intelligence has strengthened the human-machine relationship, making AI more of a personal companion. Data-driven mechanical panels aim to enhance this interaction by transforming a wall, ceiling or any other architectural element into a dynamic, interactive medium. These panels would have the potential of optimizing light, controlling temperature, and adjusting acoustic performances, significantly impacting interactive architecture. They could revolutionize various industries, such as retail, healthcare, and education, by adapting to user needs in real-time. Integrating AI with architectural elements elevates user experience and interaction. The development of these panels represents a step towards dynamic and responsive environments, merging technology and architecture to improve daily life and occupant comfort. In this context, the production of new knowledge and the discovery of potentials through experiential learning environments also come to the fore within reproduction and prototyping domains.

**Keywords:** Human-Machine Interaction (HMI), Image Recognition, Object-Oriented Programming, Perception Psychology, Visual Abstraction

# Pikselleri Yeniden Tasarlamak: İnsan-Makine Etkileşimini Geliştirmek İçin Veri Odaklı Panelleri Keşfetmek

Ömer Kasım Karout<sup>1</sup> ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu<sup>2</sup> 

<sup>12</sup> Istanbul Technical University

<sup>1</sup>omarkarout1996@gmail.com; <sup>2</sup>akcaykavakoglu@itu.edu.tr

## Özet

**Giriş** - Teknolojik gelişmeler, pikseli temel bir görsel birimden sayısal görüntülemenin anahtar bir ögesine dönüştürmüştür. Pikselleri anlamak için insan gözü ve zihninin algılama üzerinden araştırılması gerekir. Bu bağlamda renk, yoğunluk, mekansal düzenleme ve kompozisyon gibi görsel ipuçlarını tanımlamak önemlidir. Bu ipuçları, psikoloji, nörobilim, tasarım, görsel sanatlar ve bilgisayar bilimi gibi birçok alanda görsel bilgiyi yorumlamak için kullanılmaktadır. Yapay zeka gelişmeleri, görüntü işleme yöntemlerini geliştirerek piksel bilgisini önemli bir araştırma konusu haline getirmiştir. Görüntü algısındaki bu değişim, görsellerden kod-tabanlı temsil formlarına doğru kayarak sanatçıların ve bilim insanlarının etkileşimi keşfetme şeklini etkilemiştir. Bu çalışma, görüntü algısının unsurlarını incelemeyi amaçlamakta ve insan-makine etkileşimini artırmak için veri odaklı mekanik panellerin yeniden üretimi üzerinden deneysel bir öğrenme ortamı oluşturmayı hedeflemektedir.

**Tasarım/Yöntem** - Bu çalışmada, Daniel Rozin tarafından tasarlanan sanatsal kinetik bir kurulumun prototipini yeniden üretmek için deneysel bir araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu, geniş çaplı bir çalışmanın ileriki aşamalarında yapay zekayı mimari ile entegre etme girişimi için gerekli temel veri odaklı panelleri anlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmanın ilk adımı, herhangi bir nesne dizisini bir görüntüye dönüştürecek ana unsurları tanımlamaktır. Tam bir anlayış elde edildikten sonra, veri odaklı panellerin prototipi dört aşamada tasarlanacaktır: (1) Görüntü yakalama, (2) Görüntü işleme, (3) Görüntü verilerini yeniden eşleme, (4) Prototip oluşturma. Bu çalışmanın beklenen sonucu, etkileşimde bulunan kişinin görüntüsünü yansıtan ve çevredeki seslere ve müziğe tepki veren bir prototip olacaktır.

**Tartışma** - Yapay zekanın yükselişi, insan-makine ilişkisini güçlendirerek yapay zekayı daha kişisel bir yardımcı haline getirmiştir. Veri odaklı mekanik paneller, bir duvarı, tavanı veya başka bir mimari unsuru dinamik, etkileşimli bir ortama dönüştürerek bu etkileşimi artırmayı hedeflemektedir. Bu paneller, ışığı optimize etme, sıcaklığı kontrol etme ve akustik performansları ayarlama potansiyeline sahip olup, etkileşimli mimariyi önemli ölçüde etkileyebilir. Bu paneller, perakende, sağlık ve eğitim gibi çeşitli endüstrileri gerçek zamanlı kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayarak dönüştürebilir. Yapay zekanın mimari unsurlarla entegrasyonu, kullanıcı deneyimini ve etkileşimini yükseltir. Bu panellerin geliştirilmesi, teknolojiyi ve mimariyi birleştirerek günlük yaşamı ve kullanıcı konforunu iyileştiren dinamik ve duyarlı ortamlara doğru bir adımı temsil etmektedir. Bu bağlamda, yeniden üretim ve prototip oluşturma alanlarında deneysel öğrenme ortamları aracılığıyla yeni bilginin üretilmesi ve potansiyellerin keşfedilmesi de ön plana çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsan-Makine Etkileşimi (HMI), Görüntü Tanıma, Nesne Yönelimli Programlama, Algı Psikolojisi, Görsel Soyutlama

## 1. Introduction

In its core state, the pixel has crossed the theoretical boundaries that restricted its conception as just a basic visual unit of an image with technological developments. It is the essence of how we interact with the digital world, where it forms the building block of digital imagery. Understanding pixels necessitates exploring how the human eye and mind perceive them. While it contains the visual representation information of an image which is color and intensity (brightness), its recognition also occurs through visual cues like spatial arrangement and composition. These cues form the core of interpreting visual information and recognizing objects, patterns, and scenes. From various aspects, these interpretations have been studied within the intersection of multiple research domains like psychology, neuroscience, design, visual arts and computer science. As the technological developments in AI-enhanced novel methods to read and elaborate the use of the pixels via image processing, the embedded knowledge in the idea of what a pixel has been made of has started to be at the forefront as a research subject matter as it has been during the first decade of the 2000s (Mitchell, 1984). The transformation of the perception of the image from being a mere visual to being a form based on digits/numbers gathered through the resolution grid affected the ways of questioning its perception through interaction especially by artists and scientists (Reas et al., 2010). While some studies concentrated on the screen-based projections (Reas & McWilliams, 2010), some tried experimenting with perceptual illusions through interactions (Freyer et al., 2011).

## 2. Related Works & Theoretical Background

In our daily lives, we typically see images reflected on TV screens and smartphones, where these images are constructed from LCD pixel units. Liquid Crystal Display (LCD) technology manipulates light through liquid crystals to produce images. However, while this is the most common method to see images on surfaces, many other media can be used to perceive images. According to Max Wertheimer, the scientist who developed Gestalt psychology, any array of objects can produce an image if arranged in a particular order and with specific characteristics (Wertheimer, 1945). Gestalt word in German is used as a way of placing or putting together a thing in modern language. Although there is no equivalent for direct translation in English, it is usually interpreted as shape, form, figure, configuration, appearance in psychology (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia 2024; ). According to this, Gestalt psychology is the theory of mind and brain that proposes that humans naturally perceive objects as organized patterns and unified wholes, rather than as separate components (Rock & Palmer, 1990). This approach originated in the early 20th century in Germany, with key figures including Max Wertheimer, Kurt Koffka, and Wolfgang Köhler.

### 2.1. Case Study: Weave Mirror In The Scope Of Gestalt Psychology

Several artists, including Daniel Rozin, have used Gestalt psychology principles to create images. Rozin is an artist, educator, and innovator known for his interactive digital art installations and sculptures. He is particularly famous for his "mechanical mirror" artworks, in which he uses materials such as wood, metal, and fabric combined with digital and mechanical components to create real-time reflections of viewers. Gestalt psychology includes seven principles of perceptual observations commonly implemented in visual design: Proximity, Similarity, Symmetry, Continuity, Closure, Common Movement, and Figure/Ground (MacNamara, 2017). This study showcases each principle of the seven principles of Gestalt psychology featured in Daniel Rozin's installation "Weave Mirror" (2007) shown in figure (1), to interpret further how viewers get to see their reflected image in return. The identified principles and their contextual link with the "Weave Mirror" piece are as follows:

The Figure/Ground principle allows viewers to distinguish an object from its background. "Weave Mirror" uses two primary colors, black and gold, and their gradients, with gold acting as the background and black acting as the foreground.

The Similarity principle involves grouping objects with visual characteristics, such as color or shape, to form a recognizable pattern. In "Weave Mirror," the installation is made of pixel units with identical C-ring shapes featuring typical gradients (Freyer et.al 2011). In this case, the similarity principle helps in grouping the pixel units to form the big picture of the installation.

The Proximity principle states that objects close to each other are perceived as part of the same group. "Weave Mirror" has all units almost touching each other, creating a coherent image based on their spatial arrangement. Figure (1) shows that the human eye perceives the gridded division of pixel units as a single visual output.

The Closure principle allows the mind to fill in missing parts of an image to create a whole, even if only some elements are present. In "Weave Mirror," the medium to represent an image consists of two main colors, merely representing foreground and background, resulting in the production of a highly pixelated silhouette image of the subject standing in front of it. After comprehending the image at first sight, the human mind begins to predict further details to fill in the perceptible gaps.

The Continuity principle guides the perception of smooth, continuous lines or patterns. Rozin designed the pattern in "Weave Mirror" so that each unit alternates from the one adjacent to it by a 90 degrees rotation, forming an uninterrupted pattern that allows the human mind to grasp an aggregate image.

The Symmetry principle, although not always present in Rozin's installations, helps the human mind distinguish an image by providing balance and regularity. In "Weave Mirror", aspects of symmetry can be seen within the display's overall gridded structure and units.

The Common Fate principle refers to objects moving in the same direction being perceived as a group, creating a dynamic image based on motion. In "Weave Mirror", objects rotate either horizontally or vertically, dividing the movement into two directions which contributes to the final perception of the image. The movement of C-ring units is based on a 90-degree rotation depending on the axis of each unit, therefore forming the gradual shift in the gradient of the unit's color which represents depth.

### 3. Methodology

The experimental research method used in this study encompasses four consecutive stages to build a prototype of data-driven panels to be later developed as an architectural feature promoting human-machine interaction (HMI). The stages to be taken into consideration are as follows: (1) Image capturing, (2) Image processing, (3) Image data remapping and motor controlling (4) Building of the prototype. The outcome of this study is a prototype informed by Daniel Rozin's "Weave Mirror", created in 2007 consisting of 768 laminated C-ring prints (Freyer et al., 2011). The prototype created in this study consists of 36-pixel units; the aim is to understand the main elements involved in Rozin's workflow. The knowledge gained from building such a prototype will be used to create a more advanced installation that integrates AI and architecture. However, the approach taken to build the prototype is based merely on hypotheses that do not necessarily reflect the artist's personal process. In other words, while the visual aspects of the piece are analyzed and adopted for reproduction in terms of form and kinetic behavior, the mechanical and computational design process of the prototype, along with interaction types, are redefined by the authors and collaborators of the project.



**Figure 1.** Right and left figures show “Weave Mirror” Installation done by Daniel Rozin in 2007 (Rozin, 2007).

### 1.1. Image Capturing

The first step of this project is to collect visual data of the subject standing in front of the prototype and start building up the dataset required to initiate the image capturing procedure. The prototype consists of 36 units each representing 1 pixel reflected on the data-driven panel, forming a highly pixelated image as an output. Moreover, an abstract image of the subject standing in front of the installation is displayed. In order to achieve a more precise visual output, a depth sensor is utilized. Depth sensors are devices used to measure the distance between the sensor and objects within a specific defined range. The depth sensor used in this case is Microsoft Kinect V2. The background and foreground are easily distinguished by creating a three-dimensional (3D) representation of the environment by capturing depth information. Units that form the prototype are hemicylindrical in shape featuring a gradient color degrading from white to black. White denotes negative visual values representing the background while black denotes positive visual values representing the foreground. The gradient from white to black signifies different distances. The

subject standing within the range of the depth sensor is represented as a pixelated silhouette on the data-driven panel.



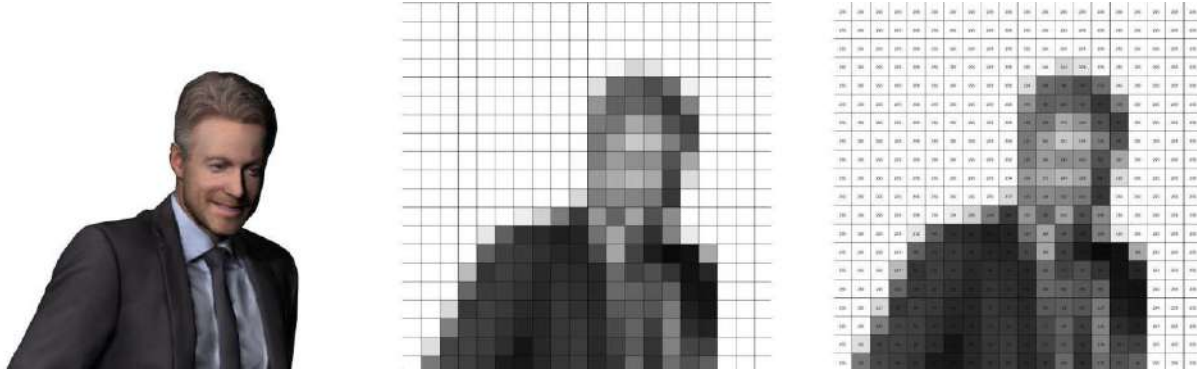
**Figure 2.** Left shows Microsoft Kinect V2 device (Basu, 2016) and right shows sensor's area coverage of Kinect's sensor (source: authors).

## 1.2. Image Processing

Microsoft Kinect is connected to an open source integrated development environment (Processing) as the second stage of the process for creating data-driven panels. Once the depth data is captured by Kinect, the same data is then fed into Processing. A custom code converts the live-recorded data into black and white values that make up pixels of the final image. The number of pixels in the code matches the number of units in the prototype. Each pixel in the code output corresponds to a specific value based on its grayscale number, which ranges from 0 to 255, with 0 representing black and 255 representing white. For further



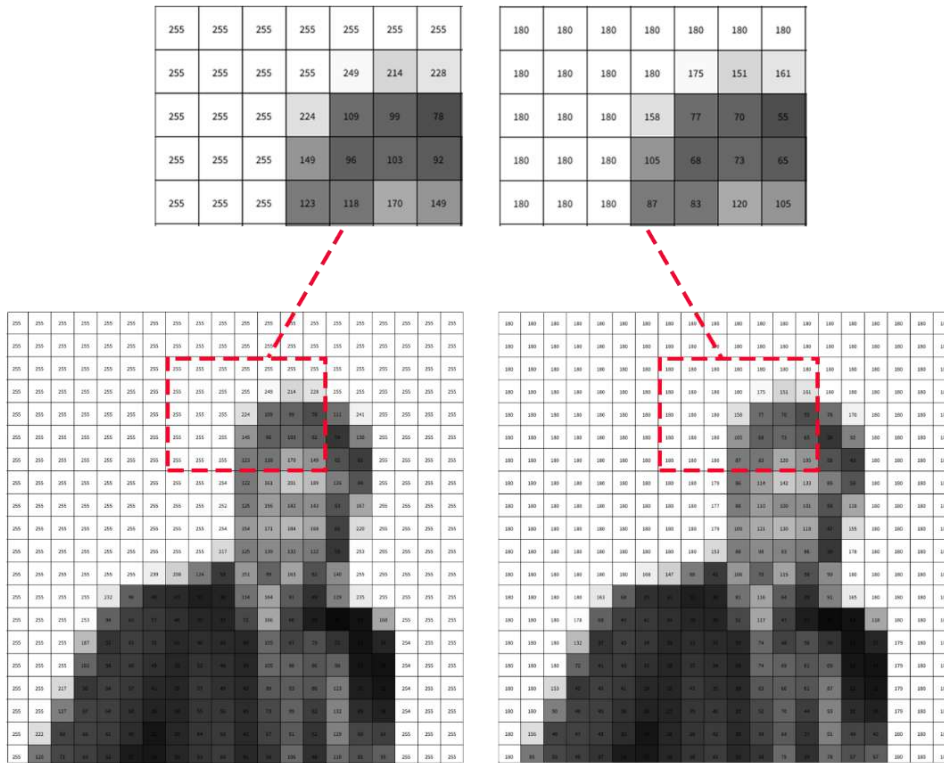
explanation, the closest objects to the sensor are depicted as black, while the furthest objects appear as white, ensuring that the depth information is accurately represented in the final visual output.



**Figure 3.** Left shows original input image, middle shows pixelated image, right shows grayscale numerical values displayed on each pixel (source: authors).

### 1.3. Image Data Remapping & Motor Controlling

Simultaneously, the grayscale numbers of each pixel is transferred in real time to Arduino, which is an open-source electronics platform used for building and programming interactive projects using microcontrollers. Given that the prototype consists of 36 pixels, Processing sends Arduino a sequence of 36 numbers for each frame in real time. Once the Arduino receives the sequences, it remaps them to control the servo motors attached behind each pixel unit. Servo motors are relatively small and simple motors capable of rotating 180 degrees, thus enabling only half-circle rotations. Therefore, the grayscale values, ranging from 0 to 255, are remapped to a range of 0 to 180 (**Figure 4**), defining the rotation degrees of the servo motors.

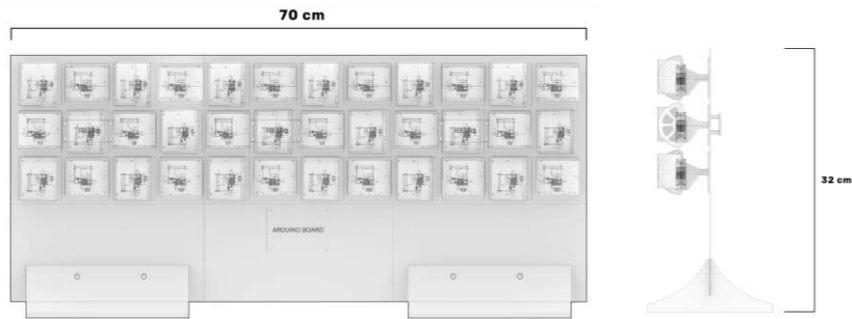


**Figure 4.** Shows data remapping of grayscale values to motor rotation movement values (left figure is grayscale values and right figure is motor rotation values) (source: authors).

#### 1.4. Building of the Prototype

The C-ring display units in the data-driven panel are constructed from 3D-printed components. 3D printing is used to facilitate mechanical and design challenges that custom designs usually encounter, and to keep the prototype lightweight. The base of the prototype is made of a 2mm aluminum sheet, cut using a CNC machine, with custom voids used to fix each pixel unit

and route each motor wire to the matching driver board in the back of the prototype. Additionally, the footing holding the prototype is 3D printed. Each pixel unit features a printed paper with a gray gradient glued to the 3D-printed part. On the back of the prototype, an Arduino board and three PCA9685 Driver boards are attached to distribute the data from the Arduino board to the servo motors.



**Figure 5.** Shows elevation drawings of the prototype design (source: authors).



**Figure 6.** Left shows back of the prototype, middle shows aluminum base, right shows close up on pixel unit (source: author).

## 4. Findings and Discussion

The prototype of the data-driven mechanical panels was successfully developed and demonstrated effective performance across the four stages: image capturing, processing, data remapping, and prototype building. Utilizing Microsoft Kinect V2 depth sensor, Processing coding environment, and Arduino-controlled servo motors, the prototype accurately captured and translated depth data into mechanical rotations, forming a coherent, pixelated silhouette of the subject. The 3D-printed display units and footing as well as the aluminum base ensured mechanical stability and lightweight construction. The panels effectively reflect the sensed movement and respond to environmental stimuli, such as passers-by sound or music, showcasing their dynamic and interactive capabilities, and their potential as interactive architectural features informed by live data. This project lays a foundation for a future study to integrate AI with architectural elements, offering dynamic and responsive environments that enhance human-machine interaction (HMI) within the user experience.

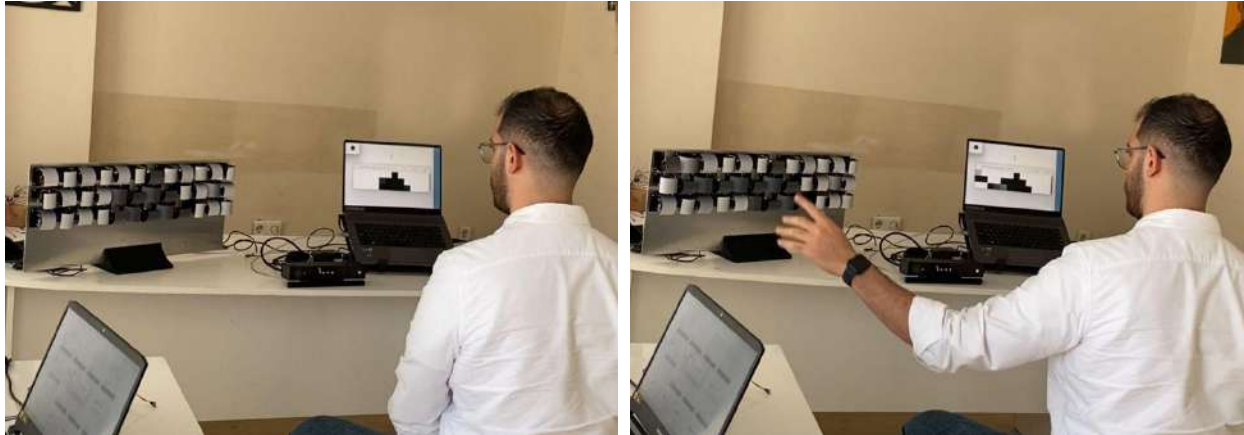


Figure 5. Shows image reflecting feature of Data-driven panel prototype (source: authors).

### 4.1. Limitations

The development and application of data-driven panels in interactive architecture encounter a number of limitations. Firstly, the complexity and cost of integrating AI and sensors like Kinect can be prohibitively high, particularly for large-scale implementations. Additionally, the prototype's reliance on precise mechanical and electronic components, such as 3D-printed parts and servo motors, presents durability and

maintenance challenges and narrows down its potential setting mainly to indoor locations due to low resistance levels in outdoor environmental conditions. Over time, these components may wear out or require frequent maintenance, impacting the system's reliability and lifespan.

Moreover, while the panels effectively translate depth data into visual out-turn, the number of pixel units inherently limits the resolution. This can result in low resolution images, which may not be suitable for applications requiring high precision. Lastly, practically, adopting such interactive systems in real-world environments may encounter resistance due to their novelty and the need for specialized knowledge to operate and maintain them. This highlights the need for ongoing research and development to address these limitations and improve the feasibility of integrating AI-driven interactive panels into everyday architectural applications.

Design Process	Method	Integrated Development Environment (IDE)	Object-Oriented Programming (OOP) or Visual Programming (VP)	Device Used	Performance	Potential Improvements / Comments for AI Integration
	Image Capturing	Processing	OOP	PC + Microsoft Kinect V2	High	Kinect proved to be an effective and relatively inexpensive device for image capturing.
	Image Processing	Processing	OOP	PC	Mid	Processing is a simple and straight-forward tool for image processing. However, it is not optimal for AI integration. Therefore, TouchDesigner is planned to be used in upcoming studies.
	Data Remapping	Arduino	OOP	PC	High	Arduino proved to be an effective hardware and software tool to control servo motors.
	Motor Controlling	Arduino	OOP	Servo Motors + Arduino Board + PCA9685 Driver board	Low	Using Arduino boards and software with servo motors offered an easy experience to control the pixel units but servo motors are not high maintenance.
Data Collection	Depth Capturing	Processing	OOP	Microsoft Kinect V2	High	The method and device are appropriate for use in the final project.
	Motion Capturing	Processing	OOP	Microsoft Kinect V2	High	The method and device are appropriate for use in the final project.
	Voice Recognition	Processing	OOP	PC Built-in Microphone	Mid	A higher-quality microphone and sound filters, such as noise cancellation, can be used to achieve a clearer sound input, therefore enhancing the overall performance.
Materials / Components	Type	Usage	Characteristics	Cost Efficiency	Performance	Potential Improvements / Comments for AI Integration
	3D Printed Filament	Pixel Units + Footing	Highly Customizable + Lightweight	Mid	Mid	Other materials commonly found in architecture, such as wood, ceramics and concrete, can be utilized to establish a more cohesive relationship with the existing building's finishes.
	Aluminium sheets	Base	Relatively Strong + Lightweight	Mid	High	Aluminium sheets proved high efficiency during the prototype, which increases its chance to be used in the final project.
	Servo Motors	Movement Generation	Affordable + Easy to Program	Mid	Low	Although servo motors are affordable and easy to program, they are prone to breakdowns and malfunctions. Therefore, stepper motors, which are more durable and cost-effective but harder to program and control, are planned for use in upcoming studies.

Figure 6. Table showing a breakdown of different sections in the project and potential improvements (source: authors).

## 4.2. Conclusion

The relationship between humans and machines is getting tighter, to the extent in which AI is now more of a personal companion. The main objective behind creating data-driven mechanical panels is to add an extended interaction layer between humans and machines within the architectural environment. The potential here lies in redefining the properties of a wall, making it a responsive and reciprocal layer rather than an isolating architectural element. Future developments of this project can leave an impact on the interactive design field. For example, future applications can be used to enhance occupant comfort through controlling factors within the built environment, such as temperature and ventilation, via opening and closing voids that penetrate light and air. Moreover, kinetic acoustic panels can be developed in further stages to be integrated in spaces such as concert halls and auditoriums to enhance the audio experience of attendees and performers alike. This experimental research focuses on the interaction between humans and machines in an effort to embed AI with architectural elements, therefore raising the standards and quality of spatial interaction.

Expanding on this concept of Human-Machine Interaction (HMI) , it's important to delve deeper into the implications and potential applications of such technologies. As technology becomes increasingly integrated in society, interactive architectural elements play a bigger role in shaping our environment. The vision is reaching a point in which buildings are dynamic entities that respond and adapt to human needs and interactions. With advancements in mechanical engineering and artificial intelligence, this vision is not far-fetched. In a future where mechanical panels are not only limited to static displays, but also seamlessly integrated into the fabric of our surroundings, new spatial experiences would shape our understanding of architecture. These interactive surfaces could add to the user experience when coming in touch with the built environment, blurring the lines between architecture and machines.

Furthermore, potential applications of such a technology extend beyond merely aesthetic installations. Data-driven panels could be utilized in various industries, from retail and advertising to healthcare and education. For instance, shopping experiences could be customized to display relevant products based on the customers' preferences and past purchases. Another example features interactive learning via displaying dynamic visual data in an immersive educational experience. The integration of AI into mechanical panels opens up a gate of possibilities for data-driven adaptive functionality. By collecting and analyzing user data, these panels can anticipate and respond to user needs in real-time, creating personalized experiences that enhance efficiency and convenience. In a smart home setting, the Internet

of Things (IoT) technology could be merged with data-driven panels to adjust room temperature and lighting based on user preferences and daily routines, optimizing energy usage and occupant comfort.

In conclusion, this research focuses on the development of data-driven mechanical panels and their potential to unlock new levels of interaction within the architectural field. By seamlessly merging infocentric systems into the built environment, the limitations and boundaries are pushed further. This research is immersed in reimagining what is possible with AI and interactive architecture and unleashing new applications within this cross disciplinary field.

**Acknowledgements.** The research and work involved to achieve the prototype mentioned in this study was a collaboration between the authors and Han Studio. Han Studio is a design firm in Istanbul, Turkey which focuses on computational designs and other multidisciplinary works. From Han Studio, we would like to thank Abdulhamid Kahlous and Salim Salim for their great efforts to achieve this project.

## References

- Arnheim, R. (1974). *Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye*. University of California Press.
- Bargh, J. A., & Chartrand, T. L. (1999). The Unbearable Automaticity of Being. *American Psychologist*.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2024, April 11). Gestalt psychology. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Gestalt-psychology>
- Buxton, B. (2007). *Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design*. Morgan Kaufmann.
- Freyer, C., Noel, S., & Rucki, E. (2011). *Digital by design: Crafting technology for products and environments*. Thames & Hudson.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press.
- Hoffman, D. D. (1998). *Visual Intelligence: How We Create What We See*. W. W. Norton & Company.
- MacNamara, W. (2017). Evaluating the effectiveness of the gestalt principles of perceptual observation for virtual reality user interface design.
- Marr, D. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. Henry Holt and Co.
- Mitchell, W. J. T. (1984). *What is an image?* University of Chicago Press.
- Norman, D. A. (1988). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.
- Norman, D. A. (1993). *Things That Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine*. Perseus Books.
- Pinker, S. (1997). *How the Mind Works*. W. W. Norton & Company.
- Poulin, P., & Vicente, K. J. (Eds.). (2004). *Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. CRC Press.

- Ramachandran, V. S., & Hirstein, W. (1999). The Science of Art: A Neurological Theory of Aesthetic Experience. *Journal of Consciousness Studies*.
- Rock, I. & Palmer, S. (1990). The legacy of Gestalt psychology. *Scientific American*, 263(6), 84-90.
- Reas, C., & McWilliams, C. (2010). *Form+Code in design, art, and architecture*. Princeton Architectural Press.
- Tufte, E. R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press.
- Ware, C. (2004). *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann.
- Wertheimer, M. (1938). *Laws of organization in perceptual forms*. Harcourt, Brace & World.



# Yaşama Mekanların Gün Işığı Faktörü Tahmininde Yüksek Başarım İçin Rastgele Orman Algoritmasının Değerlendirilmesi

Fadime Diker<sup>1</sup> ; İlker Erkan<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi; <sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi  
<sup>1</sup>fadimediker@gmail.com; <sup>2</sup>ilkererkan@sdu.edu.tr

## Özet

Mekanalara alınan gün ışığı enerji tüketimini azaltarak sürdürülebilirliği artırır, iç mekanların estetik ve konfor seviyesini yükseltir ve kullanıcıların fiziksel ve psikolojik sağlığını olumlu yönde etkiler. Dolayısıyla mimari tasarım sürecinde mekanalara gün ışığının alınmasını sağlayan pencere tasarımı yeterli gün ışığının alınmasında büyük bir öneme sahiptir. Gün ışığı faktörü, dışarıdaki gün ışığının ne kadarının mekana ulaştığını göstermektedir. Ayrıca mekamlarda doğal aydınlatmanın faydalarını göstermek ve dolaylı olarak yapay ışığa bağlı enerji tüketimini en aza indirmek için bir kriter olarak kullanılmaktadır. Gün ışığı faktörü statik bir ölçüm olarak kabul edildiği için sonuçları yalnızca mimarinin niteliklerine ve geometrisine bağlı olduğu için mimari tasarım sürecinde dikkate alınması gereken önemli bir tasarım parametresidir. Gün ışığı faktörü, bina tasarımında enerji verimliliği ve estetik için kritik olup, tahmini zor ve zaman alıcıdır. Mimarlar genellikle bu faktörü tasarım sürecinde göz ardı ettiği için, gün ışığı tahmin tekniklerinin basitleştirilmesi, daha yaygın ve etkili kullanımını teşvik edebilir. Yapay zeka, veri analizinden otomatik karar almaya kadar birçok alanda önemli başarılar elde ederek, tahmin doğruluğunu ve işlem verimliliğini artırmaktadır. Rastgele orman algoritması, çoklu karar ağaçlarının bir araya gelmesiyle yüksek doğruluk sağlar ve aşırı uyumu önleyerek genelleme yeteneğini artırır. Ayrıca, değişkenler arası bağımsızlık ve paralel çalışma yeteneği gibi avantajlarından dolayı bu çalışmada rastgele orman algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, mimarlara, tasarımcılara ve uygulayıcılara gün ışığı analizlerinde hızlı ve etkili bir destek sağlamak ve tasarım sürecinde daha bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktır. Bu amaçla, gün ışığı performans eğilimlerini önceden görmelerine olanak tanıyan modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller özellikle uygulama öncesi geri bildirimlerle mekallara optimum gün ışığının alınmasını sağlayacak pencere tasarımlarına imkan sağlayacaktır. Gün ışığı faktörü tahmini, doğal aydınlatmanın etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır, bu da yapının enerji tüketimini azaltacaktır ve iç mekamlarda daha sağlıklı ve konforlu bir ortam oluşturacaktır. Ayrıca, gün ışığı faktörünün tahmini, mimarlara daha bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olacak ve tasarım sürecini optimize edecektir. Bu nedenle, gün ışığı faktörünün tahmini, mimari tasarımın kalitesini artırırken aynı zamanda çevresel ve kullanıcı odaklı bir yaklaşımı teşvik eder.

**Anahtar Kelimeler:** Günışığı Faktörü; Karar verme; Rastgele Orman Algoritması; Makine Öğrenmesi.

# Evaluation of Random Forest Algorithm for High Performance in Daylight Factor Estimation of Living Spaces

Fadime Diker<sup>1</sup> ; İlker Erkan<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Suleyman Demirel University; <sup>2</sup>Suleyman Demirel University  
<sup>1</sup>fadimediker@gmail.com; <sup>2</sup>ilkererkan@sdu.edu.tr

## Abstract

*Daylight entering spaces increases sustainability by reducing energy consumption, increases the aesthetics and comfort level of interior spaces, and positively affects the physical and psychological health of users. Therefore, window design, which allows daylight to enter spaces during the architectural design process, is of great importance in receiving sufficient daylight. Daylight factor shows how much of the outside sunlight reaches the space. It is also used as a criterion to demonstrate the benefits of natural lighting in spaces and indirectly minimize energy consumption due to artificial light. Since the daylight factor is considered a static measurement and its results depend only on the characteristics and geometry of the architecture, it is an important design parameter that must be taken into account in the architectural design process. Daylight factor is critical for energy efficiency and aesthetics in building design and is difficult and time consuming to estimate. Since architects often ignore this factor in the design process, simplifying daylight estimation techniques could encourage their more widespread and effective use. Artificial intelligence has achieved significant success in many areas, from data analysis to automatic decision-making, increasing prediction accuracy and processing efficiency. The random forest algorithm provides high accuracy by combining multiple decision trees and increases generalization ability by preventing overfitting. Additionally, the random forest algorithm was used in this study due to its advantages such as independence between variables and parallel working ability. The aim of the study is to provide fast and effective support to architects, designers and practitioners in daylight analysis and to help them make more informed decisions in the design process. For this purpose, models have been developed that allow them to foresee daylight performance trends. These developed models will enable window designs that will provide optimum daylight to the spaces, especially with pre-application feedback. Daylight factor estimation will ensure the effective use of natural lighting, which will reduce the energy consumption of the building and create a healthier and more comfortable environment indoors. Additionally, estimating the daylight factor will help architects make more informed decisions and optimize the design process. Therefore, estimation of the daylight factor improves the quality of architectural design while also promoting an environmental and user-oriented approach.*

**Keywords:** Daylight Factor; Decision making; Random Forest Algorithm; Machine Learning.

## 1. Giriş

Gün ışığı, modern mimarinin önemli bir parçasıdır. Modern toplumlarda, kentleşme ve sanayileşme ile insanlar zamanlarının çoğunu kapalı mekanlarda geçirmektedirler. Ortalama olarak insanların zamanlarının yüzde doksanından fazlasını kapalı mekanlarda geçirdikleri tahmin edilmektedir (Steinemann vd., 2017). Yeterli gün ışığı alamayan mekanlarda yapay aydınlatma kullanılmaktadır ve bu durum kullanıcıların sirkadiyen döngülerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Sirkadiyen döngüdeki bozulmalar, kullanıcılarda stres seviyesinin yükselmesine, dikkat dağınıklıklarına ve yorgunluk hissinin oluşmasına neden olmaktadır (Ochoa ve Capetulo, 2006; Al-Obaidi vd., 2017). Bu olumsuz etkilerinin yanı sıra yapay aydınlatma ile elektrik tüketimi de artmaktadır. Bir binada enerji tasarrufu sağlamanın en bariz yollarından biri etkin bir şekilde gün ışığının kullanımınıdır (Burmaka vd., 2020; Marsault, 2022). Yeterli gün ışığı alan mekanlarda kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik ihtiyaçları karşılanır (Heschong vd., 2002; Veitch vd., 2013) ve yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyaç azalacağı için enerji tasarrufu sağlanır (Li ve Lam, 2001; Bodart ve De Herde, 2002). Gün ışığından etkin şekilde yararlanılarak mekanlardaki yapay aydınlatma gereksiniminin en aza indirilmesi elektrik enerjisi tüketiminin yanı sıra ısıtma ve soğutma yüklerini de azaltarak iç mekan kalitesinin artmasına ve toplam enerji tüketiminin azaltmaktadır (Ahmad vd., 2016). Gün ışığı ile aydınlatılan bir mekan, aydınlatma, ısıtma ve soğutma için düşük enerji tüketimi ile görsel ve termal konfor açısından da sakinlerine yüksek derecede memnuniyet sağlamaktadır (da Fonseca vd., 2013).

Gün ışığı faktörünün tahmini, bina ve aydınlatma açısından özellikle erken tasarım aşmasında kararların alınmasında büyük bir öneme sahiptir. Gün ışığının mekan ve zamanla ilişkisi dinamik olduğu için yüksek hassasiyetle tahmin yapmak zordur. İyi tasarlanmış bir aydınlatma, bir binanın hem estetiğini hem de işlevselliğini artırabildiği için gün ışığı tahmin teknikleri, mimarlıkta önemli bir rol oynamaktadır. Mimarların gün ışığı faktörünü kullanımını araştıran bir çalışmada mimarların gün ışığı faktörlerini tasarım aşamasında rutin olarak değerlendirmedikleri, bunun zaman alıcı olduğu ve pencerelerin genellikle hesaplama yapmadan tasarlandığı ve planlama otoriteleri de mimarlardan belirli gün ışığı faktörlerine ulaşmayı kanıtlamalarını nadiren talep ettiği belirtilmiştir (Lewis, 2017). Ancak gün ışığı faktörleri hakkında bilgi sahibi olan mimarlar, bu bilginin gün ışığı ilkelerine dair anlayışlarını artırdığını ve objektif standartların oluşturulmasına yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir (Lewis, 2017). Gün ışığı performansını değerlendirmek için basit hesaplardan karmaşık hesaplamalı simülasyon programlarını öğrenmek ve kullanmak için gerekli bilgilere sahip olmak gerekir ve bu yüzden kullanımı zaman alıcı ve zorlu olmasından dolayı bazı tasarımcılar bu karmaşık simülasyonları çalışmalarına entegre etme konusunda isteksizdirler (Ayoub, 2019). Bu araçların daha kolay ve erişilebilir hale getirilmesi, mimarlıkta gün ışığı kullanımı konusunda daha yaygın bir benimsemeyi teşvik edebilir. Bu çalışma doğrultusunda karmaşık problemlerdeki başarıları, yüksek

genelleme yeteneği ve doğruluğundan dolayı makine öğrenmesi algoritmalarından rastgele orman algoritmasına odaklanmıştır. Bu odaklanılmanın sebebi sınıflandırma ve regresyon gibi makine öğrenimi problemlerini çözmek için kullanılan bir algoritma olmasıdır. Bu algoritma, birden fazla karar ağacı oluşturur ve bunların tahminlerini bir araya getirerek daha doğru sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Özellikle erken tasarım aşamalarında mimarlara, tasarımcılara ve uygulayıcılara kapsamlı analiz yapmaya gerek kalmadan gün ışığı analizleri için bir destek aracı sağlamak ve mimarların daha bilinçli kararlar vermek için tasarımlarında, gün ışığı performans eğilimlerini uygulama öncesi görmelerine olanak tanınması için modeller geliştirilmiştir. Tasarım aşamasında bu modellerin kullanımı ile gün ışığından etkin yararlanılmasına yönelik gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olacaktır. Tasarım sürecinde eksik veya aşırı gün ışığı alımı gibi problemlerin erken evrede fark edilmesini sağlayacaktır.

## 2. Arka Plan

Yeterli miktarda gün ışığının mekanlara alınımı, mekanı kullanan kullanıcılarının gün ışığından yararlanması ve dışarı ile görsel bağlantıyı sağlan pencereler ile sağlanmaktadır. Mekanlara alınan gün ışığının yetersiz veya fazla olması kullanıcıları olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden enerji tasarrufu, kullanıcıların refahı ve görsel konfor amaçları için mekanların yeterli düzeyde gün ışığı alacak şekilde tasarlanması önemlidir. Mekanın gün ışığı aydınlatma kararlarını etkileyen faktörler tasarım aşamasında değiştiremeyeceğimiz coğrafi konum gibi çevresel faktörler ile tasarım aşamasında karar verilen oda boyutları, pencere açıklıkları gibi yapısal faktörlere bağlıdır. Dolayısıyla erken tasarım aşamasında verilen kararlara bağlı olmaktadır. Bu kararlar daha sonra değiştirilmesi mümkün olmayan veya çok zor olan kararlar olabilmektedir. Mekanın formu, yönelimi, geometrisi ve iç mekan kalitesinde büyük bir etkisi olduğu için gün ışığı önemli bir tasarım değişkenidir (Ander, 2003). Pencere boyutu, şekli ve ilgili oda boyutları, gün ışığının kalitesini ve miktarını etkileyen ana faktördür. Pencere tasarımları, tasarım aşamasında verilen bir karardır ve uygulama sonrasında bunların değiştirilmesi çok zor olabileceği için pencere yönü, konumu ve pencere boyutları erken tasarım aşamasında belirlenmelidir (Diker ve Erkan, 2022).

Mekanın derinliği arttıkça mekanın arka taraflarına doğal ışık daha az ulaşır. Bu yüzden gün ışığının homojenliği, yani odanın her yerinde eşit dağılımı, pencere alanının ilgili mekanın toplam alanına oranına bağlıdır (Li ve Lam, 2000; PhD ve PhD, 2011). İstenilen pencere boyutunu ve gün ışığı alım oranını belirleyen iki önemli kriter ise pencere alanın duvar alanına oranı ve pencere alanın taban alanına oranıdır (Vaisi ve Kharvari, 2019). Bu iki parametre gün ışığı miktarını değerlendirmek için kullanılan ve mekanların iç tasarımının kalitesini etkileyen önemli parametrelerdir.

Pencereler, konumlarına bağlı olarak, mekanda farklı etkiler oluşturmaktadır. Alçak pencereler, zeminden yansıyan ışığı tavana yansıtarak odanın içini aydınlatırken, gökyüzünden gelen ışığı ve güneş ışığını az alır. Bu pencereler, manzaranın düşük açılardan görülmesini sağlar, ancak mahremiyet sorunları yaşanabilir. Orta pencereler hem zeminden hem gökyüzünden ışık alarak en iyi manzara görünümünü sağlar ve en fazla aydınlık pencere yakınında oluşur; pencere uzaklaştıkça aydınlık düzeyi azalır. Yüksek pencereler, döşemeye bol miktarda gök ve güneş ışığı verirken tavan az aydınlanır. Yüksek oldukları için güven sağlarlar, ancak manzara görünümü zorlaştırır. Bu yüzden bu çalışmada pencere konumun gün ışığı faktörüne olan etkisi incelenmektedir.

Mekan tasarımı yaparken gün ışığı tahmini, gün ışığı stratejileri, gün ışığını rahatsız edici olmamasını sağlama (parlama gibi) ve gün ışığı kontrolünü sağlama konularında araştırmaya dayalı rehberlerin oluşturulması ve geliştirilmesi önemlidir (Boyer ve Song, 1994). Erken tasarım aşamasında gün ışığı optimizasyonu, mekanların tasarımında gün ışığının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Bu sayede, enerji tüketimi azalır ve yapay aydınlatma sistemlerine olan bağımlılık en aza iner. Aynı zamanda, bu yöntemle iç mekamlarda daha konforlu bir ortam yaratılır. Böylece erken tasarım aşamasında gün ışığı optimizasyonu, mekanın en iyi şekilde doğal ışık alacak şekilde mekana uygun pencere tasarlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Gün ışığı faktörü, kapalı bir gökyüzü koşulları altında dışarıdaki gün ışığı miktarına kıyasla, bir mekanın çalışma düzleminde mevcut bulunan gün ışığı miktarının yüzdesi olarak ölçülür. CIE kapalı gökyüzü dağılımı, sadece gökyüzü elemanının yüksekliğiyle ilgilidir ve zamandan bağımsızdır; bu nedenle gün ışığı faktörü hesaplamak için erken tasarım aşamasında CIE kapalı gökyüzü kullanımı, hızlı ve kolay bir araç sağlamaktadır (Calcagni ve Paroncini, 2004). Gün ışığı faktörü, dışarıdaki gün ışığının ne kadarının mekana ulaştığını göstermektedir. Gün ışığının varlığı, genellikle gün ışığı faktörünün değeriyle yorumlanmaktadır (Mavromatidis vd., 2014). O yüzden mimari tasarım sürecinde dikkate alınması gereken önemli bir tasarım parametresidir. Gün ışığı faktörünün belirlenmesi sadece mekamlara yeterli gün ışığının alınmasını sağlamaz aynı zamanda aşırı ısınmanın önlenmesiyle ilgili karmaşık bir analizdir (Vaisi ve Kharvari, 2019). Statik bir ölçüm olarak kabul edilebildiği için sonuçları yalnızca mimarinin niteliklerine ve geometrisine bağlıdır (CIE, 2003). Gün ışığı faktörü kapalı koşullar altında değerlendirilir, güneşten ve kapalı olmayan gökyüzünden gelen aydınlatma dikkate alınmaz ve dolayısıyla gün ışığı faktörü binanın yönüne ve odanın konumuna göre değişmez (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Son zamanlarda gün ışığı faktörü, mekamlarda doğal aydınlatmanın faydalarını göstermek ve dolaylı olarak yapay ışığa bağlı enerji tüketimini en aza indirmek için bir kriter olarak kullanılmaktadır (Mavromatidis vd., 2014). İlk önerildiği tarihten itibaren gün ışığı faktörü, karmaşık

ve detaylı modeller yerine, sade ve anlaşılır yapısıyla hem uygulama kolaylığı sağlıyor hem de geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından benimsenmesini mümkün kılmaktadır. Bu sebeplere ek olarak pratikliği ve anlaşılabilirliği sayesinde de baskın değerlendirme ölçütü olarak varlığını sürdürmektedir (Nabil ve Mardaljevic, 2006). Gün ışığı faktörünün bir başka avantajı, mekanın genel gün ışığı görünümünü özetleyen tek bir sayı verebilmesidir (Littlefair, 2002). Simülasyon uzmanları genellikle çalışma düzlemi aydınlatmaları ve gün ışığı faktörü üzerinde çalışırken, yeşil bina topluluğu gün ışığının ve güneş kazançlarının genel enerji etkileriyle de ilgilenmektedir (Ibarra ve Reinhart, 2009). Bir binadaki belirli bir konum için doğal aydınlatmanın hesaplanmasına yönelik olağan yöntem, gün ışığı faktörü cinsinden ifade edilir (Li vd., 2017). Tasarım kılavuzlarında genellikle doğal aydınlatma kriteri olarak kullanılan gün ışığı faktörü yaklaşımı, yapay aydınlatma kullanımını azaltarak enerji tasarrufu sağlar (Li ve Lam, 2001; Li ve Lam 2003; Li vd., 2010; Acosta vd., 2015b).

Gün ışığı Faktörü iç mekanda yatay düzlem üzerinde yer alan iç referans noktalarının aydınlık düzeyinin dış alandaki anlık yatay aydınlık düzeyine oranıdır (IESNA, 2011). BS 8206-2:2008 (2008), standardına göre doğal aydınlatma için genel olarak %2'nin altı yetersiz gün ışığı sadece yapma aydınlatma ile aydınlatma sağlar, %2 ile 5 yapma aydınlatma ile destekli olarak yeterli gün ışığı ile aydınlatma sağlar, %5 ile 10 ise yüksek düzeyde gün ışığı performansı sağlar. Ancak %10 ve üzeri fazla gün ışığı miktarı termal konforsuzluk sağlamaktadır. BS 8206-2:2008 (2008), standardına göre konut mekanlarında yaşama mekanı için sağlanması gereken minimum ortalama gün ışığı faktörü ise %1,5'tur.

Gün ışığı faktörü, bir mekanın doğal gün ışığı alımını ölçmek için kullanılmıştır. Bu ölçüm, iç mekanın ne kadar aydınlık olduğunu ve yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu sağlayabileceğini belirlemeye yardımcı olur. Bu faktör, binaların tasarımında doğal aydınlatma stratejilerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi için önemli bir metrik olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda bu çalışmada iç mekanda gün ışığı performansın değerlendirmesine yönelik yöntemlerden gün ışığı faktörüne odaklanmıştır. Yapılan literatür araştırmaları ve incelenen çalışmalar sonucunda gün ışığı performansını değerlendirmede gün ışığı faktörü diğer gün ışığı performans değerlendirme yöntemleri ile kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda kullanılan gün ışığı performansını değerlendirme yöntemlerindeki seçimler **Tablo 1**'de gösterilmektedir.

**Tablo 1:** Gün ışığı performansını değerlendirme yöntemlerindeki seçimlere örnekler

Kaynak	Gün ışığı faktörü	Mekansal gün ışığı otonomisi	Yıllık güneş ışığı alımı	Faydalı gün ışığı aydınlığı	Gün ışığı otonomisi
Acosta vd., 2019; Bian ve Ma, 2017; Galatioto ve Beccali, 2015; Rockcastle ve Andersen, 2013	x				x
Sepúlveda vd., 2020	x	x			
Verso vd., 2014	x	x		x	
Mo vd., 2022	x			x	x
Nguyen vd., 2021	x	x	x		
Ahmed, 2021	x	x	x	x	

**Tablo 1** 'de gösterildiği gibi çeşitli yöntemlerle birlikte kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada pencere konumlarının etkisi inceleneceği için sadece gün ışığı faktörüne odaklanılmıştır. Mekanın boyutları, pencerenin boyutları ve konumu gün ışığı faktörü hesabında etkili parametrelerdir. Gün ışığı faktörü hesabında yönelimin etkisi olmadığı için bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışma doğrultusunda yaşama mekanının eni, boyu, tavan yüksekliği, pencerenin eni, yüksekliği, pencere parapet yüksekliği, pencere alanının taban alanına oranı ve pencere alanının duvar alanına oranı kullanarak gün ışığı faktörü tahmin eden rastgele orman algoritması ile regresyon ve sınıflandırma modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ile yaşama mekanların pencere tasarım sürecinde kullanılarak mekanlarda gün ışığının etkin kullanılması amaçlanmaktadır. Böylelikle mekan tasarım sürecinin erken tasarım aşamalarında mimarlara, tasarımcılara ve uygulayıcılara kapsamlı analiz yapmaya gerek kalmadan gün ışığı faktörü analizleri için bir destek aracı sağlanacaktır. İstenilen gün ışığı faktörü değerinin sağlanması ile yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyaç azalacaktır ve kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarının karşılanması sağlanacaktır.

### 3. Yöntem

#### 1.1. DIALux

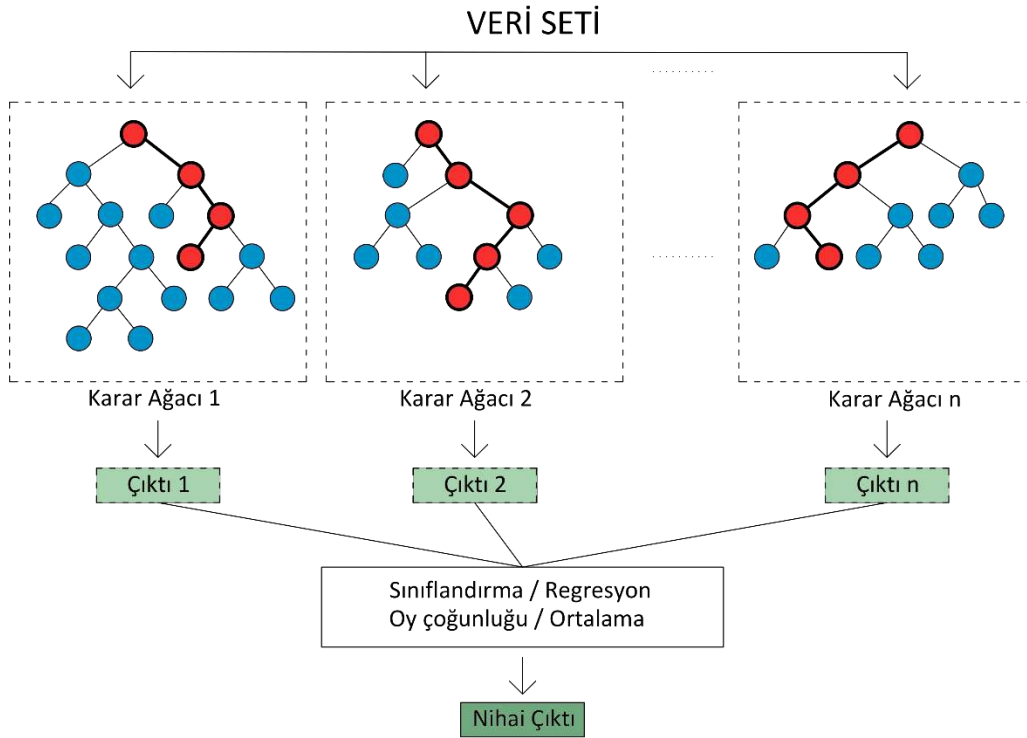
DIALux, mimari ışık ortamını optik hesaplama ile simüle etmek ve görselleştirilmesi için geliştirilen bir bilgisayar yazılımıdır (Zhen vd., 2019; Nurrohman vd., 2021). Bu yazılım bireysel odalar, bina tasarımı, bina sokakları ve dış aydınlatma tasarımı, ölçümü ve simülasyonu için geliştirilmiştir ve yapay aydınlatma oluşturmak için çeşitli üreticilerin armatür kataloglarını kullanmaktadır (Abdollahi, 2021). Yapay ışığı, gün ışığını ve yapay aydınlatmanın enerji performansını hesaplayan DIALux, doğal ve yapay aydınlatmanın doğru analizini ve değerlendirmesini sağlayabilen kapsamlı bir yazılımdır ve mimari aydınlatma ve yapay ışık kaynakları için çok hassas hesaplamalar yapabilmektedir. (Acosta vd., 2015; Jiaming ve Hongyan,2020). Özellikle gün ışığı simülasyon hesaplaması için bulutlu, güneşli ve ortalama olmak üzere üç gökyüzü tipi kullanılmaktadır. Yazılımın esasen yapay aydınlatma koşullarını değerlendirmek için bir araç olarak oluşturulmuş olmasına rağmen, standart CIE bulutlu gökyüzü koşulları için sadece kurulu armatürleri devre dışı bırakarak ve gün ışığı Faktörü hesaplama modunu etkinleştirerek doğal aydınlatma performansının değerlendirilmesine de yardımcı olmaktadır (Amoêda ve Carneiro, 2020).

Sayılar, grafikler ve resimler şeklinde ölçüm sonuçları ile belirli coğrafi konum ve nesne ortamında aydınlatma sisteminin performansını simüle edebilir ve analiz edebilir (Idrus, 2018). Konum bilgilerini girmek için benzetim programında enlem ve boylam alanları bulunmaktadır ve bu alanlar; verilen tarih ve gökyüzü bilgilerine göre güneş yakınlık ve açı bilgilerini, gün ışığı benzetimi hesaplamalarında programa katkı sağlamaktadır (Kamaruddin vd., 2016). Böylece programa güneş ışınları geliş açısı ve gerekli bilgileri sağlamak için herhangi bir gün ve saatte olduğu gibi, veri tabanından bir konum seçerek veya coğrafi koordinatlar ekleyerek herhangi bir dünya bölgesi için hesaplamalar yapılabilir. Hızlı ve doğru ışık ortamı simülasyonu için doğru model ve gerçek parametrelerin doğru girilmesini gerekmektedir (Hu, 2017).

#### 1.2. Rastgele Orman Algoritması (Random Forest Algorithm)

Breiman (2001) tarafından geliştirilen rastgele orman algoritması rastgele oluşturulmuş birden çok karar ağacının çıktısını birleştiren hem regresyon problemlerinde hem sınıflandırma problemlerinde kullanılabilen makine öğrenme algoritmasıdır. Rastgele orman algoritması 4 aşamadan oluşmaktadır ve yapısı **Şekil 1**'de gösterilmektedir.





Şekil 1. Rastgele orman algoritmasının yapısı.

Rastgele orman algoritmasında ilk olarak Bootstrap yöntemi ile örnekleme yapılır. Bu yöntem eğitim veri setinden “rastgele ve tekrarlı” olarak örnekleme yapılarak birçok alt veri seti oluşturma yöntemidir. Rastgele orman oluşturulurken, toplamda örnek sayısı kadar karar ağacı oluşturulur. Her bir ağaç için eğitim veri setinden bootstrap örnekleme yapılarak bir alt veri seti oluşturulur. Bu alt veri seti, genellikle orijinal veri seti ile aynı boyuttadır. Ancak tekrarlı örnekleme nedeniyle bazı örnekler birden fazla kez seçilirken bazıları hiç seçilemez.

İkinci aşama olarak rastgele özellik alt kümeleri seçimi yapılır. Her karar ağacının her bir düğümünde, mevcut tüm özelliklerden rastgele bir alt küme seçilir. Rastgele seçilen bu özellik alt kümesi, düğümün bölünme noktası için aday özellikler olarak kullanılır. Farklı düğümler farklı özellik alt kümelerine dayalı olarak

bölünmeler gerçekleştirdiği için bu yöntem her bir karar ağacının benzersiz ve çeşitli olmasını sağlar. Her düğümdeki bu rastgele özellik seçimi, ağaçların birbirinden bağımsız hatalar yapmasını ve bu hataların ortalamasının daha düşük olmasını sağlar (Archer ve Kimes, 2008). Her bir düğümdeki en iyi bölünmenin tüm tahmin ediciler kullanılarak belirlendiği tek bir ağaç yetiştirmek yerine, bir ağaçtaki her bir düğümü rastgele seçilmiş bir tahmin edici alt kümesi kullanarak bölerek çok sayıda ağaç (veya bir orman) büyütülür ve böylece topluluktaki ağaçlar arasında daha az korelasyon elde edilmesinin yanı sıra varyanstada bir azalma sağlayarak tahminlerde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır (Suchetana et al., 2017).

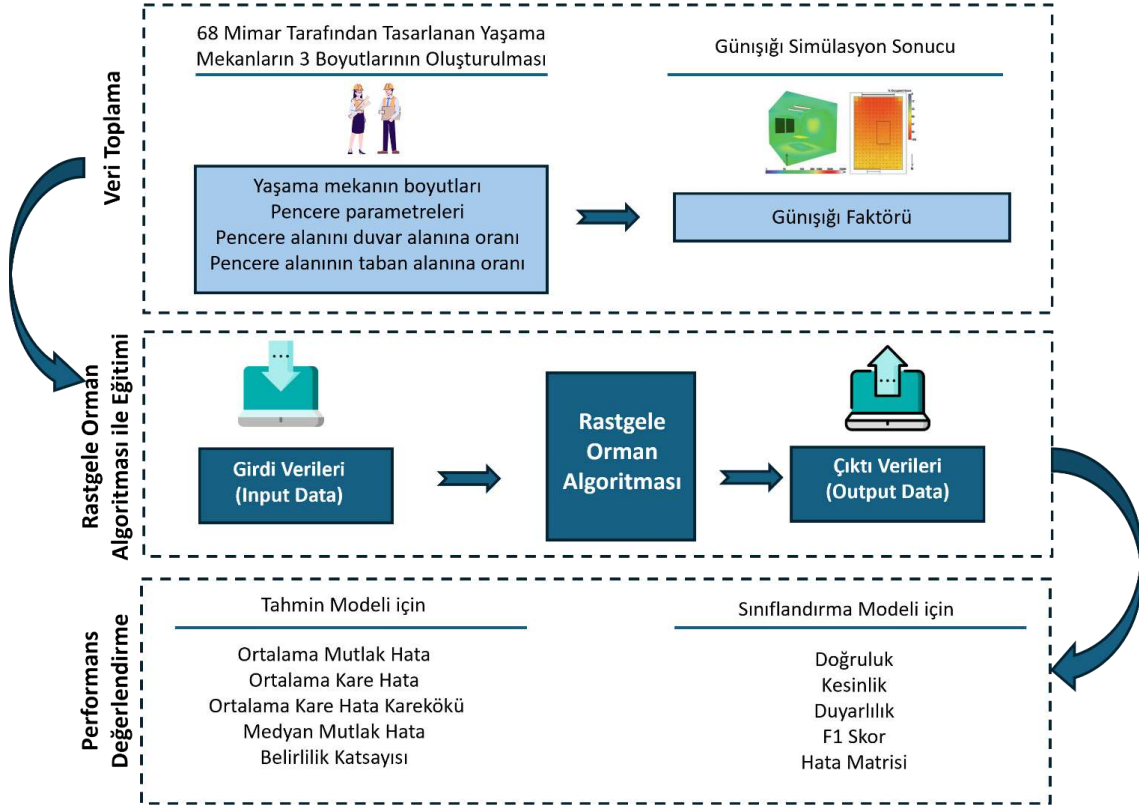
Üçüncü aşama da ise karar ağaçlarının eğitilmesi yapılır. Her bir bootstrap örneği kullanılarak bir karar ağacı eğitilir. Her düğümde, rastgele seçilen özellik alt kümesinden en iyi bölünmeyi sağlayan özellik ve bölünme noktası seçilir. Sınıflandırma için bu seçim genellikle bilgi kazancı veya gini indeksine göre yapılır. Gini kriteri, her düğümde en düşük safsızlığa sahip bölünmeyi seçmek için kullanılır (Archer ve Kimes, 2008). Regresyon için bu seçim ortalama kare hatasına göre yapılır. Karar ağacı, belirli bir derinliğe ulaşana veya yaprak düğümleri belirli bir sayıda örnek içerene kadar büyütülür. Rastgele ormanlar genellikle tamamen büyütülmüş, budanmamış ağaçlar içerir. Her bir ağaç, bootstrap örneği üzerinde bağımsız olarak eğitildiği için, ormandaki ağaçlar birbirinden bağımsız ve farklılık gösterir. Bu durum rastgele orman algoritmasının doğruluğunu benzersiz kılar.

Son olarak ise tahminlerin birleştirilmesi yapılır. Eğitilen ağaçların çıktıları birleştirilerek nihai tahmin yapılır. Bu süreç sınıflandırma ve regresyon problemleri için farklılık gösterir. Sınıflandırma probleminde her bir karar ağacı, test veri setindeki her bir örnek için bir sınıf tahmini yapar. Ormandaki tüm ağaçların tahminleri bir araya getirilir. Nihai sınıf tahmini, çoğunluk oyu ile belirlenir. Regresyon probleminde ise her bir karar ağacı, test veri setindeki her bir örnek için bir sayısal tahmin yapar. Ormandaki tüm ağaçların tahminleri bir araya getirilir. Nihai sayısal tahmin, tüm ağaçların tahminlerinin ortalaması alınarak belirlenir.

Rastgele ormanlar, geniş bir tahmin problemi yelpazesinde uygulanabilir, az sayıda parametreye sahiptir ve yüksek doğruluk sunar ve aynı zamanda paralel çalışabilme yetenekleri sayesinde büyük veri setleriyle başa çıkabilirler (Biau ve Scornet). Rastgele ormanlar yüksek sınıflandırma doğruluğuna sahiptir, aykırı değerleri ve gürültüyü iyi tolere eder ve hiçbir zaman aşırı uyum sağlamaz (Liu vd., 2012). Rastgele orman algoritması, diğer makine öğrenme algoritmalarına (Breiman, 2001; Svetnik vd., 2003; Meyer vd., 2003; Akar ve Güngör, 2012) ve geleneksel lojistik regresyon modellerine (Peters vd., 2005) kıyasla üstün performans gösterdiği kanıtlanmıştır. Bu özelliklerinden dolayı bu çalışmada Rastgele orman algoritması kullanılmıştır.

### 1.3. Metodoloji

Önerilen model veri toplama, elde edilen veriler ile makine öğrenmesi algoritmalarından rastgele orman algoritma tabanlı tahmin ve sınıflandırma modellerin geliştirilmesi ve modellerin değerlendirilmesi olmak üzere farklı aşamalardan oluşmaktadır (**Şekil 2**).



**Şekil 2.** Geliştirilen modellerin akış diyagramları.

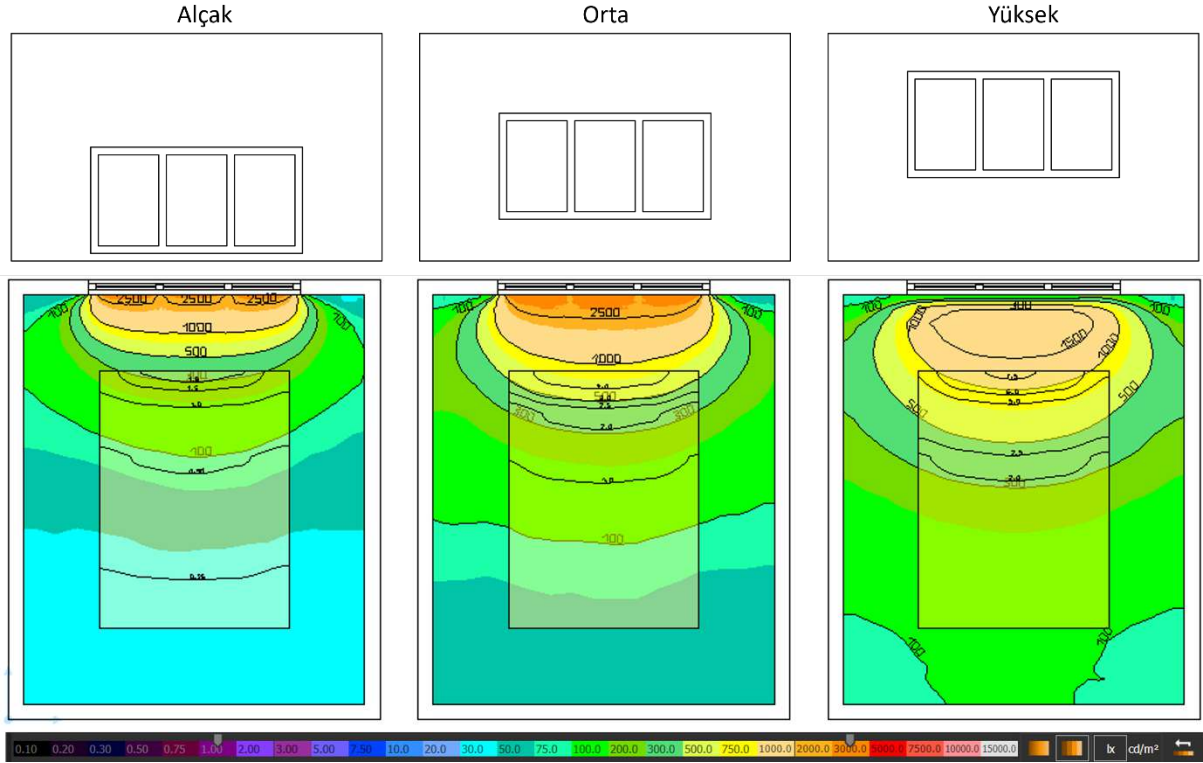
Geliştirilen modeller için veri seti olarak 68 mimarın (34 kadın, 34 erkek) 3+1 konut tasarımı kullanılmıştır. Bu tasarımlar aynı arsa üzerinde olacağı için aynı çevre iklim faktörleri geçerli olacak değişkenler ise yaşama mekanının boyutu ve pencere tasarım parametreleri ile sınırlandırıldı. Her mimarın tasarladığı 5 plandaki

yaşama alanının pencereleri alçak, orta ve yüksek olarak konumlandırarak veriler çoğaltılmıştır ve toplamda 1020 (68\*5\*3) veri elde edilmiştir. Tasarlanan konutların yaşama mekanının gün ışığı performansının değerlendirmek için DIALUX simülasyon programında modellemeleri yapılmıştır. Yapılan modellerin gün ışığı faktörü hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin ortalama ve standart sapması **Tablo 2'**de gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Elde edilen verilerin ortalama ve standart sapması.

	Ortalama	Standart Sapma
Yaşama mekanının eni (m)	5,06	1,11
Yaşama mekanının boyu(m)	5,46	1,38
Yaşam mekanının tavan yüksekliği (m)	2,85	0
Pencerenin eni(m)	2,28	0,67
Pencerenin yüksekliği (m)	1,62	0,33
Yaşama mekanının alanı (m <sup>2</sup> )	27,35	8,29
Pencerenin alanı (m <sup>2</sup> )	3,75	1,46
Pencere alanının taban alanına oranı (%)	14,58	6,32
Pencere alanının duvar alanına oranı (%)	26,92	11,65
Gün ışığı faktörü (alçak) (%)	0,61	0,35
Gün ışığı faktörü (orta) (%)	1,16	0,49
Gün ışığı faktörü (yüksek) (%)	1,89	0,73

Örnek olarak ele alınan bir yaşama mekanı için pencerelerin üç konum içinde oluşan gün ışığı performansına yönelik aydınlık düzeyi eğrileri **Şekil 3'**te gösterilmektedir.



Şekil 3. Örnek yaşama mekanında meydana gelen gün ışığı aydınlık düzey eğrileri.

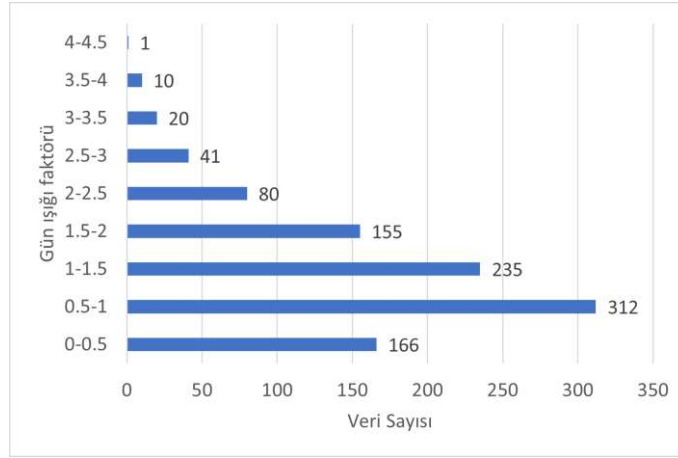
Pencere duvarının alçak, orta ve yüksek noktalarında konumlandırılmış örnek yaşama mekanında elde edilen gün ışığı faktörü ve aydınlık düzeyi miktarı değerleri **Tablo 3**'te gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Üç farklı pencere pozisyonuna göre mekan içerisindeki gün ışığı faktörü değerleri.

Pencere Konumu	Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	Düzensizlik Faktörü (max/min oranı)
Alçak	Gün ışığı faktörü	%0,195	%1,909	%0,564	9,79
Alçak	Aydınlık düzeyi miktarı	30,4 lx	3583 lx	206 lx	117,86
Orta	Gün ışığı faktörü	%0,345	%4,909	%1,312	14,23
Orta	Aydınlık düzeyi miktarı	53,7 lx	4531 lx	360 lx	84,38
Yüksek	Gün ışığı faktörü	%0,600	%7,809	%2,297	13,02
Yüksek	Aydınlık düzeyi miktarı	72,6 lx	1955 lx	393 lx	26,93

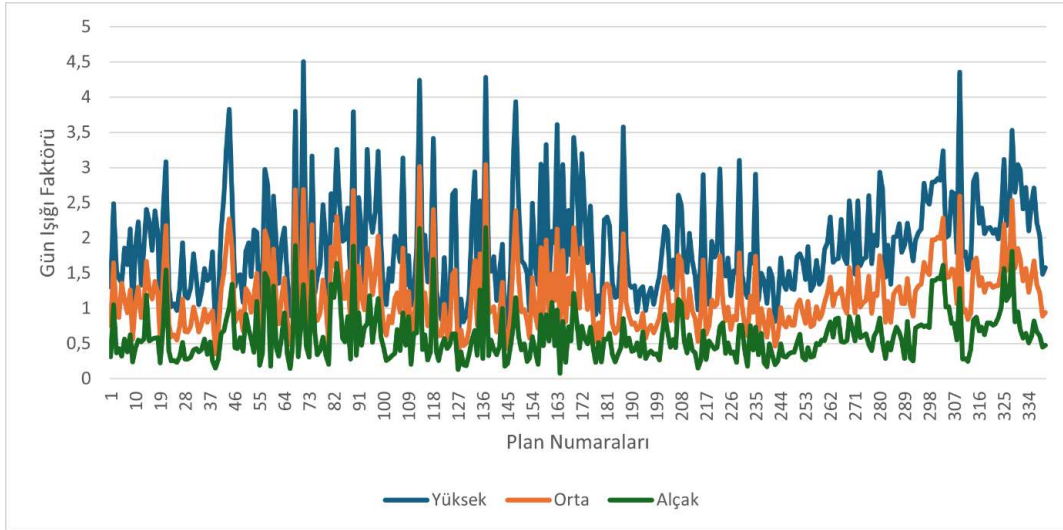
Örnek yaşama mekanında mekan ve pencere boyutları aynı olmasına rağmen sadece pencere konumun değişmesi ile en yüksek değer yüksek konumdaki pencerede elde edilmiştir. Alçak konumdaki pencere ile yüksek konumdaki pencereye sahip mekanlarda gün ışığı faktörü farkı 1,733'tür.

Toplanan verilerden 1020 verinin gün ışığı faktörü DILAux programı kullanılarak hesaplanmıştır. 1020 yaşama mekanın gün ışığı faktörü yüzdelerin dağılımı **Şekil 4**'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Yaşama mekanlarının gün ışığı faktörü yüzdelerinin dağılımı

Gün ışığı faktörü ile pencere konumu arasındaki ilişki Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Pencere konumu ile gün ışığı faktörü arasındaki ilişki.

Şekil 4'te görüldüğü gibi gün ışığı faktörü aynı mekan ve pencere boyutlarına sahip olmasına rağmen pencere konumlarına göre farklılıklar göstermektedir. En yüksek gün ışığı faktörü pencere konumunun yüksek olduğu mekanlarda gözlenmiştir. En düşük gün ışığı faktörü ise pencere konumunun alçak olduğu mekanlarda gözlenmiştir. Yüksek konumdaki pencere ile alçak konumdaki pencerelere sahip mekanlardaki gün ışığı faktörü fark ortalaması 1,28'dir (en yüksek fark 3,17 en düşük fark 0,37). Yüksek konumdaki pencere ile orta konumdaki pencerelere sahip mekanlardaki gün ışığı faktörü fark ortalaması 0,73'tür (en yüksek fark 1,81 en düşük fark 0). Orta konumdaki pencere ile alçak konumdaki pencerelere sahip mekanlardaki gün ışığı faktörü fark ortalaması 0,56'dır (en yüksek fark 1,36 en düşük fark 0,15). Bu durum yaşama mekanlarında gün ışığı faktörü açısından pencere konumunun büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Elde edilen veriler eğitim (%80) ve test (%20) verileri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Eğitim verileri modellerin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Test verileri ise modellerin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Yaşama mekanların eni, boyu, tavan yüksekliği, pencerenin eni, yüksekliği, pencere parapet yüksekliği, pencere alanın taban alanına oranı ve pencere alanın duvar alanına oranı kullanılarak yaşama mekanların gün ışığı faktörü değerini tahmin etmek ve sınıflandırmak için makine öğrenmesi algoritmalarından olan Rastgele Orman algoritması kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Modelleri geliştirmek için ise Python programlama dili ile sunulan Jupyter Notebook programı kullanılmıştır.

Geliştirilen modellerin ne kadar iyi çalıştığını anlamak, modelin tahmin yeteneğini, doğruluğunu, güvenilirliğini ve başarısını ölçmek ve modelin iyi bir model olup olmadığına karar vermek için farklı performans ölçütleri kullanılır. Bu çalışmada tahmin modelinde performans değerlendirme ölçütleri olarak Ortalama Mutlak Hata, Ortalama Kare Hata, Ortalama Kare Hata Karekökü, Medyan Mutlak Hata ve Belirlilik Katsayısı kullanılmıştır. Ortalama Mutlak Hata Tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden olan farklarının mutlak değerlerinin ortalamasıdır. Ortalama Kare Hata Tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden olan farklarının karelerinin ortalamasıdır. Ortalama Kare Hata Karekökü Ortalama kare hatanın kareködür. Medyan Mutlak Hata Tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden olan farklarının mutlak değerlerinin medyanıdır. Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ) Modelin açıklanan varyansın toplam varyansa oranıdır.  $R^2$  değeri 0 ile 1 arasında değişir ve modelin ne kadar iyi olduğunu ölçer. 1'e yakın bir değer, modelin veriyi iyi açıkladığını gösterir. Diğer dört metrikte ise ne kadar küçükse o kadar başarılıdır. Çalışma kapsamında hassas bir şekilde değerlendirme yapmak için Ortalama Kare Hata Karekökü ve belirleme katsayısı değerleri dikkate alınmıştır.



Sınıflandırma modeli performansının değerlendirilmesi için Hata Matrisi, doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık ve F1 Skor kullanılmıştır. Hata Matrisi Bir sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan bir tablodur. Gerçek sınıf ve tahmin edilen sınıf değerlerini içerir. Doğruluk doğru olarak sınıflandırılan örneklerin oranını belirler. Kesinlik pozitif olarak tahmin edilen örneklerin gerçekten pozitif olma olasılığını belirler. Duyarlılık gerçek pozitif örneklerin doğru bir şekilde sınıflandırılma oranını belirler. F1 Skoru Kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalamasıdır. Dengelenmiş bir performans ölçütüdür. Modelde kullanılan veri setin dengesiz olmasından dolayı model değerlendirmesinde F1 skoru dikkate alınmıştır.

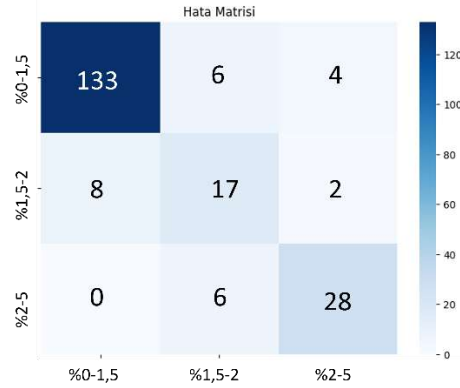
Geliştirilen modellerin performans değerlendirmeleri **Tablo 4-5**'te gösterilmektedir ve sınıflandırma modeli için elde edilen hata matrisi ise **Şekil 6**'da gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Tahmin modeli için geliştirilen modelin performans sonuçları.

Performans değerlendirme ölçütleri	Değer
Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error (MAE))	0,104
Ortalama Kare Hata (Mean Squared Error (MSE))	0,023
Ortalama Kare Hata Karekökü (Root Mean Squared Error (RMSE))	<b>0,152</b>
Medyan Mutlak Hata (Median Absolute Error (MedAE))	0,067
Belirlilik Katsayısı(R-squared-R <sup>2</sup> )	<b>0,961</b>

**Tablo 5.** Sınıflandırma modeli için geliştirilen modelin performans sonuçları.

Gün ışığı faktörü (Daylight Factor)	Doğruluk (Accuracy)	Kesinlik (Precision)	Duyarlılık (Recall)	F1 Skor (F1 score)	Örnek Sayısı (Support)
%0-1,5	0,94	0,94	0,93	<b>0,94</b>	143
%1,5-2	0,59	0,59	0,63	<b>0,61</b>	27
%2-5	0,82	0,82	0,82	<b>0,82</b>	34
Macro average	<b>0,78</b>	<b>0,78</b>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>	<b>204</b>
Weighted average	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	<b>0,87</b>	<b>0,87</b>	<b>204</b>



Şekil 6. Geliştirilen modelden elde edilen hata matrisi.

Rastgele orman algoritması ile geliştirilen regresyon modelinin test verilerinden elde edilen bu sonuçlar, modelin performansını objektif bir şekilde değerlendirmek için önemli bir kriter sağlar. Ortalama Mutlak Hata, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden sapmasını 0.104 birim olarak gösterir. Ortalama Kare Hata 0,023 olarak belirlenmiştir, yani modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ortalama olarak 0,023 birim karesi kadar uzaklık gösterdiği anlamına gelir. *Ortalama Kare Hata Karekökü* değeri ise 0,152'dir, bu da modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ortalama olarak 0,152 birim kadar sapma gösterdiğini ifade eder. Medyan Mutlak Hata ise 0.067 olarak belirlenmiştir, bu da modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ortalamadan daha az sapma gösterdiğini belirtir. Belirlilik katsayısı ise 0.961 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, modelin toplam varyansın %96.1'ini açıkladığını gösterir. Bu, modelin verilere oldukça iyi uyarlandığını ve tahminlerinin genellikle gerçek değerlerle uyumlu olduğunu belirtir. Tüm bu sonuçlar, modelin güvenilir ve etkili bir şekilde tahminler yapabildiğini ortaya koymaktadır.

Rastgele orman algoritması ile geliştirilen sınıflandırma modelinin test verilerinden elde edilen bu sonuçlara göre %0-1,5 aralığında modelin doğruluğu 0,94, kesinliği 0,94, duyarlılığı 0,93 ve F1 skoru 0,94 olarak hesaplanmıştır. Bu aralıkta modelin performansı oldukça yüksektir. Ancak, %1,5-2 aralığında performans düşmekte; doğruluk 0,59, kesinlik 0,63, duyarlılık 0,63 ve F1 skoru 0,61 olarak görülmektedir. %2-5 aralığında ise modelin doğruluğu 0,82, kesinliği 0,82, duyarlılığı 0,82 ve F1 skoru 0,82 ile %1,5-2 aralıktan daha iyi bir performans sergilemektedir. Makro ortalama ve ağırlıklı ortalama değerlere bakıldığında, modelin genel performansı sırasıyla 0,79 ve 0,87 F1 skoru ile tatmin edici düzeydedir. Genel olarak, model %0-1,5 ve %2-5 aralıklarında yüksek performans sergilerken, %1,5-2 aralığında iyileştirmelere ihtiyaç

duymaktadır. Veri setinin dengesiz olması bu sonuçlara neden olmuştur. En az örnek sayısının %1,5-2 de olması nedeniyle o örnekleri öğrenmede diğerlerine göre başarısız olmuş olabilir. Dengeli bir veri seti ile modelin başarısı artırılabilir.

#### 4. Sonuçlar

Gün ışığı mekanlarda yapay aydınlatma kullanımı azaltır dolayısıyla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Gün ışığı kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik ihtiyaçlarını karşılar, üretkenliğini artırır ve genel ruh halini iyileştirmektedir. Bu yüzden enerji tasarrufu, kullanıcıların refahı ve görsel konfor amaçları için mekanların yeterli düzeyde gün ışığı alacak şekilde tasarlanması önemlidir. Ancak yeterli bir şekilde gün ışığı alan mekanların tasarımı, mekanların geometrisi, açıklıkları ve özellikleri gibi çok sayıda değişken tarafından belirlenmesinden dolayı optimum çözümlerin belirlenmesi büyük bir problem teşkil etmektedir. Yapay zeka uygulamaların yetenekleri çeşitli alanları etkilediği gibi mimari tasarım süreçlerinde etkilemektedir. Mimari tasarım süreçlerinde özellikle erken tasarım aşamasında karşılaşılan problemleri çözmek ve karar vermek tüm tasarım sürecini etkilediği için daha önemlidir. Ancak gün ışığı faktörü tasarım aşamasında simülasyon programlarını öğrenmek ve kullanmak için gerekli bilgiye sahip olunmaması, simülasyon programlarının zaman alıcı ve zorluklarından dolayı göz ardı edilebilmektedir. Bu araçların kolay ve erişilebilir olması mimari tasarım sürecinde gün ışığı konusunda daha yaygın bir benimsemeyi teşvik edebilir. Geliştirilen bu modelin tasarım aşamasında kullanılması ile optimum pencere tasarımı elde edilebilir. Dolayısıyla yeterli doğal aydınlatma sağlanır ve yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyaç azalır.

Rastgele orman algoritması ile geliştirilen modellerden regresyon modeli doğal aydınlatma kriteri olarak kullanılan gün ışığı faktörünü tahmin etmede daha başarılı olmuştur. Çalışmadaki bu probleme sınıflandırma modelinden ziyade regresyon modelinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Geliştirilen bu modeller özellikle uygulama öncesi geri bildirimlerle mekanlara optimum gün ışığının alınmasını sağlayacak pencere tasarımlarına imkan sağlayacaktır. Böylelikle mekanların aydınlatılmasında minimum enerji tüketimi ve optimum gün ışığı kullanımını sağlayacaktır. Optimum gün ışığı sağlayan mekanların elde edilmesi ile kullanıcılarının sağlığını olumsuz yönde etkileyecek durumlar azalacaktır. Ayrıca kullanıcıların yaratıcılığını, üretkenliğini ve öğrenme performansının artıracaktır.

#### Teşekkür

Yazarlar, çalışmalarına gönüllü olarak katılarak kendilerine yardımcı olan tüm deneklere teşekkür eder.

## KAYNAKLAR




- Abdollahi, R. (2021). Design Of Lighting System For Sacred Places With The Approach Of Improving Technical And Economic Conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(3), 2899-2905.
- Acosta, I., Campano, M. Á., Domínguez, S., Fernández-Agüera, J. (2019). Minimum daylight autonomy: a new concept to link daylight dynamic metrics with daylight factors. *Leukos*, 15(4), 251-269.
- Acosta, I., Munoz, C., Campano, M. A., & Navarro, J. (2015b). Analysis of daylight factors and energy saving allowed by windows under overcast sky conditions. *Renewable Energy*, 77, 194-207.
- Acosta, I., Muñoz, C., Esquivias, P., Moreno, D., Navarro, J. (2015). Analysis Of The Accuracy Of The Sky Component Calculation In Daylighting Simulation Programs. *Solar Energy*, 119, 54-67.
- Ahmad, M. W., Mourshed, M., Rezgui, Y. (2016). Optimal Scheduling Strategy for Enhancing Indoor Air Quality, Visual and Thermal Comfort Using a Genetic Algorithm, *ASHRAE IAQ 2016 Defining Indoor Air Quality: Policy, Standards and Best Practices*, Alexandria, VA, USA: 12-14 Eylül 2016.
- Ahmed, E. B. (2021). Utilizing dynamic shading system to achieve daylight performance according to LEED standards V. 4: case study, university classrooms in Egypt. *HBRC Journal*, 17(1), 177-200.
- Akar, Ö., & Güngör, O. (2012). Rastgele orman algoritması kullanılarak çok bantlı görüntülerin sınıflandırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (106), 139-146.
- Al-Obaidi, K., Munaaim, M., Ismail, M., Rahman, A. (2017). Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings. *Solar Energy*, 85-101.
- Amoêda, R., Carneiro, S. (2020). Daylighting Simulation On Restoration Projects Of Vernacular Architecture: An Application Of Dialux® Evo 9.1.
- Ander, G. D. (2003). Daylighting performance and design. John Wiley & Sons.
- Archer, K. J., & Kimes, R. V. (2008). Empirical characterization of random forest variable importance measures. *Computational statistics & data analysis*, 52(4), 2249-2260.
- Ayoub, M. (2019). 100 Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. *Solar Energy*, 194, 360-390.
- Bian, Y., Ma, Y. (2017). Analysis of daylight metrics of side-lit room in Canton, south China: A comparison between daylight autonomy and daylight factor. *Energy and Buildings*, 138, 347-354.
- Biau, G., & Scornet, E. (2016). A random forest guided tour. *Test*, 25, 197-227.
- Bodart, M., De Herde, A. (2002). Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. *Energy and buildings*, 34(5), 421-429.
- Boyer, L.L., Song, K.D., (1994). Daylighting prediction and sunlight strategies for atrium design in hot climates, NO-94-3-2, *ASHRAE Transactions: Symposia*, pp. 676-681
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32.
- BS 8206-2:2008. (2008). Lighting for buildings- Part 2: Code of practice for Daylighting.
- Burmaka, V., Tarasenko, M., Kozak, K., Omeiza, L.A., Sabat, N. (2020). Effective use of daylight in office rooms. *Journal of Daylighting*, 7(2), 154-166.

- Calcagni, B., & Paroncini, M. (2004). Daylight factor prediction in atria building designs. *Solar Energy*, 76(6), 669-682.
- CIE. 2003. Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky, commission internationale de l'Éclairage. Vienna (Austria): CIE S 011/E: 2003
- da Fonseca, R. W., Didoné, E. L., Pereira, F.O.R. (2013). Using artificial neural networks to predict the impact of daylighting on building final electric energy requirements. *Energy and Buildings*, 61, 31-38.
- Diker, F., Erkan, İ. (2022). The fuzzy logic method in assessing window design for the visual comfort of classrooms at the early design stage. *Journal of Architectural Engineering*, 28(2), 04022013.
- Galatioto, A., Beccali, M. (2015). Assessment of the entropy of spatial and time distributions of rooms daylighting: a possible tool for a sustainable design. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 3(4), 425-435.
- Heschong, L., Wright, R. L., Okura, S. (2002). 'Daylighting Impacts on Human Performance in School', *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(2), pp. 101–114. doi: 10.1080/00994480.2002.10748396.
- Hu, X. C. (2017, May). Design And Optimization Of The Lighting Environment For The Brand Clothing Stores Based On Dialux Software. In 2017 2nd International Conference On Materials Science, Machinery And Energy Engineering (Msmee 2017) (Pp. 340-344). Atlantis Press.
- Ibarra, D. I., Reinhart, C. F. (2009, July 27-30). Daylight factor simulations – How close do simulation beginners 'really' get?
- Idrus, I. (2018). Evaluasi Kondisi Pencahayaan Integrasi Manual Pada Ruang Kantor Menara Balaikota Makassar. *Jurnal Linears*, 1(1), 1-11.
- IESNA, (2011). *The IESNA Lighting Handbook: Reference Application*. 10th Edition, New York : Illuminating Engineering Society of North America.
- Jiaming, D., Hongyan, M. (2020, August). Analysis And Optimization Of Ancient Building Lighting Based On Dialux. In 2020 Chinese Control And Decision Conference (Ccdc) (Pp. 134-139). Ieee.
- Kamaruddin, M. A., Arief, Y. Z., Ahmad, M. H. (2016). Energy Analysis Of Efficient Lighting System Design For Lecturing Room Using Dialux Evo 3. In *Applied Mechanics And Materials* (Vol. 818, Pp. 174-178). Trans Tech Publications Ltd.
- Lewis, A. (2017). The mathematisation of daylighting: a history of British architects' use of the daylight factor. *The Journal of Architecture*, 22(7), 1155-1177.
- Li, D. H. W., Lam, J. C. (2000). Vertical solar radiation and daylight illuminance data for Hong Kong. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(2), 93-98.
- Li, D. H., Lam, J.C. (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. *Energy and buildings*, 33(8), 793-803.
- Li, D. H., Cheung, K. L., Wong, S. L., & Lam, T. N. (2010). An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls. *Applied Energy*, 87(2), 558-567.
- Li, D. H., Lam, J. C. (2003). An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylighted corridor. *Energy and buildings*, 35(4), 365-373.

- Li, D. H., Lou, S., Ghaffarianhoseini, A., Alshaibani, K. A., & Lam, J. C. (2017). A review of calculating procedures on daylight factor based metrics under various CIE Standard Skies and obstructed environments. *Building and Environment*, 112, 29-44.
- Littlefair, P. (2002). Daylight prediction in atrium buildings. *Solar energy*, 73(2), 105-109.
- Liu, Y., Wang, Y., & Zhang, J. (2012). New machine learning algorithm: Random forest. In *Information Computing and Applications: Third International Conference, ICICA 2012, Chengde, China, September 14-16, 2012. Proceedings 3* (pp. 246-252). Springer Berlin Heidelberg.
- Marsault, X. (2022). Achieving realtime daylight factor computation for modular buildings in generative design. *Journal of Building Performance Simulation*, 15(6), 848-865.
- Mavromatidis, L. E., Marsault, X., & Lequay, H. (2014). Daylight factor estimation at an early design stage to reduce buildings' energy consumption due to artificial lighting: A numerical approach based on Doehlert and Box-Behnken designs. *Energy*, 65, 488-502.
- Meyer, D., Leisch, F., & Hornik, K. (2003). The support vector machine under test. *Neurocomputing*, 55(1-2), 169-186.
- Mo, H., Zhou, Y., Song, Y. (2022). Parametric Design and Spatial Optimization of East-West-Oriented Teaching Spaces in Shanghai. *Buildings*, 12(9), 1333.
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41-57.
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and buildings*, 38(7), 905-913.
- Nguyen, V. T., Le, T. H. N., Le, H. T., Nguyen, P. B. L. (2021). An Adaptive Facade Configuration for Daylighting Toward Energy-Efficient: Case Study on High-Rise Office Building in HCMC. In *ICSCEA 2021* (pp. 39-47). Springer, Singapore.
- Nurrohman, M. L., Feros, P., Madina, R. F., Pratiwi, N. (2021, April). Efficient Lighting Design For Multiuse Architecture Studio Classroom Using Dialux Evo 9. In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* (Vol. 738, No. 1, P. 012034). Iop Publishing.
- Ochoa, C. E., Capetulo, I. G. (2006). Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates. *Building and Environment*, 41(8), 1128-1135.
- Peters, J., Samson, R., & Verhoest, N. E. C. (2005). Predictive ecohydrological modelling using the random forest algorithm.
- PhD, J. M. G., & PhD, M. A. (2011). A daylighting knowledge base for performance-driven facade design exploration. *Leukos*, 8(2), 93-110.
- Rockcastle, S., Andersen, M. (2013). Application of New Metrics to Detailed Case Studies. In *Annual Dynamics of Daylight Variability and Contrast* (pp. 69-80). Springer, London.
- Sepúlveda, A., De Luca, F., Thalfeldt, M., Kurnitski, J. (2020). Analyzing the fulfillment of daylight and overheating requirements in residential and office buildings in Estonia. *Building and Environment*, 180, 107036.
- Steinemann, A., Wargoeki, P., Rismanchi, B. (2017). Ten questions concerning green buildings and indoor air quality. *Building and Environment*, 112, 351-358.

- Suchetana, B., Rajagopalan, B., Silverstein, J. (2017). Assessment of wastewater treatment facility compliance with decreasing ammonia discharge limits using a regression tree model. *Science of the total environment*, 598, 249-257.
- Svetnik, V., Liaw, A., Tong, C., Culberson, J. C., Sheridan, R. P., & Feuston, B. P. (2003). Random forest: a classification and regression tool for compound classification and QSAR modeling. *Journal of chemical information and computer sciences*, 43(6), 1947-1958.
- Vaisi, S., & Kharvari, F. (2019). Evaluation of Daylight regulations in buildings using daylight factor analysis method by radiance. *Energy for Sustainable Development*, 49, 100-108.
- Veitch, J. A., Christoffersen, J., Galasiu, A.D. (2013). Daylight and View through Residential Windows: Effects on Well-being. *Residential daylighting and Well-being*, 1-6.
- Verso, V. R. L., Fregonara, E., Caffaro, F., Morisano, C., Peiretti, G. M. (2014). Daylighting as the Driving Force of the Design Process: from the Results of a Survey to the Implementation into an Advanced Daylighting Project. *Journal of Daylighting*, 1(1), 2-7.
- Zhen, M., Du, Y., Hong, F., Bian, G. (2019). Simulation Analysis Of Natural Lighting Of Residential Buildings In Xi'an, China. *Science Of The Total Environment*, 690, 197-208.

# Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeylerin (ÜYPMY) Şerit Tabanlı Dijital Fabrikasyonu

Kaan Demir<sup>1</sup> ; İbrahim Naci Özetcİ<sup>2</sup> ; Sabri Gökmen<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup>Kadir Has Üniversitesi

<sup>1</sup>kaan.demir@stu.khas.edu.tr; <sup>2</sup>aspidistra@stu.khas.edu.tr; <sup>3</sup>sabri.gokmen@khas.edu.tr




## Özet

Günümüzde, hesaplamalı modelleme araçlarının gelişmesiyle birlikte mimarlığın geometriyle olan ilişkisi yeni bir boyut kazanmıştır. Dolayısıyla alışlagelmişin dışındaki geometrik formların fiziksel yapılabilirliği de tartışılabilir bir konu haline gelmiştir. Bu çalışma, Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeylerin (ÜYPMY) parametrik tasarım ve dijital fabrikasyon süreçlerini hesaplamalı olarak ele alan bir iş akışı önermektedir. Hesaplamalı tasarımı, “biyomimetik” form araştırmalarıyla birleştiren çalışmada, üç yönde periyodik yüzey devamlılığı ilkesine uygun olarak gelişim gösterebilen “Polifera” sınıfına ait mercan formlarından esinlenerek hesaplamalı form üretebilen bir metodoloji geliştirilmiştir. Düşünülen hesaplamalı tasarım yönteminin, klasik biyomimetik form arama yöntemlerinden ayrı olarak, Minimal Yüzeylerin tasarım ve mimari alanlarına getirdiği yenilikler ve bu yeniliklerin uygulanabilirliğini örnekler üzerinden incelenmiştir. Minimal yüzeylerin eğriliğine sahip formların dijital üretimini kolaylaştırmak için Grasshopper/Rhinoceros modelleme programları kullanılmış, geliştirilen yüzeylerin, düz şerit parçalar olarak tarifleyen hesaplamalı yöntemler sunulmuştur. Süreç, kullanılan hesaplamalı yöntemlerin alışlagelmiş matematiksel formların aksine karmaşık bir yapıya sahip olan ve iç içe geçen iki farklı yüzeyin sürekli akışkanlığıyla karakterize edilen “gyroid” formuna sahip bir prototip çalışma üzerinden örneklendirilmiştir. Prototipin fabrikasyon aşamasında, yapısal özelliklerinin malzeme tabanlı üretimine uygunluğu göz önünde bulundurularak, şeritler halinde ve birbirine eklenen bir üretim gerçekleştirilmiştir. PVC’nin bir alt ürünü olan esnek bir malzeme kullanılarak yapılan üretim, minimal yüzeylerin karmaşık geometrilerinin üretiminde kolaylık sağlamıştır. Sonuç olarak üretilen çalışma, hesaplamalı geometrik modelleme programlarının gelişimiyle birlikte mimarlığın geometriyle olan ilişkisini güçlendirmekte ve alışlagelmişin dışındaki, geometrik formların fiziksel yapılabilirliğini tartışılabilir hale getirmektedir. Gelecekte, bu metodolojinin sonuçlarına dayanarak, benzer hesaplamalı tasarım ve dijital üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve karmaşık mimari formların üretilmesi konusunda, minimal yüzeylerin matematiksel kurgusunu kullanarak, malzeme israfını azaltmayı ve üretim sürecinin fiziksel yapılabilirliğini artırmayı sağlayan yeni bir çalışma alanı olarak sunmayı hedeflemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Minimal Yüzey, Parametrik Tasarım, Gyroid, Dijital Fabrikasyon



# Digital Fabrication of Strip-Based Three-Way Periodic Minimal Surfaces (TPMS)

Kaan Demir<sup>1</sup> ; İbrahim Naci Özetci<sup>2</sup> ; Sabri Gökmen<sup>3</sup>   
<sup>1,2,3</sup>Kadir Has Üniversitesi

<sup>1</sup>kaan.demir@stu.khas.edu.tr; <sup>2</sup>aspidistra@stu.khas.edu.tr; <sup>3</sup>sabri.gokmen@khas.edu.tr

## Abstract

*With the advancement of computational modeling tools today, the relationship between architecture and geometry has gained a new dimension. Consequently, the physical feasibility of unconventional geometric forms has become a subject of discussion. This study proposes a workflow that computationally addresses the parametric design and digital fabrication processes of Triply Periodic Minimal Surfaces (TPMS). Combining computational design with "biomimetic" form research, this study has developed a methodology inspired by coral forms belonging to the "Polifera" class, which can evolve according to the principle of surface continuity in three directions. The proposed computational design method, differing from traditional biomimetic form-finding methods, examines the innovations that minimal surfaces bring to the fields of design and architecture and evaluates the applicability of these innovations through examples. To facilitate the digital fabrication of forms with the curvature of minimal surfaces, Grasshopper/Rhinoceros modeling programs were used, and computational methods defining the developed surfaces as flat strip pieces were presented. The process is exemplified through a prototype study featuring the "gyroid" form, characterized by its complex structure and the continuous fluidity of two interlocking surfaces, unlike conventional mathematical forms. During the fabrication phase of the prototype, considering the suitability of its structural properties for material-based production, manufacturing was carried out in strips that interlock with each other. Using a flexible material derived from PVC, the production facilitated the fabrication of the complex geometries of minimal surfaces. As a result, this study strengthens the relationship between architecture and geometry with the advancement of computational geometric modeling programs and makes the physical feasibility of unconventional geometric forms debatable. In the future, based on the results of this methodology, it aims to present a new field of study that uses the mathematical structure of minimal surfaces to reduce material waste and increase the physical feasibility of the production process by developing similar computational design and digital production processes for creating complex architectural forms.*

**Keywords:** Minimal Surface, Parametric Design, Gyroid, Digital Fabrication

## 1. Giriş

Doğanın estetik ve fonksiyonel zenginliği, birçok yaratıcı disiplinde geliştirilen form ve yöntemlere ilham kaynağı olmaktadır. Doğal formları matematik ve hesaplamalı yöntemlerle ele alan bu “biyomimetik” yaklaşımlar, organik formların birçok tasarım araştırmasında kullanılmasını önermektedir (Julian, 2009). Bu çalışmada, üç yönde periyodik yüzey devamlılığı ilkesine uygun olarak gelişim gösterebildiği için Porifera sınıfına ait sünger ve mercan resiflerinin doğal gelişim ve yayılım formlarından esinlenen, soyut ve matematiksel bir forma karşılık verebilen, minimal yüzeyler üzerine odaklanılmıştır (**Şekil 1**; Haeckel & Briedback, 1998). Çalışma için seçilen “gyroid” formu, matematiksel tanımı gereği, tekil, eğrisel ve sürekliliği olan yüzeyden oluşmaktadır.



**Şekil 1.** Üç yönde periyodik yüzey devamlılığı ilkesine uygun polifera ailesine ait bir cam sünger örneği (Imaj: NOAA Okyanus Araştırma Ofisi).

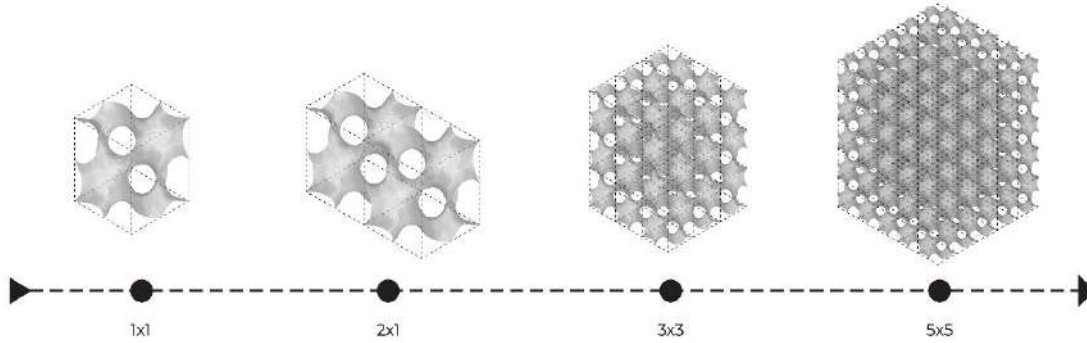
Bu çalışma kapsamında fabrikasyonu tasarlanan gyroid formu, üç yönlü periyodik minimal yüzeyler (ÜYPMY) halinde Rhinoceros’un Grasshopper eklentisinde dijital olarak modellenmiş ve üretime hazır hale getirilmiştir. ÜYPMY geometrik özelliklerinden dolayı yüzey sürekliliği sağlamakta, ancak dijital üretim için parçalara aktarılması zor, eğriliği malzemenin bir noktada esneme-kırılma değerlerine bağlı olabilen yüzeyler tariflemektedir. Bu sorunu araştırmak ve hesaplamalı bir çözüm üretmek için periyodik olarak türetilebilecek bir birim modellenmiş ve hesaplamalı olarak üretilmiştir. Bu çalışmanın geliştirdiği parametrik yöntem ve dijital üretim araçları prototip üretim üzerinden aktarılmıştır.

## 5. Periyodik Minimal Yüzeyler

Minimal yüzeyler matematik alanında verilen formel sınırlar içerisinde minimum yüzey alanı sunan yüzeylerdir (Perez, 2007). Bu yüzeyler, test edilen tüm yüzey noktaları arasında sıfır ortalama eğriliğe sahiptir. Minimal yüzeyler iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Aperiodyk yüzeyler devamlılığı olmayan, periyodik yüzeyler ise tek, çift ve üç yönlü tekrar edebilen birimlerden oluşmaktadır (Güner & Çağdaş, 2019). Gyroid formu, minimal yüzeylerin bir alt kategorisi olan periyodik minimal yüzeylere girer. Bu form karmaşık bir yapıya sahip olup, iki farklı yüzeyin birbirine penetrasyonu olmadan iç içe geçmesiyle karakterize edilir. Bu benzersiz yapısal özellikleri nedeniyle, gyroid formu malzeme bilimi, kimya, biyoloji ve mimarlıkta çeşitli uygulamalar için ilgi çekici bir konu olmuştur.

Periyodik minimal yüzeyler, geometrinin ötesinde birçok alanda, özellikle moleküler bilimlerde yoğun olarak araştırılan ve uygulanan bir konudur (Perez, 2007; Tenu, 2010). Bu yüzeylerin periyodik özellikleri, simetri ve yansıma kanunları ile desteklenerek, minimal yüzeylerde sonsuza kadar sürebilen bir geometrik sistem oluşturur (Şekil 2). Bu periyodiklikler genellikle, minimal yüzeylerin bir küp içinde tek, iki veya üç yönde kendilerini tekrar ederek, yüzeyin her noktasında minimal yüzey özelliklerini korumasıyla sağlanır.

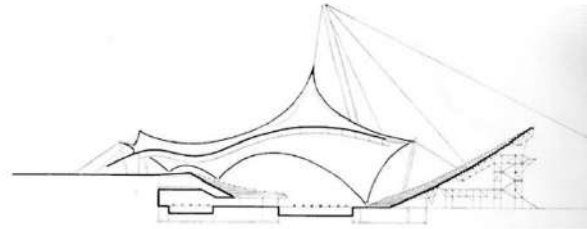
1960'larda Schoen tarafından yapılan ilk çalışmalarla Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler (ÜYPMY) hesaplamalı modelleme yöntemleri araştırma konusu olmuştur. Schoen, 1970'te transformasyon algoritmalarını kullanarak minimal yüzeyler için bir rapor hazırlamış, bu raporda deneysel ve hesaplamalı yöntemlerle 12 yeni ÜYPMY örneği geliştirmiştir (Schoen, 1970). Bu çalışmada gyroid formu matematiksel formülasyonu yanında, barındırdığı simetri ve formel zenginlikten ötürü minimal yüzeyler arasında yerini almıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Minimal yüzeylerden gyroidin üç yönde sürekliliğinin sağlandığı geometrik sistem.

### 2.1. ÜYPMY'lerin Mimarlıkta Kullanılması

Yirminci yüzyılda Alman mimar Frei Otto'nun sabun köpüklerinin yüzey gerilmelerini kullanarak yaptığı deneysel mimarlık alanındaki çalışmaları, özellikle minimal yüzeylerin mimarideki kullanımını araştırması ve tasarımlarıyla bu alana katkı sağlamasıyla önem kazanmıştır (Güner & Çağdaş, 2019). Otto'nun araştırmalarından aldığı ilhamla tasarladığı 1972 Münih Olimpiyat Stadi projesi minimal yüzeylerin mimari ve strükture aktarıldığı özgün bir çalışma sunmaktadır (Şekil 3). Gunther Behnisch ile işbirliği yaptığı projede arazi boyunca Alpleri taklit etmeyi amaçlayan akışkan projede, çelik kablo ve beton kolonlarla gerilen cam çatı sistemi, minimal yüzeylerin yarattığı geniş açıklıklar sayesinde esnek ve akışkan mekanlar yaratma potansiyelini göstermektedir (Otto & Behnisch, 2024).

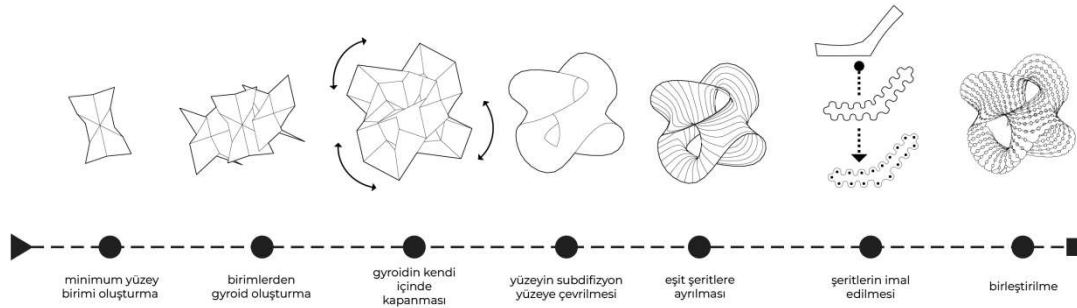


Şekil 3. 1972 Münih Olimpiyat Stadyumu-Frei Otto (Otto & Behnisch, 2024).

Matematik dünyasının sunduğu minimal yüzeylerin ortaya çıkardığı deneysel formlar, Frei Otto'nun geliştirdiği hesaplama yöntemleriyle mimari ve strüktürel sistemlere uyarlanmıştır. Ölçekli modellerle hesaplanan bu tasarım formları günümüzde bilgisayar destekli modelleme programlarının gelişmesiyle birlikte ÜYPMY gibi farklı minimal yüzeylerin mimarideki araştırmalarda kullanılabilirliğini tekrar güncel bir konu haline gelmiştir.

## 2.2. ÜYPMY'lerin Güncel Mimari Alanda Kullanılabilirliği

Günümüzde, modelleme programlarının geldiği nokta ile ÜYPMY hesaplarının gerçeğe yakın sonuçlar vermesi tasarımcıları heyecanlandırırsa da, Piker (2009) ÜYPMY'lerin mimaride kullanılmasının bazı nedenlerden dolayı kendini geliştiremediğini söylemektedir (Piker, 2009; Güner & Çağdaş, 2019). Bunun temel nedeninin ÜYPMY'lerin akışkan bir bütün sağlaması için sürekli kendini tekrar eden birimlerden oluşması zorunluluğunu öne sürmektedir. Bir formun mimari ve tasarimsal anlamda etkin kullanılabilmesi için, o formun ihtiyaç dahilindeki problemlere yanıt sağlaması gerekmektedir. Aksi taktirde Piker'in "uygulanabilecek bir yaklaşım, matematiksel saflığı bir kenara bırakıp bazı teknikleri ele alıp, bu teknikleri serbest-biçim üslubunda eğri yüzeyler üretmek üzere kullanmaktır. Ama eğer bir mimar kullandığı araçlar üzerinde gerçek bir kontrole sahip değilse, çalışması bir kolaja veya imitasyona dönüşebilir; ayrıca bu çalışmanın matematiksel işbirliğini bir kenara bırakması, tasarımı strüktürel performans ve inşa edilebilme gibi zorluklarla karşı karşıya getirir" söylemini doğrulamaktadır. Bu noktada ÜYPMY'yi bir kolaj ve imitasyon unsuru olmaktan çıkarıp, dijital fabrikasyon araçları üzerinden farklı malzemelerle ve farklı ölçeklerle deneyerek mevcut formsal, strüktürel vb. alanlarda potansiyellerinin araştırmak ve matematiksel bir karşılığı olan bu formların mimari ve tasarım uygulamalarını keşfetmek gerekmektedir.

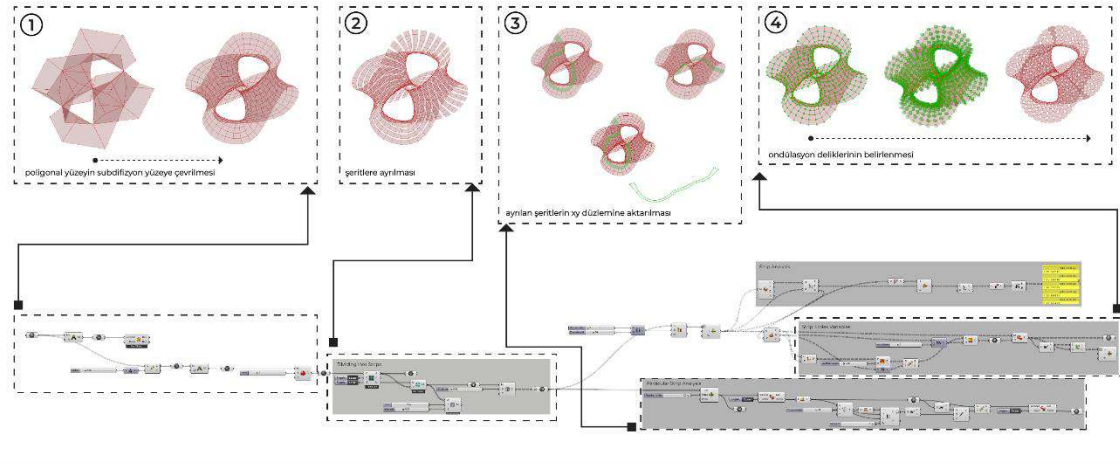


Şekil 4. Gyroid tabanlı ÜYPMY üretim süreci.

Bu bağlamdan yola çıkarak araştırma ve fabrikasyon sürecinde, gyroid formunu Rhinoceros-Grasshopper ortamında parametrik olarak modellenmiş ve dijital üretim için ikinci boyutta parçalara aktarılmıştır (**Şekil 4**). Bu aşamada gyroid, mesh geometri olarak tek bir modül üzerinden tariflenmiş, ve üçlü periyodik bir yapıda tekrar ettirilerek kapalı bir forma dönüştürülmüştür (Ahlquist & Menges, 2012). Sonraki aşamalarda yüzey hesaplamalı olarak şeritlere ayrılmış ve her bir şerit iki boyutlu olarak bağlantı prensibi ve imalat detayına göre işlenmiştir. Son ürün şeritlerin komşuluk ilişkileri üzerinden bir araya getirilmesi ve kenarlar boyunca bağlantıların kapatılmasıyla gerçekleşmektedir.

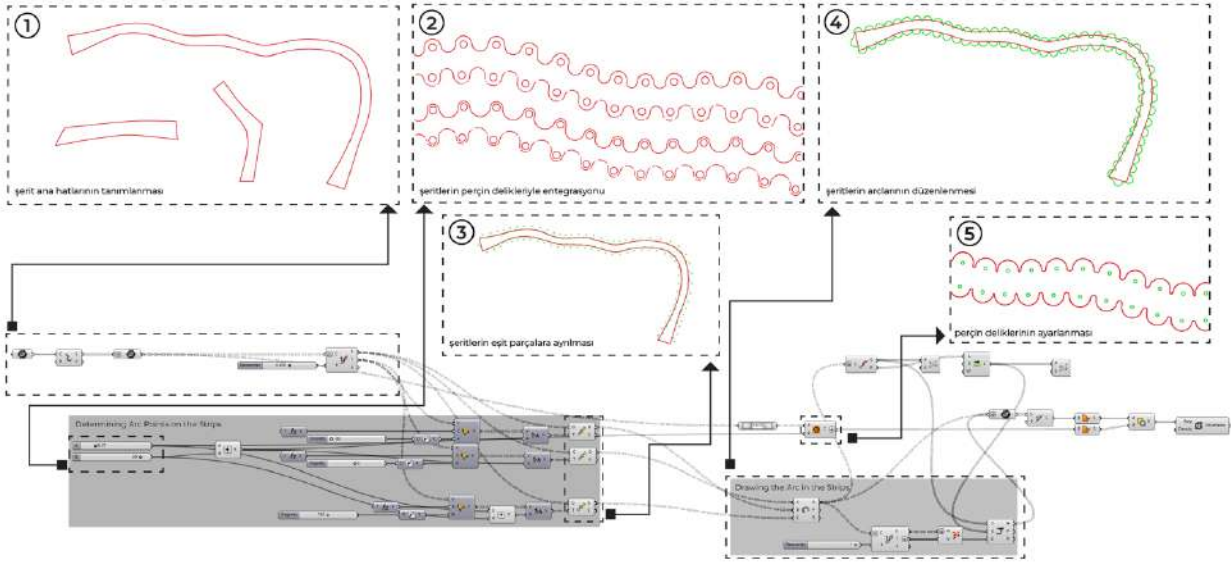
### 3. Şerit Tabanlı Dijital Üretim

Gyroid formunun üretilmesi sürecinde, yüzey eğriliğinin devamlılığını koruyabilme üzerine bir dizi varsayım geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, bütünden parçaya gitmeye yönelik bir strateji üzerinden, mevcut bir kübik materyal hacmin boşaltılarak istenilen eğri yüzeylere ve boşluklu forma ulaşılmasıdır. Ancak, üç eksenli CNC makinelerinde istenilen eğimler ve boşluklar elde edilememektedir. Üç boyutlu baskı teknolojileri ise materyal devamlılığı sağlamakta ancak hacimsel kısıtlamalar sunmaktadır. Alternatif bir yöntem üzerinden, gyroidi oluşturan yekpare yapı parçadan bütüne gidilebilecek şekilde şeritlere bölünmüştür (Tenu, 2010). Gyroidi oluşturan temel birim yüzeyinin kendi içinde kapalı ve sürekli olması, formun malzeme tabanlı üretilmesini sağlamakta ve dijital imalata yön veren eğriliklerin parçalara aktarılmasını sağlamaktadır (**Şekil 5**).



Şekil 5. Minimal yüzeyin parametrik olarak grasshopper ortamında modellenmesi.

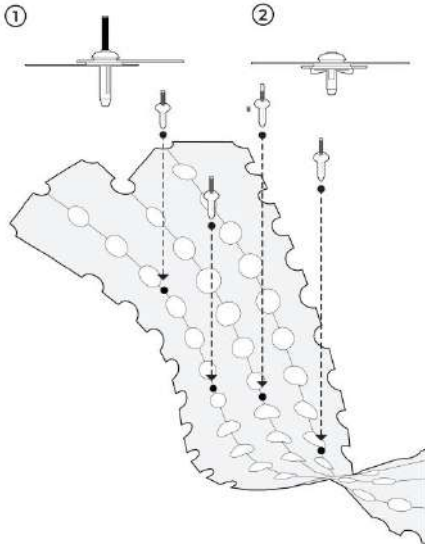
Gyroid formunu dijital üretimini üçüncü boyuttan ikinci boyuta aktarabilmek için Grasshopper “Stripper” eklentisi kullanılmıştır (Cortez-Rodriguez, 2022). Bu eklenti, mesh olarak tariflenmiş yüzeyleri parametrik olarak belirlenebilen alt parçalara ayırır. Formun akışkan geometrisi, şeritlere bölme işlemi sırasında birbirini takip eden ve uzun kenarlar boyunca birbirine bağlanabilen parçaların dörtgen yüzeyler üzerinden tariflenmesini sağlar (Gokmen, 2023). Böylece, uzun kenarları boyunca bağlantı izine sahip yüzeyler, tek bir parça olarak ayrıştırılıp üretilebilmektedir. Şeritleme işlemi sırasında, her bir şeride kendine özgü bir numara verilmiş ve şeritlerin ardışık olarak birbirini takip etmesi sağlanmıştır. Sonraki işlemde şeritler dijital üretim için XY eksenine yatırılır ve imalat detayına göre kenarları parametrik olarak işlenir (Şekil 6).



Şekil 6. Minimal yüzey şeritlerinin XY düzlemine aktarılmasında parametrik modellenmesi.

İmalat için açılan şeritlerin kenarları konkav ve konveks hareketler içeren bir ondülasyonla işlenerek boşluklu bir hareketle tariflenmiştir. Dışarı doğru büyüyen hatlar gyroid formunu destekleyecek bağlantı noktaları olarak kabul edilir. Kenarlar bağlantı noktalarını içine alacak şekilde dışa doğru dolu çemberlerle büyütülmüş, aynı zamanda yüzeyin geçirgenliğini arttırmak için karşıt hareket olarak içeri doğru boşaltılmıştır. Komşu şeritler arasındaki bağlantıyı kolaylaştıran bu çemberlerin merkezlerinde, gyroid formunu desteklemek için kullanılacak perçin, somun ve civata ölçülerine göre açılmış delikler yerleştirilmiştir (Şekil 7-8-9).





Şekil 7. Şeritlerin formunu koruması için düşünülen perçin imalat detayı

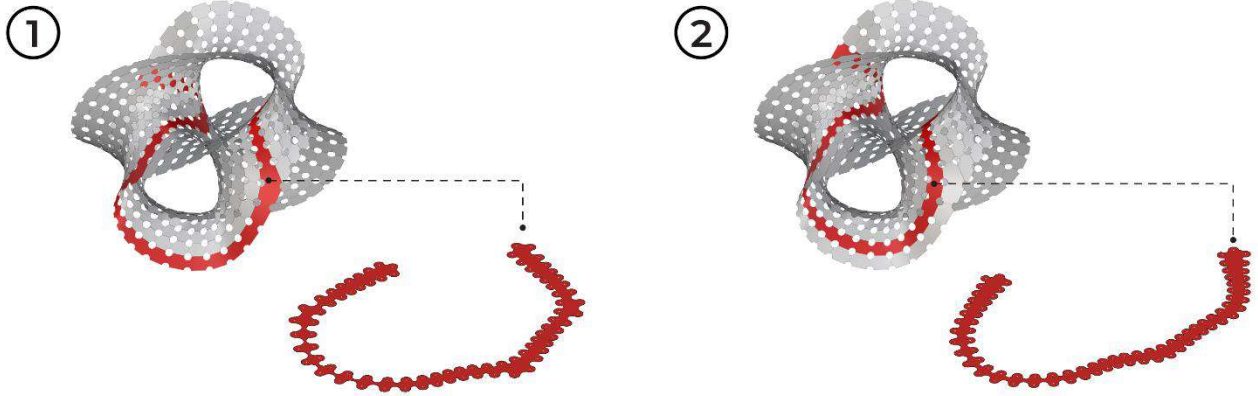


Şekil 8. Formun üzerinde çalışılması için geçici civatalarla tutturulması



Şekil 9. Şeritlerin perçin tabancasıyla montajının tamamlanması

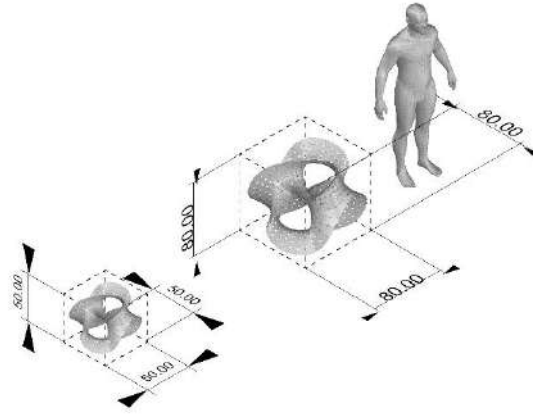
Projede, şerit bazlı üretime uygun ve esnek bir malzeme olan PVC'nin bir alt türü seçilmiştir. Kullanılan malzemenin kalınlığı 1 mm'dir ve lazer kesimle işlenmesi mümkündür. İmalat sürecinde elde edilen parçalar tek tek incelenmiş ve ardışık olarak numaralandırıldığı şeklinde dijital modeldeki parça sıraları plakalara işlenmiştir.



**Şekil 9.** Minimal yüzeyin şerit modellenmesiyle grashopper ortamında XY düzlemine aktarılması.

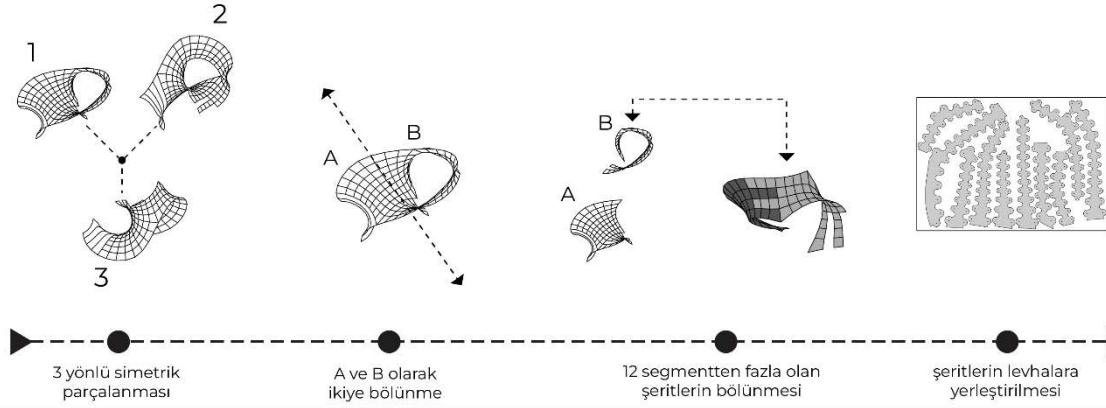
İmalat sürecine gelindiğinde, şeritleme sırasında oluşan simetri merkezleri tespit edilerek ÜYPMY yapısına uygun üç adet birbirinin aynı yapıda alt imalat grubu belirlenmiştir. Bu gruplar küçük parçalardan başlanarak, numaralandırılmış ve birbirini takip eden parçalar üst üste gelerek bağlanmıştır. Bu işlem, hem boşluklu yarım çemberlerin hem de dolu çemberlerin uyum içinde birleştirilmesiyle imalata yön vermekte ve yüzey eğriliği boyunca formun büyümesini sağlamaktadır. Bu süreçte bazı imalat sınırlarını aşan şeritler alt parçalara bölünerek üretilmiştir.

Formun kendi içine kapalı eğriliği sebebiyle oluşan gerilimler malzemenin dayanımını azaltmaktadır. Bu durum, boyutları 50x50x50 cm olan ilk prototipin montajı sırasında formun kapanmasını engellediği ve formun iç yüzeyindeki bağlantı noktalarına ulaşımında zorluk yaşandığı gözlemlenmiştir. Çözüm yolu olarak malzemenin dayanımını korumak için ve şeritlerin montajı sırasında rahat çalışabilmesi için ikinci prototipin boyutları 80x80x80cm olacak şekilde ayarlanmıştır (**Şekil 10**).



Şekil 10. İmalatı yapılan formun ölçüleri.

İmalat sürecinde şerit parçaların montajını kolaylaştırmak için formun üç yönlü simetrik özelliği kullanılarak yüzey sürekliliğini etkilemeyecek şekilde 3 eşit alt grup tariflenmiştir (Şekil 11). Her grup ise kendi içinde A ve B grupları olmak üzere alt gruplara bölünerek ardışık numaralar verilmiştir. Şeritler belirlenirken, malzeme israfını en aza indirmek amacıyla uzunluğu 12 dörtgen yüzeyden fazla olan şeritler kendi içinde 8 ve 10 yüzeyle alt parçalara bölünerek levhalara yerleştirilmiştir. Bu tasniflendirme ile üretilen her bir şeridin özel isim kodları oluşturulmuştur. Montaj aşamasında, toplam 600 adet perçin kullanılmış ve ondülasyon delikleri, önceki prototip denemeleri referans alınarak, perçin çapından 0.4 mm daha büyük  $\mu$ 3.4 mm olacak şekilde kesilmiştir. 70x100 cm boyutlarında dört levhaya sığacak şekilde minimum malzeme kullanımı sağlanmıştır. Montaj için geliştirilen bu metodoloji ile fabrikasyon süreci tamamlanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. İmalat metodolijinin aşamaları.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma, Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeylerin (ÜYPMY) dijital üretiminde “gyroid” formu esas alınarak değerlendirilmiş ve ilhamını doğadan alan tasarımların araştırılmasını, formun olası potansiyellerinin deneyimlenebilmesini ve dijital üretim süreçlerinde uygulanabilirliğini amaçlayan bir takım hesaplamalı yöntemler sunmaktadır. Şerit tabanlı dijital üretim yöntemi, ÜYPMY gibi karmaşık geometrilerin üretimini kolaylaştırırken, aynı zamanda malzeme israfını azaltmayı ve üretim sürecinin etkinliğini artırmayı sağlamaktadır. Bu iş akışıyla birlikte, gelişen teknolojinin imkan sağladığı karmaşık geometrik formların mimari ve tasarımsal formlar olarak yeniden yorumlanarak üretilebilmesinin önü açılmaktadır (Şekil 12). Sonuç olarak, hesaplamalı dijital üretimlerin fabrikasyonlarını sağlayabilmek, mimarlar ve tasarımcıların kullandığı araçlar üzerinde gerçek bir kontrole sahip olabilmesini ve tasarlanan ÜYPMY gibi karmaşık geometrilere sahip formların tasarımlarda daha aktif kullanılabilmesine olanak sağlayabilmektedir.

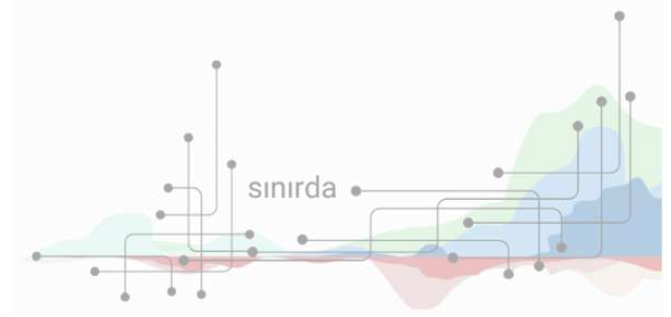


Şekil 12. Fabrikasyon süreci tamamlanan Gyroidin mekana yerleştirilmesi.

## KAYNAKLAR

- Ahlquist S, Menges A. Physical drivers: synthesis of evolutionary developments and force-driven design. *Archit Des.* 2012;82(2):60–7
- Cortez-Rodriguez J. Stripper; 2022. <https://www.food4rhino.com/en/app/stripper>. [accessed: 28/11/2022].
- Gokmen, S. (2023) "Stripped and layered fabrication of minimal surface tectonics using parametric algorithms" *Curved and Layered Structures*, vol. 10, no. 1, pp. 20220210. <https://doi.org/10.1515/cls-2022-0210>

- Güner, Y., & Çağdaş, G. (2019). Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler ile Biçim Arama Yaklaşımı. *Journal of Computational Design*, 1(1), 35-54.
- Haeckel O, Briedbach O, Eibl-Eibesfeldt I, Hartman RP. *Art Forms in Nature: The Prints of Ernst Haeckel*. Munich, Germany: Prestel; 1998.
- Jones, S. (n.d.). SGJ-gorontalo-9048.jpg. Steve Jones. <https://www.millionfish.com/image/I0000G2xLjQ.kOaE>
- Otto, F., & Behnisch, G. (2018, September 14). *Münih Olimpiyat Stadyumu / frei otto ve Günther Behnisch*. *Arkitektuel*. <https://www.arkitektuel.com/munih-olimpiyat-stadyumu/>
- Piker, D. (2009). Rheotomic Surfaces. [Web blog]. <https://spacesymmetrystructure.wordpress.com/rheotomic-surfaces/> Alındığı tarih:08.05.2016.
- Perez J. A new golden age of minimal surfaces. *Not Am Math Soc*. 2017;64:347–58.
- Schoen AH. Infinite periodic minimal surfaces without self-intersections. *NASA Technical Report D-5541*; 1970.
- Tenu V. Minimal surfaces as self-organizing systems. *ACADIA*. 2010;10:196–202.
- Vincent, J. *Biomimetic Patterns in Architectural Design*. *Architectural Design* 79, no. 6 (2009): 74-81.
- Yazar, T. Mimarlıkta Yüzey Pannelleme Yaklaşımlarının Gauss Eğriliği İle İlişkisi. *Megaron*. 2019; 14(1): 18-30





## OTURUM 4|

Akıllı Kentler, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Simülasyon,  
Döngüsel Ekonomi

Oturum Başkanı  
Prof. Dr. Mustafa Emre İLAL

# Akıllı Şehirler Kapsamında Akıllı Binalar: Sayısal Tasarım Metrikleri ve Araçları

Ece Özmen<sup>1</sup> ; Şafak Beşiroğlu<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi; <sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>ece.ozmen@cbu.edu.tr; <sup>2</sup>besiroglu18@itu.edu.tr



## Özet

Akıllı şehirler, yirminci yüzyıl sonlarında internet ve teknolojinin gelişmesiyle, kentleşmenin yarattığı sorunları azaltmak ve kentleri daha yaşanabilir hale getirmek için geliştirilen vizyoner bir çözüm önerisidir. Akıllı şehirlerin önemli bir parçası olan akıllı binaları, enerjiyi verimli kullanabilen, afetlere ve çevreye duyarlı, güvenli, yaşam konforunu önceleyen, kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlayabilen kendi kendine yetebilen binalar olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumun gerçekleşebilmesi adına akıllı binalarda kullanılacak sensörlerin, iletişim ağlarının, yapay zeka gibi teknolojilerin bina içerisinde ve dışarısındaki ortam koşullarını izleme, analiz etme ve karar verme mekanizmalarını beslemesi, akıllı şehirler için ortaya konacak politikalara katkı sağlamasını güçlendirmektedir. Akıllı binaların tasarımı, sayısal tasarım metrikleri ve araçları ile gerçekleştirilmektedir. Tasarım kriterleri, akıllı binaların tasarım hedeflerini, tasarım alternatiflerini, tasarım sonuçlarını ve tasarım performansını karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Akıllı binaların tasarımında kullanılan sayısal tasarım araçları, veri, model, algoritma, protokol, standart, ağ, bulut, nesnelerin interneti, yapay zeka (AI), makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, görüntü işleme, bilgisayar destekli tasarım (CAD), bina bilgi modellemesi (BIM), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) gibi teknolojileri içermektedir. Bu çalışmada, akıllı şehirlerin bir bileşeni olan akıllı binalar sayısal tasarım metrikleri ve araçları üzerinden ele alınmaktadır. Çalışmanın amacı, akıllı binaların tasarım sürecinde kullanılan ISO 37122 gibi kabul gören yasal düzenlemelerin nasıl uygulandığı, sayısal tasarım araçlarının avantaj ve dezavantajlarıyla gelecekte olması beklenen gelişmeler ışığında literatüre katkı sağlamaktır. Çalışma kapsamında, akıllı şehirler, akıllı binaların tanımlanması için sayısal tasarım metrikleri ve araçlarının sınıflandırılması, seçilen örnekler üzerinden akıllı binaların tasarım sürecinin tartışması yer almaktadır. The Edge (Amsterdam, Hollanda) projesi, The Crystal (Londra, İngiltere) projesi, Algenhaus projesi (Hamburg, Almanya), Capital Tower projesi (Singapur) ve Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi (Bahreyn) projeleri enerji, çevre ve ihtiyaçlar bağlamında çalışma içerisinde karşılaştırılmıştır. Sonuçta Dünya'nın farklı bölge ve iklim özelliklerine sahip şehirlerinden seçilen projelerin temelde ortak yaklaşımı, sürdürülebilir ve akıllı bina teknolojilerinin tasarıma dahil edilmesi olmuştur. Projelerin tamamında en fazla enerji metriklerini sonrasında çevre metriklerini en son ise ihtiyaç metriklerini ele aldığı görülmektedir. Özetle, akıllı şehirler kapsamında akıllı binalarda sayısal tasarım metrikleri ve araçları birbirine entegre edilmesi gereken önemli faktörlerdir. Bu durum beraberinde kalite, verimlilik, esneklik, inovasyon ölçütlerinde artış; süre, maliyet, hata, risk kriterlerini azalttığını aynı zamanda tasarım sürecine katılan paydaşlar arasında iş birliği ve koordinasyon sağlamaktadır. Akıllı binalar, enerji verimliliği ve konfor sağlayarak akıllı şehirlerin çevresel ayak izini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Ancak bunların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için daha fazla araştırma ve iş birliği gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** akıllı şehirler, akıllı binalar, sayısal tasarım, ISO 37122.



# Smart Buildings within the Context of Smart Cities: Digital Design Metrics and Tools

Ece Özmen<sup>1</sup> ; Şafak Beşiroğlu<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar University; <sup>2</sup>Istanbul Technical University

<sup>1</sup>ece.ozmen@cbu.edu.tr; <sup>2</sup>besiroglu18@itu.edu.tr

## Abstract

*Smart cities are visionary solutions developed with the advancement of the internet and technology in the late 20th century to reduce the problems caused by urbanization and make cities more liveable. Smart buildings (SBs), which are an important part of smart cities, can be defined as self-sufficient buildings that use energy efficiently, are sensitive to disasters and the environment, prioritize safety and living comfort, and adapt to user needs. The design of SBs is carried out using digital design metrics and tools. Design criteria are used to compare the design goals, alternatives, outcomes, and performance of SBs. The digital design tools used in the design of SBs include technologies such as data, models, algorithms, protocols, standards, networks, IoT, artificial intelligence (AI), machine learning, deep learning, natural language processing, image processing, computer-aided design (CAD), building information modelling (BIM), geographic information systems (GIS), virtual reality (VR), and augmented reality (AR). This study focuses on SBs, which are a component of smart cities, through digital design metrics and tools. The aim of the study is to contribute to the literature by examining how recognized legal regulations such as ISO 37122 are applied in the design process of SBs, discussing the advantages and disadvantages of digital design tools, and considering future developments. The study includes the classification of digital design metrics and tools for defining smart cities and SBs, as well as a discussion on the design process of SBs using selected examples (The Edge (Netherlands), The Crystal (UK), Algenhaus Project (Germany), Capital Tower Project (Singapore) and Bahrain World Trade Center (Bahrain)). The projects compared in terms of energy, environment, and needs. The common approach of the projects selected from cities with different regional and climatic characteristics is the inclusion of sustainable and smart building technologies in their designs. It is observed that energy metrics are most addressed in all projects, followed by environmental metrics, and finally, needs metrics. In summary, digital design metrics and tools in SBs are important factors that need to be integrated within the scope of smart cities. This leads to an increase in quality, efficiency, flexibility, and innovation criteria, as well as a reduction in time, cost, error, and risk criteria, while also enabling collaboration and coordination among stakeholders involved in the design process. SBs play a critical role in reducing the environmental footprint of smart cities by providing energy efficiency and comfort. However, more research and collaboration are needed for their development and widespread adoption.*

**Keywords:** smart cities, smart buildings, digital design, ISO 37122.

## 1. Giriş

21. yüzyılın başlangıcından itibaren, kentleşme sürecinin hız kazanmasıyla birlikte, kentsel alanların sürdürülebilirliği ve yaşam kalitesinin artırılması konuları, dünya genelinde gündem maddeleri olarak yer almaya başlamıştır. Bu konulara çözüm olarak, teknolojinin şehir planlaması ve yönetimi ile entegrasyonunu ifade eden bir paradigma olan akıllı şehirler gösterilmektedir. Yaşam kalitesini yükseltmek, şehir hayatının yarattığı olumsuzlukları en aza indirgeyen uygulamaları hayata geçirmek, bilgi teknolojileri sayesinde toplanan veriler ile tasarım yapmak akıllı şehirlerin temel yaklaşımlarıdır (Dryianski vd., 2020). Akıllı şehirler, teknoloji temelinde şehir kaynaklarını, yönetimini, hizmetleri, altyapıyı, ulaşımı, enerjiyi, çevreyi, güvenliği, sağlığı, eğitimi, kültürü ve sosyal hayatı iyileştiren, kentlilerin katılımını, refahını artırmayı ve aynı zamanda kentlerin sürdürülebilirliğini, rekabetçiliğini, yaşanabilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Akıllı şehirlerin ortaya koyduğu bütün amaçları gerçekleştirebilmesi için mekanı oluşturan öğelerden biri olan binalara ihtiyacı vardır. Binaların amacı, yaşam ortamında konforu artırmaya giderek daha fazla odaklanarak, kullanıcıların gereksinimlerini ve tercihlerini karşılamaktır (Baharetha vd., 2024). Akıllı binalar enerji verimliliği, otomasyon sistemleri, kullanıcı konforu ve güvenliği gibi unsurları bünyesinde barındıran, sayısal tasarım metrikleri ve araçları ile desteklenen yapılar olarak tanımlanabilmektedir. Böylece binalarda kullanıcı ihtiyaçlarına göre iyileştirme, daha güvenli yaşam alanları oluşturma, kaynakların verimli kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanması ve karbon salınımının azaltılması beklenmektedir (Apanavičienė ve Shahrabani, 2023).

Değişen teknoloji, ihtiyaçların farklılaşması, sürdürülebilirlik anlayışı ve tanımlarında yapılan değişiklikler bu kavramlarında esneklik kazanmasına neden olduğundan akıllı şehirler ve parçası olan akıllı binaları tanımlamak oldukça zordur. Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO)'nın "ISO 37122- Akıllı Kentler için Göstergeler" olarak ortaya koyduğu bir standardı bulunmaktadır. Bu standardın amacı, akıllı şehirlerin performansını ölçmek, iyileştirmek, şehirlerin bu alanda uluslararası tanınırlık kazanmasını sağlamak, kendilerini sürekli iyileştirme süreçlerine katkı sunmaktır (ISO, 2019). Aynı zamanda şehirlerin, "Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 2030" hedeflerine ulaşmasını da sağlamaktadır. ISO 37122'ye göre akıllı binalar, sera gazı emisyonları, atık üretiminin azaltılması ve enerji etkinliği gibi kriterleri göz önünde bulundurduklarında, akıllı şehirlere ve dolayısıyla çevreye katkı sağlamış olurlar (ISO, 2019). Akıllı şehirler ve akıllı binalar adına ortaya konan çalışmaların hemen hemen hepsinin temelinde odaklandığı birtakım sorular bulunmaktadır. "Akıllı nedir?", "Akıllı bina veya akıllı şehir olmanın gerekleri nelerdir?" gibi sorular sayısal temelli sonuçlar ile karşılaştırılabilir, izlenebilir ve anlaşılabilir olma ihtiyacını ortaya koymaktadır.

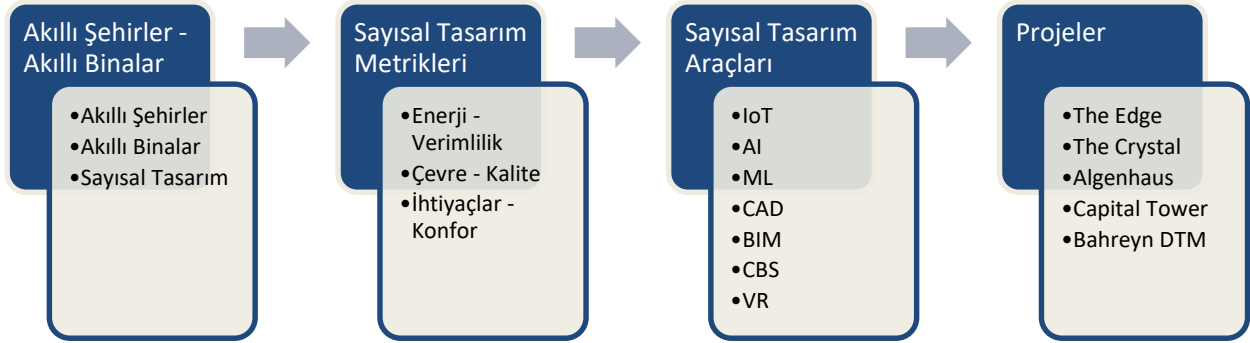
Bu çalışmada, ISO 37122 standardının ele aldığı kriterler göz önünde bulundurularak akıllı binalar için enerji-verimlilik, çevre-kalite, ihtiyaçlar-konfor kavramlarıyla üç bölümden oluşan sayısal tasarım metrikleri ortaya

koyulmuştur. Enerji metrikleri, akıllı binaların enerji tüketimini, enerji verimliliğini, enerji üretimini, enerji depolamayı, enerji dağıtımını, enerji yönetimini ve enerji kalitesini ölçen kriterlerdir. Çevre metrikleri, akıllı binaların çevresel etkilerini, çevresel performansını, çevresel uyumunu, çevresel sürdürülebilirliğini, çevresel değerini ve çevresel faydasını ölçen kriterlerdir. İhtiyaç metrikleri ise akıllı binalardaki kullanıcı ihtiyaç seviyesini ve beklentisini, kullanıcı memnuniyetini, konforunu ve ihtiyaçların iyileştirilmesini ölçen kriterlerden oluşturulmuştur. Sayısal tasarımı yalnızca metrikler doğrultusunda ele almak yeterli değildir. Teknoloji odaklı bir yaklaşımı ele alan akıllı şehirler ve binalar için araçlarda önem kazanmaktadır. Akıllı binaların tasarımında kullanılan sayısal tasarım araçları içerisinde literatürde sıkça yer alan nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (AI), makine öğrenmesi (ML), bilgisayar destekli tasarım (CAD), bina bilgi modellemesi (BIM), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), sanal gerçeklik (VR) teknolojileri ile sınırlandırılmıştır. Çalışma kapsamında The Edge (Amsterdam, Hollanda) projesi, The Crystal (Londra, İngiltere) projesi, Algenhaus projesi (Hamburg, Almanya), Capital Tower projesi (Singapur) ve Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi projeleri sayısal tasarım metrikleri ve araçları bağlamında karşılaştırılmıştır.

## 2. Yöntem

Çalışma, dört aşamadan oluşan bir kurguya sahiptir. İlk aşamada akıllı şehirler, akıllı binalar ve sayısal tasarım kavramları tanımlanmıştır. Sayısal tasarım kavramının iki bileşeni olarak metrikler (göstergeler), araçlar tanımlanmıştır. Literatür araştırması olarak belirlenen ilk aşamada kavramlar arasındaki bağlantılar tariflenmektedir. İkinci aşamada sayısal tasarım metrikleri belirlenirken uluslararası geçerliliği olan ISO 37122'nin ortaya koyduğu göstergeler değerlendirilmiştir. Bu göstergeler akıllı şehirler bağlamında genel bir ölçekten ele alındığı için akıllı binalar konusunda göstergeler özelleştirilmiştir. Üçüncü aşamada sayısal tasarımı oluşturabilmek adına kullanılan tasarım araçları ele alınmıştır. Son aşamada ise her biri farklı tasarımlara, sertifikalara, çözümlemelere ve proje büyüklüklerine sahip olan projelerin öne çıkan akıllı bina örnekleri çalışma kapsamında ortaya konan metriklere göre karşılaştırılmıştır (**Şekil 1**).

Çalışmanın kısıtlarından biri henüz net, tanımlı akıllı bina gösterge setinin bulunmamasıdır. Çalışma içerisinde enerji kavramı verimlilik eksenine, çevre kavramı yaşam kalitesi gözetilerek kalite eksenine, ihtiyaçlar ise kullanıcı konforu gözetilerek konfor eksenine ele alınmaktadır. Dünya'nın farklı bölge ve iklim özelliklerine sahip şehirlerinden seçilen projelerin temelde ortak yaklaşımı, sürdürülebilir ve akıllı bina teknolojilerinin tasarıma dahil edilmesi olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Çalışmanın Akışı.

### 3. Akıllı Şehirler ve Akıllı Binalar

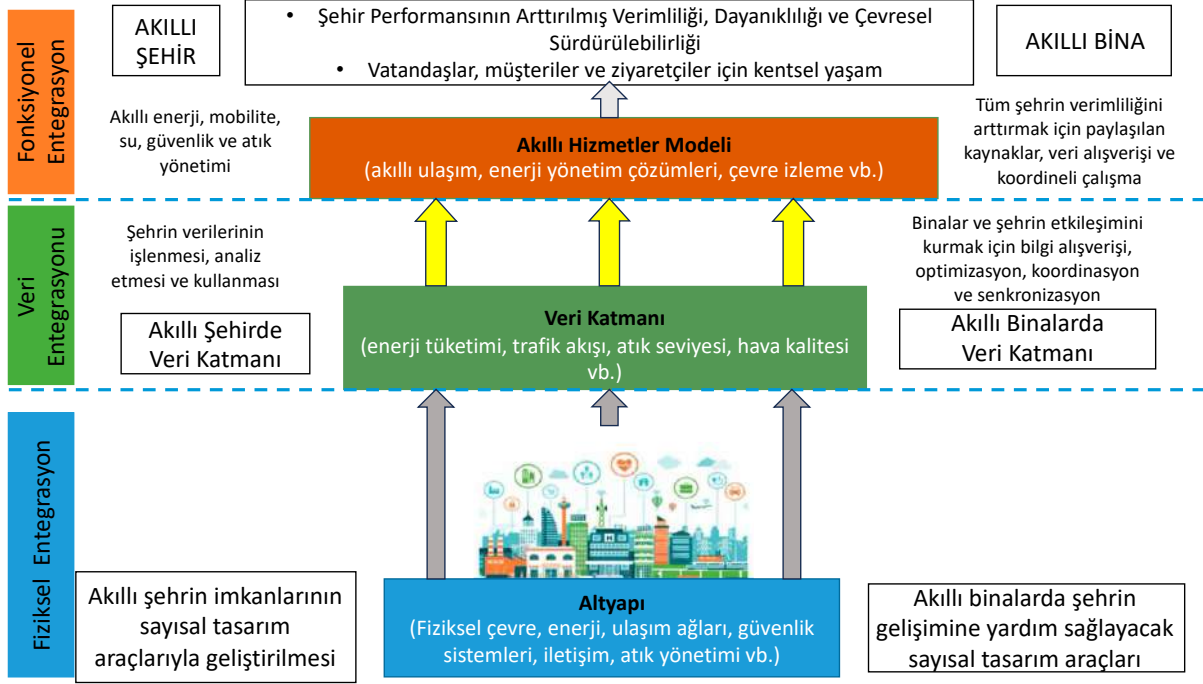
Akıllı şehirler, teknolojinin şehir yaşamını dönüştürdüğü, sürdürülebilir kalkınma ve yüksek yaşam kalitesi hedefleriyle şekillenen modern yerleşim alanlarıdır. Bu yeni şehir modeli, enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve vatandaşların refahını merkeze alarak, şehir yönetimini ve hizmetlerini yeniden tanımlamaktadır. Akıllı şehirler, sürdürülebilir, yaşanabilir ve verimli kentsel ortamlar oluşturma vizyonunu benimseyen şehirlerdir. Bu vizyonda akıllı binalar, şehrin omurgasını oluşturan temel unsurlardan biridir (Saputra ve Ramadhan, 2023). Akıllı binalar, enerji ve su tasarrufu, konfor ve güvenlik gibi alanlarda optimizasyon sağlayarak şehir genelinde kaynak verimliliğini ve yaşam kalitesini artırmaktadır (Apanavičienė ve Shahrabani, 2023). Binalar sayesinde şehir genelinde enerji ve su tasarrufu sağlayarak, sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaya yardımcı olurlar (Érces vd., 2023). Akıllı binalar, kullanıcıların konforunu ve ihtiyaçlarını göz önünde bulunduran, gelişmiş teknolojiyle donatılmış ve değişime kolayca uyum sağlayabilen yapılardır. Sistemler ve ekipmanlar aracılığıyla otomasyon sağlanarak enerji ihtiyacını minimumda tutar ve enerji tasarrufu sağlarlar. Gerekliğinde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanabilen ve ihtiyaç duymadığı zamanlarda kendini ayarlayabilen bu binalar, enerji tasarrufu sağlayarak bina giderlerini de en aza indirmektedir. Bu sayede, belirli bir süre sonra yapım maliyetini geri kazanma potansiyeline sahiptirler (Baharetha vd., 2024). Akıllı şehir ve binaları kapsayan bu bakış açısı, binanın yer aldığı bölgenin iklimsel ve coğrafi özellikleri gibi fiziksel çevre koşulları göz önünde bulundurarak tasarlanmasını ve bu özelliklerden en üst düzeyde fayda sağlanmasını amaçlamaktadır (Selvarai vd., 2023). Binalar, çevreye duyarlı bir şekilde yapılmalı ve insanlara özel gereksinimlerine uygun konforlu bir yaşam alanı sunmalıdır. Çağdaş teknolojik çözümlerin entegrasyonu da akıllı tasarımın önemli bir unsurudur.

Binanın işlevselliğini ve verimliliğini artırmak için sayısal tasarım araçlarından yararlanılmalıdır. Akıllı tasarım aynı zamanda sürdürülebilirliğin temel taşları çevre, ekonomi ve toplum boyutlarını da göz ardı etmemektedir. Binanın yapımı ve işletmesi için en ekonomik çözümleri ve enerji kaynaklarını bilinçli bir şekilde kullanılmayı desteklemektedir (Yılmaz, 2005). Isıtma, havalandırma ve iklimlendirmeyi (HVAC) içeren alt sistemler ve güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını toplamak için üst örtü ve cephelerde özel yapı elemanları ile donatılmış binalar, enerji verimliliğinden maksimum faydayı hedeflemektedir. Akıllı binaları diğer yapılardan ayıran en önemli unsur, birbiriyle entegre çalışan alt sistemler ve bu sistemlerin merkezi bir noktadan kontrolünü sağlayan otomasyon sistemleridir. Bu sayede enerji tüketimi optimize edilir, konfor seviyesi yükselir ve binanın genel işleyişi daha verimli hale gelmektedir.

Akıllı Binayı oluşturan alt sistemler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Gaş, 2023);

- HVAC (Havalandırma – Isıtma/Soğutma) Sistemleri
- Elektriksel Güç Sistemi
- Aydınlatma Sistemi
- Bina İçi Taşıma ve Geçiş Sistemleri
- Yangın Emniyet Sistemleri
- Giriş Kontrol ve Güvenlik Sistemleri
- Bina Otomasyon Sistemleri ve Bina Yönetimi
- Haberleşme Sistemleri
- Enerji Yönetimi ve İzleme Sistemleri

Akıllı binalar, hizmet kalitesini, yaşam memnuniyetini ve kalitesini arttırdığı için sürdürülebilirliğin üç temel bileşenlerinden biri olan sosyal boyutuna da katkı sağlarlar. Kentlerin ekonomik anlamda büyümesi, inovasyon kapasitesinin ve rekabet gücünü arttırılması ile akıllı şehirleri ekonomik olarak da etkilemektedir (Apanavičienė ve Shahrabani, 2023). **Şekil 2'**de akıllı şehirler ve akıllı binalar arasındaki etkileşim, fonksiyonel entegrasyon, veri entegrasyonu ve fiziksel entegrasyon bağlamında ele alınmaktadır. Altyapı, veri katmanı ve akıllı hizmetler modeli yaklaşımıyla alt ölçekten üst ölçeğe doğru bir bakış yansıtılmaktadır. Özetle akıllı binalar şehirlerin gelişimine yardım sağlayacak sayısal tasarım araçlarıyla ve veriler doğrultusunda kurgulanan metrikler ile birlikte bir model üretebilir.



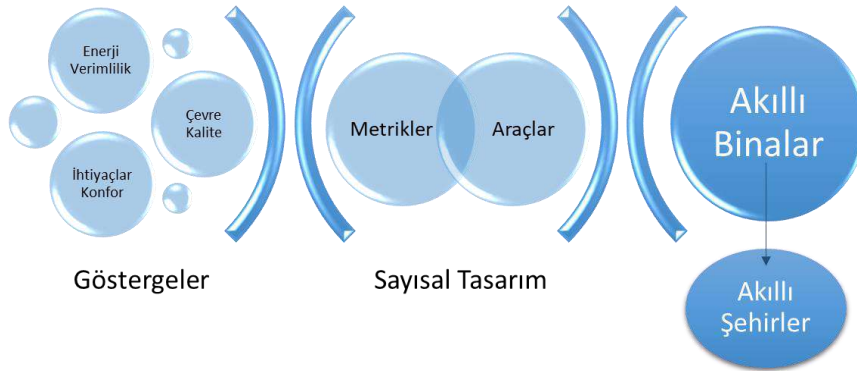
Şekil 2. Akıllı binaların, akıllı şehirlere entegrasyonunun kavramsal çerçevesi (Apanavičienė ve Shahrabani, 2023).

#### 4. Sayısal Tasarım

Son yıllarda gelişen teknolojinin etkisiyle mimarlıkta sayısal tasarım, mimari tasarımın bir alt dalı olarak görülmektedir. Algoritmik tasarım veya parametrik tasarım olarak da adlandırılan tasarım süreci bilgisayar teknolojilerini kullanarak daha karmaşık geometrilerin ve yapıların oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Odabaş, 2020). Tasarımcılar veri setlerini ve algoritmaları kullanarak tasarımı daha fazla kontrol edilebilen ve esnek bir sistem sürecine taşıma imkanı bulmaktadırlar. Konsept geliştirmeden başlayarak, proje çizimi, detaylandırma ve üretim aşamalarına kadar geniş bir yelpazede sayısal tasarım metrikleri ve araçları kullanılabilir. Böylece sayısal tasarım mimarlıkta inovasyon ve yaratıcılık için yeni olanaklar sunmaktadır. Sayısal tasarım mimarlık pratiğinin geleceğini şekillendirmeye teknolojik gelişmeler ile değişmeye devam edecektir (Odabaş, 2020).

Sayısal tasarım metrikleri, akıllı binaların performansını ölçme ve değerlendirme için kullanılan kriterlerdir. Metrikler, akıllı binaların enerji, çevre, güvenlik, konfor, işlevsellik, estetik, kullanılabilirlik, erişilebilirlik,

dayanıklılık, esneklik, adaptasyon, inovasyon, entegrasyon, optimizasyon, otomasyon gibi birçok özelliğini belirlemektedir. Sayısal tasarım araçları, akıllı kentlerin ve akıllı binaların farklı boyutlarını (sosyal, ekonomik, çevresel, teknolojik, yönetsel vb.) bütüncül bir şekilde ele almak, kentsel sorunlara çözüm üretmek ve kentlere katma değer sağlamak için kullanılmaktadır. Örneğin, sayısal tasarım araçları, mimarların biçim optimizasyonu, enerji verimliliği, malzeme kullanımı ve yapısal performans gibi konularda daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olur. Ayrıca, sayısal tasarım, sürdürülebilirlik ve çevresel etki gibi konularda da mimarların daha etkin çözümler üretmesine imkan tanımaktadır. Çalışma kapsamında akıllı binalar ve akıllı şehirler ele alınırken, ilk başta sayısal metriklerin parçası olan göstergeler belirlenmiş, sayısal metrikler ve sayısal tasarım araçları seçilen projeler üzerinden ele alınarak akıllı binalar ve şehirlere yönelik bir vizyon ortaya konmuştur (**Şekil 3**).



**Şekil 3.** Göstergelerden sayısal tasarıma, sayısal tasarımdan akıllı binalar ve şehirlere.

#### 4.1. Metrikler

Sayısal tasarım içerisinde metrikler tasarımın vizyonuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Sürdürülebilirlik veya yeşil bina gibi yaklaşımlarda uluslararası alanda kabul gören farklı birçok metrik bulunmaktadır. Her bir sertifika sisteminin farklı ülkelerin vizyonları ve beklentileri doğrultusunda oluşturulması nedeniyle farklı sonuçlar vermektedir. Her ne kadar farklı göstergelere sahip olsalar da hepsinin odak noktası sürdürülebilirliğin düzeyinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu sertifika sistemlerinden başlıcaları BREEAM, LEED, DGNB gibi sürdürülebilir binaların tasarımına, uygulanmasına ve değerlendirilmesine rehberlik eden sertifikalardır (Apanavičienė ve Shahrabani, 2023). Uluslararası alanda

sistem çözümlenmesinde akıllı şehirlerin geçtiği, akıllı binalara dair metriklerin olduğu standart ise ISO 37120'nin bir parçası olan ISO 31722'dir.

ISO 37122, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar için akıllı şehir göstergelerini tanımlayan ve metodolojilerini belirleyen bir standarttır (ISO, 2019). Akıllı şehirler, teknolojinin yardımıyla kentlerde yaşayan insanların yaşam kalitesini yükselten ve şehir yaşamının olumsuzluklarını en aza indiren uygulamaların hayata geçirildiği yaşam alanları olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, akıllı binalar da akıllı şehirlerin temel bileşenlerinden biridir ve enerji verimliliği, güvenlik, konfor ve sürdürülebilirlik gibi özelliklerle donatılmıştır. ISO 37122, akıllı şehirlerin gelişiminde önemli bir rol oynayan akıllı binaların yönetimine dair göstergeler sunmaktadır. Bu göstergeler, akıllı binaların işletme maliyetlerini azaltma, verimli enerji yönetimi ve bina teknolojilerinin modernizasyonu gibi kazanımları içermektedir. Akıllı şehirlerin tanımında temel olan şehir hizmetlerindeki ve yaşam kalitesindeki iyileştirmeleri hızlandırmak için hazırlanan bu belge, ISO 37120 ile, akıllı bir şehre doğru ilerlemeyi ölçmek için tam bir gösterge seti sağlamayı amaçlamaktadır (**Şekil 4**).



**Şekil 4.** ISO 37120 ile ISO 37122 arasındaki bağlantı

Bu metrikler, şehirlerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacak şekilde, enerji tüketimi, ulaşım, atık yönetimi, su yönetimi gibi çeşitli alanlarda göstergeler sunmaktadır. ISO 37122, şehirlerin akıllı şehir olma yolunda attıkları adımları somut göstergelerle izlemelerine ve değerlendirmelerine olanak tanır. Bu sayede, şehirlerin akıllı teknolojileri entegre etme ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma süreçleri daha şeffaf ve ölçülebilir hale gelmektedir. Standart, akıllı binalarla ilgili olarak çeşitli parametreler üzerinden değerlendirilen performans metriklerini içermektedir. ISO 37122'nin temel ilkeleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (ISO, 2019):



- İklim değişikliği, hızlı nüfus artışı, siyasi ve ekonomik istikrarsızlık gibi zorluklara toplumu dahil etmek.
- İşbirlikçi liderlik yöntemlerini uygulamak, disiplinler ve şehir sistemleri arasında çalışmak.
- Şehirdekilere daha iyi hizmetler ve yaşam kalitesi sunmak için veri bilgilerini ve modern teknolojileri kullanmak.
- Akıllı politikaların, uygulamaların ve teknolojinin vatandaşların hizmetine sunulduğu daha iyi bir yaşam ortamı sağlamak.
- Sürdürülebilirlik ve çevresel hedeflerine daha yenilikçi bir şekilde ulaşmak.
- Akıllı altyapıya olan ihtiyacı ve faydaları belirlemek.
- Yenilik ve büyümeyi kolaylaştırmak.
- Geleceğin zorluklarına hazır dinamik ve yenilikçi bir ekonomi inşa etmek.

ISO 37122 Akıllı şehirler için hazırlanmasına rağmen, akıllı binaların katkısını da görmezden gelmemektedir. **Tablo 1**'de çalışma kapsamında sınıflandırması yapılan enerji-verimlilik, çevre-kalite ve ihtiyaçlar-konfor bileşenleri ile ISO 37122 arasındaki bağlantı yer almaktadır. Buna göre binaların doğrudan etkilediği sekiz gösterge bulunurken, dolaylı etkilediği on altı gösterge bulunmaktadır. Toplam yirmi dört göstergedeki yedisi enerji ile ilişkiliyken, sekiz tanesi çevre ile, on bir gösterge ise ihtiyaçlar sınıflandırılması ile ilişkilidir.

**Tablo 1.** Çalışma kapsamında yapılan sınıflandırma ile ISO 37122 arasındaki bağlantı.

	<i>ISO 37122'de yer alan bölüm</i>	<i>İlgili maddenin açıklaması</i>	<i>Sınıflandırma</i>
<b>DOĞRUDAN</b>	ENERJİ	Yenileme/tadilat gerektiren kamu binalarının yüzdesi	ENERJİ - VERİMLİLİK
		Şehirde akıllı enerji sayacı bulunan binaların yüzdesi	ENERJİ - VERİMLİLİK
	ÇEVRE VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	Son 5 yıl içerisinde yeşil bina ilkelerine uygun olarak inşa edilen veya yenilenen binaların yüzdesi	ÇEVRE - KALİTE
		İç mekan hava kalitesini izlemek için donatılmış kamu binalarının yüzdesi	ÇEVRE - KALİTE
	NÜFUS VE SOSYAL KOŞULLAR	Özel ihtiyaçları olan kişilerin erişebildiği kamu binalarının yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
	KENTSEL PLANLAMA	Elektronik başvuru sistemi aracılığıyla sunulan inşaat ruhsatlarının yüzdesi	ÇEVRE - KALİTE
		İnşaat ruhsatı onayı için ortalama süre (gün)	ÇEVRE - KALİTE
	SU	Şehirde akıllı su sayacı bulunan binaların yüzdesi	ÇEVRE - KALİTE

Tablo 1. (Devamı)

	ISO 37122'de yer alan bölüm	İlgili maddenin açıklaması	Sınıflandırma
DOLAYLI	EKONOMİ	Açık veri politikası içeren şehir hizmetleri sağlayan hizmet sözleşmelerinin yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
		Bilgi ve iletişim teknolojisi (BİT) sektöründeki mesleklerde istihdam edilen işgücünün yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
	EĞİTİM	Birden fazla dilde mesleki yeterliliğe sahip şehir nüfusunun yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
		1.000 öğrenci başına düşen bilgisayar, dizüstü bilgisayar, tablet veya diğer dijital öğrenme cihazlarının sayısı	İHTİYAÇLAR - KONFOR
		100.000 nüfus başına bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) yüksek öğretim derecelerinin sayısı	İHTİYAÇLAR - KONFOR
	ENERJİ	Belirli bir yıl için şehrin toplam enerji karışımının payı olarak atık su arıtımı, katı atık ve diğer sıvı atık arıtımı ve diğer atık ısı kaynaklarından üretilen elektrik ve termal enerjinin yüzdesi	ENERJİ - VERİMLİLİK
		Şehrin enerji şebekesinin toplam şehir enerji tüketimi başına depolama kapasitesi	ENERJİ - VERİMLİLİK
	YÖNETİM	Erişilebilir ve çevrimiçi olarak talep edilebilecek şehir hizmetlerinin yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
	YENİDEN KULLANMA	Çevrimiçi olarak rezerve edilebilecek halka açık eğlence hizmetlerinin yüzdesi	ÇEVRE - KALİTE
	ATIK	Şehrin elektrikli ve elektronik atıklarının geri dönüştürülen yüzdesi	ÇEVRE - KALİTE
	SPOR VE KÜLTÜR	100.000 kişi başına kültürel tesisler için çevrimiçi rezervasyon sayısı	İHTİYAÇLAR - KONFOR
		100.000 nüfus başına halk kütüphanesindeki kitap ve e-kitap sayısı	İHTİYAÇLAR - KONFOR
		Aktif halk kütüphanesi kullanıcısı olan şehir nüfusunun yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
	TELEKOMÜNİKASYON	Beyaz bölge/ölü nokta kapsamındaki/telekomünikasyon bağlantısı kapsamında olmayan şehir alanının yüzdesi	İHTİYAÇLAR - KONFOR
Belediye tarafından sağlanan İnternet bağlantısının kapsadığı şehir alanının yüzdesi		İHTİYAÇLAR - KONFOR	
TOPLU TAŞIMA	Şehrin toplam arazi alanının yüzdesi olarak gerçek zamanlı etkileşimli sokak haritaları ile haritalanan şehir alanı	ÇEVRE - KALİTE	

## 4.2. Araçlar

Akıllı binaların tasarımı, sürdürülebilir mimari tasarımın ortaya koyduğu bütün tasarım yaklaşımlarına ek olarak teknoloji temelli sayısal tasarım araçları ile gerçekleştirilmektedir. Sayısal tasarım araçları, akıllı binaların tasarım sürecini kolaylaştırmak, simüle etmek, optimize etmek ve test etmek için kullanılan yazılım ve donanım sistemleridir. Sayısal tasarım araçları aynı zamanda, akıllı kentlerin ve akıllı binaların farklı boyutlarını (sosyal, ekonomik, çevresel, teknolojik, yönetsel vb.) bütüncül bir şekilde ele almak, kentsel sorunlara çözüm üretmek ve kentlere katma değer sağlamak için kullanılmaktadır. Akıllı binaların tasarımında kullanılan sayısal tasarım araçları, veri, model, algoritma, protokol, standart, ağ, bulut, nesnelerin interneti, yapay zeka (AI), makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, görüntü işleme, bilgisayar destekli tasarım (CAD), bina bilgi modellemesi (BIM), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) gibi teknolojileri içermektedir. Tüm bu sayısal tasarım araçları, akıllı şehirler bağlamında akıllı binalarda kullanılarak daha yaratıcı ve yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmesine, tasarım ve uygulama süreçlerinin enerji etkinliği açısından optimize edilmesine ve binaların dolayısıyla yapma çevrenin daha sürdürülebilir olmasına yardımcı olmaktadır.

### 4.2.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

İnternet bağlantılı ekipmanlar ve uyarı cihazlarıyla veri toplama ve paylaşma imkanı sağlayan bir ağ olarak kullanılmaktadır (Alcaraz, 2014).

- Sıcaklık, nem, aydınlatma ve enerji tüketimi gibi binalarda yüksek oranda kullanıcı konfor koşullarını izlemek için IoT teknolojisi kullanılmaktadır. Böylece, enerji verimliliğini optimize etmeye ve kullanıcı konforunu arttırmaktadır.
- IoT cihazları ile aydınlatma, ısıtma, soğutma gibi binalarda enerji tüketiminin çoğunluğunu oluşturan sistemler otomatikleştirilerek, enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Jayaraman, 2016).
- IoT aynı zamanda cihazların arızalarını tahmin etmek için de kullanılmaktadır. Bu durum, cihazların kullanım süresini uzatarak, bakım maliyetlerinin azalmasına da yardımcı olmaktadır.
- Bina hakkında bina sakinlerine, akıllı telefonlar vb. gibi iletişim araçlarıyla kontrol etme ve yönetim imkanı sağlamaktadır (Dorigo ve Gaber, 2017).

### 4.2.2. Yapay Zeka (AI)

Akıllı şehirler, akıllı binalar gibi uygulamaların geliştirilmesinde kullanılan bir araçtır (Miao, 2017).

- Yapay zeka tarafından oluşturulan algoritmalar, bina tasarım ve uygulama aşamalarında optimum çözümleri bulmak için kullanılabilir. Enerji verimliliği, malzeme kullanımı, estetik, işlevsellik vb. hangi özellikler ön planda tutulmak isteniyorsa, isteğe yönelik kullanılabilir (Lu, 2020).

- Yapay zeka, binayı oluşturan paydaşların karar vermelerini kolaylaştırmaya yardımcı olmaktadır. Yeni fikirler, konseptler ve yenilikçi çözümler bulmak için kullanılabilir (Wang, 2018).
- Performans, maliyet ve risk analizi gibi dokümanlar oluşturulabilmektedir.
- Binaların üç boyutlu modellerini oluşturmada da kullanılabilir. Böylece, hata riskini minimuma indirir.

#### 4.2.3. Makine Öğrenmesi (ML)

Bir bilgisayarın programlanmadan, deneyimlerden öğrenme olanağına sahip olduğu bir yapay zeka türevidir (Rossi, 2016).

- Geçmiş tasarım verilerini analiz eder ve gelecekteki tasarım kararlarını tahmin etmeye çalışır.
- Bina sakinlerinin, binalarla nasıl bir etkileşim içerisinde olduğuna dair modeller oluşturmak için kullanılabilir.
- Binaların performans düzeylerini geliştirmede kullanılabilir. Enerji ve kaynak kullanımı, konfor koşulları, dayanıklılık gibi faktörleri analiz etmede yardımcı olmaktadır (Hong, 2017).
- Uygulama için uygun olabilecek malzemeleri seçmede fayda sağlamaktadır.
- Maliyeti düşürme ve bina performansını istenilen konuda optimize etmeye yardımcı olabilir (Ghiasi, 2020).

#### 4.2.4. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)

Binalar ve/veya nesnelere tasarlamak için kullanılan çoğunlukla iki boyutlu yazılımlardır.

- Sayısal tasarıma yönelik alınan kararların belgelendirilmesinde iki ve üç boyutlu çizimler oluşturmak için kullanılmaktadır. Tasarımın görselleştirilmesi, uygulama proje detaylarının oluşturulması ve bina performans düzeyinin analiz edilmesinde kullanılabilir.
- Disiplinler arası projede yer alan paydaşların işbirliği içerisinde süreci yönetmesini sağlamaktadır. Tasarım ve uygulama süreçlerinin daha verimli olmasına olanak sağlar.

#### 4.2.5. Yapı Bilgi Modelleme (BIM)

Binaların bilgisayar ortamında dijital temsillerini oluşturmak için kullanılan parametrik nesnelere metodolojisidir. BIM modeli, geometri, boyutlar, malzeme özellikleri, tarihler, sorumlular vb. gibi birçok parametrik bilgi içermektedir (Eastman, 2014).

- BIM, disiplinler arası binaların yaşam döngüsü boyunca süreci koordine etmekte kullanılmaktadır (Gu, 2016).
- Yaygın olarak çakışma tespitinde kullanılır. Disiplinler arası projelendirilen çalışmaları, çakıştıran sorunların çözümünde kullanılarak hataları azaltmaya yardımcı olmaktadır.

- Belgelerin hızlı ve verimli bir şekilde oluşturulmasında kullanılmaktadır.
- Tesis yönetiminde ve işletmesinde de etkili bir kullanıma sahiptir.
- Bina tasarımında enerji verimliliği analizi (BEM) yapmak için kullanılabilir.

#### 4.2.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi verileri toplamak, analiz etmek ve görselleştirmek için kullanılan sistemlerdir.

- CBS, bina yeri seçimi için arazi verilerini analiz etmek için kullanılmaktadır. Topoğrafya, arazi kullanımı ve çevresel faktörleri de dikkate alır (Akgül, 2017).
- Binaların güneş ışınımı ile ilişkisini optimize etmek, güneş analizleri yapmak için kullanılabilir (Yıldız, 2012).

#### 4.2.7. Sanal Gerçeklik (VR)

Kullanıcıların bilgisayar ortamında simüle edilmiş bir mekan içerisinde deneyim kazanabildikleri bir teknolojik araçtır (Wang, 2019).

- VR araçları, tasarıma yönelik gerçek boyutlarda ve gerçek ortamında görselleştirmesine imkan sağlamaktadır. Bu durum, tasarım kararlarının iyileştirilmesine yardımcı olur.
- Projede yer alan paydaşların, projeyi uygulama öncesi inceleme ve geri bildirimde bulunması için birlikte çalışılabilirliği arttırmaktadır. Tasarım ve uygulama süreçlerini daha etkili ve verimli kullanılmasına yardımcı olur.
- Müşterilerin veya kullanıcıların, bina hakkında bilgi edinmelerine olanak tanımaktadır.
- Daha kapsayıcı ve sürdürülebilir tasarım çözümleri geliştirmeye katkı sağlar (Zu, 2020).

## 5. Projeler

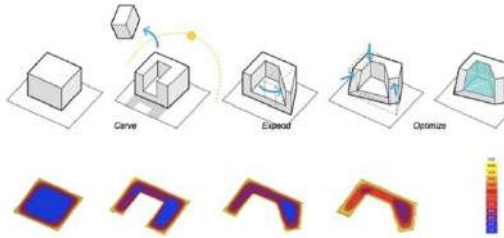
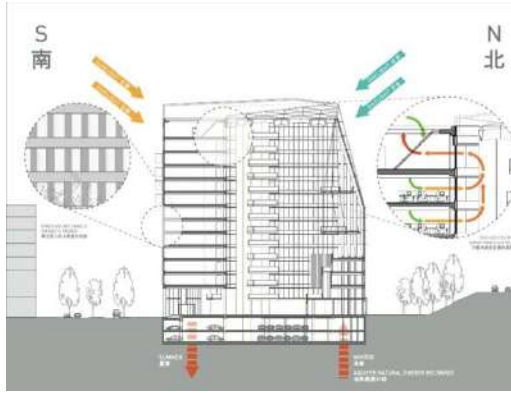
Çalışma kapsamında beş farklı proje ele alınmıştır. Bu projelerin üçü Avrupa, biri Asya diğeri ise Arap Yarımadasında yer almaktadır. Projelerin tamamı 2000 yılı sonrası yapılmıştır. Algenhaus projesi hariç bütün projelerin ticaret işlevi bulunmaktadır. **Tablo 2'**de projelerin konumları, yapım yılları, temel yaklaşımları, sertifika ve ödülleri gibi konular yer almaktadır. Yıllara göre projelerin enerji tasarrufu kapsamını daha da genişleterek sürdürülebilirlik yaklaşımına doğru evrildiğini görmek mümkündür. Projelerin tamamında enerjinin korunumu, enerji açısından teknolojinin entegrasyonu ve yenilenebilir enerjinin kullanımının artırılması yer almaktadır.

Tablo 2. Çalışma kapsamında ele alınan projeler.

Proje Adı	The Edge	The Crystal	Algenhaus	Capital Tower	Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi
Şehir / Ülke	Amsterdam / Hollanda	Londra / İngiltere	Hamburg / Almanya	Singapur	Manama / Bahreyn
Yerleşim Büyüklüğü (m <sup>2</sup> )	40.000 m <sup>2</sup>	6.300 m <sup>2</sup>	1.600 m <sup>2</sup>	95.500 m <sup>2</sup>	45.000 m <sup>2</sup>
Yapım Yılı	2015	2012	2013	2000	2008
İşlevi	Ofis Binası	Ticaret, İş merkezi, Konferans salonu	Konut	Ticaret	Ticaret
Temel Yaklaşım İlkesi	Sürdürülebilirlik	Sürdürülebilirlik	Pasif Ev – Enerji Korunumu, Teknolojinin yapıya entegrasyonu	Enerji tasarrufu	Enerji Korunumu – Teknolojinin Yapıya entegrasyonu
Kat Sayısı / Birim Sayısı	15 Kat	4 Kat	4 kat	52 kat	50 kat
Kullanılan Sayısal Tasarım Araçları	IoT, CAD, BIM, CBS	IoT, CAD	IoT, CAD, BIM, CBS	IoT, CAD	IoT, CAD
Sertifika / Ödüller	BREEAM	BREEAM Outstanding, LEED Platinum	Fikirler Ülkesinde Mükemmel Yerler ödülü (2013/14), Alman Cephe Ödülü 3.lük (2013), Uygulamalı Yenilikler kategorisinde Zumtobel Grup Ödülü (2014)	Singapur İnşaat ve İnşaat Otoritesi (BCA) Green Mark Pearl (2018), BCA Green Mark Platinum, BCA Universal Design Mark Gold (2017)	The 2006 LEAF Award for Best Use of Technology within a Large Scheme, The Arab Construction World for Sustainable Design Award

### 5.1. The Edge (Amsterdam, Hollanda)

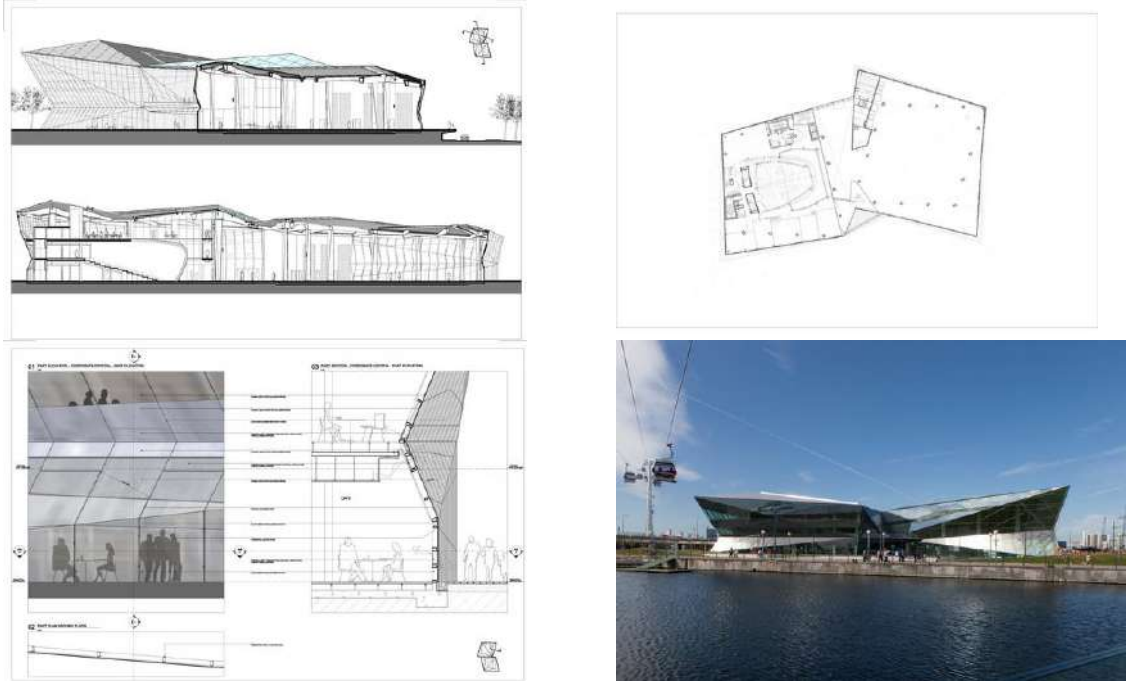
- BREEAM sertifikasında en yüksek skora sahip olan proje, Dünyanın en yeşil ve en akıllı binası olarak kabul edilmektedir.
- Bina içinde 28,000 sensör bulunmakta ve bu sensörler hareket, ışık, sıcaklık, nem ve kızılötesi gibi verileri toplamaktadır.
- Philips tarafından özel olarak üretilen süper verimli LED'ler kullanılarak enerji tasarrufu yapılmaktadır.
- Yağmur suyunu toplayan ve yeniden kullanım için arıtan bir sistem ile donatılmıştır.
- Çalışanlar, bina içindeki ısı, ışık ve hatta çalışma alanlarını kişisel tercihlerine göre ayarlayabilme imkanına sahiptir.



Şekil 5. The Edge proje görselleri (PLP Architecture, 2016).

## 5.2. The Crystal (Londra, İngiltere)

- BREEAM Outstanding ve LEED Platinum gibi en yüksek uluslararası sürdürülebilirlik derecelerine sahiptir.
- Siemens'in Sürdürülebilir Şehirler Girişimi için oluşturulmuş bir yapıdır.
- Güneş panelleri ve yer altı ısı pompaları gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir.
- Bina yönetim sistemleri, enerji tüketimini ve bina içi iklimi otomatik olarak düzenleyebilmektedir.

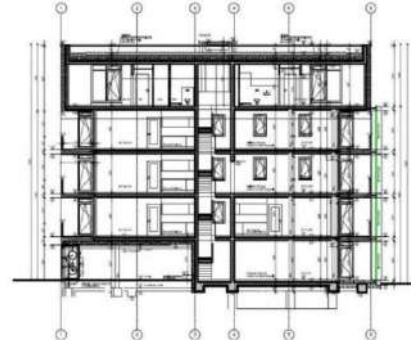
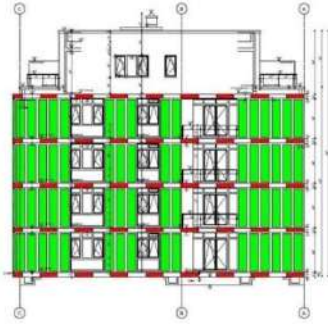
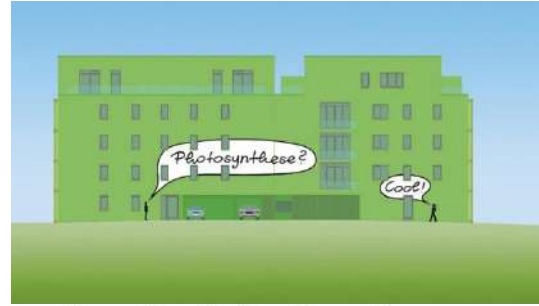


Şekil 6. The Crystal proje görselleri (Wilkinson Eyre Architects, 2012).

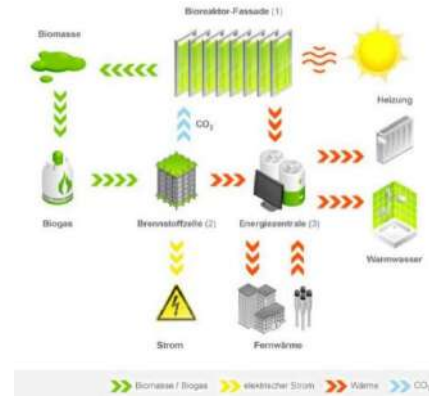


### 5.3. Algenhaus (Hamburg, Almanya)

- Dünyada ilk kez bir binanın yapısına entegre edilmiş büyük ölçekli yosun biyoreaktörleri içermektedir.
- Bina, enerji üretimi için yosunları kullanmakta ve bu sayede sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlamaktadır.
- Yapının dış cephesine monte edilmiş 130 adet yarı saydam panel yosun biyoreaktörleri, fotosentez yoluyla enerji üretilmektedir. Ayrıca, foto biyoreaktörlerin güneş enerjisi termal işlevi ayrıca yılda yaklaşık 32 MW ısı üretmekte ve bu ısı doğrudan evde kullanılabilir veya yerel elektrik ağını beklemekte ya da alternatif olarak geçici olarak yer altında depolanabilmektedir.
- Yosun panelleri, bina içindeki ısıyı düzenlemeye yardımcı olmakta ve aynı zamanda ek izolasyon sağlamaktadır.
- 2006 – 2013 yılları arasında Hamburg’da düzenlenen Uluslararası Yapı Fuarı tarafından “Akıllı Yeşil Ev” olarak kabul edilmektedir.



Şekil 7a. Algenhaus proje görselleri (Singhal, 2013).

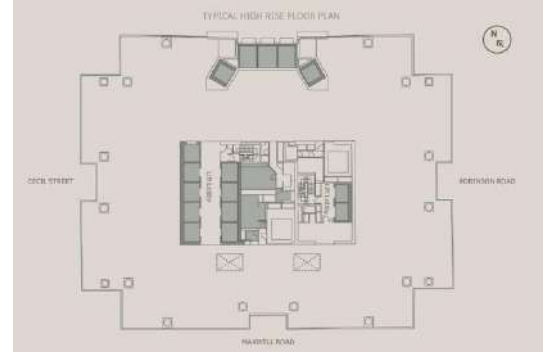


Şekil 7b. Algenhaus proje görselleri (Singhal, 2013).

### 5.3. Capital Tower (Singapur)

- Enerji verimliliği için çeşitli akıllı sistemlere ev sahipliği yapmaktadır.
- Hareket dedektörleri ve çift camlı pencereler gibi özelliklerle enerji tüketimini azaltmaktadır.
- Asansörler, enerji tüketimini azaltmak için trafik akışına göre kendilerini ayarlayabilmektedir.
- Bina, doğal ışığı maksimize eden ve enerji tüketimini azaltan bir tasarıma sahiptir.

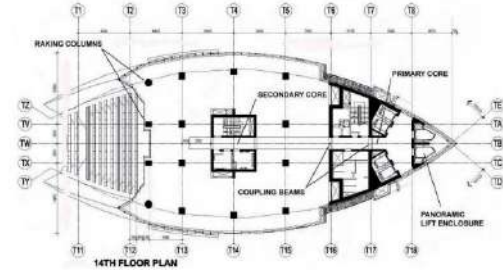
Bina genelinde enerji verimliliğini optimize eden Capital Tower, klima sisteminde, soğutma gruplarının verimliliğini korumak için soğuk havanın geri kazanılmasına olanak tanıyan bir enerji geri kazanım çarkı sistemi içermektedir. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla asansör lobisine ve tuvaletlere hareket dedektörleri yerleştirilmiştir; çift camlı pencereler ise ısı nüfuzunu azaltmaya ve enerji tüketimini en aza indirmeye hizmet etmektedir. Su kullanımını azaltmak için bina, soğutma kulelerine ilave su olarak kullanılmak üzere klima santralindeki su yoğunlaşmasından yararlanılmaktadır. Aynı zamanda ofis ve otopark alanlarına karbondioksit ve karbon monoksit izleme cihazları takılarak bina genelinde optimum hava kalitesi seviyelerinin sağlanması sağlanmaktadır.



Şekil 8. Capital Tower proje görselleri (Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2024).

#### 5.4. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi (Bahreyn)

- Dünyada rüzgar türbinlerini yapısına entegre eden ilk gökdelerdir.
- Yapı, sürdürülebilirlik alanında birçok ödül kazanmış ve akıllı bina özellikleriyle donatılmıştır.
- Rüzgar türbinleri, bina enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayabilmektedir.
- Doğal havalandırma ve aydınlatma için stratejik olarak tasarlanmış bir yapıdır.



Şekil 9. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi proje görselleri (Laconelli vd., 2024).

### 5.5. Projelerin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında ele alınan projeler, ISO 37122'nin ortaya koyduğu yaklaşımlar ve projelerin genelinde var olan yaklaşımlar gözetilerek **Tablo 3**'te değerlendirilmektedir. Buna göre enerji- verimlilik bileşeni içerisinde hemen hemen bütün projelerin yenilenebilir enerji kaynaklarını ve enerjiden maksimum tasarruf yapma yaklaşımları benimsedikleri görülmüştür. Çevre-kalite bileşeni içerisinde ise yağmur suyunun toplanması, yeniden kullanımı ve atık yönetimi konuları hemen her projenin temel yaklaşımı içerisinde. İhtiyaçlar- konfor bileşenine bakıldığında ise bina yönetim sistemleri, kullanıcı konforunun sağlanması için farklı kademelerde sensörler ile takip edilmesi yaklaşımları benimsenmektedir. Tablo 3'te her bir projenin çalışma bağlamında karşıladığı metrikler yer almaktadır.

Tablo 3. Çalışma kapsamında ele alınan projelerin sayısal tasarım metriklerine göre karşılaştırılması.

İlgili Madde	Projeler	The Edge	The Crystal	Algenhaus	Capital Tower	Bahreyn DTM
<b>Enerji- Verimlilik</b>						
Binada akıllı enerji sayacı bulunması		✓	✓		✓	✓
Toplam enerjinin payı olarak tüm atıklardan (su, katı, diğer sıvılar, ısı) üretilen termal enerji				✓	✓	
Toplam enerjinin payı olarak tüm atıklardan (su, katı, diğer sıvılar, ısı) üretilen elektrik enerjisi				✓		
Binalarda enerji depolanması		✓	✓	✓		✓
<i>Binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı*</i>		✓	✓	✓	✓	✓
<i>Enerji tasarrufuna yönelik uygulamalar*</i>		✓	✓	✓	✓	✓
<b>Çevre - Kalite</b>						
Binanın yeşil bina ilkelerine uygun olarak inşa edilmesi		✓	✓	✓	✓	✓
İç mekan hava kalitesinin izlenmesi		✓	✓		✓	✓
Binada akıllı su sayacı bulunması		✓			✓	
<i>Binada yağmur suyu kullanımı*</i>		✓	✓		✓	
<i>Atık yönetimi*</i>		✓	✓	✓	✓	✓

Tablo 3. (Devam)

İlgili Madde	Projeler	The Edge	The Crystal	Algenhaus	Capital Tower	Bahreyn DTM
<b>İhtiyaçlar – Konfor</b>						
Özel ihtiyaçları olan kişilerin binaya erişebilmesi		✓	✓	✓	✓	✓
Erişilebilir ve çevrimiçi olarak talep edilebilecek hizmetlerin varlığı		✓	✓		✓	✓
<i>Kullanıcı konforunu sağlamak için binanın sensörlerle takip edilmesi*</i>		✓	✓		✓	
<i>Akıllı bina yönetim sistemi kullanımı*</i>			✓			

Çalışma kapsamında belirlenen on beş göstergenin on ikisini The Edge, The Crystal ve Capital Tower projeleri, dokuz tanesini Bahreyn DTM, sekiz tanesini ise Algenhaus projeleri karşılayabilmektedir. Algenhaus ve Bahreyn DTM projeleri yenilenebilir enerji anlamında daha odaklı ve özel nitelikli projelerdir. The Edge, The Crystal ve Capital Tower projeleri farklı yönleriyle akıllı bina olma potansiyelini daha fazla barındırmaktadır. Ele alınan beş farklı proje örneğinin ortaya koyduğu ortak yaklaşımlar akıllı bina vizyonuyla inşa edilecek olan projelere de örnek teşkil edecektir.

## 6. Sonuçlar

Akıllı şehirler, güncelliğini koruyan, hali hazırda teknolojinin gelişmesi ve insanlığın ilerleyişine paralel olarak gelişen ve değişen bir vizyona sahiptir. Sürdürülebilir şehirler ve toplumlar içerisinde standartların üretildiği akıllı şehir kavramı ve akıllı binaların geleceği, sadece teknolojik gelişmelere bağlı olmayıp, aynı zamanda toplumsal ihtiyaçlar ve çevresel faktörlerle de şekillenecektir. Multidisipliner yaklaşımlar ve sürdürülebilirlik temelli politikalara akıllı şehirler ve binaların ilerlemesine sürekli olarak entegre edilecektir. Akıllı şehirlerin bir bileşeni olarak akıllı binaların sayısal tasarım süreçlerinde kullanılan metriklerin ve araçların, sürekli gelişen teknolojilerle birlikte evrimleşeceği ve daha etkin çözümler sunacağı öngörülmektedir. Akıllı binalar, enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve kullanıcı konforu gibi alanlarda sunduğu avantajlar, sayısal tasarım araçlarıyla optimize edilerek, şehirlerin daha yaşanabilir hale getirilmesine katkıda bulunacaktır. Sayısal tasarım araçları ile üretilen projelerde, binaların performansı artarken, aynı zamanda karbon ayak izini azaltmakta ve ekolojik dengeyi korunması mümkün olmaktadır. Akıllı binalar enerji verimliliği ve konfor

sağlayarak akıllı şehirlerin karbon ayak izini azaltmada dolayısıyla sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleşmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Isıtma-soğutma, aydınlatma, havalandırma, yangın önleme, güvenlik ve bilgi sistemleri gibi fonksiyonların verimli çalışmasını sağlayan bütünleşmiş sistemleri ve bu sistemler arasındaki karmaşık etkileşimlerin koordinasyonu sayesinde, çevresel sürdürülebilirliğe kayda değer katkılarda bulunabilir. Akıllı binaların tasarımında kullanılan sayısal tasarım metrikleri ve araçlarının çeşitlilik gösterdiği, farklı disiplinlerden ve sektörlerden katkı aldığı, ancak henüz standart bir yöntem ve kriter olmadığı şeklindedir.

Bu çalışma, akıllı şehirlerin uluslararası alanda kabul görmüş ISO 37122 standardının ortaya koyduğu akıllı şehirler için göstergeleri akıllı bina ekseninde değerlendirmiştir. Seksen göstergenin yirmi dördü yani yaklaşık yüzde otuzunun binalar ile ilişkili olduğu görülmüştür. Akıllı bir şehir için akıllı binaların varlığının görmezden gelinmesi mümkün değildir. ISO 37122 şehirleri değerlendirmek amacı ile ortaya konulduğu için çok boyutlu alt parametreleri de tanımlamaktadır. Fakat bina ölçeğinde inceleme yapıldığında bu parametreleri azaltmak anlaşılabilirliği arttıracaktır. Bu çalışmada “enerji – verimlilik”, “çevre – kalite”, “ihtiyaçlar – konfor kavramları” ile değerlendirilmiştir. Seçilen projelerin ortaya koyduğu yaklaşımlar ISO 37122’nin ortaya koyduğu göstergeler ile birleştirilmiştir. Projelerin bu ana gruplar altında karşılaştırılması yapılmıştır. Bütün projelerde enerji-verimlilik metriklerinin ağırlık kazandığı görülmüştür. Projenin fonksiyonuna göre ihtiyaçlar-konfor metrikleri göz önüne alınmıştır. Çevre-kalite metrikleri ise sürdürülebilirlik ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yapılan bu çalışma, akıllı şehirler ve önemli bir parçası olan akıllı binaları sayısal tasarım metrikleri ve araçları bağlamında tanımlayarak farklı projeler üzerinden okunabilmesini sağlamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, akıllı binaların tasarımında kullanılan sayısal tasarım metrikleri ve araçlarının neler olduğu, nasıl uygulandığı ve hangi avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu ortaya konmuştur. Akıllı binaların tasarımında kullanılan sayısal tasarım metrikleri ve araçlarının çeşitlilik gösterdiği, farklı disiplinlerden ve sektörlerden katkı aldığı, ancak henüz standart bir yöntem ve kriter olmadığı sonucuna varılmıştır. Akıllı şehirler kapsamında akıllı binalarda sayısal tasarım metrikleri ve araçları birbirine entegre edilmesi gereken önemli faktörlerdir. Bu durum beraberinde kalite, verimlilik, esneklik, inovasyon ölçütlerinde artış; süre, maliyet, hata, risk kriterlerini azalttığını aynı zamanda tasarım sürecine katılan paydaşlar arasında iş birliği ve koordinasyon sağlamaktadır. Öte yandan kullanılan teknolojiler, eğitim gerektiren, tasarım standartlarının belirsizliği nedeniyle güvenilmez ve karmaşık bulunmaktadır. Ancak bunların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için daha fazla araştırma ve iş birliği gerekmektedir. Sürdürülebilir bir geleceğin inşasında, nüfus ve teknolojik ilerlemenin getirdiği artan ihtiyaçlar, tüketim ve hızlı değişimler göz önünde bulundurulduğunda; akıllı binalar, sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sunabilir ve geleceğin şehir yaşamının temel taşlarından biri haline gelebilir.

## KAYNAKLAR

- Akgül, Ş., et al. (2017). Building location selection using a geographic information system (GIS) and fuzzy multicriteria decision making (MCDM): A case study in Ankara, Turkey. *Land Use Policy*, 65, 101-112.
- Alcaraz, L., et al. (2014). *Key technologies for smart cities: A survey*. *Sensors*, 14(12), 10107-10143. <https://www.mdpi.com/books/reprint/2900-mobility-and-iot-for-the-smart-cities>
- Apanavičienė, R., & Shahrabani, M. M. N. (2023). Key factors affecting smart building integration into smart city: technological aspects. *Smart Cities*, 6(4), 1832-1857.
- Baharetha S, Soliman AM, Hassanain MA, Alshibani A and Ezz MS (2024), Assessment of the challenges influencing the adoption of smart building technologies. *Front. Built Environ*. 9:1334005. doi: 10.3389/fbuil.2023.1334005
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat. (2024). 588 Global Height Rank Capital Tower Singapore. Erişim Tarihi 30 Mayıs 2024. <https://www.skyscrapercenter.com/building/wd/824>
- Dorigo, U., & Gaber, J. (2017). Smart farming: Opportunities and challenges in the era of the Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 75, 136-146. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262032922X>
- Dryjanski, M., Buczkowski, M., Ould-Cheikh-Mouhamedou, Y., & Kliks, A. (2020). Adoption of smart cities with a practical smart building implementation. *IEEE Internet of Things Magazine*, 3(1), 58-63.
- Eastman, C. (2014). *Building information modeling: A guide for managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley & Sons.
- Érces, G., Rácz, S., Vass, G., & Varga, F. (2023). Fire Safety in Smart Cities in Hungary with Regard to Urban Planning. *IDRiM Journal*, 13(2), 104-128.
- Gaş, T. (2023). Akıllı Binalardaki Enerji-Etkin Yaklaşımların Kosova'daki Alışveriş Merkezleri Üzerinden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.,
- Ghiasi, H., et al. (2020). A review of machine learning applications in building energy efficiency. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102393. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792423000021>
- Gu, M., et al. (2016). A review of building information modeling (BIM) for construction and facility management. *Engineering*, 2(2), 220-231.
- Hong, T., et al. (2017). Applications of machine learning in building energy efficiency: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1-24. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792423000021>
- International Standardization Organization (ISO). ISO/DIS37122. Sustainable Cities and Communities—Indicators for
- Jayaraman, R., et al. (2016). The Internet of Things in smart cities: Context aware applications and challenges. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 32(1), 577-589. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-60030-7>
- Laconelli, A., Price M. ve Al Moulah B., (2024). Bahrain World Trade Center. *Wordpress*. <https://bahrainwtc.wordpress.com/drawings-diagrams-3/>
- Lu, Y., et al. (2020). A survey on AI applications in building energy efficiency. *Energy and Buildings*, 213, 109934. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819316688>



- Miao, F., et al. (2017). *Building energy prediction using deep learning and gradient boosting decision trees*. *Energy Procedia*, 118, 862-870. <https://www.mdpi.com/2227-7390/11/5/1068>
- Odabaş, N. (2020). Mimari Tasarım Ürünün Kendisi ve Temsili Arasındaki İlişki. *Tasarım Enformatiği*, 2(1), 14-24.
- Rossi, D., et al. (2016). Occupancy-driven energy management for building energy efficiency: A review and perspective. *Building and Environment*, 101, 223-239. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819332918>
- Saputra, P. C., & Ramadhan, A. (2023). Smart building trend, role, and position: a systematic literature review. *Int J Reconfigurable & Embedded Syst*, 12(1), 29-41.
- Selvaraj, R., Kuthadi, V. M., & Baskar, S. (2023). Smart building energy management and monitoring system based on artificial intelligence in smart city. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103090. Smart Cities; International Standardization Organization: Geneva, Switzerland, 2018.
- Singhal, S. (2013, Mayıs 8). BIQ – Das Algenhaus – The Clever Treefrog in Hamburg, Germany by SPLITTERWERK. *AECcfe Blog*. <https://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/2013/05/08/biq-das-algenhaus-the-clever-treefrog-in-hamburg-germany-by-splitterwerk/>
- The Crystal / Wilkinson Eyre Architects. (2012, Eylül 25). ArchDaily. Erişim Tarihi 30 Mayıs 2024. <<https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects>> ISSN 0719-8884
- The Edge / PLP Architecture. (2016, Nisan 22). ArchDaily. Erişim Tarihi 30 Mayıs 2024. <<https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture>> ISSN 0719-8884
- Wang, L., et al. (2019). A review of virtual reality applications in architecture, construction and engineering. *Automation in Construction*, 109, 103227.
- Wang, Y., et al. (2018). Deep learning for energy efficiency in smart buildings: A review. *Applied Energy*, 235, 185-216. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1925>
- Yılmaz, Z. (2005). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 387-398.
- Yildiz, A., et al. (2012). A GIS-based approach for locating sustainable building sites using fuzzy AHP and TOPSIS. *Renewable Energy*, 37(1), 421-433.
- Zhu, Y., et al. (2020). Virtual reality for construction safety: A review. *Journal of Safety Research*, 75, 102565.

# Morfolojik, Algısal ve Fonksiyonel Sınır Faktörlerinin Statik Aktivite Mekanlarının Oluşumundaki Etkisine Dayalı Sayısal Bir Model Önerisi

Fatma Arzu Tibet<sup>1</sup> ; Berrin Akgün<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi; <sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi

<sup>1</sup>arzu.tibet@gmail.com; <sup>2</sup>bakgun@balikesir.edu.tr

## Özet

*Kentsel tasarım, şehirlerin fiziksel çevresinin planlanması, düzenlenmesi ve geliştirilmesi sürecidir, bu süreçte hesaplamalı tekniklerin kullanımı son yıllarda önemli bir gelişme göstermektedir. Bu teknikler veri toplama, analiz, görselleştirme ve karar verme aşamalarında kullanılarak mekânsal tasarımı daha etkili hale getirebilen sayısal yöntemlerdir. Günümüzde kentsel tasarım problemlerinde çözüm odaklı kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan mekân dizimi, mekanların fiziksel yapıları ile insanların bu mekanları algılaması ve kullanması arasındaki ilişkileri analiz eden teknikler bütünüdür. Bu yöntem, biçim ile işlev arasındaki ilişkiyi analiz ederek farklı ölçeklerdeki kentsel mekanların problemlerinde çözüm odaklı kullanılır. Kentsel tasarımda son yıllarda etkili olan diğer bir sayısal teknikle fraktal geometridir. Fraktal geometri, şehirlerin karmaşık yapılarını ve örüntülerini anlamak için kullanıldığı gibi mimari ölçekteki sokakların yapılarını, binaların yerleşimini, cephe düzenlerini inceleyerek tasarım alanında ilham kaynağı olabilecek çözümler üretebilir.*

*Kentsel alanların önemli bileşenlerinden biri olan sokaklar, yaya ve taşıt akışını sağlamanın yanı sıra toplumsal ilişkiler içinde mekânlar üretir. Sosyal ilişkileri güçlendiren, oturma, arkadaşlar ile buluşma, dinlenme, yeme-içme amacı ile yapılan statik aktivitelerin yer aldığı sokaklardaki bu tür mekanlar karakteristik sınır özellikleri ile dikkat çekerler. Sınır etkisi oluşturan tente, çiçeklik, cam paneller vb. gibi yapısal mimari öğeler statik aktivite mekânlarını çevrelerken, sokaklarda yer alan masa ve sandalyelerin yer aldığı cephelerin geçirimsizlik özellikleri mimari ölçekte sınır etkisi oluşturur. Sokaklarda bulunan statik aktivite mekânlarına hizmet veren zemin kat dükkânları, bölgelerini işaretleyerek kişiselleştirilmiş alanlarını tanımlarlar ve kendilerine ait bölgelerin sınırlarını çizerler. Bu çalışmada, sokaklarda canlılığın önemli bileşenlerinden olan statik aktivite mekanlarının oluşumunda etkili olan morfolojik, algısal ve fonksiyonel sınır faktörleri, sentaktik ve fraktal geometriye dayalı yazılımlar ile ölçülerek bu özelliklerin statik aktivite dokularının oluşumundaki etkisi belirlenmiştir.*

*Bu çalışma, statik aktivitelerin yer aldığı sokağı, mimari ölçekte sınır etkisi oluşturan morfolojik (çevreleme) faktörü mekân dizimi yöntemi görünürlük analizi ile ölçülürken, algısal (geçirimsizlik), Fonksiyonel (bölgesellik) faktörleri fraktal geometri bulguları ile değerlendirilmiştir. Araştırmada üç farklı yaklaşımı mimari ölçekte birleştiren sayısal bir model geliştirmiştir. Çalışma sonucunda oluşturulan sayısal modelin statik aktivite mekanlarının tasarlanmasında kullanılarak, sokakların işlevsel hale getirilmesine, canlılığın artırılmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Statik aktivite, morfolojik sınır, algısal sınır, fonksiyonel sınır, mekân dizimi, fraktal geometri.

# A Numerical Model Proposal Based on the Effect of Morphological, Perceptual and Functional Boundary Factors on the Formation of Static Activity Spaces

Fatma Arzu Tibet <sup>1</sup>; Berrin Akgün <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balikesir University; <sup>2</sup>Balikesir University

<sup>1</sup>arzu.tibet@gmail.com; <sup>2</sup>bakgun@balikesir.edu.tr

## Abstract

*Urban design is the process of planning, organizing and developing the physical environment of cities and the use of computational techniques in this process has been developing significantly in recent years. These techniques are numerical methods that can be used in data collection, analysis, visualization and decision-making stages to make spatial design more effective. Space Syntax, one of the solution-oriented computational methods used in urban design problems today, is a set of techniques that analyze the relationships between the physical structures of spaces and the perception and use of these spaces by people. This method analyzes the relationship between form and function and is used to solve problems of urban spaces at different scales. Another numerical technique that has been effective in urban design in recent years is fractal geometry. Fractal geometry can be used to understand the complex structures and patterns of cities, as well as to analyze the structures of architectural scale streets, the layout of buildings, facade layouts and to produce solutions that can be a source of inspiration in the field of design.*

*Streets, one of the important components of urban areas, produce spaces for social relations as well as providing pedestrian and vehicular flow. Such spaces on the streets, where static activities that strengthen social relations, such as sitting, meeting with friends, resting, eating and drinking take place, draw attention with their characteristic boundary features. While structural architectural elements such as awnings, flower beds, glass panels, etc. surround the static activity spaces, the permeability properties of the facades with tables and chairs on the streets create a border effect on an architectural scale. Ground floor shops serving the static activity spaces on the streets define their personalized spaces by marking their zones and draw the boundaries of their own territories.*

*In this study, morphological, perceptual and functional boundary factors that were effective in the formation of static activity spaces, which are important components of vitality on the streets, were measured with software based on syntactic and fractal geometry, and the effect of these features on the formation of static activity textures was determined. In this study, the morphological (surrounding) factor, which creates a boundary effect on the architectural scale of the street with static activities, is measured by the visibility analysis of the spatial sequence method, while the perceptual (permeability) and functional (territoriality) factors were evaluated with fractal geometry findings. In the research, a numerical model combining three different approaches at architectural scale was developed. It is thought that the numerical model created as a result of the study will be used in the design of static activity spaces and will form a basis for making streets functional and increasing vitality.*

**Keywords:** *Static activity, morphological boundry, perceptual boundry, functional boundry, space syntax, fractal geometry.*

## 1. Giriş

Kentsel mekândaki kamusal alanları inceleyen araştırmacılar bu alanların yaşanabilir ve canlı mekânlar haline dönüşmesini amaçlayan çalışmalar yapmışlardır (Jacobs, 1961; Alexander, vd., 1977; Lynch, 1960; Whyte, 1980; Carmona vd., 2003; Gehl, 2011). Sosyal ilişkileri arttıran ve kentsel canlılığa katkıda bulunan mekânların yapısı ile kullanıcıların davranış biçimleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir (Krier, 1979; Hillier, vd., 1984; Montgomery, 1998; Carmona, 2003; Gehl, 2011). Başarılı kentsel mekânların önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilen sokaklardaki canlılık hakkındaki çoğu araştırma (Jacobs, 1961; Maas, 1984; Krier, 1992, Hillier, 1996, Ewing, 2006), yürüme aktivitesine dayalı canlılığı incelemiş ve teoriler geliştirmişlerdir. Gündelik hayatta, sokaklardaki canlılığı sağlayan sadece yürüyen ve hareket eden insanlar değildir. Sokaklar oturma, yeme-içme, arkadaşlar ile buluşma gibi statik aktiviteler içinde mekânlar üretir. Araştırmacılar, sokaklarda canlılık yaratan statik aktiviteleri ayakta durma, toplantı, oturma, görme, işitme ve konuşma gibi faaliyetler olarak tanımlamışlardır (Whyte, 1980; Mehta, 2009; Mahdzar, 2012; Gehl 2011, 2019; Gürer, vd., 2017). Statik aktivitelerin yer aldığı sokaklarda bu tür mekanlar çiçeklik, tabela, tente vb. gibi sınır öğeleri ile çevrili (Hassan, vd., 2019; Gehl, 2019), geçirimsiz cephelerin (Ataol, 2013; Van Nes, vd., 2021 önünde ve ticari işletmelerin bölgelerini kişiselleştirerek tanımladığı (Ewing, 2006; Farahani, vd., 2015) alanlarda yer alır. Statik aktivite mekanlarının sahip olduğu bu karakteristik özellikler sınır kavramını işaret etmektedir. Statik aktivite dokuları ile ilgili literatürde yer alan araştırmalar bu alanların mekânsal özelliklerini gözlemlere dayanan bulgular ile değerlendirmiştir. Kentsel mekânda canlılığa katkı sağlayan statik aktivitelerin yer aldığı mekanlar ile ilgili sayısal ölçümlere dayanan bir modele gereksinim bulunmaktadır.

Morfolojik, algısal ve fonksiyonel sınır faktörlerinin, statik aktivite düzeyleri üzerindeki etkilerini tespit etmenin amaçlandığı bu çalışmada, kentsel mekânın statik aktivite dokularıyla yapı ölçeğindeki ilişkisini kavrayarak sayısal bir model oluşturmak mümkün olacaktır. Statik aktivite alanlarının kentsel tasarımla kontrol edilebilmesine olanak sağlayan ve sayısal yöntemlerin kullanıldığı model, sosyal ilişkileri güçlendiren statik aktivite mekânlarına yönelik önerilerin iyileştirilmesine imkân sağlayacaktır. Sınır ile mekân ilişkisini kurgulayan bu modelin, sokaklardaki kamusal ve ticari oturma alanlarına duyulan ihtiyaca cevap verebilecek, kaliteli statik aktivite mekânlarının tasarlanmasında kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 2. Kavramsal Çerçeve

### 2.1. Statik Aktivite

Kentsel alanlarda canlılığı oluşturan insan davranışları; yürüme, ayakta durma, oturma, görme, işitme ve konuşma olarak sınıflandırılabilir. Statik aktiviteleri içeren en önemli davranış biçimi oturma eylemidir (Mehta, 2009; Mahdzar, 2012, Gehl, 2019).

Christopher Alexander ve arkadaşlarına göre (1977), en insani şehirler statik aktiviteleri oluşturan sokak kafeler ile doludur. İnsanlar, parklarda, meydanlarda, gezinti caddeleri boyunca ve sokak kafelerde oturarak sosyalleşmekten keyif alırlar. Statik aktivite mekanlarının kendine has nitelikleri vardır bunlardan insanların kentsel alanda saatlerce oturabilmesine olanak sağlamalarıdır. Montgomery (1998), kentsel mekânın başarı göstergeleri arasında sıcak ve samimi oturulabilir mekânlar, gayri resmi, gündelik toplantıların gerçekleşmesi için alanlarla fırsatlar olması gerektiğini söyleyerek statik aktivitenin canlılığa katkısını belirtmiştir. Ayrıca oturmak ve beklemek için konforlu yerlerin olmasının kente değer katacağını öne sürmüştür. Mehta (2006, 2009), statik aktivite alanlarını sosyal, güvenlik ve alan kullanımı niteliklerine incelemiş ve statik aktiviteleri canlılığı etkileyen önemli bir bileşen olarak tanımlamıştır.

Mekânsal düzenlemelerde, banklar, sandalyeler ve büyük merdivenler, duvar önleri gibi mekânsal sınırlar boyunca düzenlemiş oturma alanlarının kullanıcılar tarafından tercih edilirler (Shaftoe, 2008). Shaftoe, insanların sesler olmadan konuşabilmeleri ve dinleyebilmeleri gerektiğini söyleyerek, statik aktivite alanlarında sosyal etkileşimde bulunan kişilerin sessiz ve sakin kuytu ortamlara ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Mahdzar (2012), statik aktivitelerin, sokakların sosyal ve mekânsal işlevlerinin başarısını göstererek etkili bir değişken olduğunu belirttiği araştırmasında entegrasyonu düşük sokakların statik aktiviteler için daha fazla kullanıldığını öne sürmüştür. Bu tür aktiviteler kent hayatının vazgeçilmez etkinliklerinden biri olarak canlılığa katkıda bulunurlar. Sokak canlılığını teşvik eden statik aktivitelerin gerçekleştiği kaldırım kafeleri mekânlarındaki fiziksel öğelerin iyileştirilmesi kentsel mekânda canlılığa katkı sağlar (Mehta, 2009; Farahani, vd., 2015). Jan Gehl (2019)' e göre, açık alanların kalitesini ve kullanımını iyileştirmek için insanlara daha fazla sayıda ve daha nitelikli oturma alanı sunulmalıdır. Statik aktiviteyi tercihe bağlı etkinlikler kategorisinde değerlendiren yazar, kent kalitesinin arttırılmasında bu etkinliklerin önemli bir işlevi olduğunu söylemiştir. Hassan ve arkadaşlarının (2019), yaptığı statik aktivite mekanları ile ilgili araştırmada zemin kat cephelerinin ve fonksiyonların çeşitliliğinin sokakta kalma sürelerini etkileyerek sosyal ilişkileri destekleyerek ekonomik kazanım sağlayacağını öne sürmüştür.

### Sınır Faktörleri

Mimari tasarımla ve kentsel planlamada mekânı oluşturmak, tanımlamak için çizgi ile ifade edilen sınır kavramı, toplumsal hayatın yer aldığı sokaklarda ilişkileri kurgulayan ve özgün mekanlar yaratarak sosyal iletişimi destekleyen bir olgu olarak karşımıza çıkar. Sokaklardaki yapılı çevrenin oluşturduğu morfolojik, algısal ve fonksiyonel sınır faktörleri ölçülebilir nitelikleri ile insan davranışını etkiler (Shultz, 1971; Alexander, 1977; Carmona, 2007, Mahdzar, 2012).

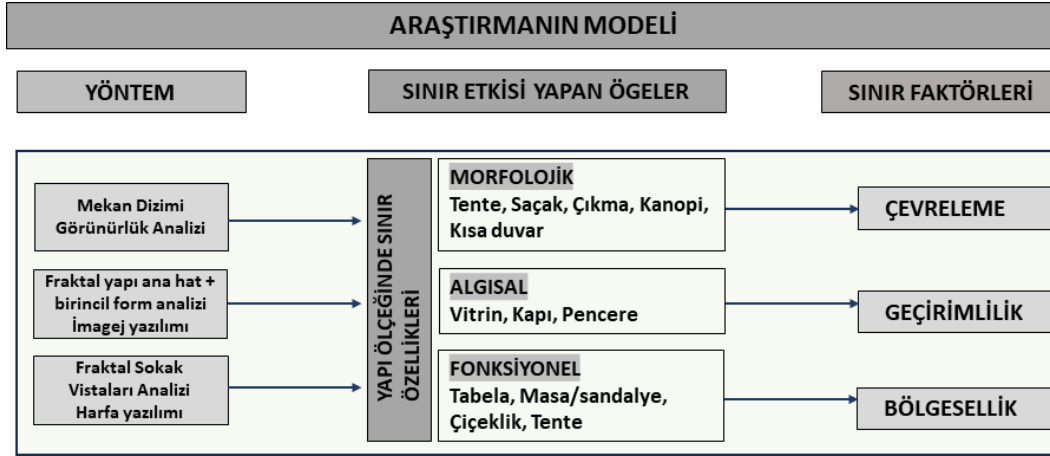
Çevreleme duygusu, sokaklarda insanların varlığını çekmeye yardımcı olan önemli bir konudur ve bunu sağlayan öğeler duvarlar, tenteler, çitler, çiçeklikler, saçaklar, kanopiler gibi ölçülebilir elemanlardır. Çevreleme faktörü, sokaklarda ki statik aktivite mekânlarında kapalı alan algısını güçlendirerek, insanlarda güven duygusu oluşturan morfolojik bir özelliktir (Mehta, 2006; Ewing, 2006; Gehl, 2011, 2019; Farahani, vd., 2015). Sokaklardaki yapılı çevrenin algısal sınır oluşturan özelliklerinden birisi de geçirimsizliktir. Yapı ölçeğinde, geçirimsizlik faktörü sokak ve yapı arasında ilişki kuran yapı elemanlarının özellikleri ile ilgilidir. Duvarlardaki kapı, pencere, vitrin gibi öğeler ölçülebilir nitelikleri ile geçirimsizliği etkiler (Ewing, 2006; Ataol, 2013; Yang, 2020). Geçişlerin ve pencerelerin cephelere yerleştiriliş biçiminin, bir sokağın her iki tarafı için birbirleriyle olan ilişkilerini, sosyal kontrol, doğal gözetim, güvenlik algısını ve sokak ömrü hakkındaki olasılıkları oluşturur (Van Nes vd., 2021). Bölgeselleştirme, kişisel bir kimlik elde etmeyi veya bir bölgeyi işaretlemeyi amaçlayan bir unsur olarak sokaklarda yer alan dükkânlarda kendini gösterir ve kişiselleştirme tanımı ile de literatürde yer alır (Mehta, 2006; Carmona, vd., 2003; Farahani, vd., 2015). Sokakların zemin katlarında yer alan dükkânlar, çeşitliliklerine göre sınır etkisi yapan yapı elemanlarına sahiptir bu öğeler mekânlara ait fonksiyonları tanımlar ve bölgesel bir nitelik kazandırır. Tente, kısa duvar, saçak, çiçek kutuları, tabelalar hatta farklı renklerdeki masa ve sandalyeler statik aktivitelerin yer aldığı sokaklarda, bölgesellik özelliğine bağlı olarak sınır etkisi yaratır (Alexander, 1977; Hassan, vd., 2019).

### 3. Yöntem ve Bulgular

Bu araştırmada statik aktivitelerin yer aldığı Balıkesir kent merkezinde yer alan Aygıt Sokak çalışma alanı olarak seçilmiştir. Sokağın kent merkezi girişlerine yakınlığı, statik aktiviteler için kullanılması ve taşıt trafiğine kapalı yaya sokağı olması bu alanın seçilmesine neden olmuştur.

Bu çalışmanın amacı, statik aktivite için kullanılan dokuların oluşmasına neden olan morfolojik, algısal, fonksiyonel sınır faktörlerini ölçen bir model oluşturmaktır. Böylece kentsel mekânda canlılığa katkı sağlayan statik aktiviteler ile mekânsal strüktür arasında bir ilişki kurmak mümkün olacaktır. Kentsel tasarıma mimari bakış açısı ile oluşturulan sayısal modelde sınır etkisi oluşturan morfolojik (çevreleme),

algısal (geçirimsizlik) ve fonksiyonel (bölgesellik) sınır faktörlerini oluşturan yapısal ögeler mekân dizimi ve fraktal geometri yöntemleri ile analiz edilmiştir (**Şekil 1**).



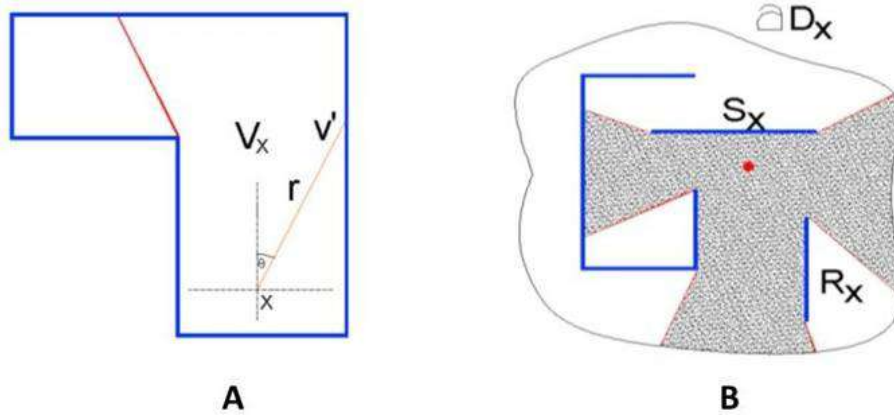
Şekil 1. Araştırma Modeli.

### 3.1. Mekân Dizimi Yöntemi

Hillier ve Hanson'a (1984) göre kullanıcı davranışlarını biçimlendiren fiziksel mekândır ve görüş alanı da kullanıcı davranışlarıyla bağlantılıdır. Bu düşünceden yola çıkılarak mekân dizimi yöntemi, fiziksel mekândan kaynaklanan görünebilirliğe dayalı davranışları açıklamaktadır. Görünürlük analizi, seçilen bir noktadan görüntü analizleri yaparak, hangi alanların daha fazla ya da daha az kullanıldığı yönünde bilgiler veren grid tabanlı bir yöntemdir. Görünür alanlar, mekânı algılayan ve mekân içinde hareketi sağlayan tekil bakış noktalarına dayanarak mekânın tanımlamasını sağlayan ve ortam hakkında sezgisel düşünme yolunu gösterirler (Turner, 2007).

Benedikt'e (1979) göre içinde bulunulan üç boyutlu ortam E ile tanımlanır ve mekandaki görülen gerçek yüzeylerin toplanmasıyla algılanabilir. Düzgün bir dışbükey sınır ile sınırlandırılmış bölge yani D' yi oluşturan noktalar, görünür yüzey olarak adlandırılan görünür ışığın dağıtılmasına neden olurlar. Ortam (görsel çevre, E) dışbükey alan içindeki gerçek yüzeylerin toplanmasıyla oluşur. Dışbükey alan içindeki her bir x noktasından, "görünür alan, Vx" oluşur. Bir görünür alan, bakış noktası gözlemcinin bütün mekân

deneyimini temsil ettiğinden büyük önem taşır. Görünür alan ölçüsü  $V_x$ , görünür alan bakış noktasına,  $x$  ve ortama,  $E$  bağlıdır (**Şekil 2-A**).

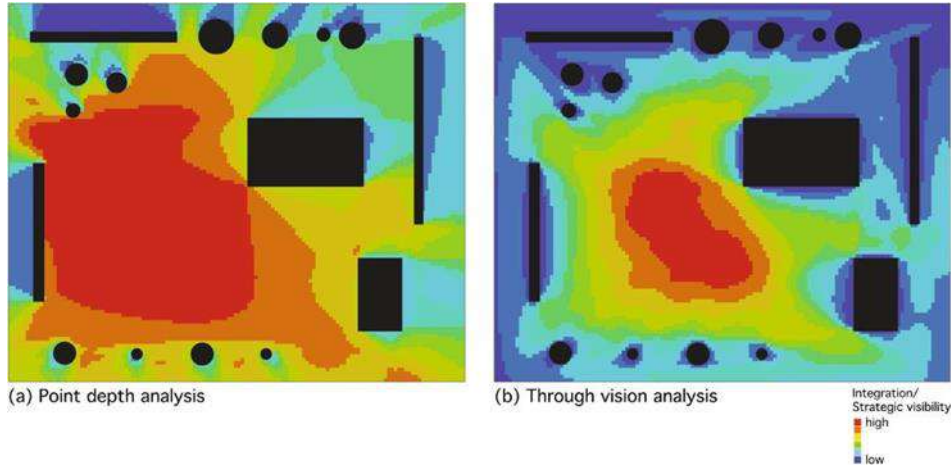


**Şekil 2. ix-** Radyal Uzunluğuna Göre Görünür Alan Tanımlaması (A) ve Görünür Alan bileşenleri (B) (Dağ, 2005).

Bir görünür alan sınırı **Şekil 2-B'** de gösterildiği gibi üç parçaya ayrıştırılabilir: “ $S_x$ , gerçek yüzey”, “ $R_x$ , görülmeyen alan”, “ $D_x$ , bölge sınırlı yüzey”. Gözlemcinin duruşuna göre oluşan görünür alan bazen yavaşça, bazen hızla değişir. Bütün bir mekânı görmek için genellikle sonlu ve az sayıdaki görünür alanlar yeterlidir.

Görünürlük analizleri, isovist analizinin mantığı üzerine inşa edilir ve isovist bölgeleri belirli bir alanın tüm konum noktalarından (köklerinden) sisteme entegre eder. Görünürlük analizi, bir mekânın insan ölçeğini ifade eden düzenli gridlere bölünmesinden sonra (**Şekil 3**) bu gridler arasındaki görünürlük ilişkilerinin incelenmesi ile gerçekleştirilir. Görünürlük, her bir gridin sistemdeki diğer tüm gridlerle nasıl ilişkili olduğunu hesaplar. Duvarlar, çitler, ağaçlar vb. gibi engeller, çeşitli gridler arasındaki topolojik derinliğe katkıda bulunur (Turner, 2007).





Şekil 3. Park X için derinlik analizi (A) ve görünürlük analizi (B) (Van Nes, vd., 2021).

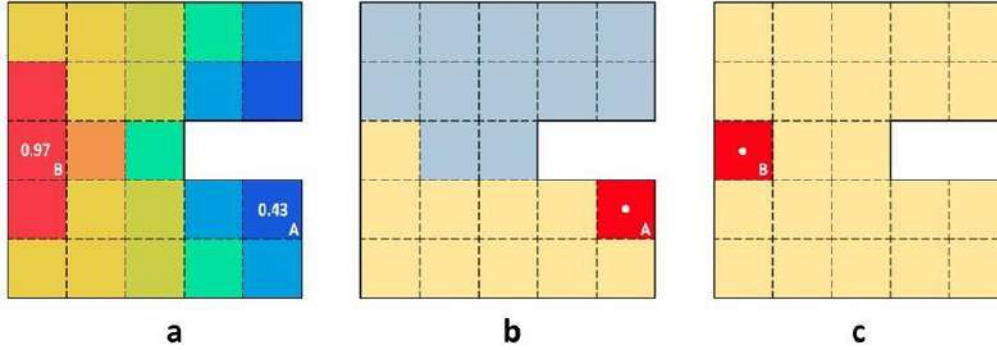
Görünürlük analizinde başlıca değerler bağlanabilirlik, derinlik, entegrasyon, kontroledilebilirlik ve kümelenmedir.

Görsel kontroledilebilirlik, bir noktanın diğer noktalar tarafından görünebilirlik derecesidir. Düşük kontroledilebilirlik, bir gridin komşularından daha dar (daha küçük) bir görölme alanına sahip olduğu anlamına gelirken, yüksek kontrol edilebilirlik, gridin ve komşularının yaklaşık aynı veya eşit görölme alanına sahip olduğu anlamına gelir (Turner, 2007; Van Nes vd., 2021).

Görsel kontrol edilebilirlik ve görsel kontrol gibi görünürlük analizi ölçümleri mekânsal araştırmalarda gözetim kavramına dair yararlı bilgiler sağlayabilir (Turner 2004). Görsel kontrol edilebilirlik, Turner (2004) tarafından bir konumun kontrol edilebilme seviyesi olarak tanımlanmıştır. Görsel kontroledilebilirlik anında görülebilen gridler ile toplam grid sayısı arasındaki oran olarak nitelenir ve buna göre aşağıdaki şekilde (1) formüle edilmiştir (Koutsolampros 2019).

$$Visual\ Controllability = c'_i = \frac{k_i}{\cup N(v_j) : v_j \in N(v_i)} \quad (1)$$

Bu metrik sistem, bir gridin yakın komşuluğunu oluşturan gridlerin görüş alanına kıyasla ne kadar görüldüğünün ölçüsünü verir, düşük kontrol edilebilirliğin olduğu gridler 0'a yakın değerler alırken, kontroledilebilirliğin yüksek olduğu gridler 1'e yakın değerler alır (**Şekil 4**).



**Şekil 4.** (a) Görsel Kontroledilebilirlik. (b) A gridi 10 gridi doğrudan ve 13 gridi komşuları aracılığıyla görebilir dolayısıyla  $10 / (10 + 13) = 0.43$ 'lük bir kontroledilebilirliğe sahiptir. (c) B gridi 22 gridin tamamını görebilir ve böylece tüm komşularını (B gridi de dahil olmak üzere) kontrol edebilir ve böylece  $22/23 = 0,97$ 'lik bir kontroledilebilirliğe sahiptir (Koutsolampros, vd., 2019, s.8).

Mekân dizimi yöntemi görünürlük analizinin kontroledilebilirlik verileri, bu çalışmada çevreleme faktörünü oluşturan zemin kat seviyesindeki tente, dikey tabela, saçak yapısal öğelerin statik aktivite mekanlarına etkisini belirlemek için kullanılmıştır.

### 3.2Fraktal Geometri

1970'lerin sonlarında Benoit Mandelbrot, doğal sistemlerin çoğunlukla farklı ölçeklerde karakteristik geometrik karmaşıklığa sahip olduğunu öne sürerek matematikte fraktal geometrinin formüle edilmesine yol açmıştır. Mimari tasarımcılar, Mandelbrot'un ilk formülasyonundan birkaç yıl sonra fraktal geometriyi kabul ederek, yapıcı çevrenin analizi için daha yaygın olarak kullanmışlardır. Fraktal boyut analizi, bir görüntü veya nesnedeki geometrik bilginin göreceli yoğunluğunu ve çeşitliliğini ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (Ostwald, vd., 2016). Mimari kurguyu incelemek için her ölçekte kütle hareketlerine, kapı-pencere boşluklarına, pencere detaylarına bakmak gerekmektedir. Mimari kurgunun fraktal karakterini incelemek için ise giriş ve bina boyunca devam eden detayların devamlılığına bakılır (Bovill, 1996).

Fraktal bir eğri için üretim sürecinin her aşaması, eğriye daha fazla uzunluk katar. Sonsuz sayıda adımla üretilen fraktal eğri, sonsuz uzunluğa sahip olacaktır. Fraktal eğrinin uzunluğunun büyüme hızı, eğrinin ayırt edici özelliğidir. Merkezi kavram, onu ölçmek için kullanılan nesnenin uzunluğunun ve boyutunun ilişkili olduğunu ifade eder. Bu ilke boyutun tanımı için de önemlidir. Matematikte belirli bir problem türüne göre birçok boyut tanımı vardır. Fraktal kavramlarını anlamak için, 3 farklı boyut türünü tanımlamak gerekir. Bunlar; kendine benzerlik boyutu (DS), ölçülen boyut (D), kutu sayım boyutudur (DB), (Bouvil, 1996).

Fraktal boyutun ölçülmesi için değişik ölçeklerde farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar;

- Izgara (Grid)
- Yarıçap kümelenmesi (Radius mass)
- Dilatasyon/Genleşme (Dilation) 4. Korelasyon/Bağıntı (Correlation)
- Gaussian Kıvrımı (Gaussian convolution)
- Kutu Kaplama/Sayma (Box-counting)
- Ağ (Network) yöntemleridir (Erdoğan, 2015).

Fraktal boyutunun hesaplanması için kullanılan kutu sayma metodu, matematiksel bir yöntem olarak mimari cephe ve planların karmaşıklığının hesaplanması ve okunmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde incelenen doku/kurgunun detay zenginliği ve tekrarları dikkate alınır (Bovill, 1996). Örnek olarak bir cephenin iki boyutlu çizimi, ızgaralara bölünerek oluşan her kare içindeki veri (cepheye dair çizgi) kontrol edilir. İçinde çizim olan kutular sayılarak not edilir. Daha sonra, mevcut ızgara düzeni aşamalı olarak küçültülerek aynı yöntem sürdürülür sonuç olarak ilk ızgaradaki dolu kutu (içerisinde çizim) sayısı ile ikinci ızgaradaki dolu kutu sayısı karşılaştırılır (Ostwald, vd., 2016). Bu karşılaştırma formül (2) yardımıyla yapılır ve her çevrimdeki fraktal değer hesaplanır. Farklı ölçeklerdeki ızgaralarla bu yöntem uygulanarak elde edilen fraktal boyut birbirine yaklaştığında uygulama sonlandırılır.

$$D = \frac{\log(x) - \log(y)}{\log(z) - \log(q)} \quad (2)$$

En son çevrimde elde edilen veri cephenin fraktal boyutu olarak kabul edilir. Bu yöntem sonucunda elde edilen değer her zaman için 1 ve 2 arasındadır. Değerin 1'e yaklaşması analizi yapılan kurgunun yalın, sade ve Öklid geometrisine dayanan bir yapıya sahip olduğuna, 2'ye yaklaşması ise incelenen kurgunun karmaşık, düzensiz ve parçalanmış özelliklere sahip olduğunu gösterir. Minimalist olarak değerlendirilen tasarım yaklaşımlarında bu değer sadeliğin temsili olarak 1'e yakın çıkmaktadır (Kanatlar, 2012). Bu çalışmada zemin kat sokak cephelerinde geçirgenliği oluşturan pencere, vitrin kapı gibi öğeler bu yöntem ile ölçülmüş ve

geçirimsizlik faktörünün statik aktivite mekanlarına etkisi belirlenmiştir.

Sokak Vistalarına ait görüntülerdeki çeşitlilik, karmaşıklık, yapısal ögeler fraktal geometri kutu sayma yöntemi ile farklı yazılımlar ile değerlendirilir. Çalışmada, fraktal boyut kutu sayma yöntemi ile elde edilmiş ve ölçümler "Harmonic and Fractal Image Analysis 5.5" (HarFA) programında gerçekleştirilmiştir. Fraktal boyut (D), fraktal boyutun ne kadar büyük olduğunu gösteren istatistiksel bir niceliktir. Kutu sayımı, fraktal boyutun belirlenmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. HarFA yazılımında, belirli bir nesneyi içeren 3 boyutlu uzayda kutularına bölünüp bölünmediğini dikkate alarak belirli büyüklükte ögeyi kaç kutunun doldurabileceğini hesaplayan bir formül kullanılır (3)

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(N_r)}{\log(1/r)}$$

(3)

Kutu boyutuna karar vermek için (3)'deki r oranını kullanan kutu sayma yönteminin görevi, nesneyi oluşturmak için gereken toplam kutu sayısını (yani (3)'deki Nr) saymaktır. Daha sonra farklı ölçeklendirme oranı r için Nr sayıldığında, (3)'deki D'nin fraktal boyutu log (Nr) ile log (1/r)' nin en küçük kare doğrusal uyumundan tahmin edilebilir (Akbarishahabi & Tekel, 2017).

Bu çalışmada 13 sokak kesitindeki bölgesellik faktörünü etkileyen ve zemin kat seviyesinde yer alan yazılı tabela, masa/sandalye alanları, farklı duvar dokuları vb. yapısal ögeler HarFA yazılımı ile ölçülmüştür.

### 3.3. Yapı Ölçeğindeki Sınır Faktörlerinin Statik Aktivite Dokularına Etkisi

Balıkesir kent merkezinde yer alan statik aktivitelerin gerçekleştiği Aygıt sokak çalışma alanı olarak seçilmiştir. Sokağın kent merkezi girişlerine yakınlığı, statik aktiviteler için kullanılması ve taşıt trafiğine kapalı yaya sokağı olması bu alanın seçilmesine neden olmuştur.

Aygıt Sokak'ta çevreleme faktörünü oluşturan tente, dikey tabela, saçak gibi sınır ögelerini ölçmek için mekân dizimi Depthmap yazılımında üretilen görünürlük analizinin kontroledilebilirlik verilerinden faydalanılmıştır. Geçirimsizlik faktörünü oluşturan cephelerdeki kapı, vitrin, pencere gibi yüzeylerin geçirgenlik düzeyleri fraktal yapıyı oluşturan ana hat + birincil form (Topbaş, 2022) temsil biçimi göz önüne alınarak Imagej yazılımının Db verileri ile saptanmıştır. Bölgesellik faktörünü oluşturan yazılı tabelalar, tenteler, saçaklar, masa/sandalyeler, farklı duvar dokuları sokak kesitleri üzerinden fraktal yapıyı ölçmede kullanılan Harfa yazılımı D verileri ile değerlendirilmiştir.

Balıkesir kent merkezinde sokaklardan Aygıt Sokak, Milli Kuvvetler Caddesinden girişi olan, tüm gün ve hafta içi ve hafta sonu ziyaretçilerin yeme-içme, buluşma, sosyal ilişki gibi statik aktivitelerde bulunduğu sokaklardan biridir (**Şekil 5**). Sokakta, 7 adet, bina bulunmaktadır. Sokakta yer alan dükkânlar, küçük yerel işletmelerdir. Yapıların cepheleri bakımsız olmakla birlikte statik aktivite mekânları, koydukları dikey-yatay tabelalar, tenteler, kullandıkları sağır duvarlar, farklı masa ve sandalyeler ile sokaktaki sınırlarını çevrelerler.

Aygıt Sokak'taki cephelerde bulunan 7 adet kapı ile 8 adet vitrin, bu alanda, sokak ve cephe ilişkisini kurgulayan unsurlardır. Kapılardan 3 adeti konut girişi, 4 adeti dükkân girişidir. Vitrinler kafe, çayevi ve berber, lokanta fonksiyonlarına aittir. Sokak uzunluğu iki cephe olarak, toplam, 66 metredir ve bu alandaki vitrin uzunlukları toplamı 17 metre, dolu duvar uzunluğu ise 49 metredir. Aygıt Sokak cephelerindeki geçirgen yüzey oranı, yüzde 26, olarak bulunmuştur. Sokak cephelerinin yüzde 74'ü, duvar elemanıdır.

Aygıt Sokak'ta bulunan duvarların farklı dokular, renkler, malzemeler ile kaplanması mekânların tanımlanması ve kişiselleştirilmesine katkıda bulunur. Ayrıca sokaktaki oturma alanları, kafe ve çayevine ait farklı renk ve boylarda masalar, sandalyeler ile belirlenmiş, isim yazılı tenteler, tabelalar mekanların kişiselleştirilmesinde rol oynamıştır.

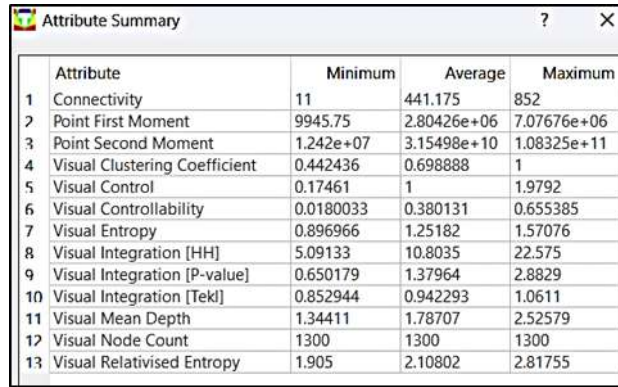


**Şekil 5.** Aygıt sokak fotoğrafları (Fotoğraflar: Yazar Arşivinden).

Çalışmada, insan boyutu göz önüne alınarak sınır etkisi oluşturan morfolojik, algısal ve fonksiyonel sınır etkisi oluşturan yapı öğeleri zemin kat yüksekliği çerçevesinde değerlendirilmiştir.

### Çevreleme faktörü bulguları

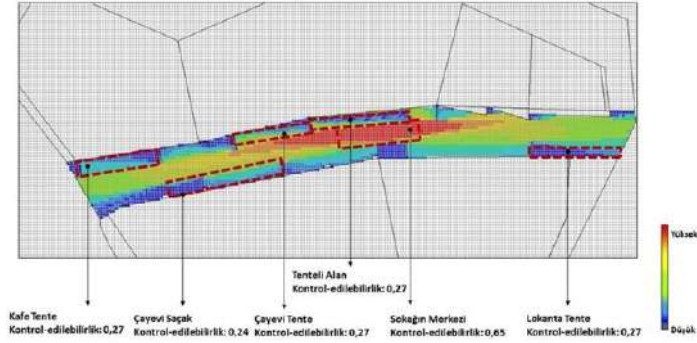
Aygıt Sokak' ta yer alan statik aktivite mekânları tente, saça, dikey tabela gibi unsurlar ile çevrilidir. Bu tür morfolojik yapısal öğeler çevreleme faktörünü oluşturur. Çalışmada, zemin kattaki göz hizasında engel oluşturabilecek bu tür öğeler Autocad programında çizilmiş daha sonra Depthmap yazılımında analiz edilmiştir. Analizlerde kırmızıdan koyu maviye doğru değişen bir renk skalası bulunmaktadır. Kırmızı kontroledilebilirliği en yüksek alanları gösterirken, koyu mavi kontroledilebilirliği en düşük gözetimden uzak bölgeleri temsil etmektedir. Aygıt Sokak' ta ortalama kontroledilebilirlik değeri 0,38 olarak bulunmuştur (Şekil 6).



Attribute	Minimum	Average	Maximum
1 Connectivity	11	441.175	852
2 Point First Moment	9945.75	2.80426e+06	7.07676e+06
3 Point Second Moment	1.242e+07	3.15498e+10	1.08325e+11
4 Visual Clustering Coefficient	0.442436	0.698888	1
5 Visual Control	0.17461	1	1.9792
6 Visual Controllability	0.0180033	0.380131	0.655385
7 Visual Entropy	0.896966	1.25182	1.57076
8 Visual Integration [HH]	5.09133	10.8035	22.575
9 Visual Integration [P-value]	0.650179	1.37964	2.8829
10 Visual Integration [Tekl]	0.852944	0.942293	1.0611
11 Visual Mean Depth	1.34411	1.78707	2.52579
12 Visual Node Count	1300	1300	1300
13 Visual Relativised Entropy	1.905	2.10802	2.81755

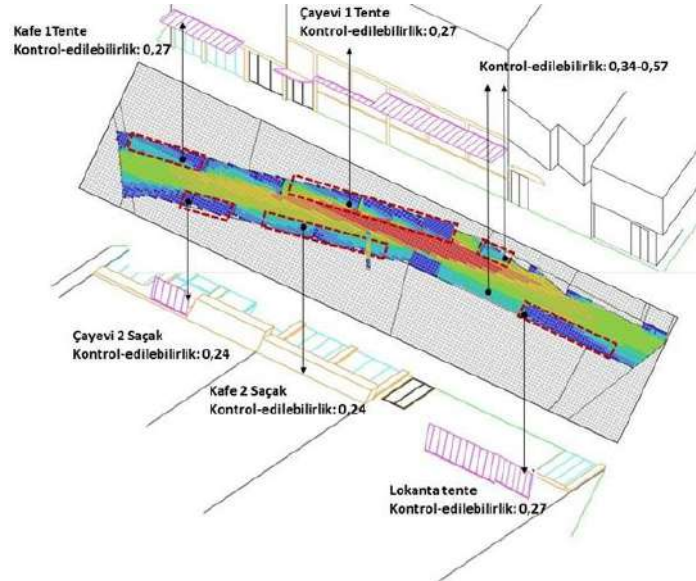
Şekil 6. Aygıt Sokak Space Syntax (Depthmap) görünürlük analizi ortalama kontroledilebilirlik değerleri.

Aygıt Sokak' ta, kontroledilebilirliği en yüksek olan bölge, 0,65 değeri ile sokağın orta alanıdır. Merkezi konumda bulunan bu alan her yönden görünebilirliği en yüksek bölgedir. Muhafaza, kuytuluk ve çevreleme özelliği içermeyen bu alan, insanların geçiş aksıdır. Sokakta, statik aktivite mekânlarının kontroledilebilirlik değerleri, kafe-1, 0,27, çayevi- 1, 0,27, kafe-2, 0,24, çayevi-2, 0,24, lokanta, 0,27 olarak belirlenmiştir (Şekil 7).




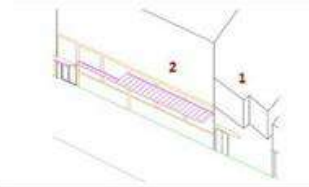

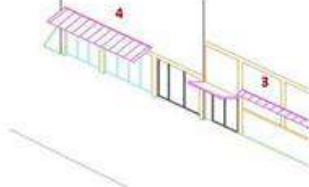

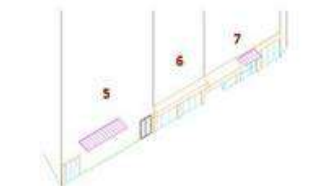
Şekil 7. Aygıt Sokak görünürlük analizi kontroledilebilirlik verileri.

Sokakta ki saçakların olduğu alanlar, saçak genişliğine bağlı olarak 0,24-0,34 aralığında değer almıştır. Tente ve saçakların altında yer alan bölgeler, sokağın ortalama kontroledilebilirlik değerlerinin, altındadır.



Şekil 8. Aygıt Sokak'ta, çevreleme faktörü öğelerinin kontroledilebilirlik değerlerine etkisi.

Kontroledilebilirliği düşük, yapı elemanları ile çevrelenen bu alanlar kuytuluk, kapalılık ve muhafaza içerir. Bu alanlar ziyaretçilerin vakit geçirdiği, masa ve sandalyelerin yer aldığı statik aktivite dokularını oluşturur. Aygıt Sokak'taki, statik aktivite mekânlarının, kontroledilebilirlik verilerinin düşük olduğu bölgelerde yer aldığı belirlenmiştir (**Şekil 8**).

<b>AYGIT SOKAK ÇEVRELEME FAKTÖRÜNÜ OLUŞTURAN SINIR ÖGELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ</b>			
Statik aktivite bölgeleri	Sokak Fotoğrafı	Çevreleme etkisi oluşturan sınır ögeleri (Girintiler, saçaklar, tabelalar, terteler, çiçeklikler, vb.)	Space Syntax Görünürlük Analizi kontroledilebilirlik değerleri
Statik aktivite 1,2			1=0,34 2=0,27
Statik aktivite 3,4			3=0,27 4=0,27
Statik aktivite 5,6			5=0,27 6=0,24 7=0,26

**Şekil 9.** Aygıt sokak çevreleme faktörü bulguları.

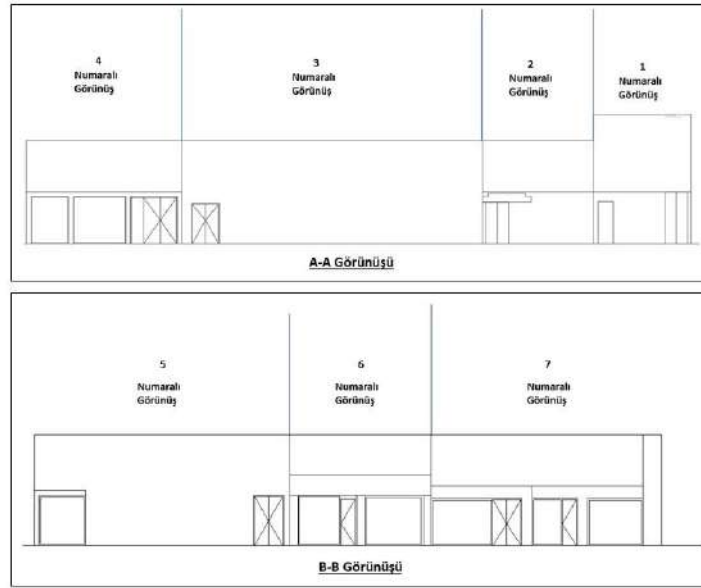
Sınır etkisi oluşturan çevreleme faktörünün oluşturduğu, düşük kontroledilebilirlik değeri, statik aktivite alanlarının oluşumunu etkilemiştir. Çevreleme faktörünü oluşturan yapısal ögeler oturma alanlarını çevreleyerek statik aktivite dokularının meydana gelmesini desteklemiştir (**Şekil 9**). Statik aktivite mekanları gözetimden uzak, muhafaza içeren ve kontroledilebilirliği düşük alanlarda yer almıştır.



### Geçirimsizlik faktörü bulguları





Yapı ölçeğinde geçirimsizlik faktörü, cephelerdeki vitrin, kapı, pencere gibi sınır öğeleri ile ilgilidir, geçirimsizlik düzeyi ne kadar düşükse sınır etkisi o kadar yüksek olur. Aygıt Sokak, geçirimsizlik faktörünün belirlenmesi için, statik aktivite mekânlarının bulunduğu binaların zemin kat cephelerinde ki vitrin, kapı girişleri ve geçiş yüzeyler ölçülerek çizilmiş ve imajej yazılımında analiz edilmiştir (**Şekil 10**).

Yapılan çizimlerde cepheler yapı birimlerine göre numaralandırılmıştır.






**Şekil 10.** Aygıt Sokak zemin kat cepheleri (Yazar).

Aygıt Sokak'ta ki yapıların zemin kat cephe çizimlerine uygulanan fraktal analizde, Frac-lab eklentisinden gridler ve piksel sayıları her görüntüde eşit olacak şekilde ayarlanmış ve veriler elde edilmiştir. Db değerleri, yapıların geçirimsizlik verileri olarak alınmıştır. Fraktal değer 1 ve 2 aralığında değerlendirilir. En düşük değer 1 olarak alınır, 2 ye yaklaştıkça fraktal değer büyür. Yapıların geçirimsizliği, fraktal değeri pozitif olarak etkiler. Fraktal değer, 1'e yaklaştıkça cephelerdeki geçirimsizlik artar bu durum sınır etkisi oluşturur.

Bina Cephesi	Analiz Görünümü	Db Değeri
1		1,18
2		1,16
3		1,12
4		1,29

**A-A Cephesi fraktal değerleri**

Bina Cephesi	Analiz Görünümü	Db Değeri
7		1,29
6		1,29
5		1,19

**B-B Cephesi fraktal değerleri**

**Şekil 11.** Aygıt Sokak zemin kat A-A ve B-B cephesi fraktal değerleri (Yazar).

Aygıt Sokak' ta A-A cephesinde 4 birim bina bulunmaktadır. Aygıt Sokak' ta ki, A-A görünüşündeki zemin kat cephelerine uygulanan fraktal analizde, duvar etkisi oluşturan geçirimsiz yüzeylerin hâkim olduğu cephelerin, Db değerleri 1,19, 1,16 ve 1,12 olarak bulunmuştur. A-A cephesinin son binasında, vitrin, saydam yüzeyler ve kapının yer aldığı görüntü, 1,29 değeri ile bu sokağın en yüksek fraktal verisine sahip zemin kat görünüşüdür (**Şekil 11**).

Aygıt Sokak'ın B-B görünüşünde yer alan üç binanın fraktal sonuçları; 1,29, 1,29 ve 1,19 çıkmıştır. Bu cephede yer alan binalarda vitrin ve kapı oranı A-A cephesindeki, geçirgen yüzeylere göre daha yüksektir. B-B cephesi diğer cepheye oranla geçirimliliği daha yüksek olarak belirlenmiştir (**Şekil 11**).

Geçirimliliği düşük cepheler, duvar algısı oluşturur. Bu sokakta cephelerin önünde yer alan statik aktivite alanları, fraktal bulgular ile yorumlanmıştır.

**AYGIT SOKAK GEÇİRİMLİLİK FAKTÖRÜNÜ OLUŞTURAN SINIR ÖGELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ**

Statik aktivite bölgeleri	Sokak Fotoğrafı	Geçirimsizlik etkisi oluşturan sınır öğeleri (Saydam bölmeler, Yarı saydam duvarlar, duvarlar vb.)	Fraktal Analiz değerleri
A-A cephe 1,2			1=1,18 2=1,16
A-A cephe 3,4			3=1,12 4=1,29
B-B cephe 5,6			5=1,19 6=1,29
B-B cephe 7			7=1,29

**Şekil 12.** Aygıt Sokak, A-A ve B-B cephesi geçirimsizlik faktörü ve statik aktivite mekanları.

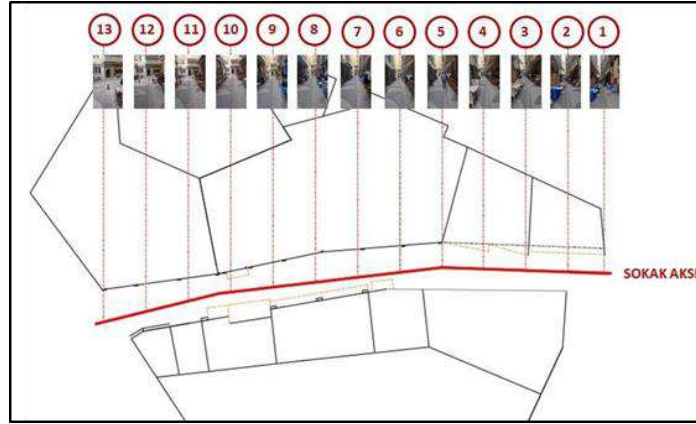
Aygıt Sokak' ta A-A cephesinde yer alan 3 numaralı birim 1,12 fraktal değerine bağlı olarak geçirimsizliği en düşük olan alandır buna bağlı olarak ta statik aktiviteler için en çok kullanılan, masa ve sandalyelerin en fazla olduğu mekân olarak belirlenmiştir. B-B cephesinde yer alan 5 numaralı birim 1,19 olan fraktal değeri en düşük 2. alan olarak saptanmıştır. 5 numaralı birimin önünde statik aktivite dokularını oluşturan masa/sandalye alanları, sokağın en yoğun olduğu 2. bölümü olarak saptanmıştır (**Şekil 12**). Sonuç olarak geçirimsizliği düşük cephe statik aktivite dokularının oluşmasında etkili olmuştur.

**Bölgesellik faktörü bulguları**

Bölgeselleştirme, kendine özgü bir kimlik elde etmeyi veya bir bölgenin tanımlanmasını amaçlayan bir kavram olarak, sokaklarda yer alan dükkânlarda kendini gösterir ve kişiselleştirme tanımı ile de literatürde yer alır. Aygıt Sokak'ta statik aktivite alanları, sokak alanına homojen dağılmış biçimde yer alır. Statik aktivite mekânlarına hizmet veren dükkânlar, sokağın farklı bölümlerini kullanırken, kişiselleştirme öğelerinden faydalanırlar. Örneğin bir kafe, karşı cephede bulunan duvar alanının önünü statik aktivite mekânı olarak kullanırken, bu duvarı farklı renklerde ve dokularda kaplayarak, bölgelerini tanımlarlar. Aygıt Sokak'ın dar olması nedeni ile peyzaj elemanlarından ziyade dikey tabelalar, logolar, masa ve sandalyelerin renkleri ait

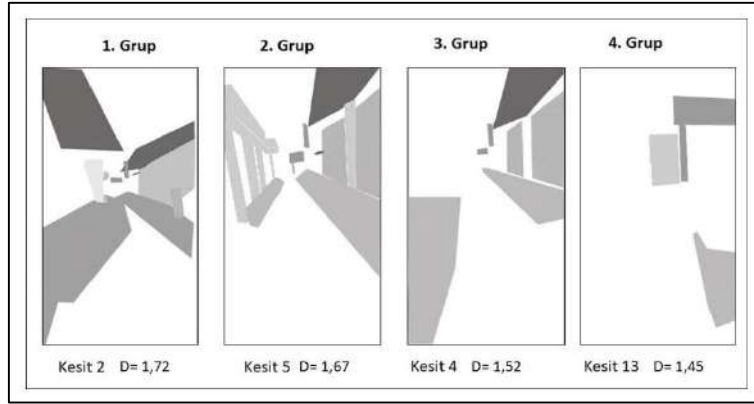
oldukları statik aktivite mekânlarını tanımlayarak sınır etkisi oluştururlar. Tentelerde, farklı renk ve biçimleri ile hizmet birimlerinin farklılığını simgelerler.

Fraktal Analiz için Aygıt Sokak'tan, 3 metre aralıklar ile göz hizasında çekilen, 13 adet fotoğraftan yararlanılmıştır. Fotoğraflar günün aynı saatinde, göz hizasında ve dikey olarak çekilmiştir (**Şekil 13**). Gri görüntüye çevrilen ve küçültülen fotoğraflar, binary formatına çevrilerek, Harfa yazılımında analiz edilmiş, D, değerini simgeleyen, BW verileri fraktal bulgu olarak kullanılmıştır.



Şekil 13. Aygıt Sokak, fotoğraf çekim noktaları (Yazar).

Aygıt Sokak'ta uygulanan fraktal analiz sonuçlarına göre incelenen kesitler fraktal değerlerine göre 4 gruba ayrılmıştır. Fraktal bulguları, 1,72 ve 1,45, arasında değişen değerlere sahip olan bu kesitlerin sahip oldukları bölgesellik etkisi oluşturan sınır elemanlarının yoğunlukları arasındaki fark dikkat çekicidir. Özellikle iki uç değer kesiti olan 1,72 ve 1,45, değerlerindeki kesitler arasındaki bölgesellik faktörünü oluşturan öğelerin çeşitlilik ve yoğunluk farkı fraktal değeri etkilemiştir (**Şekil 14**). Bölgesellik etkisi oluşturan sınır öğeleri arttıkça fraktal değerinde artmıştır.



Şekil 14. Aygıt Sokak, fotoğraf çekim noktaları (Yazar).

**AYGIT SOKAK BÖLGESELLİK FAKTÖRÜNÜ OLUŞTURAN SINIR ÖGELERİNİN DOKU DEĞERLENDİRMESİ**

Grup Numarası	Sokak Fotoğrafı	Bölgesellik etkisi oluşturan sınır öğeleri (tente, farklı duvar dokusu, masa alanları)	Sınır öğelerinin kapladığı doku alanı (Imagej ölçümü)	Fraktal Analiz Sonucu
1			<ul style="list-style-type: none"><li>→42043 tente</li><li>→16948 duvar doku</li><li>→1849 tabela</li><li>→81015 masa</li></ul> <p>Toplam doku: 141855</p>	1,72
2			<ul style="list-style-type: none"><li>→29582 tente</li><li>→27839 duvar doku</li><li>→24352 tabela</li><li>→28678 masa</li></ul> <p>Toplam doku: 110451</p>	1,67
3			<ul style="list-style-type: none"><li>→1708 tente</li><li>→22237 duvar doku</li><li>→21230 tabela</li><li>→25400 masa</li></ul> <p>Toplam doku: 70575</p>	1,52
4			<ul style="list-style-type: none"><li>→16524 tabela</li><li>→13245 masa</li></ul> <p>Toplam doku: 29769</p>	1,45

Şekil 15. Aygıt Sokak bölgesellik faktörü bulguları.

Bölgesellik faktörünü oluşturan yazılı tabelalar, renkli masa/sandalyeler, farklı duvar dokuları, dikey düşey elemanlar gibi yapısal öğeler statik aktivite dokularının oluşumunu desteklemiştir (**Şekil 15**).

Morfolojik, algısal ve fonksiyonel sınır faktörlerini mekân dizimi ve fraktal yöntem ile inceleyen bu araştırmada bu faktörlerin kentsel mekânda canlılığı etkileyen statik aktivite dokularına etkisi kanıtlanmıştır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gündelik hayatta, buluşma ve zaman geçirme mekânı olarak kullanılan sokaklar, canlılığı meydana getiren bileşenlerden biri olarak kent merkezlerinin kullanımını etkiler. Sosyal etkileşimi destekleyen, statik aktiviteler, bireylerin görerek, konuşarak, işiterek gerçekleştirdikleri eylemleridir. Değişen sosyal yapı ve gereksinimler bireylerin statik aktivite mekânlarını çalışma, toplantı gibi etkinlikler içinde uzun süreli kullanmalarına neden olur. Toplumdaki farklı kesimleri birleştiren kent merkezlerindeki sokaklar, sunduğu çeşitlilik ile bireyler için çekim noktası oluştururken görsel ve işitsel olarak gerçekleşen statik aktiviteler içinde mekânlar üretir. Bu mekânlar, insanların ihtiyaç duyduğu muhafazalı, gözetimden uzak, sessiz, sakin, korunaklı, fazla hareketten izole edilmiş ve kişiselleştirilmiş alanlardır. Araştırmanın başında statik aktivite dokularının meydana gelmesinde etkili olduğu gözlemlenen, yapı ölçeğindeki morfolojik, algısal ve fonksiyonel sınır faktörlerinin ölçülmesi amacı ile sayısal tekniklerden oluşan bir model üretilmiştir. Bu şekilde statik aktivite dokularının mekânsal sınır kavramı ile ilişkisini üç farklı yaklaşım ile anlayabilmek mümkün olacaktır.

Çalışmanın sonucunda sentaktik ve fraktal veriler ile ölçülen sınır faktörlerinin statik aktivite alanlarının oluşumunda etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada kullanılan sentaktik ve fraktal yöntemler, kullanım biçimleri ile de literatüre katkı sunacaktır. Daha önceki statik aktivite mekanlarına ilişkin araştırmalarda gözlemlere dayalı olarak incelenen mekânsal özellikler bu çalışmada sınır olgusu kapsamında birleştirilmiş ve sayısal araçlarla tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Kentsel tasarım sadece şehir ölçeğinde değil yapı ölçeğinde de yerel yönetimlerce farklı biçimlerde ele alınan bir konudur. Sınır faktörlerine dayalı oluşturulan sayısal modelin sadece ticari değil kamusal statik aktivite mekanlarının tasarlanmasında bir altlık olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Çalışma Balıkesir özelinde Aygıt Sokak' ta yapılan incelemeler ile sınırlı kalsa da bu tip etkinlik sokaklarına farklı kent merkezlerinde de sıklıkla rastlamak mümkündür. İlerleyen dönemde yapılacak araştırmalar ile bu model geliştirilerek farklı kentlerde daha çok sayıda statik aktivite dokuları üzerinde denenebilir ve kültürel yapı ile de ilişkilendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Akbarishahabi, L. & Tekel, A. (2017). *Fractal Analysis Of Street Physical Characteristics: The Development Of A Practical Tool For Improving Visual Quality In Street Scenes*, In Koleva, I., Yüksel, Ü., D., Benaabidate, L., ECOLOGY, PLANNING and DESIGN (24, pp.316).
- Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I. & Angel, S. (1977). *A Pattern Language-Towns, Buildings*. Construction. Oxford University Press.
- Ataol, Ö., (2013). *İstinye’de Sosyal ve Mekânsal Açından Sınır İncelemesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 335783).
- Benedikt, M. L., 1979, To Take Hold of Space: Isovist and Isovist fields. *Environment and Planning*, B volume 6, 47-65. Bovill, C. (1996). *Fractal geometry in architecture and design*. Boston: Birkhauser Verlag.
- Carmona, M., Heath, T., Oc, T. & Tiesdell, S. (2003). *Public places, urban spaces*. The Architectural Press.
- Carmona, M., Tiesdell, S., (2007). *Urban Design Reader*. Architectural Press is an imprint of Elsevier.
- Erdoğan, G. (2015). *Kent Makroformlarının Mekânı Kullanma Verimliliklerinin Fraktal Boyut ile İncelenmesi* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 410525).
- Ewing, R. and Handy, S., (2006). Measuring the unmeasurable: urban design qualities related to walkability. *Journal of Urban Design*, 14(1), s. 65-68.
- Farahani, M., L., Beynon. D., (2015). Pavement cafes as the activity zone in the social life of neighbourhood centres, Living and Learning: Research for a Better Built Environment, *49th International Conference of the Architectural Science Association*, 13, s.193–202.
- Gehl, J. & Svarre. B. (2013). *How to Study Public Life*. Island Press. Gehl, J. (2011). *Life Between Buildings*. Island Press.
- Gehl, J., (2019). *İnsan İçin Kentler*. (Çev. Erten, E.), Koç Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Gürer, N., Güzel, İ., B. & Kavak, İ. (2017). Evaluation on Living Public Spaces and Their Qualities – Case Study from Ankara Konur,
- Karanfil and Yüksel Streets, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 245(7), 1-13.
- Hassan, M., D., Moustafa, M., Y., El-fiki, M., S., (2019). Ground-floor façade design and staying activity patterns on the sidewalk:  
A case study in the Korba area of Heliopolis, Cairo, *Egypt, Ain Shams Engineering Journal*, 10, 453-461.
- Hillier, B. & Hanson, J. (1984). *The Social Logic Of Space*. Cambridge University.
- Jacobs, J. (2011). Yenilenmiş baskı, *Büyük Amerikan Şehirlerinin Ölümü ve Yaşamı*. (Çev. Doğan, B.), Metis Yayınları, (Orijinal Yayın Tarihi, 1961).
- Hillier, B., (1996). *Space is the machine*. Press Syndicate of the University of Cambridge, London.
- Kanatlar, Z., 2012, Fraktal Boyuta Dayalı Mimari Bir Analiz: Sedat Hakkı Eldem ve Konut Mimarisi, (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 322495).

- Koutsolampros, P., Sailer, K., Varoudis T., Haslem R. (2019) 'Dissecting Visibility Graph Analysis: The Metrics and Their Role in Understanding Workplace Human Behaviour', *Proceedings of the 12th International Space Syntax Symposium*, pp. 1–24.
- Krier, R., (1979). *Urban Space*. Academy Editions, London.
- Krier, R., (1992). *Elements of Architecture*. Academy Editions, London.
- Lynch, K., (2010). Yenilenmiş baskı, *Kent İmgesi*, (Çev. Başaran, İ.), Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, (Orijinal Yayın Tarihi, 1960).
- Maas, P. R. (1984). *Towards a theory of urban vitality*. Vancouver: University of British Columbia.
- Mahdzar, S., S., B., S. (2008). *Sociability vs Accessibility Urban Street Life* [Doktora tezi]. Bartlett School of Planning University College London.
- Mahdzar, S., S., S. (2012). Streets for People: Sustaining Accessible and Sociable Streets in Pasir Gudang City Centre. *Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium*, 108, 1-18.
- Mandelbrot, B. B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman. Paris.
- Mehta, V. (2006). *Lively streets: Exploring the relationship between built environment and social behavior* [Doktora Tezi]. University of Maryland.
- Mehta, V., (2009). Look closely and you will see, listen carefully and you will hear: Urban design and social interaction on streets. *Journal of Urban Design*, 14(1), s.29–64.
- Montgomery, J., (1998). Making a city: urbanity, vitality and urban design. *Journal of Urban Design*, 3(1), 93–116.
- Ostwald, M. J., Vaughan, J. (2016). *The fractal dimension of architecture*. First edition, Birkhauser Publishing, Basel, Italy, Schulz, N., (1971). *Existence, space and architecture*, Studio Vista, London.
- Shaftoe, H., (2008). *Convivial urban spaces: creating effective public places*. Earthscan.
- Topbaş, D., C., (2022). Mekânsal Dizim ve Fraktal Analiz Yöntemleriyle Mersin Ve Tarsus Evlerinin Karşılaştırılması (Yüksel Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 713418).
- Turner, A. (2004) 'Depthmap 4: A Researcher's Handbook'. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/2651/> (visited on 04/22/2023).
- Turner, A., (2007). To move through space, Lines of vision and movement, *In Proceedings Space Syntax. 6th International Symposium*, 037.
- Whyte, H.W. (1980). *The social life of small urban spaces*. Washington DC: The Conservation Foundation. View publication Van Nes, A., & Yamu, C. (2021). *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*. Springer Nature.
- Yang, X., Zhou, D., Zheng, Y., (2020). Study On The Street Interface Of The Former Nine-Country Concessions' Boundary In Tianjin, China, *ISUF 2020 Cities in the Twenty-first Century*, s.1-6.



## Yapılı Çevre için Döngüsel Ekonomi Araçları

Burcu Kismet <sup>1</sup>ID ; Birgül Çolakoğlu <sup>2</sup>ID  
<sup>1</sup>Beykoz Üniversitesi; <sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi  
<sup>1</sup>burcukismet@beykoz.edu.tr ; <sup>2</sup>colakoglumer@itu.edu.tr

### Özet

*Döngüsel Ekonomi, sürdürülebilir yapılı çevreye ulaşmak için kullanılan yeni bir iş ve tasarım modelidir. Dijital teknolojiler ile birlikte döngüsel ekonominin ve bileşenlerinin uygulanabilirliği artmaktadır. Bu bağlamda, mevcut dijital döngüsellik araçları yapılı çevre özelinde kullanım amaçlarına göre incelenmektedir: bağlantısallık, kaynak akışı, döngüsel tasarım ve mevcut bina stokları & malzemeleri için analizler. "Bağlantısallık", kentsel sistemlerin döngüsellik potansiyelini artırmaya odaklanır. "Kaynak Akışı", yapılı çevre için döngüsel fırsatları keşfetmek için olanakları değerlendirir, bunlar sosyo-kültürel ve ekonomik potansiyelleri içerir. "Döngüsel Tasarım", dirençli ve sürdürülebilir bir yapılı çevre ve alt bileşenlerini oluşturmayı amaçlar. "Mevcut Bina Stokları ve Malzemeleri için Analizler" ise yapıyı ve onu oluşturan bileşenlerini analiz eder. Ayrıca, bu araçlar şehir, bina ve malzeme olmak üzere üç farklı ölçekte de incelenmektedir. Bu çalışmanın önemi döngüsel ekonomi-dijitalleşme ve yapılı çevre arasındaki güçlü ve hızlı gelişen ilişkiyi vurgulamaktır. Çalışmanın diğer bir katkısı ise farklı ölçekler ve farklı amaçlarla kullanılan dijital döngüsellik araçlarını tartışmaktır.*

**Anahtar Kelimeler:** Döngüsel ekonomi, döngüsellik, döngüsel tasarım, mimari tasarım, dijital araçlar.

## Circular Economy Tools for the Built Environment

Burcu Kismet <sup>1</sup> ; Birgül Çolakoğlu <sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Beykoz University; <sup>2</sup>Istanbul Technical University

<sup>1</sup>burcukismet@beykoz.edu.tr; <sup>2</sup>colakoglumer@itu.edu.tr

### Abstract

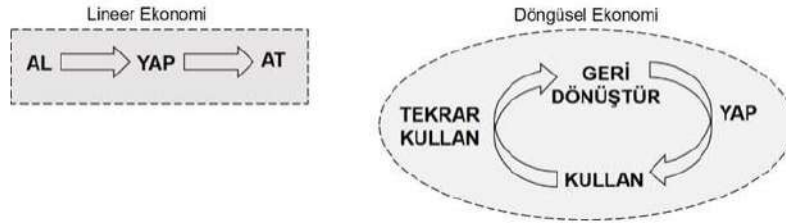
*Circular Economy (CE) is a new business and design model to achieve sustainable built environment and digital technologies enhance the applicability of CE concepts. In this regard, existing digital circularity tools within the built environment subject are examined according their usage purposes: connection, resource flows, conceptualizing circular designs and analyzes for existing building stocks and materials. "Connection" focuses on improving the circularity potential of urban systems. "Resource Flows" evaluates the enablers to discover circular opportunities for the built environment including socio & cultural & economic potentials. "Conceptualizing Circular Designs" aims to create resilient built environment systems and "Analyzes for Existing Building Stocks and Materials" analyzes the built environment and its components. In addition, the tools are examined in three different scale as urban, building and material. The significance of this study is to point out the strong and accelareting relation between CE-digitalization and built environment. Another contribution of the study is to discuss digital circularity tools used at different scales and for different purposes.*

**Anahtar Kelimeler:** Circular economy, circularity, circular design, architectural design, digital tools.

## 1. Giriş

Son 150-200 yıldır süregelen ve özellikle 20.yüzyılın ikinci yarısından itibaren teknolojinin de hızlı gelişmesi ile tüm dünyaya yayılan “kullan-at” ve “al-yap-at” mantığına dayalı lineer ekonomi modeli (Wauterlet, 2018), hem Dünya’daki kaynakları tüketmiş hem de doğa tahribatına sebep olmuş hem de sosyo-ekonomik açıdan birçok eşitsizliğe ve insanlık krizlerine yol açmıştır (BM, 2015).

İlk olarak 1972’de “The Limits to Growth” isimli kitapta Dünya’nın sınırlı olduğu ve sınırsız bir ekonomik büyümeyi ve nüfus artışını kaldıramayacağına değinilmiştir (Meadows vd., 1972). Yine 1970’li yıllarda John T. Lyle “Yenileyici Tasarım (Regenerative Design)” olarak tanımladığı tüm sistemlerin yenileneceği ve malzemeleri yeniden üretmeyi hedef olarak belirleyen bir kavramı (Lyle, 1994; EMF, 2013), Walter Stahel ise “Performans Ekonomisi (Performance Economy)” kavramı ve malzemelerin- ürünlerin ömrünün uzayabileceğini tartışmıştır (EMF, 2013). Ancak 2000’li yılların ortasına kadar bu görüş ve kavramlar yaygınlaşmamış, üretim tekniklerini, yasaları ve düşünce yapısını etkileyememiştir. 2000’li yıllarda günümüzde iklim değişikliği kavramı altında incelenen küresel ısınma, sera gazı etkisi, ozon tabakasının incilmesi, karbondioksit salınımı kavramları hem birçok disiplinin iş yapış tekniğini hem de gündelik hayatı etkilemeye başlamıştır. 2015’teki COP21 ve Paris Anlaşması ile küresel boyutta bu konunun önemi anlaşılmış ve 196 ülke bu anlaşmayı imzalamıştır, COP26 Glasgow’da da önlem ve eylem planları geliştirilmiştir. Birleşmiş Milletler (BM) çevresel, sosyal ve ekonomik alanlarda toplam on yedi tane sürdürülebilir kalkınma hedefleri (sustainable development goals- SDG) belirlemiştir (BM SDG, 2019). Aynı zamanda da BM Habitat Programı 2020-2030 yılları arasındaki on senelik zaman dilimini sürdürülebilir kalkınma için harekete geçilmesi ve aksiyon alınması gereken on yıl anlamına gelen “Decade of Action” olarak adlandırmıştır (BM Habitat, 2020). Bu sürdürülebilir kalkınma hedeflerini ve eylem planlarını, iklim değişikliğine sebep olan lineer ekonomi modeli ile gerçekleştirmek mümkün değildir. Bu sebeple “al-yap-at” mantığına dayalı lineer ekonomi modelinden “yap-kullan-tekrar kullan-geri dönüştür” sistemine dayalı döngüsel ekonomi modeline geçilmesi iklim değişikliği etkisini minimuma indirmek için oldukça önemli bir gerekliliktir (Şekil 1). Döngüsel ekonomi modeli “yaşam ömrü”, “son ürün”, “atık”, “karbon ayak izi” gibi kavramlara odaklanarak sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılabilir.

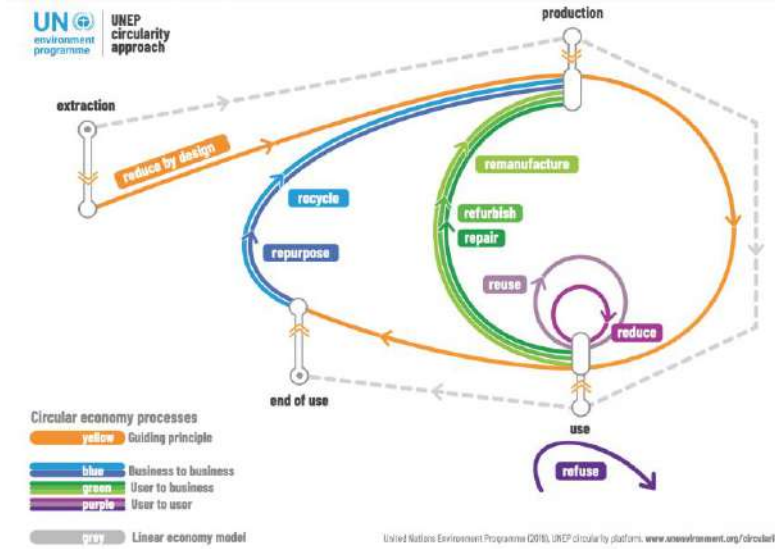


Şekil 1. Lineer ekonomi modeli ve döngüsel ekonomi modeli karşılaştırılması.

Döngüsel ekonomi “yap-kullan-tekrar kullan-geri dönüştür” sistemine (Şekil 1) dayalı, çevresel-ekonomik-sosyal sürdürülebilirlik yaklaşımlarını kapsayarak kendi içinde sürekli devinim halinde olan modeldir (Kirchherr vd., 2017).

Literatürde döngüsel ekonomi ve döngüsellik kavramlarının birçok farklı tanımı vardır (Kirchherr vd., 2017; Kirchherr vd., 2023). Kirchherr vd. (2017)’nin 114 farklı döngüsel ekonomi tanımını incelediklerine "azaltma (reduce)", "yeniden kullanma (reuse)" ve "geri dönüştürme (recycle)" terimleri ve çeşitli kombinasyonları tüm tanımların ortak noktalarıdır.

Döngüsel ekonomi, onarıcı ve yenileyici olan iş modeli ve sistemi tasarımıdır. Yaşam ömrü ve sonu düşüncesini yeniden kullanım ve geri dönüşüm düşüncesiyle değiştirerek, sürdürülebilir süreçleri hedeflemektedir (EMF, 2014). Diğer bir tanımda ise döngüsel ekonominin amacı, ekonomideki ürün, malzeme ve kaynakların değerini korumak ve kullanım süresini uzatmaktır (Avrupa Komisyonu, 2011). Aynı zamanda Yenileyici Tasarım (Regenerative Design), Performans Ekonomisi (Performance Economy), Beşikten Beşiğe (Cradle-to Cradle), Endüstriyel Ekoloji (Industrial Ecology), Biyomimikri (Biomimicry), Yeşil Ekonomi (Green Economy), Mavi Ekonomi (Blue Economy) ve Biyo-odaklı Ekonomi (Bio-Based Economy) gibi kavramlar da döngüsel ekonominin ana fikri ve bileşenleri ile ilişkilidir (EMF, 2013; Oğuz, 2017). 9R olarak adlandırılan döngüsel ekonomi stratejileri Reddetmek (Refuse), Yeniden Düşünmek (Rethink), Azaltmak (Reduce), Tekrar Kullanmak (Reuse), Tamir Etmek (Repair), Yenilemek (Refurbish), Yeniden Üretmek (Remanufacture), Başka Amaca Uygunluk (Repurpose) ve Geri Dönüşüm (Recycle) olarak tanımlanmıştır (Kirchherr vd., 2017). BM Çevre Programı, döngüsellik ve 9R stratejileri (Şekil 2) üzerine iş modeli ve kavramlar arası ilişki ağı geliştirmiştir (UNEP, 2020).



Şekil 2. BM Çevre Programı'nın oluşturduğu döngüsellik 9R stratejileri ve ilişki ağı (UNEP, 2020).

Döngüsel ekonomide malzemenin veya ürünün üretim aşamasından geri dönüştürme ve tekrar kullanım aşamalarına kadar planlanır; karbon ayak izinin azaltılması ve atığın en aza indirilmesi hedeflenir. Dünya genelinde 1,5 trilyon dolar gelire, karbondioksit salınımının %40'ına ve toplam atığın üçte birine sebep olan mimarlık-inşaat endüstrisini de döngüsellik kapsamında yeniden düşünmek gereklidir (Deloitte, 2018; IEA, 2019). Dijital teknolojiler ve araçlar mimarlık-inşaat endüstrisinde döngüsellik ilkelerini uygulamanın etkili yollarıdır.

## 2. Yöntem

Yapılı çevre için döngüsel ekonomi, kaynak kullanımını optimize etmeyi, atık üretimini minimize etmeyi ve malzemeleri yeniden kullanmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımı destekleyen ve yapılı çevrenin planlı dönüşümü için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejilerden birçoğu da döngüsel ekonomi odaklı dijital araçların geliştirilmesi ile ilgilidir. Bu çalışma kapsamında yapılı çevre için geliştirilen dijital döngüsellik araçları kullanım amaçlarına ve ölçeğe göre incelenmiştir. Dijital araçlar kullanım amaçlarına göre dört kategoride sınıflandırılmıştır: Bağlantısallık, Kaynak Akışı, Döngüsel Tasarım, Mevcut Bina ve Malzeme Analizi (Corona vd., 2019; Çetin vd., 2023; EMF ve Granta Design, 2015; Williams, 2019; van Eijk vd., 2021). Ölçek ise şehir, bina ve malzeme olarak makrodan mikroya gitmektedir. Literatüre göre de yapılı çevrenin döngüsellik kapsamında değerlendirmesi üç ölçekte yapılmaktadır: makro (şehirler/kentsel

alanlar), meso (binalar/eko-endüstriyel parklar) ve mikro ölçek olarak malzeme (EASAC, 2016; Tecchio et al., 2017; Fischer, 2022).

Bağlantısallığın amacı esas olarak kentlerin döngüsel dönüşüm potansiyelinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Kaynak Akışı, şehir, bölge veya binalar için özel ve kamuya açık döngüsel fırsatlara öncelik vermek için her türlü verinin ve kentsel metabolizmanın analizini ve depolanmasını kapsamaktadır. Döngüsel Tasarıma odaklanan dijital araçlar ise, dayanıklı, yeniden kullanılabilir, onarılabilir ve geri dönüştürülebilir tasarımlar yaratmayı amaçlamaktadır. Mevcut Bina ve Malzeme Analizi için geliştirilen dijital araçlar ise binaların, bileşenlerin ve yapı malzemelerinin analiz edilmesine öncelik vermektedir.

### 3. Bulgular

Bu çalışma kapsamında yapıları çevre için geliştirilen dijital döngüsellik araçları kullanım amaçlarına ve ölçeğe göre incelenmiştir (**Tablo 1**). Kullanım amaçları sırasıyla Bağlantısallık; Kaynak Akışı; Döngüsel Tasarım; Mevcut Bina ve Malzeme Analizidir. Ölçek ise şehir, bina ve malzemedir.

**Tablo 1.** Döngüsel ekonomi dijital araçları.

Kullanım Amacı	Araç	Ölçek
Bağlantısallık	Reflow: Matrix of Circular Collaboration and via Kumu- Ecosystem Map	Şehir
	URBACT- Resourceful Cities	Şehir
Kaynak Akışı	Circle City Scan Tool	Şehir
	City Self-Assessment Tool	Şehir
	Metabolism of Cities: Data Hub & Library	Şehir
	European Circular Economy Stakeholder Platform	Şehir
Döngüsel Tasarım	Circular Economy in Cities	Şehir
	Circular City Actions Framework	Şehir
	Circularity Indicator (CI), UMAR - Madaster	Bina
	RhinoCircular	Bina
Mevcut Bina ve Malzeme Analizi	Circularity Indicator (CI), UMAR - Madaster	Şehir + Bina + Malzeme
	TABULA	Bina + Malzeme
	Reversible BIM	Bina
	BAMB	Bina + Malzeme
	Cradle to Cradle Certificate	Malzeme

### 3.1. Ölçeğe göre Araçlar

Ayrıca, araçlar şehir, bina ve malzeme olmak üzere üç farklı ölçekte incelenmektedir. Şehir ölçeğinde; dijital teknolojik çözümler, şehirlerin akıllı kaynaklarını planlamak ve organize etmek, belediyede kamu katılımını artırmak, gerçek zamanlı karar verme sistemlerini ve katı atık yönetimini azaltma, geri dönüştürme, yeniden kullanım, geri kazanım ve onarım stratejileri ile geliştirme potansiyeline sahiptir (Angelopoulos vd., 2019; Kurniawan vd., 2021; Chauhan vd., 2022). Altyapı dahil tüm kentsel sistem, mevcut yapı stoku ve atığın azaltılması, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması süreçlerini yönlendirmek için IoT, büyük veri, bilgi iletişim teknolojileri (ICT) ve akıllı çözümlerin uygulanmasıyla geliştirilebilir (Schmeleva ve Bezdelov, 2020). Büyük veri yaklaşımı, kentsel çevrede daha fazla endüstriyel simbiyoz sağlayabilir (Song vd., 2017; Chauhan vd., 2022).

Döngüsel ekonomi ve döngüsel tasarımın uygulanması, AECO endüstrisinde bina ölçeğinde sıkça tartışılmaktadır. Döngüsel olarak yapılaşmış çevreye doğru ilerlemenin bir yolu, adaptif tasarım ve yeniden kullanım (adaptive reuse), takılıp sökülebilir tasarım (DfD) ve onarım (repair) ve yeniden üretim (remanufacturing) için tasarım gibi çeşitli tasarım yaklaşımlarıyla binaların hizmet ömrünü uzatmaktır (Ness & Xing, 2017; Pomponi, De Wolf & Moncaster, 2018; Benachio; Freitas & Tavares, 2020; Hopkinson, De Angelis & Zils, 2020; Joensuu, Edelman & Saari, 2020; Minunno vd., 2020). Ayrıca, binalarda yapısal bileşenler için yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı söz konusudur (Campbell, 2018). Paylaşım ekonomisi (sharing economy) ilkeleri gibi ürün hizmet sistemi (PSS) uygulamaları ile binaların daha verimli ve daha çok kişi tarafından kullanımı; adaptif yeniden kullanım ve tamir yöntemleri ile ise binaların hizmet ömrünü uzatmaları muhtemeldir. Bu yöntemler sayesinde, kaynak tüketimi azaltılabilir ve bina stoğunun aşırı artması sınırlanabilir (Fargnoli vd., 2019; Joensuu vd., 2020).

Mikro ölçek olarak da sınıflandırılan malzeme ölçeğinde ise malzeme pasaportları ve dijital ikiz kavramı ön plana çıkmaktadır. Malzeme pasaportu, yapılarda kullanılan her malzemenin ömrü boyunca izlenmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sayede, yapıların sökülmesi veya yenilenmesi sırasında malzemelerin yeniden kullanımı kolaylaşır. Dijital İkiz ise yapıların dijital kopyaları oluşturularak, yapı ömrü boyunca malzeme ve enerji akışlarının izlenmesi ve optimize edilmesi sağlar. Malzeme pasaportları ürünlerdeki malzemeleri ve bileşenleri tanımlayan dijital veri setleri olarak tanımlanırken ve dijital ikizler sistemlerin veya alt sistemlerin sanal kopyalarıdır ve döngüsel tasarımın destekleyici yaklaşımlar olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşımlarla, malzemelerin ve bileşenlerin mevcut kullanımı, geri kazanımı ve yeniden kullanımı hakkında bilgi sağlanabilir ve tasarımların teknik ve mekânsal geri dönüştürülebilme potansiyeli hakkında tasarımcılara ve karar vericilere bilgi verebilir (Debacker vd., 2017).

## 3.2. Kullanım Amacına göre Araçlar

### 3.2.1. Bağlantısallık

Bağlantısallığın amacı esas olarak kentlerin döngüsel dönüşüm potansiyelinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen dijital araçlar şehir ölçeğindedir. REFLOW İşbirlikçi Yönetim Araç Seti (RCGT), şehirleri döngüsel ve yenilenmeci geçişlerinde destekleyen işbirlikçi yönetim yaklaşımlarını tasarlamak ve geliştirmek için pratik bir rehber olarak geliştirilmiştir (URL-1). Başka bir deyişle, araç seti, döngüsellğe doğru işbirlikçi yolculukları desteklemek için açık bir araç ve kaynak koleksiyonu sunmaktadır. Araç seti, şehirleri dönüştürme sürecindeki açık uçlu altyapı sürecini gösteren işbirlikçi yönetim çerçevesine dayanmaktadır. Bu süreç, stratejik, operasyonel ve ilişkisel yönlerde farklı vurgularla farklı kapsam ve ölçeklerde işler. Bireyselden toplumsal ölçeğe kadar yenilik sağlayan döngüsel yaklaşımlar vardır. RCGT, kullanım ve teorik arka plan hakkında ayrıntılı tavsiyeler içeren on dört yaklaşım ve alt birimden oluşmaktadır. Web-tabanlı uygulama üzerinden RCGT'ye ulaşmak ve kullanmak mümkündür. URBACT ise, Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu (ERDF) tarafından finanse edilen Avrupa Toprak İşbirliği Programıdır (URL-2). Avrupa genelinde entegre sürdürülebilir kentsel gelişimi teşvik etmeyi amaçlayarak, şehirlerin transnasyonal dönüşüm ve gelişimini desteklemektedir. URBACT kapsamında geliştirilen RESOURCEFUL CITIES, yerel döngüsel ekonominin katalizörleri olarak hizmet edebilecek kentsel kaynak merkezlerinin geliştirilmesine yönelik Avrupa şehirlerinde çalışmalar yapan dijital ağ projesidir. Katılımcı ve bütünleşik bir yaklaşım benimseyerek, bu merkezler, yerel kaynak döngülerini kapatmak ve atık önleme, yeniden kullanım, tamir ve geri dönüşümü teşvik etmek için vatandaşlar, yeni işletmeler, araştırmacılar ve kamu sektörü arasında yeni yolları birlikte yaratma noktaları olarak hizmet etmektedir. Farklı paydaşları bir araya getirerek bütünleşik çalışma & üretim hedefleyen kentsel dijital kaynak merkezleri, yerel döngüsel ekonominin olumlu ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

### 3.2.2. Kaynak Akışı

Kaynak Akışı, şehir, bölge veya binalar için özel ve kamuya açık döngüsel fırsatlara öncelik vermek için her türlü verinin analizini ve depolanmasını kapsamaktadır. Sosyoekonomik ve malzeme akışı verileri, döngüsellik kapsamında bina ölçeğinden ülke ölçeğine kadar altyapısı, kaynak akışlarını, biyofiziksel özelliklerini ve her türlü kentsel metabolizma verilerini değerlendirmeyi amaçlar. Circle City Scan Tool (URL-3), yerel yönetimlere şehir veya bölge için döngüsel fırsatları keşfetmelerine ve önceliklendirmelerine imkân tanır. Bu araç, özel mülkiyet ve kamuoyuna açık sosyo-ekonomik ve malzeme akışı verilerine, ilgili döngüsel vaka çalışmalarına ve kullanıcıların hangi sektörlerin, malzemelerin ve etki alanlarının yerel gündemlerde öncelikli olduğuna dair girişlerine dayanmaktadır. Web sitesinden online olarak ulaşılabilen araç, Amsterdam, Glasgow, Basel, Almata, Philadelphia gibi şehirlerin yerel yönetimlerince kullanılmaktadır. The Self-Assessment Tool for Sustainable Urban Development (SAT4SUD), Avrupa Birliği Uyum Politikası'nın



yerel yönetimleri ve ulusal/yerel Yönetim Otoritelerini kapsayan, sürdürülebilir kentsel gelişim stratejileri oluşturma veya güncelleme sorumluluğunu üstlenmiş olan kişiler için tasarlanmıştır (URL-4). Online olarak web tabanlı kullanılabilen bu araç, döngüsel ve sürdürülebilir dönüşümleri ve planları eleştirel olarak değerlendirmek, güçlü yönleri tanımak ve iyileştirme fırsatlarını belirlemek için önemli bir öğrenme uygulaması olarak öz değerlendirmeyi teşvik etmeyi amaçlar. Ek olarak, bu araç, yerel yönetimlerle ilgili paydaşlar arasındaki tartışma ve çalışma oturumları, akran değerlendirmeleri, kıyaslama, yayma faaliyetleri ve harici uzman katılımı gibi diğer faaliyetlere destek olmak ve bilgi sağlamak için kullanılmaktadır. Bu araç, yerel yönetimleri ve ilgili paydaşları stratejinin ne ölçüde bütünleşik ve katılımcı bir yaklaşıma dayandığını değerlendirmeye desteklemeyi amaçlar. Metabolism of Cities Data Hub (URL-5), dünyanın farklı yerlerindeki şehirlerdeki kentsel metabolizma ile ilgili geniş bilgi katmanlarını içeren merkezi dijital bir veri deposu olarak hizmet verir. Bir şehrin altyapısı, stokları ve akışları, biyofiziksel özellikleri veya daha fazlası hakkında kaynaklar, Cities Data Hub'ta kullanıcılara açık veri olarak paylaşılmaktadır. Halen yeni verilerin ve bilgi kaynaklarının eklenmesi ile bu dijital hub sürekli bir gelişme halindedir. European Circular Economy Stakeholder Platform (URL-6) ise çevrimiçi şekilde web-tabanlı olarak ulaşılabilen Avrupa Komisyonu ve Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi tarafından ortaklaşa başlatılan ve geliştirilen bir girişimdir. Bu platformun içinde yapıyı çevrenin dönüşüm ve adaptasyonu ile ilgili ekonomi ve iş modelleri, yeni eğitim teknikleri ve istihdam, süreç planlaması ve döngüsellik kriterlerine odaklanan araçlar bulunmaktadır.

### 3.2.3. Döngüsel Tasarım

Döngüsel Tasarıma odaklanan dijital araçlar ise, dayanıklı, yeniden kullanılabilir, onarılabılır ve geri dönüştürülebilir tasarımlar yaratmayı amaçlamaktadır. Sıfır atık, modülasyon, adapte edilebilirlik, esneklik, paylaşım, yeniden kullanılabilirlik gibi kavramlar yapıyı çevrenin ve bileşenlerinin uzun ömürlü olmasını sağlayarak değeri arttıran döngüsel tasarım bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Circular Economy in Cities (URL-7) aracı ise OECD tarafından geliştirilmiş olup ve tasarımları kentsel ölçekte üç aşamada değerlendirmektedir: ölçme (measuring), öğrenme (learning) ve paylaşma (sharing). Ölçme, döngüsel ekonomi stratejilerinin karar alma ve değerlendirilmesi için bir gösterge çerçevesi geliştirme; öğrenme: Şehirlerde ve bölgelerde çok seviyeli diyaloglara katılarak zorlukları ve fırsatları belirleme, paylaşma ise akran öğrenimini, en iyi uygulamaları ve uluslararası deneyimlerden dersleri destekleme olarak nitelendirilmektedir. Circular City Actions Framework (URL-8), şehirleri yerel düzeyde döngüsel tasarımlara adapte etmek için çeşitli strateji ve eylemlerin ICLEI, Circle Economy, Metabolic ve Ellen MacArthur Vakfı tarafından geliştirilen bir araçtır. Web tabanlı kullanılan bu araçta, özellikle kentsel tasarımcılar için döngüsel beş strateji sunar: rethink, regenerate, reduce, reuse, recover.

Madaster platformuna bağlı olarak geliştirilen Urban Mining and Recycling (UMAR) aracı yapım sürecinde kullanılan malzemelerin ve ürünlerin belgelenme ve kayıtlanma süreci ile ilgilidir (Heisel ve Rau-Oberhuber, 2019). Tasarımda kullanılan her malzeme ve ürünün kayıt altına alınması şehir, bina ve malzeme ölçeğinde döngüsel tasarıma imkân vermektedir. UMAR, Empa NEST'in gelecekteki yapılar için dijital bir malzeme deposu olarak tasarlanmış döngüsel bir veri depolama sistemidir. Madaster (Madaster, 2018), ise malzeme pasaportlarını üreten, depolayan ve bir Döngüsellik Göstergesi (Circularity Indicator - CI) hesaplayan çevrimiçi bir platformdur. Bu CI değeri ise yapım, kullanım (use) ve yaşam döngüsünün sonu (End-of-Life) senaryoları için son derece önemlidir.

Circular Construction Lab (CCL), binaların döngüsellik performansı üzerinde özellikle erken tasarım kararlarının etkisini tahmin etmek için bütünlük bir araç olan RhinoCircular'ı geliştirmiştir (Heisel and Nelson, 2020). RhinoCircular ile binalardaki yeniden kullanılabilir (reuse), geri dönüştürülebilir (recycle) ve yenilenebilir (renewable) malzeme kaynaklarını dikkate alarak gömülü karbon ve döngüsellik değerlerini hesaplar. Bu program, Madaster ve CI ile uyumlu olarak çalışmaktadır.

#### 3.2.4. Mevcut Bina ve Malzeme Analizi

Mevcut Bina ve Malzeme Analizi için geliştirilen dijital araçlar ise binaların, bileşenlerin ve yapı malzemelerinin analiz edilmesine öncelik vermektedir. Gömülü ve operasyonel karbon, yaşam ömrü, yaşam sonu ve değer kavramlarını dikkate alarak karbon ayak izine ve yaşam döngüsüne odaklanır.

Döngüsel tasarım amacıyla da kullanılan Madaster – UMAR (Madaster, 2018), hem mevcut hem de yeni binalarda kullanılan tüm malzeme verilerinin dijital ortamda depolanması ve malzeme pasaportu oluşturmaya yönelik araçlardır. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA), bina stoklarını enerji ile ilgili özelliklerine göre sınıflandırmak için sistemli bir yaklaşım oluşturmayı amaçlamaktadır. "TABULA Web Aracı" olarak örnek binaların mevcut enerji özelliklerini malzemeye odaklanarak çevrimiçi şekilde hesaplar. Enerji ile ilgili özelliklerini ve iyileştirme önlemlerinin uygulanmasıyla sağlanabilecek enerji tasarrufu önerilerini gösterir.

Buildings As Material Banks (BAMB), AB Horizon 2020'nin bir parçası olarak geliştirilmiş bir tasarım aracıdır. BAMB'in amaçları, inşaat ve hafriyat atıklarının önlenmesi, yeni kaynak tüketiminin azaltılması ve endüstriyel simbiyoz aracılığıyla döngüsel bir tasarım ve ekonomiye süreç ve ürünlerin ortaya konmasıdır. BAMB'in temel prensipleri geliştirilirken atık hiyerarşisinin prensipleri uygulanmıştır: atığın önlenmesi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm. BAMB'in en önemli unsurların biri, binalarda kullanılan malzemelerin geri kazanım değerini artırmak ve döngüsel bir yapı sektörüne geçişi sağlamaktır. Malzeme pasaportları ve

yeniden kullanım potansiyelini belirtmek için Bina Düzeyinde Entegre Karar Verme sistemi (Building Level Integrated Decision Making system), BAMB'in iki ana konusunu oluşturur. Tersine BIM (Reversible BIM) aracı, BAMB projesinin bir parçası olarak geliştirilmiş ve AECO endüstrisinin tersine bina tasarımını ve söküm sürecinin de tasarlanması üzere son derece destekleyici bir araçtır. Tersine BIM, yeniden kullanım ve sökme stratejileri ile ilgili karar alma sürecini desteklemek için bir Dijital Sökme Platformu (Digital Deconstruction Platform) olarak kabul edilmektedir.

Cradle to Cradle Sertifikasyonu, karbon emisyonu düşük, sağlıklı (temiz) ve döngüsel ürünleri teşvik etmek için "ürün ölçeğinde" bilimsel bir standarttır ve döngüsel ekonomiyi desteklemeyi amaçlamaktadır. Cradle to Cradle Sertifikasyonu, beş temel sürdürülebilirlik kategorisine dayanmaktadır: malzeme sağlığı, malzeme yeniden kullanımı, yenilenebilir enerji ve karbon yönetimi, su yönetimi ve sosyal adalet.

#### 4. Sonuç

Döngüsel Ekonomi, Birleşmiş Milletlerin de hedeflediği sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ve sürdürülebilir yapılı çevreye ulaşmak için kullanılan iş ve tasarım modelidir. Dijital teknolojiler de yapılı çevrenin döngüsellik potansiyelini artırıcı araçlardır. Bu bağlamda yapılı çevreye odaklanan çeşitli dijital araçlar geliştirilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar da dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında mevcut dijital döngüsellik araçları yapılı çevre özelinde kullanım amaçlarına (bağlantısallık, kaynak akışı, döngüsel tasarım ve mevcut bina stokları & malzemeleri için analizler) ve ölçeğe (şehir, bina, malzeme) göre incelenmiştir. Bu çalışmanın önemi döngüsel ekonomi-dijitalleşme ve yapılı çevre arasındaki hızlı gelişen bağlantıyı farklı ölçekler ve farklı amaçlarla kullanılan dijital döngüsellik araçları üzerinden tartışmak ve araştırmacılara kaynak olmaktır. Araçların incelenmesi sırasında bazı araçların farklı amaçlar ve farklı ölçekler için kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu durum da özellikle ölçekler arasında tasarımın doğasında hep var olan bağlantının döngüsel tasarım kavramı için de var olduğunu göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda, bu çalışma kapsamında incelenen araçların kullanımı ve elde edilen sonuçların kıyaslanması gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda Türkiye özelinde özgün bir dijital döngüsel araç çerçevesinin oluşturulması veya prototipinin tasarlanması araştırmacılar, mimarlık & inşaat sektörü profesyonelleri, karar vericiler ve kamu yararı açısından son derece önemli ve potansiyelidir.


## KAYNAKLAR

- Angelopoulos, C.M., Katos, V., Kostoulas, T., Miaoudakis, A., Petroulakis, N., Alexandris, G., Tsatsoulis, C.I. (2019). IDEAL-CITIES - A trustworthy and sustainable framework for circular smart cities. Proc. - 15th Annu. Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. DCOSS 2019, 10.1109/DCOSS.2019.00089.
- Birleşmiş Milletler (BM). 2015. "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement> Son erişim tarihi: 10.05.2024.
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP). 2020. "Building Circularity", <https://buildingcircularity.org/> Son erişim tarihi: 11.05.2024.
- Birleşmiş Milletler (BM) Habitat. 2020. "World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization", Nairobi, Kenya. ISBN: 978-92-1-132872-1. <https://unhabitat.org/World%20Cities%20Report%202020> Son erişim tarihi: 10.05.2024.
- Birleşmiş Milletler (BM) Sustainable Development Goals (SDG). 2019. "Sustainable Development Goals", [https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/01/SDG\\_Guidelines\\_AUG\\_2019\\_Final.pdf](https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/01/SDG_Guidelines_AUG_2019_Final.pdf) Son erişim tarihi: 10.05.2024.
- Chauhan, C., Parida, V., Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. Technological Forecasting & Social Change, 177, 121508. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreon, J., Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—a review and critical assessment on current circularity metrics. Resour. Conserv. Recycl. 151, 104498, <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104498>.
- Çetin, S., Raghu, D., Honic, M., Straub, A., Gruis, V. (2023). Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings. Sustain. Prod. Consump. 40, 422–437. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.011>.
- Deloitte. (2018). "Global Powers of Construction", <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/real-estate/at-global-powers-of-construction-2018.pdf>. Son erişim tarihi: 11.05.2024.
- EASAC. (2016). Indicators for a circular economy. German National Academy of Sciences Leopoldina Publications. [https://easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Circular\\_Economy/EASAC\\_Indicators\\_web\\_complete.pdf](https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Circular_Economy/EASAC_Indicators_web_complete.pdf)
- Ellen MacArthur Foundation (EMF). (2013). Towards the circular economy , Opportunities for the Consumer Goods Sector, 2. [https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport\\_McKinseyTowards\\_A\\_Circular\\_Economy.pdf](https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinseyTowards_A_Circular_Economy.pdf)
- Ellen MacArthur Foundation (EMF) and Granta Design. (2015). "Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity." London, UK: Ellen MacArthur Foundation.
- Fargnoli, M., Haber, N. and Sakao, T. (2019). PSS modularisation: a customer-driven integrated approach, International Journal of Production Research, vol. 57, no. 13, pp. 4061-4077.

- Fischer, A. D. (2022). Circular economy – forging institutions: On how circular business model innovation shapes the circular economy while instigating the new rules of the game. [internal PhD, WU, Wageningen University]. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/567287>
- Heisel, F. and Nelson, C. (2020). RhinoCircular: Development and Testing of a Circularity Indicator Tool for Application in Early Design Phases and Architectural Education. 2020 AIA/ACSA Intersections Research Conference: CARBON.
- Hopkinson, P., Angelis, R.D., & Zils, M. (2020). Systemic building blocks for creating and capturing value from circular economy. Resources, Conservation and Recycling.
- International Energy Agency (IEA). 2019. “2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector”. <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2019%20Global%20Status%20Report%20for%20Buildings%20and%20Construction.pdf> Son erişim tarihi: 10.05.2024.
- Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. Journal of Cleaner Production, 276, Article 124215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>.
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. Resour. Conserv. Recycl., 127, 221–232, doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- Kirchherr, J., Yang, N.N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M.J. & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. Resources, Conservation and Recycling, 194, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>.
- Kurniawan, T.A., Lo, W., Singh, D., Othman, M.H.D., Avtar, R., Hwang, G.H., Shirazian, S. (2021). A societal transition of MSW management in Xiamen (China) toward a circular economy through integrated waste recycling and technological digitization. Environ. Pollut. 10.1016/j.envpol.2021.116741.
- Lyle, J. T. (1994). Regenerative Design for Sustainable Development (Revised ed.). New York, USA:Wiley.
- Madaster. (2018). “Explanation Madaster Circularity Indicator.” Utrecht, The Netherlands: Madaster Services B.V.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). The Limits to growth: a report for the Club of Rome’s project on the predicament of mankind. New York: Potomac Associates - Universe Books.
- Minunno, R. & O’Grady, T. & Morrison, G. & Gruner, R. (2020). Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. Resources Conservation and Recycling. 160.10.1016/j.resconrec.2020.104855.
- Ness, D. & Xing, K. (2017). Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model. Journal of Industrial Ecology. 21. 10.1111/jiec.12586.
- Pomponi, F.; De Wolf, C. and Moncaster, A. eds. (2018). Embodied Carbon in Buildings: Measurement, Management, and Mitigation. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72796-7>.
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: measuring innovation in the product chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, PBL Publishers.
- Song, B., Yeo, Z., Kohls, P., Herrmann, C. (2017). Industrial symbiosis: exploring big-data approach for waste stream discovery. Procedia CIRP 61, 353–358, 10.1016/j.procir.2016.11.245.

- Tecchio P, McAlister C, Mathieux F, Ardente F. (2017). In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. *J Clean Prod.* 1(168), 1533-1546. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.198. PMID: 29200663; PMCID: PMC5656090.
- van Eijk, F., Turtoi, A., Moustafa, A., Hamada, K., Leffers, J., Oberhuber, S., Cutaia, L., Altamura, P., Cellurale, M., Lemaitre, C., Pitzal, S., Duran, C., Sanchez, G., Bertino, G., Kisser, J., Campanella, D., & Ritschkoff, A.-C. (2021). Circular buildings and infrastructure - State of play report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19196.41609>.
- Wautelet, T. (2018). Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach, Yüksek Lisans Tezi, eufom European University for Economics and Management, Lüksemburg.
- Williams, J. (2019). Circular Cities. *Urban Studies*, 56(13), 2746-2762. <https://doi.org/10.1177/0042098018806133>.
- URL-1: <https://reflowproject.eu/blog/collaborative-governance-as-infrastructuring/> Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-2: [https://urbact.eu/sites/default/files/2023-04/the\\_hague\\_iap\\_final.pdf](https://urbact.eu/sites/default/files/2023-04/the_hague_iap_final.pdf) Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-3: <https://www.circle-economy.com/digital/circle-city-scan-tool> Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-4: <https://urban.jrc.ec.europa.eu/strategies/sat4sud/?lng=en> Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-5: <https://data.metabolismofcities.org/> Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-6: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/toolkits-guidelines> Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-7: <https://www.oecd.org/regional/cities/circular-economy-cities.htm> Son erişim tarihi:30.05.2024.
- URL-8: <https://circulars.iclei.org/action-framework/> Son erişim tarihi:30.05.2024.

# Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi Yaya Ulaşım Ağının Akıllı Ulaşım Sistemleri Bağlamında Değerlendirilmesi

Beyzanur Kılıç<sup>1</sup> ; Nihal Arda Akyıldız<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Balıkesir Üniversitesi

<sup>1</sup>beyzanur.kilic@balikesir.edu.tr; <sup>2</sup>nihal.akyildiz@balikesir.edu.tr

## Özet

*Küreselde yoğun nüfus artışı, kaynakların verimsiz kullanımı, tüketilen enerji, artan şehirleşmeyle beraber sosyo-ekonomik sorunlar, güvenlik açığı ve zamanın verimsiz kullanımı gibi birçok problem de göz ardı edilmeyecek düzeye gelmiştir. Bu problemlerin çözümü için hızla ilerleyen teknolojik atılımlar sayesinde insan yaşamını kolaylaştırılmış ve ilgili konulara bilim ışığında katkılar da sunmuştur. Bu bağlamda planlanan stratejiler, bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu destekle kentlerde daha sürdürülebilir yaşam koşullarını sağlamak üzere farklı kavramları da ortaya çıkarmıştır. Bu kavramlardan biri olan 'akıllı kent', ekonomi, insan, yönetim, yaşam, ulaşım ve çevreden oluşan çok bileşenli bir yapıya sahiptir. Kentlere olan yoğun göç ile birlikte artan sorunlara çözüm arayışlarından biri olan Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) insan yaşamını kolaylaştırmak adına önemli bir strateji olmuştur. Kentsel planlama ve uygulamalarında önemli bir parametre olan üniversite kampüslerine ilişkin stratejiler de bu rasyonel planlama ekseninde, üniversitelerin bulunduğu şehri fiziksel olarak ne şekilde etkilediğinin de öngörülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda üniversitelerde hem yerleşke içi ulaşım, hem de kent merkezi/kent yerleşim alanlarıyla kurduğu bağlantıların da detaylı planlanmış ulaşım sistemleri ile planlanması önemli bir parametredir. Buradan hareketle kent planlama stratejilerinde kenti ve kentliyi desteklemesindeki değeri nedeniyle 'üniversite yerleşkelerinin', akıllı ulaşım sistemleri ve alt yapılarıyla çözümlenmesi ve akıllı bir kentin varlığına da katkı sunması beklenmektedir.*

*Çalışma daha sürdürülebilir kent arzusunda olan akıllı kent uygulamaları aracılığıyla, gelecekte üniversite yerleşke ulaşım planlamalarında akıllı ulaşım sistemleri ve teknolojilerinin sağlayacağı enerji kazanımı, erişebilir eğitim imkânları, etkin zaman yönetimi ve sosyo-kültürel yaşama sunulacak desteklere odaklanmaktadır. Bu bağlamda Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi yaya yolları ulaşım ağının mevcut durumu analiz edilerek, karşılaşılan sorunlar ve bunlar için planlanan çözüm uygulamaları 'Akıllı Ulaşım Sistemleri' perspektifiyle ele alınmıştır. Çalışmanın Balıkesir şehir içi ulaşımındaki uygulamalara ve akıllı kent uygulamalarına destek sunarak, sağlayacağı kazanımlarla yerel yönetimler için de önemli bir strateji önerisi sunması hedeflenmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Kent, Akıllı Ulaşım Sistemleri, Üniversite Yerleşkeleri, Balıkesir Üniversitesi.

# Evaluation of Balıkesir University Çağış Campus Pedestrian Transportation Network in the Context of Intelligent Transportation Systems

Beyzanur Kiliç<sup>1</sup> ; Nihal Arda Akyıldız<sup>2</sup>   
<sup>1,2</sup>Balıkesir University

<sup>1</sup>beyzanur.kilic@balikesir.edu.tr; <sup>2</sup>nihal.akyildiz@balikesir.edu.tr

## Abstract

*Many problems such as intense population growth, inefficient use of resources, consumed energy, socio-economic problems with increasing urbanization, security gap and inefficient use of time have reached a level that cannot be ignored. In order to solve these problems, human life has been made easier thanks to rapidly advancing technological breakthroughs and contributions have been made to the related issues in the light of science. Strategies planned in this context have also revealed different concepts to ensure more sustainable living conditions in cities with the support of information and communication technologies. 'Smart city', one of these concepts, has a multi-component structure consisting of economy, people, governance, life, transportation and environment. Intelligent Transportation Systems (ITS), which is one of the solutions to the problems increasing with the intensive migration to cities, has become an important strategy to facilitate human life. Strategies for university campuses, which are an important parameter in urban planning and applications, should also be envisaged in this rational planning axis, and how universities physically affect the city where they are located. In this context, it is an important parameter for universities to plan both the transportation within the campus and the connections with the city center / urban settlement areas with detailed planned transportation systems. From this point of view, 'university campuses' are expected to be analyzed with smart transportation systems and infrastructures and contribute to the existence of a smart city due to their value in supporting the city and urbanites in urban planning strategies. The study focuses on the energy savings, accessible education opportunities, effective time management and support to socio-cultural life through smart city applications that desire more sustainable cities. In this context, the current situation of the pedestrian transportation network of Balıkesir University Çağış Campus is analyzed and the problems encountered and the solution applications planned for them are discussed from the perspective of 'Intelligent Transportation Systems'. It is aimed that the study will support the applications in Balıkesir urban transportation and smart city applications and provide an important strategy proposal for local governments with the gains it will provide.*

**Keywords:** Smart City, Intelligent Transportation Systems, University Campuses, Balıkesir University.



## 1. Giriş

Dünyada artan nüfus yoğunluğu, sınırlı doğal kaynakların verimsiz kullanımı, tüketilen enerjinin artışının yanı sıra sosyo-ekonomik sorunlar, güvenlik açığı ve verimsiz zaman kullanımı gibi pek çok olumsuzluğu da beraberinde getirmiştir. Küresel ölçekte -özellikle son yıllarda- yaşanan bu olumsuzluklar, farklı çözüm arayış çabalarını daha görünür kılmıştır. Sahip olunan kaynakların devamlılığının sağlanabilmesi ve maliyet - zaman - enerji kazanımlarının birlikte ele alınması adına konu, günümüz modern kentlerine odaklanmayı gerekli kılmaktadır. Bahse konu çözüm arayışları, kentlerde yer alan yapı stokunun, toplumsal yaşam ve etrafını saran doğal/fiziksel çevre üzerindeki olumsuz etkilerine odaklanmıştır. Toplulukların bir arada yaşam sürdürdüğü kentler -kırsal yerleşim alanlarının aksine- daha radikal kararlar gerektirdiği için çözüm arayışlarının merkezinde yer almıştır. Kamu ve yerel yönetimlerce sunulan farklı çözümler, nüfus yoğunluğuna sahip kentler için mekânsal ve toplumsal stratejilerle desteklenerek farklı arayışlara neden olmuştur. Bu bağlamda planlanan stratejiler, bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu destekle kentlerde daha sürdürülebilir yaşam koşullarını sağlamak üzere farklı kavramları ortaya çıkarmıştır. Bu kavramlardan biri olan 'akıllı kent' ifadesi, özellikle son on yılda, sıklıkla literatürde yer bulmuş ve bahse konu sorunların çözümü için önemli bir bütüncül argüman olmuştur.

Son zamanlarda trend bir kavram olarak sıkça karşılaştığımız 'akıllı kent' kavramının standart bir tanımı olmasa da, 'yaşamı kolaylaştırmak üzere, kent yaşamındaki çözümlerin teknolojiyle entegre edilerek ele alınması' şeklindeki bakış açısıyla kentlere hizmet ettiğini söylemek mümkündür. 'Akıllı Kent' yaklaşımı olarak adlandırılan bu perspektif, kentsel yaşamını daha kolay imkânlarla sürdürülebilir kılmak için yanı sıra kentleri ve kentlileri bilgi-iletişim teknolojileriyle destekleyerek akıllı çözümler sunmayı, rasyonel politikaları kent adına benimsemeyi ve uygulamayı gerekli kılmaktadır. Akıllı kentler, sınırlı kaynakların verimli şekilde kullanılmasını sağlayarak, zaman, enerji ve işgücü tasarrufunu da sağlama kapasitesiyle özellikle dikkatleri üzerinde toplamıştır. Bu yaklaşım, 'pek çok bileşeni aynı anda, makul stratejilerle işletebilen çok yönlü bir tasarım modeli' olarak kabul edilmiş ve uygulamaları da başlamıştır (Ataç, 2019). Akıllı kent tasarımını destekleyen bileşenlerin başında enerji, iletişim, atık su, ulaşım, güvenlik, acil durum, sağlık, barınma, eğitim-öğretim, rekreasyon, şehir planlama, ekonomi, finans ve sosyal hizmetler gibi önemli temalar yer almakta ve akıllı kentlerin inşasında pek çok önemli destekler sunmaktadır.

Akıllı kent yaklaşımında, ekonomik, sosyal, kültürel yaşamı desteklemek üzere planlanan ulaşım-altyapı, teknoloji ve bilişim kadar kentteki eğitim yaşamının da doğru planlamalarla akıllı kent uygulamalarında desteklenmesi gerekmektedir. Akıllı kentlerde yer alan eğitim yapılarının kent içindeki lokasyonu, güvenli ulaşım-altyapı çalışmalarıyla birlikte kent yaşamına katkı sunarak sürdürülebilir çözümlerle kentli yaşamını

kolaylaştırması beklenmektedir. Sosyo-kültürel yaşamda önemli bir yere sahip olan eğitim yapılarının başında, sahip olduğu genç nüfusa hizmetleri ve bilim üretme merkezleri olması nedeniyle ‘üniversiteler ve üniversite yerleşkeleri’ gelmektedir.

Akıllı ulaşım sistemleri, veri toplama ve analize dayanarak daha iyi kent planlamasına destek sunduğu, kentli yaşamını kolaylaştırdığı ve daha güvenilir çözümler sunduğu muhakkaktır. Akıllı ulaşımın temel argümanları olan lojistik sistemleri ve bütünleşmiş taşımacılık, güvenli, sürdürülebilir ve çok önlü ağlarla kurulmuş ulaşım sistemlerini ihtiva etmektedir. Zamanla gelişen, büyüyen, nüfusu artan kentlerin değişen dinamikleri içerisinde üniversitelerin rolü bu bağlamda önem kazanmaktadır. Kentsel planlama ve uygulamalarında, üniversite kampüslerine ilişkin stratejilerin rasyonel planlanması, kurulmuş ya da kurulacak olan üniversitenin şehre sunduğu fiziksel etkilerin bu perspektifle gözetilmesi ve planlama kararlarıyla desteklenmesi gerekmektedir. Üniversiteler hem yerleşke içi ulaşım, hem de kent merkezi / kent yerleşim alanlarıyla kurduğu bağlantılarla da detaylı planlanmış ulaşım sistemlerini gerekli kılmaktadır. Buradan hareketle kent planlama stratejilerinde kenti ve kentliyi desteklemesindeki değeri nedeniyle önemli bir paya sahip olan üniversite yerleşkelerinin, akıllı ulaşım sistemleri ve alt yapılarıyla çözümlenerek akıllı bir kentin varlığına katkı sunması beklenmektedir. Bu bağlamda akıllı kent bileşenlerinden biri olarak kabul edilen ‘Akıllı Ulaşım’ Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) ile desteklenen farklı ulaşım sistemlerinin birbirine bağlayan ve kent ulaşım arterlerini entegre eden alternatifli sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Buradan hareketle çalışma, Balıkesir ili için akıllı kent bileşenlerinden biri olan akıllı ulaşım kavramının, kentte yer alan üniversite yerleşkesi özelinde akıllı ulaşım sistemlerini ne ölçüde desteklediği ve ne tür çözümlere ihtiyaç duyduğu konusunda analizleri hedeflemektedir. Bu analizler akıllı ulaşım bileşeni altında yaya yolları özelinde incelemeleri amaçlamaktadır. Akıllı kentler ve bileşenlerinden biri olan ulaşım sistemleriyle ilgili literatür çalışmasıyla desteklenecek olan konu, mevcut durumu ve akıllı kent için gerekli çözüm beklentilerini ortaya koymayı planlamaktadır. Yerleşkelerin bilimsel ve teknolojik gelişime sunduğu katkılar bağlamındaki önemi göz önünde bulundurularak, üniversite yerleşkesi içerisindeki ulaşım ağında ‘uygulanabilecek akıllı ulaşım teknolojileriyle desteklenmesi halinde’ kazandıracağı avantajlar ortaya konacaktır. Çalışma daha sürdürülebilir kent arzusunda olan akıllı kent uygulamaları aracılığıyla, gelecekte üniversite yerleşke ulaşım planlamalarında akıllı ulaşım sistemleri ve teknolojilerinin sağlayacağı enerji kazanımı, erişebilir eğitim imkânları, etkin zaman yönetimi ve sosyo-kültürel yaşama sunulacak desteklere odaklanmaktadır. Bu bağlamda Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi yaya yolları ulaşım ağının mevcut durumu analiz edilecek, karşılaşılan sorunlar/çözüm uygulamaları Akıllı Ulaşım Sistemleri perspektifiyle ele alınacaktır. Çalışmanın Balıkesir şehir içi ulaşımındaki uygulamalara fikir vermesi, akıllı kent uygulamalarına

destek sunması ve sağlayacağı kazanımlarla yerel yönetimler için önemli bir strateji önerisi sunması hedeflenmektedir.

## 2. Akıllı Kentler

Akıllı kent kavramı bir vizyon olmakla beraber, çevre ve yaşam alanlarında yönetim ve ekonomik faaliyetlerin en iyi şekilde performans göstermesini amaçlayan son dönemin trend kavramlarından biridir. Akıllı kentler kendine özgü, bilinçli, bağımsız kent kullanıcı faaliyetlerinin akıllı kombinasyonuna fırsat tanıyan kent uygulamaları olarak kabul edilmektedir (Chourabi vd, 2012:2290). Konuyla ilgili bugüne kadar yapılan tanımlar incelendiğinde akıllı kent uygulamalarına dair net ve bütüncül bir tanıma erişilemese de, ana hatları ile akıllı kent vizyonunu içeren konuları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Kentteki bilişim teknolojilerinin yerel/merkezi yönetim sistemlerine entegrasyonunun sağlanması,
- Çeşitli dijital ve elektronik teknolojilerinin kent ölçeğinde uygulanarak yaşama aktarılması,
- Kent kullanıcılarının yaşam kalitesinin artırılması ve çalışma ortamlarının iyileştirmesi bağlamında bilişim teknolojilerinden yararlanılması ve insanları bir araya getiren uygulamaların yerelleştirilmesi,
- Kentsel mekan kullanımında çeşitlilik sağlanarak kent yaşamını kolaylaştırmak, zamandan tasarruf ettirmek ve kısıtlı kaynakların dağıtımında 'optimum yarar gözetilerek' bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılmasıdır (Kamu Teknoloji Platformu, 2016:10; Örselli vd., 2018).

Akıllı kent ile birlikte anılan dijital kent, eko-kent ve bilgi kenti gibi kavramlara ait ulaşım unsurları, akıllı ulaşım bileşeni olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlamda akıllı kent yaklaşımları ve akıllı ulaşım; çevre kirliliğini, trafik sıkışıklığını, gürültü kirliliğini azaltma ve ulaşım maliyetlerini düşürmenin yanı sıra insanların güvenliğini artırma ve erişim süresini hızlandırma gibi önemli hedefleri içermektedir (Benevolo vd., 2016:15). Akıllı kent uygulamalarında bilişim teknolojileri sayesinde kullanılan sayısallaştırma, kent sisteminin işleyişinde veri noktalarını dikkate alarak, kenti ölçülebilir hale getirmektedir. Bu sayede kent sistemi içindeki farklı bölümlerin bir araya getirilerek "ara bağlantıların birbirleriyle konuşabilmesi ve iletişim halinde olabilmesi"; verileri bilgilere dönüştürmeye, bu bilgileri davranış model kalıplarına ve dolayısıyla gerçek eylemler haline dönüştürülebilme becerisini mümkün kılmaktadır (Aydın & Öztürk, 2018).

### 2.1. Akıllı Kent Bileşenleri ve Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)

Akıllı kent kavramının bir fenomen olarak literatüre kazandırılmasını ve kentsel dönüşümlere rehberlik etmesini sağlayan Boyd Cohen olmuştur. Cohen'in akıllı kent analizinde kullandığı "akıllı" ön ekini özellikle vurguladığı ve bu temel referansla kenti "çevre, ekonomi, yönetim, yaşam, toplum ve hareketlilik/mobilite" çerçevesinde ele alarak akıllı kent bileşenlerini ortaya koyduğu görülmektedir (Mishra, 2013:5; Chichernea,

2014:238; Giffinger vd., 2007:12; Hameed, 2019:2; Öner ve Çam, 2022). Cohen'in yaklaşımı çerçevesinde Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından yayınlanan raporda akıllı kentlerin; “*akıllı ekonomi (rekabet), akıllı vatandaş (sosyal-beşeri sermaye), akıllı hayat (yaşam kalitesi), akıllı yönetim (katılım), akıllı çevre (doğal kaynaklar) ve akıllı hareketlilik (taşıma ve bilgi iletişim teknolojileri)*” gibi alt boyutları ve bileşenleri olduğu belirtilmektedir (Smart Cities Council, 2014:18). Bir kentin akıllı kent olarak sınıflandırılabilmesi bu bileşenlerden en az birine sahip olması ile mümkündür (Manville vd., 2017:24) ve temel amaç akıllı kent kriterlerinden biri olan sürdürülebilirlik ekseninde kent bileşenlerinin ele alınmasıdır. Akıllı kentler için sürdürülebilirlik sadece teknolojinin yaşam kalitesine ve yaşanabilirliğe olan katkısı ile sınırlı olmayıp, çok boyutlu bütünleştiren bir anlayışla mekanı hem “akıllı” hem de “sürdürülebilir ve yaşanabilir” olarak değerlendirme imkanı sağlar ve kenti daha yaşanır kılar (Kocaman, 2020). Bu anlamda akıllı kent girişimleri ve projelerinin teknoloji, organizasyon ve politika ekseninde ele alındığı, ekonomi, doğal çevre, yapıllı çevre, yönetim ve insan topluluklarından oluşan kapsamlı bir bileşen setini ortaya koyduğu görülmektedir (Chourabi vd., 2012; Ates, 2017).

Akıllı kentlerin bileşenlerinden biri olan *akıllı hareketlilik (taşıma ve bilgi iletişim teknolojileri)*; yerel ve uluslararası ulaşılabilirlik, altyapının uygunluğu ve sürdürülebilir/yenilikçi/güvenli taşıma sistemlerini içermektedir (Giffinger, 2007:18; Örselli vd., 2018). Bu doğrultuda akıllı kent bileşenleri doğrultusunda literatüre kazandırılmış olan **akıllı ulaşım sistemleri (AUS)**, güncel teknolojinin kullanıldığı aygıtlar vasıtasıyla sürdürülebilir, dirençli bir biçimde -yeşili koruyarak ve enerjiyi verimli kullanarak- yapıları ve donatıları desteklemektedir (Townsend, 2013; Uzer & Özaslan, 2023). Bu yönüyle destinasyonda karşılaşılabilecek sorunların ortadan kaldırılmasına yada uygun formüllerle çözüme katkı sunan “akıllı destinasyon” fikriyle (Ataman vd., 2023) destekleyen AUS, farklı ulaşım yönetimi modları ile yenilikçi/çeşitli hizmetler sunmayı amaçlayan “*kapsamlı ulaşım yönetim sistemi*”dir (Lin, vd., 2017). Bu bağlamda AUS kentte seyahat sürelerini azaltma, trafik güvenliğini ve mobiliteye arttırma, mevcut yol kapasitesini optimum kullanma, enerji verimliliğini sağlama, çevreye verilen zararı azaltma ve ülke ekonomisine katkı sağlama gibi amaçlarla çok yönlü veri alışverişine imkan tanımakta ve izleme/ölçme/analiz/kontrol sistemlerini de desteklemektedir (Tektaş vd., 2016). Bu sistemin en temel özelliği bilgi sistemleri, iletişim ve sensör/kontrolör aracılığıyla ‘ileri matematiksel yöntemlerdeki yüksek teknolojiyi’ geleneksel ulaşım altyapısıyla birleştirmesidir (Sussman, 2005). Bu sayede kullanıma imkan sunan teknoloji, ulaşım sisteminin altyapısını destekleyerek yaya/araç trafik sıklığına gidermekte, güvenliği ve üretkenliği arttırmaktadır (Yan vd., 2012; Öztaş & Çelikyay, 2022)

## 2.2. Üniversite Yerleşkelerinde Akıllı Ulaşım Sistemleri

Günümüz üniversiteleri, klasik rollerinden uzaklaşarak giderek karmaşıklaşan roller edinmiş ve toplumsal anlamda çok daha önemli bir eğitim kurumu olmuştur. Bu eğitim kurumları, yüksek düzeyde yenilik yaratmayı ve yaratılan yeniliklere uyum sürecini kısaltmayı hedefleyerek bilgi toplumu ve bilgi tabanlı ekonomileri inşa etmişlerdir (Seki, 2012:45; Gürsoy ve Ömürgönülşen, 2019:21). Bu bağlamda modern dünyada üniversiteler sadece eğitim ve öğretimi değil, araştırma - uygulama ve toplum hizmetler gibi önemli işlevleri de yüklenerek kent kullanıcılarına ve ekonomiye de destek sunmuştur (Türeyen, 2002).

Kentteki genç yaş grubunun yanı sıra kent dışından gelen gençleri de kuşatması beklenen bu eğitim alanlarının bulunduğu kentlerde 'kent merkezine yakın yoğun yerleşim bölgesinde yer alan yada kent merkezinden uzak bir lokasyonda bulunan' üniversite kampüslerinin, akıllı kent stratejilerinin ulaşım sistemleri ile kent yaşamına entegre edilmesi önemli bir strateji olmuştur. Akıllı kentlerin daha küçük ölçekli tasarımı, akıllı üniversite kampüsleri olarak ele alınmaktadır. Ülkemizde üniversite kampüslerinin kent merkezlerinde veya merkeze yakın bölgelerde, kimi şehirlerde de gelişim aksının üzerinde kurulduğu görülmektedir. Akıllı kentlerdeki üniversite kampüslerinin akıllı kampüs tasarımı önceleyerek tasarım ve uygulamaları kampüs içinde planlanmasının yanı sıra kampüsün çevresiyle/kentle sistematik bir uyumla bağ kurması beklenmektedir. Buradan hareketle yerleşke içi ulaşımın yanında yerleşkenin kent merkeziyle kurduğu ulaşım, akıllı ulaşım sistemlerinin ve teknolojilerinin kullanımı kent ve kentli için zaman verimliliği ve güvenli ulaşım imkânı yaratmaktadır. Bu doğrultuda üniversite yerleşkesi içerisinde akıllı ulaşım teknikleri kullanılarak tasarlanan ulaşım ağı, araç ve yaya trafiğinde oluşabilecek aksaklığı en aza indirgeyerek ulaşım sistemini akıcı bir biçimde sürdürmeyi sağlama potansiyelindedir.

Üniversite yerleşkesi içinde bulunan mekânların birbiriyle ve bağlı bulunduğu kent ile kurduğu (yaya, bisiklet veya motorlu taşıt sistemleri) ulaşım ağının sağlıklı hizmet vermesi önemli bir konudur. Üniversite yerleşke ulaşım ağı planlamasında, yerleşke girişi, yaya yolları, motorlu araç yolları, yönlendirme ve bilgilendirme levhaları bisiklet yolları, bisiklet ve araç otoparkları da planlamaya dâhil edilmektedir. Üniversite yerleşkesinde -kampüs büyüklüğü ve bölge iklim şartları doğrultusunda- ulaşımın özellikle yaya öncelikli olarak sağlanması temel hedeftir. Yaya ulaşım sistemlerini bisiklet, motorlu araç ve alternatif ulaşım sistemleri ile destekleyerek farklı çözümlerin üretilmesi gerekmektedir (Üneş & Közkurt, 2021).

- Yaya ve araçları aynı düzlemde hareket ettirmek (araç ile yaya aynı düzlemde olmasından dolayı kesişim noktalarında sirkülasyon kesintiye uğrar, bu nedenle yerleşke içerisinde araç dolaşımının azaltılması ve yayalara daha fazla dolaşım serbestliği kazandırılması önemlidir),

- Yaya ve araçları aynı düzlemde hareket ettirmek (araç ile yaya kesişim noktalarında -alt ve üst alternatif yollar kullandığı için- sirkülasyon kesintiye uğramaz, bu nedenle yerleşke kullanıcıları tüm mekanlara daha rahat erişir. Ancak bu ulaşım sistemlerinin maliyet açısından büyüklüğü daha az tercih edilmesini sağlamaktadır),
- Yaya ve araçları kimi yerde aynı düzlemde kimi yerde farklı düzlemde hareket ettirmek (karma sistem olarak adlandırılan bu sistem sık olmasa da kullanılmaktadır).

Akıllı Kentler için küçük ölçekli bir yaklaşım olan Akıllı kampüslerde yaya ulaşım ağının planlaması oldukça önemlidir. Yaya yoğunluğunun fazla olduğu üniversite yerleşkelerinde sürdürülebilir, erişilebilir, yenilebilir enerji kaynaklarıyla bir ulaşım sistemi kurmak gerekmektedir. Böylece yerleşkeler kullanıcılar tarafından güvenli, verimli ve tercih edilebilir mekanlar oluşturarak kendine yetebilir bir düzen kurmuş olacaktır.

### 3. Materyal ve Yöntem

#### 3.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Balıkesir-Bigadiç karayolunun 17. Kilometresinde bulunan yaklaşık 5 bin dönümlük bir alan üzerine kurulmuş olan Çağış Yerleşkesi ve ulaşım ağı oluşturmaktadır. 1992 yılında kurulan Balıkesir Üniversitesi'nde 4 enstitü, 14 fakülte, 2 yüksekokul, 12 meslek yüksekokul, 27 araştırma ve uygulama merkezi yer almaktadır. Balıkesir Üniversitesi 2023 İdare Faaliyet Raporu (2024)'na göre öğrenim gören 9.790 ön lisans, 19.284 lisans, 1.941 lisansüstü olmak üzere toplam 31.015 öğrenci bulunmaktadır. Ayrıca üniversitede 1.252 akademik personelin yanı sıra 814 idari personel de görev yapmaktadır.

Üniversitenin fiziksel yapılanması ağırlıklı olarak Çağış Yerleşkesinde bulunmaktadır. Çağış Yerleşkesi, şehir merkezinin dışında konumlanmış olup, Çağış ve Paşaköy mahalleleri hudutları içerisinde yer almaktadır. Üniversitenin 2 ana girişi bulunmaktadır (**Şekil 1**).



**Şekil 1.** Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi ulaşım ağı mevcut durumu.

Yerleşke ulaşım ağı 2 ana giriş ile beraber **Şekil 1**'de görüldüğü üzere ana araç ve yaya yollarından oluşmaktadır. Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesinde ikinci öğretim eğitimi veren bölümlerin yer aldığı birimler bulunmaktadır. Bu açıdan sadece gündüz değil, akşam saatlerinde de araç ve yaya sirkülasyonu olduğunu söylemek mümkündür. Toplu taşıma araçlarıyla şehir merkezinden yerleşkeye ulaşım olduğu gibi yerleşke içi ulaşım da bu araçlarla ve sadece yerleşke içi çalışan ringler ile sağlanmaktadır.

### 3.2. Yöntem

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi ulaşım ağı ile ilgili literatür taraması, veri toplama ve doğrudan gözlem yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda, yerleşke ulaşım ağında yayaların en aktif oldukları güzergâhlar, kullanıcı gözlemlerine dayalı analiz edilerek belirlenmiştir (**Şekil 2**).

Akıllı hareketlilik bağlamında yaya ulaşım sistemlerini incelemek üzere; Kılıç ve Akyıldız (2020), Üneş ve Közkurt (2021), Çetinkaya Özkan (2022)'in çalışmalarından yararlanılarak oluşturulan değerlendirme kriterleri grubu kullanılmıştır. Belirlenen değerlendirme kriterleri doğrudan gözlem yöntemi ile elde edilen

nitel veriler doğrultusunda oluşturulmuştur. Değerlendirme kriterleri; ulaşılabilirlik, aydınlatma, duraklar, güvenlik, hız kesici kasisler, levhalar (yönlendirme, bilgilendirme), bisiklet yolu, yaya geçidi, kaldırım, bakım ve temizlik olarak belirlenmiştir. 1 puan (çok yetersiz) ile 5 puan (çok yeterli) arası değerlendirme sistemi oluşturulmuştur. Değerlendirmeler çalışma sahasına hâkim 3 mimar tarafından yapılmış olup sonucunda elde edilen cevapların aritmetik ortalaması ile tek bir veri oluşturulmuştur. Ortaya konan mevcut durum sonrası yerleşkenin akıllı yaya ulaşım ağının güçlendirilmesine ilişkin öneriler sunulmuştur.



Şekil 2. Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi ulaşım ağı yaya yoğunluk analizi.

Yerleşke içerisinde ortak kullanım alanlarının (yemekhane, kütüphane, eğitim yapıları, yeme-içme birimleri, spor alanları) fazla olduğu bölgelerde yaya yoğunluğunun çok olduğu tespit edilmiştir. Yaya yoğunluğu, ortak alanlar ve öğrenci yurtları arasında diğer akslara göre belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Şehir merkezinden uzak olması nedeniyle yerleşke ana giriş kapıları boyunca oluşan hat, yaya yoğunluğundan ziyade araç yoğunluğu ile öne çıkmaktadır. Eğitim birimlerine yaklaştıkça ise yaya sirkülasyonunda fark edilir bir artış söz konusu olmaktadır (Şekil 2).





**Şekil 3.** Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi ulaşım ağının değerlendirilmesi için belirlenen güzergâhlar.

Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi ulaşım ağı içerisinde yaya yoğunluk durumunun az olduğu kuzeydoğu aksı 'Güzergâh 1' olarak belirlenmiştir. Ana girişler tarafından doğrudan erişilen ve öğrenci yurtlarına kadar hat boyunca kesintisiz şekilde devam eden güneybatı aksı ise değerlendirilmek üzere 'Güzergâh 2' olarak belirlenmiştir (**Şekil 3**).

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Literatür taraması sonucu yaya sirkülasyonuna ilişkin mevcut durumu ortaya koymak ve akıllı kampüs olma yolunda değerlendirilebilecek 10 farklı parametre ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla; ulaşılabilirlik, aydınlatma, duraklar, güvenlik, hız kesici kasırlar, levhalar (yönlendirme, bilgilendirme), bisiklet yolu, yaya geçidi, kaldırım, bakım ve temizlik olarak belirlenmiştir (**Tablo 1**). Seçilen güzergâhlar, belirtilen değerlendirme kriterleri açısından, 1 (çok yetersiz) ile 5 (çok yeterli) arasında puanlandırılmıştır.

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri.

Değerlendirme Kriterleri	Güzergâh 1					Güzergâh 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Ulaşılabilirlik		+				+				
Aydınlatma			+					+		
Duraklar				+					+	
Güvenlik				+					+	
Hız Kesici Kasisler			+			+				
Levhalar (Yönlendirme, Bilgilendirme)					+	+				
Bisiklet Yolu				+		+				
Yaya Geçidi					+		+			
Kaldırım			+			+				
Bakım ve Temizlik					+		+			

Ulaşılabilirlik; yapılı çevrede veya kent ölçeğinde bireyin bir başka kişiye ihtiyaç duymadan istediği yere gidebilmesi ve bunları kullanabilmesi ölçütüdür. Yerleşkede iki güzergâh için de ulaşılabilirlik yetersiz bulunmuştur. Kaldırımlara uygun sayı ve standartta rampa çözümlerinin yapılmaması, peyzaj donatılarının yaya aksı üzerinde düzensiz konumlandırılması ulaşılabilirliği kısıtlayan etkenler arasında yer almaktadır.

Aydınlatma; her iki güzergâh için de ortalama değerde görülmüştür. Balıkesir Üniversitesi'nin ikinci öğretim dersleri olan eğitim birimleri ile yaşayan bir üniversite olduğunu söylenebilir. Bu ise akşam/gece saatleri için aydınlatmanın güvenlik açığı oluşturabileceğini ve geliştirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Duraklar; Güzergâh 1 için yeterli sayıda görülmüş, Güzergâh 2 ise toplu taşıma rotası içerisinde kısmen yer aldığı için durak sayısı sınırlı olsa da yeterli olarak görülmüştür.

Güvenlik; Güzergâh 1 ve Güzergâh 2 için yeterli bulunmuştur. Aydınlatmanın orta düzeyde olması, aktif yaya sirkülasyon farklılığı, gece saatleri kullanımı güvenlik ile alakalı tereddüt oluştursa da güvenlik birimlerinin her iki güzergâh üzerinde de bulunması bu durumu kısmen ortadan kaldırmaktadır.

Hız kesici kasisler; yerleşke içerisinde tasarlanan trafik yoğunluğunu kontrol altına almayı ve araç hızlarını gerekli limitte tutmayı hedeflemektedir. Böylece yerleşke içerisinde yaya sirkülasyonu sağlıklı bir şekilde

devam ettirilebilir. Hız kesici kasisler, Güzergâh 1’de ortalama değerde iken Güzergâh 2’de yetersiz görülmüştür (**Şekil 4**).



**Şekil 4.** Güzergâh 1 üzerinde bulunan hız kesici kasis.

Levhalar (Yönlendirme, bilgilendirme); Güzergâh 1’de çok yeterli iken Güzergâh 2’de yetersiz bulunmuştur. Güzergâh 1’de çoğunlukla levhalar yol ayrımlarına ve kavşaklara yerleştirilmiştir. Bu ise yerleşke içerisinde araç-yaya trafik kalitesinin farklılaştığını göstermektedir (**Şekil 5**).



**Şekil 5.** Güzergâh 1 üzerinde bulunan yönlendirme ve bilgilendirme levhaları.

Bisiklet yolu; Güzergâh 1 için kesintiye uğrayarak devam etse de yeterli bulunmuştur. Ancak Güzergâh 2 boyunca bisiklet yolu yapılmamıştır. Bisiklet park yeri ise oldukça az sayıda bulunmaktadır (**Şekil 6**).



**Şekil 6.** Güzergâh 1 üzerinde bulunan bisiklet yolu.

Yaya geçidi; yaya yoğunluğunun arttığı yerlerde araç trafiğini kontrol altına alarak güvenli bir akış sağlamaktadır. Yerleşkede yaya geçitlerine Güzergâh 1’de yeterli düzeyde yer verilirken, Güzergâh 2’de yer verilmemiştir. Güzergâh 2’de yaya yoğunluğu oluşan bölge Tıp Fakültesi öğrenci giriş aksıdır. Ancak burada da öğrencilerin toplu taşımadan indikten sonra güvenli şekilde karşıya geçmelerini sağlayacak yaya geçidi ve beraberinde olması beklenen hız kesici kasis uygulaması bulunmamaktadır (**Şekil 7**).



**Şekil 7.** Güzergâh 2 Tıp Fakültesi öğrenci giriş yaya aksında yaya geçidi planlanması.

Kaldırımlar; yerleşkede genel olarak kesintisiz şekilde planlansa da, uygulama doğrulukları farklılık göstermektedir. Kaldırım genişlik ve yüksekliklerinin değişiklik gösterdiği görülmektedir. Aynı zamanda

uygun eğimde rampa çözümlerine rastlanmamaktadır. Güzergâh 1’de kaldırımların orta düzeyde yeterli olduğu düşünülmektedir. Güzergâh 2 için kaldırımların birçok açıdan kullanışlı olmadığı bu yüzden yetersiz olduğu görülmüştür.



**Şekil 8:** Güzergâh 2 üzerinde bulunan kaldırımlarda bitki bakımı sorunu

Bakım ve temizlik; yerleşke genelinde çevre temizliği, bitki bakımı, donatı elemanları bakımı gibi konuları kapsamaktadır. Yerleşke genelinde çevre temizliği ortalamasının üzerinde olsa da Güzergâh 2’de oluşan bitki bakım sorunu yaya sirkülasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir (**Şekil 8**).

## 5. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde sıklıkla karşılaştığımız akıllı terimi son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber birçok alanda kendine yer bulmaktadır. Kentlerin akıllı kavramıyla beraber gelişimine küçük bir ölçekte üniversite kampüsleri de örnek olarak verilebilmektedir. Teknoloji ve bilimin yuvası olan üniversitelerin kentlerle entegre halde akıllı olma yolunda ilerlemeleri birçok farklı strateji tarafından oluşturulmakta ve kentin sürdürülebilir gelişimine katkı sunmaktadır.

Bu stratejilerden biri olan ‘Akıllı Hareketlilik’ temiz, güvenli ulaşım ve çoğunlukla motorsuz seçeneklere özellikle öncelik tanımaktadır. Bu sistemler tramvay, tren, metro, otobüs, araba, bisiklet, skuter gibi ulaşım araçlarının yaya etkileşimiyle bir arada planlandığı, sürdürülebilir ulaşım vizyonlarıyla desteklendiği akıllı ulaşım stratejilerini gerekli kılmakta ve kentsel morfolojisini daha erişebilir hale getirmektedir. Akıllı ulaşım ait bu planlamaların düşük CO2 emisyonu, karbon salınımı ve motorsuz ulaşım seçeneklerini teşvik ederek; çevreyi korumayı, trafikte geçen süreyi azaltarak zaman tasarrufunu sağlamayı, ulaşım sistemlerinin daha

etkin kullanımını desteklemekte ayrıca kaynak optimizasyonu ile verimlilik artışlarını önemli ölçüde sağlamaktadır. Bu bağlamda planlanan Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), trafik sıkışıklığı, emniyet, hava kirliliği gibi ulaşım kaynaklı birçok önemli sorunu göz önünde bulundurarak, ulaşım altyapılarının verimliliğini artırmada, erişilebilir bir ulaşım sistemi planlamada ve sürdürülebilirliğine katkı sunmada önemli bir yaklaşımdır. Araç yaya sirkülasyonunun koordinasyonunun etkin planlanması oldukça önemli rol oynamaktadır. Kampüs içerisinde doğal kaynaklar ve yenilenebilir enerji kullanılarak daha çevreci yaşam alanları oluşturmak ve yaya ulaşım ağlarını güçlendirmek akıllı yerleşke planlamalarında esastır. Üniversite kampüslerinde ve kentle kurulan ulaşım ağlarında bu uygulamaların pek çok destek sunacağı düşünülmektedir.

Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi özelinde ele alınan bu çalışmayla, akıllı ulaşım sistemleri bağlamında yaya öncelikli değerlendirilmesi yapılarak; yaya yollarının ulaşım ağında etkinliği, mevcut durumu ve akıllı olma yolunda gelişime açıklığının tespiti sağlanmıştır. Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi ulaşılabilirlik, aydınlatma, duraklar, güvenlik, hız kesici kasıslar, levhalar (yönlendirme, bilgilendirme), bisiklet yolu, yaya geçidi, kaldırım, bakım ve temizlik gibi kriterler ile belirlenen ana iki güzergâh bağlamında 3 uzman tarafından puanlama yöntemiyle değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu Güzergah 1'in Güzergah 2'ye oranla daha aktif bir araç-yaya sirkülasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle Güzergah 1' de belirlenen kriter sonuçlarının ortalama üzerindeyken Güzergah 2'de yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak üniversite yerleşkelerinin yoğunluğa ve zamana bakılmaksızın her alanda aynı yeterliliğe sahip olması beklenmektedir. Bu sayede; yerleşke kullanıcılarının aktif, güvenli ve etkin ulaşım ağlarıyla bir bütün olarak istenilen verimi alması sağlanacaktır. Güzergah 2 boyunca yapılaşmanın az olmasına karşın rekreasyon alanları ve geleceğe dönük kullanıcı planlamalarıyla daha etkin hale getirilmesi mümkündür. Böylece yerleşke bir bütün olarak kullanıcıya hizmet etmeye başlayacaktır. Bu bağlamda Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi iç ulaşım ağında tespit edilen eksiklikler/yetersizlikler hakkında bazı öneriler getirilmiştir:

- Ulaşılabilirliğin yerleşke içinde artırılması amacıyla, kaldırımların kesintisiz şekilde devamlılığı sağlanmalıdır. Standartlara uygun yükseklik ve genişlikte olması beklenen kaldırımlarda engelliler için sürekli bir şekilde kılavuz yüzeyler oluşturulmalıdır. Gerekli düzenlemelerle beraber uygun standartta rampalar da eklenmelidir.
- Yerleşkede aydınlatma, geleneksel çözümler yerine solar sistem çalışan sensörlü peyzaj aydınlatmaları ile değiştirilerek enerji tasarrufu sağlanabilir. Elektrik maliyetlerinde gerçekleşecek ciddi azalma ile finansal avantaj oluşturulabilir. Aynı zamanda akıllı sistemler ile herhangi bir arızanın tespiti ve müdahale süresi oldukça hızlanmaktadır.

- Yerleşkede toplu taşıma sıklığının artması ve bekleme süresinin azalması amacıyla, daha fazla sayıda durak oluşturulabilir. Duraklar akıllı hale getirilerek bekleme süresince 7/24 aktif olan kameralarla güvenli seyahat imkânı oluşturulurken, toplu taşımaların anlık konumları duraklar içindeki ekranlardan takip edilebilir. Aynı zamanda duraklar kendilerine entegre solar panellerle kendi enerjilerini kendi üretebilir böylece yenilebilir enerji kullanılabilir.
- Teknolojinin daha etkin kullanımıyla, yerleşkede 7/24 aktif halde olan güvenlik kameralarının sayısı artırılmalıdır, böylece oluşabilecek olumsuzluklara veya acil durumlara/tehditlere karşın daha etkin bir kriz yönetimi sağlanmalıdır.
- Yaya akışında araç trafiğinin düzenlenmesi oldukça önemlidir. Yaya yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde araç denetimi sağlamak amacıyla uygun sayıda yerleştirilecek hız kesici kasislerin sayısı artırılmalıdır. Ancak bu düzenleme ile acil durumlarda müdahale süresinin uzaması da göz önünde bulundurularak akıllı hız kesici kasis uygulamaları yapılabilir.
- Sürekli bisiklet yollarının sağlanması ile yerleşke içi araç trafiği azaltılmalı ve çevreci bir ulaşım ağı oluşturulmalıdır. Bisiklet yollarının araç yolları ile aynı düzlemde yer aldığı Çağış Yerleşkesinde aktif bisiklet kullanımı sağlamak amacıyla bisiklet park yerleri sayısı çoğaltılmalıdır. Bisikletler için mobil bir sistem oluşturularak akıllı bisiklet ulaşım sistemi oluşturulabilir. Böylece yerleşke içerisinde bisiklete erişim kolaylaşacak böylece çevreci ve sağlıklı bir sistem kurulmuş olacaktır.
- Yerleşke içi mobil uygulamalar geliştirilerek toplu taşıma takip sistemi, bisiklet erişimi, skuter erişimi, genel aktiviteleri kolayca takip edebilir böylece zaman, enerji tasarrufu sağlanabilir.
- Yerleşke içi sürdürülebilir ulaşım ağı oluşturmak adına günümüzde sayıları artan elektrikli araçlar, bisikletler ve skuterlar için uygun şarj istasyonları ve otoparkları oluşturulabilir. Bu istasyonlar solar sistemlerle kendi enerjilerini üretebilir halde organize edilebilir.
- Akıllı otoparklar ile yerleşke içerisinde istenilen yerde uygun araç park alanı olup olmadığı kontrol edilebilir böylece trafik kontrolü de daha etkili bir biçimde sağlanabilir.
- Gün içerisinde yoğunluğu değişen yaya sirkülasyonunu kontrol edebilmek için yerleşke içi ringler insandan bağımsız şekilde otonom araçlar ile sağlanabilir. Bu şekilde sefer saati ve sıklığı ihtiyaca binaen oluşturulabilir.

Sayılan öneriler ile üniversite yerleşkesi içerisindeki ulaşım ağında ‘uygulanabilecek akıllı ulaşım teknolojileri’ sayesinde pek çok avantaj sağlanacaktır. Çalışma sürdürülebilir kent perspektifi ile akıllı kent uygulamalarının, gelecekte üniversite yerleşke ulaşım planlamalarında ‘akıllı ulaşım sistemleri ve teknolojilerinin sağlayacağı enerji kazanımı, erişebilir eğitim imkânları, etkin zaman yönetimi ve sosyo-kültürel yaşama sunacağı desteği ortaya koymaktadır. Çalışma akıllı kent uygulamalarına destek sunmak

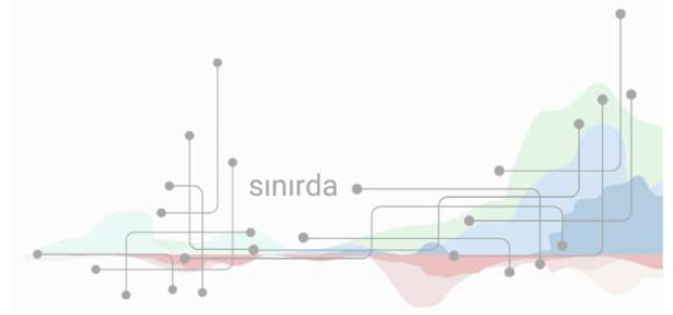
üzere, Balıkesir şehir içi ulaşımındaki uygulamalara da rehberlik etmeyi ve yerel yönetimlere önemli bir strateji olan akıllı ulaşım sistemleri ve teknolojilerini önermeyi hedeflemektedir.

## KAYNAKLAR

- Ataç, B., (2019). 'Akıllı Şehir Projelerinde Karar Alma ve Koordinasyon Yaklaşımları'. Researcher: Social Science Studies 2019, Cilt 7, Sayı 4, s. 55-83.
- Ataman, H., Dülğaroğlu, O. & Özgürel, G. (2023). *Turizm akademisyenleri gözüyle akıllı destinasyon: Ayvalık için bir model önerisi*. (Eds: F. Okumus, B. Denizci-Guillet, M. Tuna & S. Doğan), Daha iyi bir dünya için turizm içinde. 1-19. USF M3 Publishing.
- Ateş, M. (2017). Akıllı Şehirler ve Dünya Şehirlerinin Geleceği. *İTÜ Vakfı Dergisi* 77, 32-36.
- Aydın G. T. ve Öztürk Z. (2018). Akıllı Kent Lojistiğinin Mekânsal İlişkilendirilmesi. *İşletme Bilimi Dergisi (JOBS)*, 2018; 7(1), 237-261.
- Balıkesir Üniversitesi. (2024). 2023 İdare Faaliyet Raporu. Web:[https://www.balikesir.edu.tr/upload/202403250933/files/idare\\_faaliyet\\_19\\_03\\_2023.pdf](https://www.balikesir.edu.tr/upload/202403250933/files/idare_faaliyet_19_03_2023.pdf) (Erişim Tarihi: 30.04.2024).
- Benevolo, C., Dameri, R. P. & D'Auria, B. (2016). Smart Mobility in Smart City. T. Torre, A. M. Braccini ve R. Spinelli (Ed.), *Empowering Organizations* içinde (ss. 13-28). Switzerland: Springer.
- Chichernea, V. (2014). The use of decision support systems (DSS) in smart city planning and management. *Journal of Information Systems & Operations Management*, 8(2), 238-252.
- Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T.A. & Jochen, H. (2012). Understanding smart cities: an integrative framework. *45th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2289-2294.
- Çetinkaya Özkan, E. (2022). Fırat Üniversitesi Yerleşkesi Ulaşım Ağının Yaya Öncelikli Planlama ve Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(2), 839-854.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Milanović P. N. & Meijers, E. (2007). Smart cities ranking of European medium-sized cities. *Vienna University of Technology*, 1-20.
- Gürsoy, O. & Ömürgönülşen, U. (2019). Akıllı Kent Bileşeni Olarak "Akıllı Vatandaş" Bağlamında Bir Test Sahası Olarak Üniversite Kampüsleri. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*. 2(1), 19-28.
- Hameed, A. A. (2019). *Smart city planning and sustainable development*. 2nd International Conference on Sustainable Engineering Techniques, 1-13.
- Kamu Teknoloji Platformu (2016). "Akıllı Kentler Masa Başı Araştırması", XSIGHTS. <https://docplayer.biz.tr/33725407-Haziran-akilli-kentler-masabasi-arastirmasi.html> (Erişim Tarihi: 03.03.2024).
- Kılıç, B. & Akyıldız N. A. (2020). *Üniversite Kampüslerinde Erişebilirlik Açısından Mekânsal Planlama Kriterlerinin İncelenmesi Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi ve Kütüphane Binası*. III. Uluslararası Mardin Artuklu Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Mardin.



- Kocaman, M. S. (2020). Akıllı Şehir Kriterleri ile Akıllı Kampüs İndeksi Oluşturulması. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(3), 1-6.
- Manville, C., Cochrane, G., Cave, J., Millard, J., Pederson, J. K., Thaarup, R. K., Liebe, A., Wissner, M., Massink, R. & Kotterink, B. (2017). *Mapping Smart Cities in the EU*. European Parliament Published, Brussels.
- Mishra, M. K. (2013). Role of technology in smart governance: smart city, safe city. *Krityanand Unesco Club*, 1-20.
- Öner, Ş. & Çam, B. (2022). Akıllı kent vizyonu ve Balıkesir akıllı kent girişimleri. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 1154-1187.
- Örselli, E., Bilici, Z. & Babahanoğlu, V. (2018). Akıllı Vatandaş Akıllı Kentler ve Türkiye. *Presented at the 4. Uluslararası Politik, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Kongresi*, Venedik.
- Öztaş Karlı, R. G. & Çelikyay, S. (2022). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) üzerine Türkiye'deki politikaların araştırılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*. 5(2), 1-14.
- Seki, İ. (2012). Bilgi Yönetişimi ve Üniversite Ekonomisi: Teorik Bir Yaklaşım. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 45-66.
- Smart Cities Council (2014). *Mapping Smart Cities in The EU*. European Parliament. Web:<https://www.wik.org/en/publications/publication/mapping-smart-cities-in-the-eu> (Erişim Tarihi: 30.04.2024)
- Sussman, J. S. (2005). *Perspectives on intelligent transportation systems (ITS)*. Springer.
- Türeyen, M. N. (2002). *Yükseköğretim Yapıları – Yerleşke*. Tasarım Yayın Grubu, İstanbul.
- Uzer, O. & Özaslan, A. (2023). Bursa ve Antalya'nın akıllı kent içi ulaşım denemeleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi*, 6(2), 238-252.
- Üneş, M. & Közkurt, C. (2021). Üniversite yerleşkesi ulaşım planlamasında akıllı ulaşım sistemleri ve teknolojilerinin kullanılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 4(2), 99-119.



## OTURUM 5 |

Sayısal Temsil ve Görselleştirme, Karar Destek Sistemleri

**Oturum Başkanı**  
**Prof. Dr. Salih Ofluoğlu**

## Otonom Şantiye Konteyneri Oryantasyonu Modül Önerisi

Raşit Eren Cangür<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi; <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>rasit.cangur@yildiz.edu.tr; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

### Özet

*Yapı pratiği sürecinde inşa faaliyetlerinin planlanması önemli bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada bu planlama sürecine alternatif bir çözüm önerilmiştir. Çalışma, geçici mekan ihtiyacını ve ona bağlı olan personel sayısını, proje gereksinimlerine göre dinamik bir biçimde yanıt veren bir model oluşturmayı amaçlamıştır. Bu modelin ana aktörü, inşa süreçlerinde geçici mekan olarak sıklıkla kullanılan konteyner seçilmiştir. Çalışma, kullanıcıdan aldığı proje alanı ve proje taban alanı bilgileri ile birlikte şantiye yönetimi için gerekli personel sayısı, geçici mekan sayıları ve dizilimlerini sayısal ve katı model olarak hesaplamaktadır. Çalışma Rhinoceros – Grasshopper ortamında gerçekleştirilmiş ve üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, girilen alan ve proje bilgileri doğrultusunda konteyner hareket uzayı belirlenmektedir. İkinci bölümde ise kullanıcının etkileşimde bulunacağı proje değişkenleri, inşa değişkenleri ve konteyner yayılım sistemleri oluşturulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise bilgilerin dökümünü, konteyner dizilimini ve verilerin görselleştirilmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmanın kullanıcı dostu, değerlerin farklılaşmasına izin veren bir arayüz ve görselleştirme araçları sunarak, mühendis ve mimarların verimli saha programlamaları oluşturmalarına yardımcı olabileceği düşünülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Yerleşim organizasyonu, algoritmik tasarım, arayüz tasarımı.

# Autonomous Construction Site Container Orientation Module Recommendation

Raşit Eren Cangür<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Technical University; <sup>2</sup>Yıldız Technical University

<sup>1</sup>rasit.cangur@yildiz.edu.tr; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

## Abstract

*Planning of construction activities is an important need in the process of building practice. In this study, an alternative solution to this planning process is proposed. The study aims to create a model that dynamically responds to the need for temporary space and the number of personnel connected to it according to the project requirements. The main actor of this model is the container, which is frequently used as a temporary space in construction processes. The study calculates the number of personnel required for construction site management, the number of temporary spaces and their arrangement as a numerical and solid model with the project area and project floor area information received from the user. The study was carried out in Rhinoceros - Grasshopper environment and consists of three main parts. In the first part, the container movement space is determined in line with the entered area and project information. In the second part, the project variables, construction variables and container deployment systems that the user will interact with are created. In the last part of the study, the breakdown of the information, container arrangement and visualisation of the data can be provided. It is thought that this study can help engineers and architects to create efficient field programming by providing a user-friendly interface and visualisation tools that allow differentiation of values.*

**Keywords:** Layout planning, algorithmic design, interface design.

## 1. Giriş

Proje alanı; malzeme, ekipman, işçilik, zaman ve maliyetin yanı sıra inşaat projeleri içerisinde sınırlı bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Tommelein & Zouein 1993). Proje alanının verimli kullanımı, alanın güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmakla beraber proje maliyetini ve programını önemli ölçüde etkilemektedir. Proje alanının düzeninin planlanmaması, verimsiz projelere, ek malzeme maliyetlerine, yama çözümlere ve gecikmelere sebebiyet verebilmektedir (Tommelein ve diğ., 1992; El-Rayes ve Khalafallah 2005). Bu planlamalar içerisinde önemli olan bir diğer faktör ise geçici mekanların oluşturulması ve onların konumlandırılmalarıdır. Geçici mekanlar; şantiye ofisleri, personel konaklama mekanları, sosyal donatılar ve güvenlik birimlerini içeren destek birimleridir. Literatürdeki çalışmalarda alan yerleşimi çalışmalarının birçoğunun içeriği geçici mekanlar ile sınırlıdır (Li & Love 1998; Hegazy & Elbeltagi 1999; Elbeltagi ve diğ., 2001; Osman ve diğ., 2003). Geçici mekanlar, genellikle projenin başlarında oluşmaktadır ve büyük ölçülerde kalıcıdır. Bu sebeple proje alanındaki yerleşimi projenin diğer süreçleri için büyük önem taşımaktadır. Bu geçici mekanların nicelikleri, uygulanacak olan projenin ihtiyaçlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Proje yapım sürecinde geçici mekanların gereksinimlerini statik olarak karşılanmaktadır. Statik modeller, uygulanacak olan projenin zamana bağlı fazlarını göz ardı eder ve projenin tüm süresi boyunca tüm nesnelere proje alanında bulunduğunu söylemektedir (Tommelein & Zouein 1993; Elbeltagi & Hegazy 2001; Lam ve diğ., 2007; Zhang ve Wang 2008, Easa & Hossain 2008). Ancak bu yaklaşım, alanın verimini optimum derecede tutmakta zorlanmaktadır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, proje alanındaki geçici mekanların konumlarını en aza indiren bir lineer programlama metodu (Zouein & Tommelein, 1999) ve genetik algoritma (Hegazy & Elbeltagi, 1999)( Li & Love, 1998) yaklaşımları bu problemi çözmeği amaçlayan çalışmalar olmuştur. Bu problemler dikkate alınarak, bu çalışmanın amacı, geçici mekan ihtiyacını ve ona bağlı olan personel sayısını, proje gereksinimlerine göre dinamik bir biçimde yanıt veren bir katı model önerisi ile ifade etmektir.

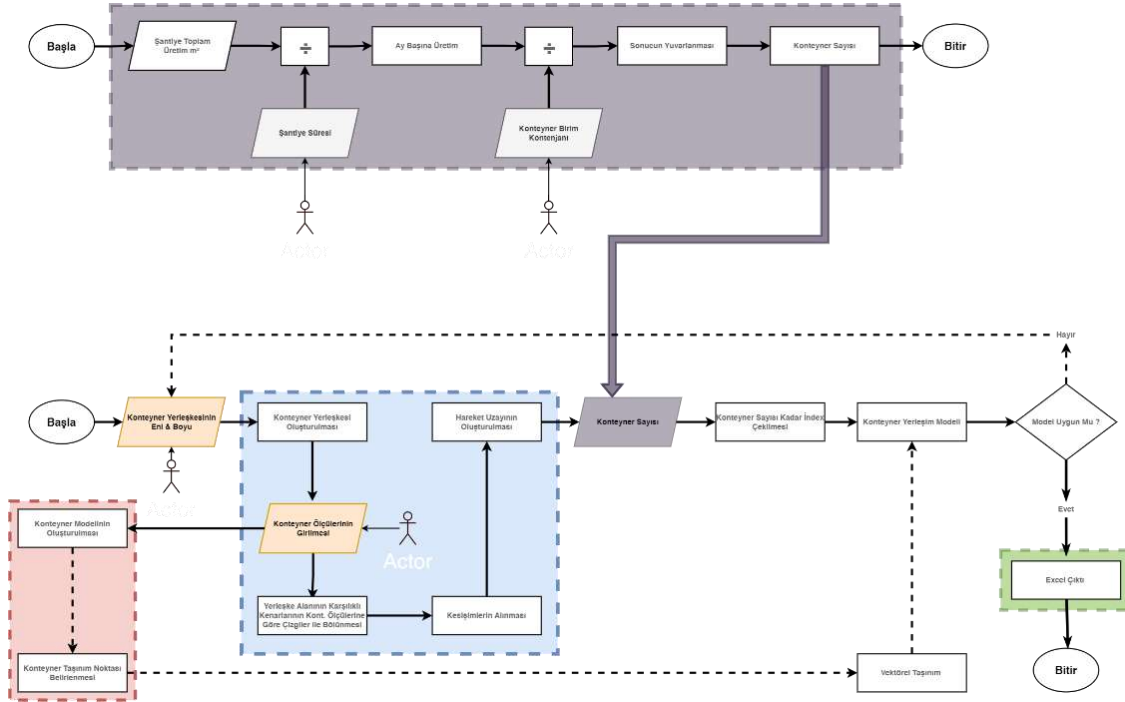
**Tablo 1.** Geçici Mekan Parametreleri.

Konteyner Tipleri	Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Yükseklik (m)
K1	2.43	6.10	2.60
K2	2.43	6.10	3
K3	2.43	12.20	2.60
K4	2.43	12.20	3

Çalışma; barınma, sosyal donatılar (yemekhane dinlenme alanı), ofisler ve depo işlevlerini içeren geçici mekanlar ile sınırlandırılmıştır. Çalışmada geçici mekanlar, taşınabilir ve modül sistemlerden oluşan konteynerlerden oluşturulmuştur. Bu konteynerlerin değişkenleri tabloda gösterilmiştir (**Tablo 1**). Bu değişkenler ile birlikte proje alanında ihtiyaç duyulan ıslak hacimler, sosyal donatılar ve dinlenme alanlarının oluşturulması ön görülmüştür. İnşaat alanlarında eğim %0 kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

## 2. Yöntem

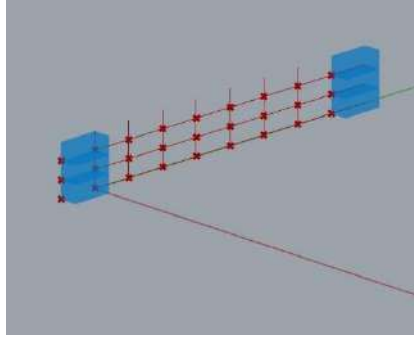
Çalışma, kullanıcıdan aldığı proje alanı ve proje taban alanı bilgileri ile birlikte şantiye yönetimi için gerekli personel sayısı, geçici mekan sayıları ve dizilimlerini sayısal ve katı model olarak hesaplamaktadır. Çalışma Rhinoceros – Grasshopper ortamında gerçekleştirilen etkileşimli, etkileşimsiz ve veri görselleştirme bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, girilen alan ve proje bilgileri doğrultusunda konteyner hareket uzayı belirlenmektedir. Devamında ise projede toplam inşa edilecek metrekaresinin ne kadar personel gereksinimi olduğunu hesaplanmaktadır (**Şekil 2**). İkinci bölümde ise kullanıcının etkileşimde bulunacağı proje değişkenleri, inşa değişkenleri ve konteyner yayılım sistemleri oluşturulmuştur. Kullanıcının bu sistemler ile etkileşime girmesi ve talep ettiği sonuca ulaşılması beklenmektedir. Sonuç kısmında bilgilerin dökümünü, konteyner dizilimini ve verilerin görselleştirilmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 2. Çalışmanın Algoritma Şeması.

## 2.1. Etkileşimsiz Alan

### •Konteyner Hareket Uzayının Belirlenmesi



Şekil 3. Hareket Uzayı Grid Noktaları ve Islak Hacim Konteynerleri.

Proje alanı bilgisi dört nokta ile sınırlandırılmıştır. Seçilen noktalar proje alanını tanımlamaktadır. Bu alanda kısa kenar ve uzun kenarlar seçildikten sonra, konteyner genişlik/uzunluk x yükseklik değerleri dikey düzlemde ızgara formunda rehber çizgileri oluşturulmuştur. Oluşan bu çizgilerin kesişim noktalarının her biri, hareket uzayında bir konumu tanımlamaktadır. Her bir işlev için ayrı, her bir dizilim için ayrı ızgara sistemleri oluşturulmuştur. Bu noktaların bütünü, sonraki aşamada bir liste olarak tanımlanmıştır. Böylelikle talep edilen sayı kadar nokta seçilerek konteynerların belirtilen uzayda dizilmesi hedeflenmiştir (Şekil 3).

### •Personel ve Konteyner İhtiyacı

Geçici mekanlar şantiye taahhüt süresi(c), proje alanının projenin taban alanına oranı(T) ve proje kat adedi(a) gibi değişkenlere ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte bir personelin inşa edeceği kapalı alanın metrekaresi(k) 8-10 m<sup>2</sup> kabul edilmiştir. Bu parametreler dikkate alınarak projede görev alması beklenen personel sayısı(2) ve proje süresince kullanılacak olan konteynerların sayısı(1) aşağıdaki denklemlere göre tahmin edilmiştir.

$$p = (T * a)/k$$

(1)

$$K = p/c$$

(2)



Denkleimde görüldüğü üzere, konteyner sayısı değişkeni, kullanıcı tarafından talep edilen proje alanı, proje kat adedi ve personel üretim kapasitesi gibi birçok değişkene bağlıdır.

## 2.2. Etkileşimli Alan ve Arayüzün Oluşturulması

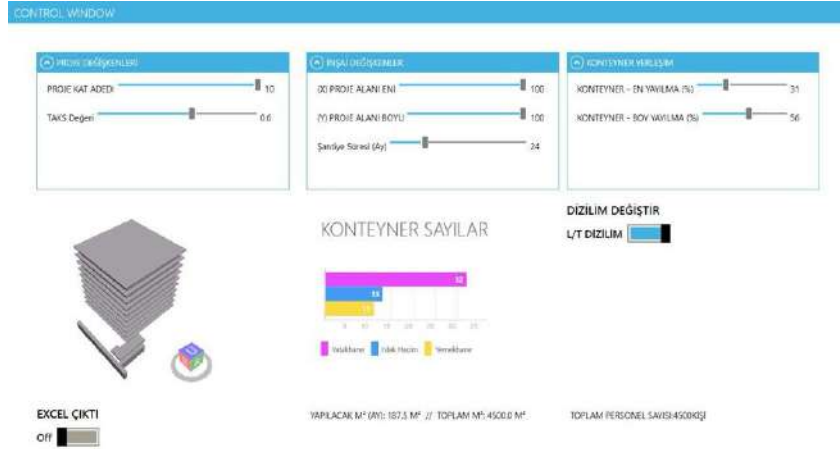
### •Proje Değişkenleri

Yapılacak olan projenin kat adedinin ve proje alanının proje taban alanına oranının (TAKS) dinamik bir şekilde seçildiği paneldir (Şekil 4).

### •İnşa Değişkenleri

Bu panel içerisinde proje alanının eni ve boyunu en fazla 100 metre olacak şekilde seçilmektedir. Bununla birlikte şantiye süresi değişkeni, projenin öngörülen tamamlanma süresini belirlemektedir (Şekil 4).

### •Konteyner Yerleşimi

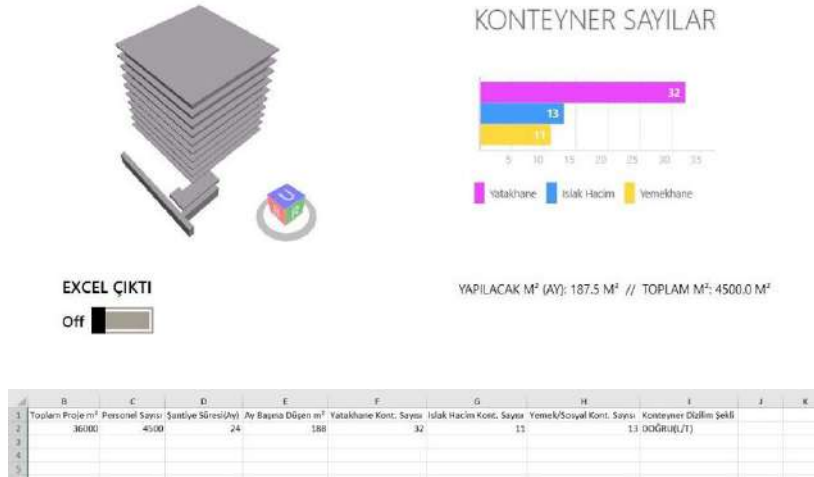


Şekil 4. Arayüz Tasarımı, HumanUI/Grasshopper Eklentisi.

Bu panel, projenin kısa ve uzun kenarına bağlı olarak referans aldığı kenara seçilen oranda yayılım sağlayabilmektedir. Bu değişken sayesinde, konteyner dizilimi zenginleşmiş, olası yükseklik risklerinin de

imkanlar dahilinde önüne geçmiştir (**Şekil 4**). Bu panelin aşağısında, konteyner dizilimini etkileyen “DİZİLİM DEĞİŞTİR” butonu yer almaktadır. Bu buton aktif olduğunda, konteynerler L/T şeklinde dizilime sahip olacak, pasif olduğunda ise I şeklinde paralel dizilimi gösterecektir. Bu dizilimlerde L/T diziliminde, I diziliminden farklı olarak, konteyner bloklarının keşişmesinden faydalanarak yemekhane/sosyal alan konteynerları çözümü inşa alanı ve konteyner arasında oluşmaktadır. Ancak I dizilimde ise sosyal alan/yemekhane birimi belirli bir kişi sayısı üzerinde blokların devamına yerleştirilmektedir. Dizilimler sunduğu imkanların farklı olmasının en önemli sebeplerinden biri inşa alanının boyutları olmuştur (**Şekil 4**). Konteyner dizilimi, bütün desenlerde aynı mekan ilişkilerini kullanmaktadır. Konteyner dizilimlerinde ıslak hacimler ve yatakhane birimleri birbiriyle sıralı, yemekhane/sosyal alan birimiyle eş zamanlı dizilim göstermektedir. Her katın ilk ve son dizilimleri ıslak hacimlerden oluşmaktadır. ıslak hacimlerin arası ise yatakhane birimlerinden oluşmaktadır. Yemekhane/sosyal alan birimi sıralı bir şekilde L/T diziliminde yatakhane keşişim noktasından koridor bırakacak şekilde yerleşim göstermektedir. I yerleşiminde ise yatakhane ve ıslak hacim birimleri proje alanının seçilen kenarına bağlı kalarak ve aralarında koridor oluşturarak paralel bloklar halinde kendi iç dizilim kurallarını uygulamaktadır. Bununla birlikte I düzeninde yeterli yer olduğu koşulda yemekhane/sosyal alan bloğu eş zamanlı olarak oluşmaya başlamaktadır (**Şekil 4**).

### 3. Bulgular



Şekil 5. Arayüz, Bulgular ve Çizelge Çıktısı.

Etkileşimli Arayüzün bulgular kısmında ise seçilen değişkenler ile talep ettiğimiz geçici mekan(konteyner) sayıları, personel sayıları, ay başına tamamlanacak olan metrekare bilgisi ve toplam metrekare bilgisi verileri elde edilmektedir. Kullanıcının bilgiyi etkin kullanması için, elde edilen sonuç verileri çubuk grafik, üç boyutlu ön izleme ekranı ve şantiye planlama sürecine dahil edilmesi için çizelge şeklinde görselleştirilebilmektedir (Şekil 5).

#### 4. Sonuç

Bu çalışma proje alanı planlamacılarına, saha mühendislerine ve mimarlara faydalı bir araç niteliği taşıdığı düşünülmektedir. Geliştirilen arayüz kullanıcının ihtiyaç duyduğu nesnelere niceliksel verilerini tahmin ederken, süreç içerisinde zamandan tasarruf ettirmektedir. Arayüzün önemli özelliklerinden bir diğeri ise uzman bilgisi gerektirmeden son kullanıcı hedeflenmektedir. Böylelikle sezgisel yollarla geliştirilen arayüz hedef kullanıcı tarafından öğrenilmesi beklenmektedir. Önerilen arayüz sayesinde farklı planlama senaryoları üretilmekte ve bunların sonuçları çizelgeler ile karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca arayüz, kullanıcıların analiz sonuçlarını anlamasını ve yorumlamasını kolaylaştıran çeşitli görselleştirme araçları içermektedir. Bununla birlikte arayüz ve çalışmada bazı sınırlandırmalar mevcuttur. Çalışma; proje alanını dikdörtgen olarak kabul etmekte ve sınırlamakta, dizilim olarak yeterli seçenek barındırmamaktadır. Gelecek çalışmalarda, çalışmanın bu noktalarının geliştirilmesi düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmanın, proje alanının planlanmasında zaman kazandıracak ve projenin verimini arttıracak umut verici bir araç olarak görülmektedir. Kullanıcı dostu, değerlerin farklılaşmasına izin veren bir arayüz ve görselleştirme araçları sunarak, mühendis ve mimarların verimli saha programlamaları oluşturmalarına yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte çalışmada oluşturulan arayüzün, sonraki çalışmalarda geliştirilerek çeşitli tasarım ve planlama senaryolarında daha yaygın bir şekilde uygulanabilir hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- Zoueïn, P.P., and Tommelein, I.D. 1999. Dynamic layout planning using a hybrid incremental solution method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(6): 400–408. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:6(400).
- Tommelein, I.D., and Zoueïn, P.P. 1993. Interactive dynamic layout planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(2): 266–287. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:2(266).

- El-Rayes, K., and Khalafallah, A. 2005. Trade-off between safety and cost in planning construction site layouts. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(11): 1186–1195. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:11(1186).
- Li, H., and Love, P.E.D. 1998. Site-level facilities layout using genetic algorithms. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(4): 227–231. doi:10.1061/(ASCE) 0887-3801(1998)12:4(227).
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., Hosny, A.H., and Eldosouky, A. 2001. Schedule-dependent evolution of site layout planning. *Construction Management and Economics*, 19(7): 689–697. doi:10.1080/01446190110066713.
- Osman, H.M., Georgy, M.E., and Ibrahim, M.E. 2003. A hybrid cad-based construction site layout planning system using genetic algorithms. *Automation in Construction*, 12(6): 749–764. doi:10.1016/S0926-5805(03)00058-X.
- Lam, K.C., Ning, X., and Ng, T. 2007. The application of the ant colony optimization algorithm to the construction site layout planning problem. *Construction Management and Economics*, 25(4): 359–374. doi:10.1080/01446190600972870.
- Zhang, H., and Wang, J.Y. 2008. Particle swarm optimization for construction site unequal-area layout. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(9): 739–748. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:9(739).
- Easa, S.M., and Hossain, K.M.A. 2008. New mathematical optimization model for construction site layout. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(8): 653–662. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:8(653).
- Zouein, P. P., & Tommelein, I. D. (1999). Dynamic layout planning using a hybrid incremental solution method. *Journal of construction engineering and management*, 125(6), 400-408.
- Hegazy, T., & Elbeltagi, E. (1999). EvoSite: Evolution-based model for site layout planning. *Journal of computing in civil engineering*, 13(3), 198-206.
- Li, H., & Love, P. E. (1998). Site-level facilities layout using genetic algorithms. *Journal of computing in civil engineering*, 12(4), 227-231.

## Mimari Eskizlerde Renk ve Anlatı: İki Aşamalı Protokol Çalışması

Nur Sipahioğlu<sup>1,2</sup> ; Ethem Güner<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yaşar Üniversitesi; <sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi



<sup>1</sup>nur.sipahioğlu@yasar.edu.tr; <sup>2</sup>egurer@itu.edu.tr

### Özet

*Bu çalışma, mimari eskizlerde renk ve anlatının kullanımını iki aşamalı bir protokol çalışması aracılığıyla incelemektedir. Çalışma, renk ve anlatının tasarım sürecindeki rolünü ve bu iki öğenin nasıl birleştirilebileceğini araştırmaktadır. Renk ve anlatı mimari tasarımda genellikle göz ardı edilen ancak önemli unsurlardır. Renk, biçim ve anlatı arasındaki ilişki ve bu unsurların tasarım sürecinde nasıl kullanılabileceği bu çalışmada tartışmaya açılmaktadır. Renk ve anlatının eskizlerde nasıl kullanıldığını ve tasarım sürecine nasıl katkıda bulunduğunu göstermek için hem profesyoneller hem de öğrencilerle yapılan iki aşamalı protokol çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk aşama, analog ve dijital çizim araçlarının kullanımını değerlendirirken, ikinci aşama tasarım sürecini tersten okuyarak katılımcıların renkli kalemler ve sulu boya kullanarak gerçek yapıların eskizlerini çizmelerini ve eskizlerinin sözel anlatılarını içermektedir. Bulgular, renk ve anlatının tasarım sürecindeki potansiyelini ve kısıtlamalarını ortaya koymaktadır. Çalışma, tasarım eğitiminde ve pratiğinde renk ve anlatının entegrasyonuna daha fazla önem verilmesi gerektiği sonucuna varmaktadır. Ayrıca, bulguların niteliği mimari eskizlerde renk ve anlatının kullanımı hakkında daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Renk ve anlatının tasarım sürecindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için, bu iki öğenin daha bilinçli kullanımını teşvik edilmelidir. Bu, tasarım sürecinin sadece estetik değil, aynı zamanda işlevsel ve atmosferik boyutlarını da zenginleştirebilir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Eskiz, renk, anlatı, protokol çalışması.*

## Color and Narrative in Architectural Sketches: Two-Stage Protocol Study

Nur Sipahioğlu<sup>1</sup> ; Ethem Güner<sup>2</sup>   
<sup>1</sup>Yasar University; <sup>2</sup>Istanbul Technical University  
<sup>1</sup>nur.sipahioğlu@yasar.edu.tr; <sup>2</sup>egurer@itu.edu.tr

### Abstract

*This study examines the use of color and narrative in architectural sketches through a two-stage protocol study. The study explores the role of color and narrative in the design process and how these two elements can be combined. Color and narrative are often overlooked but essential elements in architectural design. The relationship between color, form, and narrative, as well as how these elements can be used in the design process, are discussed in this study. Two-stage protocol studies were conducted with professionals and students to demonstrate how color and narrative are used in sketches and contribute to the design process. While the first stage evaluates analog and digital drawing tools, the second stage involves reading the design process in reverse, having participants draw sketches of actual structures using colored pencils and watercolors, and verbal narratives of their sketches. The findings reveal the potentials and limitations of color and narrative in the design process. The study concludes that greater emphasis should be placed on integrating color and narrative in design education and practice. Additionally, the nature of the findings highlights the need for further research on using color and narrative in architectural sketches. More conscious use of these two elements should be encouraged to understand better the effects of color and narrative on the design process. This can enrich the design process's aesthetic, functional, and atmospheric dimensions.*

**Keywords:** Sketch, color, narrative, protocol study.

## 1. Giriş

Eskiz, zihnimizden geçenleri detaylandırmadan, farklı düşünceleri hızlı bir şekilde aktarmamızı sağlayan eleştirel düşünme ve iletişim aracıdır. Eskizin muğlaklığı aynı zamanda yeni şeyleri görmemize de yardımcı olur. Bu sayede tek bir çözüme odaklanmak yerine birçok farklı fikir üretilebilmektedir. Eskizler tasarım sürecinin ilk adımı olabilir, ancak anlatı da çokça eskize eşlik eder; tasarım talimatları, başkalarıyla konuşmalar ve kendi kendimize düşünme, hepsi dil ile işlenir. Bu nedenle bu çalışmada sözlü ve yazılı tüm anlatı tasarım süreci açısından önemlidir. Tasarımda muğlaklığın değerini ortaya çıkaran eskizin farklı şekillerde incelenmesi eskiz süreci için üretilecek hesaplamalı modeller için de değerlidir. Eskizin hesaplamalı tasarımdaki önemi için Negroponte (1970), hesaplamalı tasarımda eskizi göz ardı ederek doğrudan gerçekçi modelin üretimine yönelmenin tasarımın ilerlemesine ve gelişmesine zarar verebileceğini belirtmiştir. Muğlaklık ve kusurlar, eskiz sürecinde tasarımın algısını zenginleştirmektedir. Forbus (2012) benzer şekilde eskiz yoluyla yazılımla iletişim kurmanın bilgisayar etkileşiminde yeni yollar açacağını belirtmektedir. Görsel temsilin kasıtlı bir üretimi olan eskiz, düşünmenin, öğrenmenin ve iletişimin yeniden yorumlanmasını sağlar (Forbus ve Ainsworth, 2017). Suwa ve Tversky (1997) eskizi “algısal arayüz” olarak adlandırmaktadır. Bu arayüz ile görsel özelliklerin altında yatan görsel olmayan işlevsel düşüncelerin keşfedilmesi mümkün olmaktadır. Jonson (2005) dijital araçların kavramsallaştırmayı nasıl etkilediğini peşine düşerek kavramsal aşamada sözelleştirmenin eskiz yapmaktan çok daha güçlü bir şekilde öne çıktığını ve bilgisayarların fikir oluşturma araçları olarak iyi adaylar olduğunu bulmuştur. Jonson'a göre sözlü varlıklar olduğumuz ve kelimeler düşünce sürecimizi oluşturduğu için sözelleştirme mantıklıdır. Dolayısıyla şu soru ortaya çıkmaktadır: Özellikle yeni dijital çizim arayüzleri ve yazılımları tasarlarken, eskiz sürecine başka hangi teknikleri veya unsurları dahil edebiliriz? Bu bağlamda bu çalışmada eskizin birer parçası olan renk ve anlatı arasındaki ilişki üzerinden, geleneksel yaklaşımların potansiyellerinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

Sanatta, mimaride ve felsefede çok tartışılan bir konu olan renk, genellikle mimari tasarımda hayati bir unsur olarak görülmez. Biçim ve renk arasındaki tarihsel gerilim, rengin önemine ilişkin eğilimleri de etkilemektedir. Renk farklı disiplinlerde yoğun bir şekilde incelenmiştir. Konu mimarlık olunca renk, ya tasarımın kritik bir öğesi olarak görülmüş, tüm süreç boyunca bilinçli olarak kullanılmıştır ya da tasarımdan uzaklaştıran bir şey olarak göz ardı edilmiştir. Özellikle tasarım stüdyosu, öğrencilerin tasarım sürecinin başlangıcından itibaren renk kullanma konusundaki tereddütlerini veya zaman zaman gereksiz cüretlerini yansıtmaktadır. Stüdyonun geleneksel eğilimi, rengin temsil düzeyinde farklı anlamsal karşılıklarının bilinçli kullanımına dönük olarak bir yönelim gösterir. Temel tasarım renk bilgisi ve tasarımda rengin gerçek, temsil, simge, lejant, ışık, doku, enformasyon gibi olanakları tartışmaya açılır.

Anlatı, tasarımcıların erken tasarım evresinde tasarlamak istedikleri mekanları anlamaya çalışırken ve yaratmak istedikleri mekânsal deneyimi başkalarının görselleştirmesine yardımcı olurken başvurdukları yöntemlerden biridir. Psarra'ya (2009) göre anlatıcı ve okuyucu, tıpkı mimar ile izleyici arasında oluşan mimarlık gibi, onun ne olduğuna dair bir anlatı oluşturur. Anlatının kavramsal yönü mekanın temsiline değer katmaktadır. Mimari mekanı anlatmak, mimarlık izleyicisinin onu ardışık bir formdan daha farklı deneyimlemesine yardımcı olur. Duyuları harekete geçirerek ve anlam aktararak tasarımın genel ve/veya durumsal görünümünü yakalayan ve gösteren görsel temsile katkıda bulunur. Eskizler sadece fikirlerin görsel tasvirleri değildir. Kelimeler eskizlere eşlik etmektedir. Renzo Piano'nun, eskiz ve anlatının bir arada olduğu şekilde eskiz yaptığı bilinmektedir (Robbins & Cullinan, 1994). Piano'nun eserlerinde gördüğümüz gibi, renk ve anlatı birleştğinde, eskizler sadece bir fikrin başlangıcı olmakla kalmaz, aynı zamanda tasarımın ruhunu ve hikayesini de taşır. Itsuko Hasegawa da Piano gibi görselleri ve kelimeleri bir arada kullanan bir mimar olarak şunları söylemektedir: *“Çalışmalarımın ilk aşamasında genellikle eskizlerin yanı sıra sözcükler de oluşturuyorum. Her ikisi de aklımdaki kavramsal imajdan geliyor. Bunları personelime iletiyorum.”* (Robbins & Cullinan, 1994, s. 200). Renk ve anlatının bilinçli kullanımı, mimari tasarımın sadece estetik değil, aynı zamanda işlevsel ve atmosferik boyutlarını da zenginleştiren kritik unsurlar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, tasarım eğitiminde ve pratiğinde bu iki öğenin entegrasyonuna daha fazla önem verilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Mimarlık eğitiminde tasarım stüdyosunun eğilimi çoğunlukla siyah ve beyaz ağırlıklı monokromatik renk şemaları kullanmaktır. Renk ile ilgili problemler tasarım stüdyosunun da ötesinde sadece mimarlıkta tartışılan bir konu değildir. Birincil olanın ne olduğu sorusu pek çok teorisyen ve filozofu bölmüştür (Riley, 1999). Çizginin renk üzerindeki baskısı da yaygın bir tartışma konusudur. Hesaplamalı tasarımda bile form (çizgiler, şekiller, düzlemler) ile renkten daha çok ilgilenilmektedir. Renk şemaları Goethe'nin “Renk Teorisi”ne kadar parlaklığına göre sınıflandırılmaktaydı. Goethe renklerin duyguları tetiklediği fikrini ileri atmıştı. Renk; duyguları, duyuları, işlevleri, anlamları, metaforları ve iletişim araçlarını belirtebilir ve zorluk da burada yatmaktadır. Bunları sınıflandırmak kolay değildir; Riley'e (1996) göre insanların çizelgesel düşünme eğilimi renklere olan güvensizliği körüklemektedir. Tüm renk şemaları bir miktar rasyonelleştirme ile ortaya konmaktadır, ancak hiçbiri nihai bir sınıflandırma değildir. Faulkner'a (1972) göre ise mimarlıkta rengin kullanımı ve anlamı sembolik ve fonksiyonel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu tanımlamalar renk tarihi ve felsefesinin kapsamlı okuma ve analizinden çıkmaktadır. Kronolojik olarak mimarlık tarihinde renk kullanımı incelendiğinde, Vitruvius'tan bugüne rengin ilk olarak pragmatik olarak kullanıldığı görülmektedir. Malzemeler doğal renklerini, dokularını, pigmentlerini yansıtmaktadır. Renk kullanımı ve düşüncesindeki farklılıklar pigmentlerin ulaşılabilirliğine ve zamanın ruhuna bağlıdır. Teknolojiyle beraber renklerin erişilebilirliği arttıkça günümüzde renk ve fikirlerdeki çeşitlilik belirgindir. Renklerin pigmentler ve dekoratif



unsur olarak pragmatik kullanımı yerini daha çok mekan tanımlayan eleman olarak kullanılmaya bırakmıştır (Schultz ve diğ., 2018). Renk artık mekan oluşturmak için kullanılmaktadır. Albers ve Itten tarafından temellendirilen mekânsal efektler, renk kompozisyonu, geçişler ve karşıtlıklar mekânsal algıyı desteklemektedir. Renk blokları yüzeyleri tanımlar ancak mekanın boyutları gölge, yoğunluk ve parlaklık ile algılanmaktadır. Mekânsal özellikler, işlevler, sınırlar renklerle tanımlanmaktadır.

Anlatı tasarımın ayrılmaz bir parçası olmasına rağmen mimaride anlatı kuramına ilişkin çok az sayıda kapsamlı çalışma bulunmaktadır. Psarra, Coates, Tseng, Bleeckere & Gerards ve Pérez-Gómez'in teorileri anlatının farklı yönlerine odaklanmaktadır, ancak hepsinin ortak noktasının zamansallık olduğu görülmektedir. Psarra (2009), anlatının insan deneyimini mimari tasarıma yeniden dahil ettiğini vurgulamaktadır. Mekanın kavramsal ve algısal yönlerini bölünmüş ilişkiler olarak düşünmek yerine, bunları deneyimi şekillendiren etkileşimli sistemler olarak görmektedir. Coates (2012) binanın anlatısını, binanın yapım, yaşam ve yıkım aşamalarından oluşan bir süreç olarak ele almaktadır. Anlatı, “olguları birbirine bağlayarak” tasarım kararlarını anlamlandırmaya yardımcı olur, hayal gücünü harekete geçirir. Coates, Tschumi, Forty ve Goethe'den yola çıkan Tseng (2015), anlatıyı oluşturmanın kökeninin bellek olduğunu ileri sürmektedir. Özellikle Tschumi'nin, tasarım özetini hikayeleri ve olayları içeren işlevlerden ziyade bir anlatı olarak yeniden tasavvur eden görüşüne odaklanan Tseng'e göre bellek, kentsel bağlamdaki tarihi olaylara ilişkindir. Bleeckere ve Gerards (2017), anlatının zamanı ve mekanı mimariye geri getirdiğinin altını çizmektedir. Binaların çevre ve insanlarla etkileşimi ile “açık ve devam eden bir hikayesi” vardır. Ayrıca Gerards ve Bleeckere (2014) anlatıya, katılımcı bir süreçte müşterilerin ve kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılanmasındaki gerçek dünya sorunları olarak bakmaktadır. Pérez-Gómez (2020) anlatıyı tanımlarken tarihsel bir bakış açısı benimsemektedir. Anlatıda dilin önemini savunmaktadır. Ona göre dil, tasarım sürecinin hayati bir parçasıdır ve dili göz ardı eden herhangi bir tasarım hareketi başarısız olur.

Renk kullanımı konusunda akla ilk gelen isimlerden Luis Barragan'ın tasarım süreci kalemlere ve çizimlere dokunmadan başlamaktadır; başlangıçta tasarım fikirleri üzerine sadece düşünüp ardından eskiz ve perspektif çizimlerine geçmiştir. Tasarımdaki arayışı “duvarlar ve renklerin oyunu aracılığıyla duvarlar tarafından algılanacak sürekli bir keşif süreci” olarak nitelendirilmiştir. Görünüş çalışmalarında hacmin ana hatlarını çizerek kütsel strateji ve ilişkiler geliştirmek için farklı siyah karton parçalarını beyaza karşı kullanmıştır. Tasarım için kritik duvarların modellenmesiyle mekânsal nitelikler belirlemiştir. Modele renk ve doku uygulanmıştır (Martin, 1996). Barragan için rengin kullanılması, tasarım sürecinin belirli bir noktasında uygulanacak bir adım olmamıştır; ilk eskizden hayata geçirilen binaya kadar tutarlı bir şekilde tasarıma dahildir (**Şekil 1**).



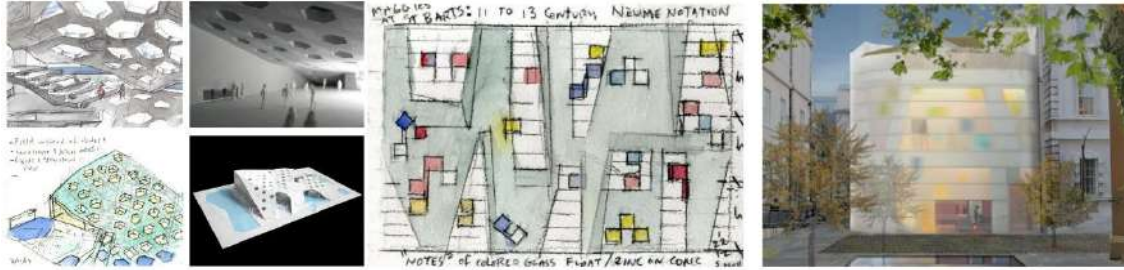
**Şekil 1.** a) Les Colombières'in eskizi, renkleri ve malzemeleri notlarda belirtilmiştir. b) Torres de Satélite'nin perspektif eskizi. c) Fuente Roja'nın eskizi (Barragan Vakfı, tarih belirtilmemiş).

Michael Graves (2012) mimari çizimleri üç kategoride tanımlamaktadır: referans eskizi, hazırlık çalışması ve kesin çizim. Kesin çizim, bugün bilgisayarlarla verimli ve hızlı bir şekilde ürettiğimiz çizim ve modeller olarak nitelendirilebilir. Ancak referans eskizi ve hazırlık çalışması, tasarım sürecinin muğlak ve spekülatif kayıtlarıdır. Graves çok renkli bir renk paleti kullanmasıyla tanınır. Renkleri soyut nitelikte değil, binanın etrafındaki dünyanın ve malzemelerinin doğasına gönderme yapmaktadır (**Şekil 2**). Onun paleti bir sanatçının değil, bir inşaatçının paletidir (Riley, 1995).



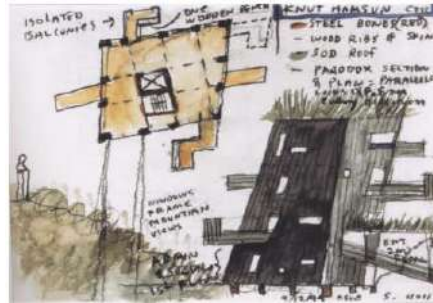
**Şekil 2.** Michael Graves, Vacation House, Aspen eskizi (URL-1).

**Steven Holl** hızlı eskiz yapmaya izin vermesi, hacim, gölge ve güneş yönünü temsil etmeyi kolaylaştırması sebebiyle sulu boya ile çalışmayı tercih etmektedir. Renkli eskizleri malzemeleri, ışığı, gölgeyi ve atmosferi yansıtmaktadır (**Şekil 3**).



Şekil 3. Steven Holl'ün malzeme rengini yansıtan eskizleri.

Kelimeler ve renkler ölçüler, dolaşım, materyaller hakkında bilgi vermek içindir. Kelimeler 'bellek cihazları' gibidir (Smith, 2008). Bu, mimara tasarım sürecinde daha sonra düşünmesi ve hatırlaması için yaptığı seçimi hatırlatır. Holl için de eskizlerin görsel bilgilerinin eksik olduğu durumlarda malzemeleri ve kelimeleri gösteren bir renk lejantı tasarımına yardımcı olmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Eskizlerde renk ve notlar (Smith, 2008).

## 2. Amaç, Kapsam ve Yöntem

Hesaplamalı tasarım sürecine dahil etmeye çalıştığımız eskize destek sistemleri önermek için öncelikle hesaplama olmadan nasıl eskiz yaptığımızı anlamamız gerekmektedir (Johnson ve diğ., 2008). Bu çalışma, henüz derinlemesine keşfedilmemiş iki temel tasarım öğesi aracılığıyla eskizlerin ardındaki açıklanmayan potansiyelleri keşfetmeye odaklanmaktadır. Amaç, eskiz sürecinde renk ve anlatı arasındaki ilişkiyi inceleyerek geleneksel renkli eskiz tekniklerinin hesaplamalı yaklaşım ve araçların potansiyelleri ile

destekleyecek model önerisi sunmaktır. Bu, özellikle mimari tasarım alanında geleceğe dönük üretilecek olan araçların yolunu açacaktır. Bulguların, geleneksel yöntemleri yeniden ortaya çıkararak hesaplama çağında yeni araç ve yöntemler geliştirmeye odaklanan tasarım çalışmalarına fayda sağlaması beklenmektedir.

Literatür taraması sonucunda mimari eskizlerdeki renk ve anlatı ilişkilerinin değişken renkler ve kelimeler, malzemeler, tasarım hareketleri, zaman/süre başlıkları altında toplandığı tespit edilmiştir. Keşfedici niteliksel bir yöntemle mimarlık ve iç mimarlık profesyonelleri ve öğrencilerle iki aşamalı protokol çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İki aşamalı protokol çalışması sayesinde keşfe dayalı bu çalışmada neyin çalışıp çalışmadığı, hangi teknik ve yöntemlerin araştırmanın amacına dönük cevaplara götürdüğü ilk aşamada çözümlenip ikinci aşamada daha odaklı protokol tasarımı yapılabilmektedir. Protokoller için ortak kısıtlar eskizlerin mimari mekanı temsil etmesi ve renk içermesidir. Ayrıca iki aşamada da (eskiz yapma konusunda genellikle hevesiz) katılımcılar üzerlerinde fazladan bir baskı hissetmemeleri için belirli bir süre ile kısıtlanmamıştır. Dijital tablette eskiz yapan katılımcılar için kullanılan uygulamadan ötürü sınırsız bir kanvas mevcutken, geleneksel yöntemlerle eskiz yapan katılımcılara A4 kağıt verilmiştir.

Birinci aşama analog ve dijital çizimin fırsatlarını, kayıplarını ve sınırlarını ortaya çıkarmayı hedeflemiştir. Bir taraftan da renk ve anlatının aktarılabilir yönlerine odaklanmıştır. İki mimar ve bir iç mimardan, verilen bir arazi için konsept eskizleri yapmaları istenmiştir. Katılımcıların ikisi dijital tablette çizim yaparken biri kuru boya kullanmıştır. Protokoller kamera ve dijital çizim için ekran kaydı ile kayıt altına alınmıştır. Ayrıca araştırmacı protokol süresince gözlem yapıp notlar almıştır. İkinci aşama protokol çalışmasında katılımcılara, gerçek yapıların fotoğrafları verilmiştir ve ardından gördüklerini renkli kalemler ve sulu boya kullanarak çizmeleri istenmiştir. Daha sonra kendilerine eskizler verilmiş ve eskizlerdeki renklerin ne anlama geldiğini düşündüklerini açıklamaları beklenmiştir. Bu adıma beş profesyonel ve dört öğrenci katılmıştır. Profesyoneller bir endüstriyel tasarımcı, bir iç mimar ve üç mimardan oluşmaktadır. Çalışmanın eskiz sürecine biri ikinci sınıf ve üçü üçüncü sınıf dört mimarlık öğrencisi katılmıştır. Böylece erken tasarım evresinin tersine bir okuması yapılmıştır.

### 2.1. Birinci Aşama Protokol Çalışması

Birinci aşama protokol çalışmaları, keşfe dayalı bu çalışmada analog ve dijital çizimin fırsatlarını, kayıplarını ve sınırlarını ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Bu adım aynı zamanda renk ve anlatının aktarılabilir yönlerine de odaklanmıştır. Katılımcılara mevcut bir arazinin uydu görüntüleri ve fotoğrafları verilmiştir. Üç katılımcıdan (iki mimarlık mezunu, bir iç mimarlık mezunu) verilen arazi için konsept eskizleri çizmeleri istenmiştir. Katılımcı A'dan bir yazlık ev tasarımları istenmiştir, ancak ilk katılımcının geri dönüşleri ile tasarım problemi biraz daha basitleştirilmiştir. Katılımcılar B ve C'den, daha yapısal bir problemin farklı

hesaplanabilir ilişkileri ortaya çıkarıp çıkarmayacağını görmek için bir kuş gözlem kulesi tasarımları istenmiştir (**Şekil 5**). Protokoller kamera ile kayıt altına alınmıştır, dijital çizim işlemleri de ekran kaydı yoluyla kayıt altına alınmıştır. **Tablo 1** protokol çalışmasındaki araçlar, renk ve anlatı ilişkileri, hareketler, limitler ve fırsatları özetlemektedir. **Tablo 2** literatür ve protokol çalışmalarının ana çıktılarını karşılaştırarak sentezlemektedir.



Şekil 5. Sırasıyla katılımcı A, B, C eskizleri.

**Tablo 1.** Protokol çalışması analizi.

	<b>Katılımcı A</b>	<b>Katılımcı B</b>	<b>Katılımcı C</b>
<b>Araçlar</b>	Dijital tablet	Renkli kalemler	Dijital tablet
<b>Renk ilişkileri</b>	-Seviyeler ve hacim -Gölge ve ışık -Malzemeler	-Malzeme -Mevcut bağlam -Cazibe noktası	-Fonksiyonlar -Görme kolaylığı
<b>Anlatı ilişkileri</b>	-Seviyeler ve hacim	-Mekânsal deneyim -Dolaşım -Olaylar -Kamu-özel -Kavramsal fikir	-Bağlam -Mimari elemanlar -Fonksiyonlar -Kamu-özel -Dolaşım
<b>Hareketler</b>	-Manzara - Portre formatı değişikliği -Parmak ve kalem kullanma	-Silme	-Silme -Yazma
<b>Limitler</b>	-Araçta fiksaj (fixation) -Dijital araca analog muamelesi -Uygulamada çok fazla seçenek olması -Araçın ayrıntılarına takılarak çok zaman harcaması	-Renkler eskizlerden sonra geldi -Çok fazla silme	-Yalnızca tanıdık kalem stilini kullanma -Metin girişi gerekiyor -Çok konuşma, eskiz yapmak için harcanan zamanı azalttı
<b>Fırsatlar</b>	-Hareketlerin otomatikleştirilmesi -Grid seçenekleri ve şeffaflık -Fırça boyutu ve rengi -Başlangıçta aracı anlamak için zaman harcamak	-Tanıdık ortam -Araçlara odaklanmak yerine mekânsal tasarım hakkında daha fazla konuşmak	-Renk seçimi -Mekânsal kararlar hakkında konuşma ve yazma -Başlangıçta aracı anlamak için zaman harcamak


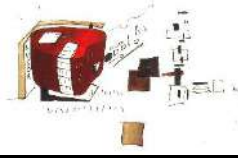
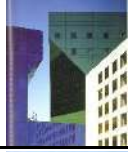











**Tablo 2.** Literatür ve protokol çalışmalarına dayalı olarak renk ve anlatım niteliklerinin sentezi.

	Literatür	Protokol çalışması
<b>Renk</b>	GÖRELİDİR	Görme kolaylığı
	FONKSİYON taşıır	Fonksiyon
	NİTELİKLERİ yansıtır	
	BİLGİ taşıır	Bağlam
	SINIR belirler	Hacim / Seviye
	MALZEMEYİ temsil eder	Malzeme
	IŞIK	Işık
	DOKU	
<b>Anlatı</b>	İNSAN DENEYİMİDİR	
	ZAMANSALLIĞI tasvir eder	Olaylar Bağlam
	MEKANSALLIK katar	Hacim / Seviyeler Kamusal / Özel Malzemeler Şeffaflık Fonksiyonlar Dolaşım
	DİLSELDİR	Kavramsal fikir Mekânsal deneyim

## 2.2. İkinci Aşama Protokol Çalışması

Daha önce çok fazla incelenmemiş renk ve anlatı ilişkisini inceleyen bu araştırmada protokol çalışmalarının sürekli güncellenmesi çalışmanın omurgasını oluşturmaktadır. Temel amaç, bazı araçların iyi çalışıp çalışmadığını test etmek yerine, keşfedilmemiş tasarım süreçleri hakkında bilgi toplamaktır. Bu nedenle protokol çalışmaları keşfedici, resmi olmayan ve ampiriktir. İkinci aşamadaki protokol çalışmasında yaklaşım, tasarım sürecini tersten okumaktır. Literatür taramasından faydalanarak tersten okuma odaklı eskiz protokolleri için yedi farklı eser seçilmiştir. Katılımcılara, gerçekleştirilmiş binaların fotoğrafları verilmiş ve ardından gördüklerini renkli kalemler ve sulu boya kullanarak çizmeleri istenmiştir. Daha sonra kendilerine eskizler verilmiş ve eskizlerdeki renklerin ne anlama geldiğini düşündüklerini açıklamaları istenmiştir. Çalışmaya beş profesyonel ve dört öğrenci katılmıştır. Profesyoneller bir endüstriyel tasarımcı, bir iç mimar ve üç mimardan oluşmaktadır. Çalışmanın eskiz sürecine bir ikinci sınıf ve üç üçüncü sınıf mimarlık öğrencisi katılmıştır.

**Tablo 3.** İkinci aşama protokol çalışmasında eskiz ve fotoğrafların dağılımı.

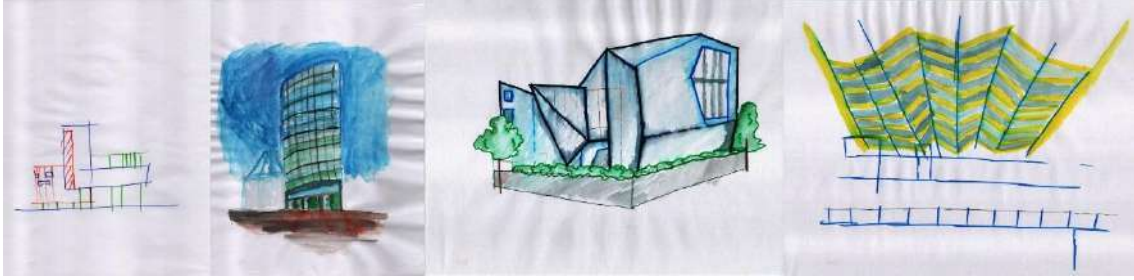
#	Fotoğraf	P	Eskiz	P
1		P <sub>g</sub> 2		P <sub>g</sub> 5
		P <sub>s</sub> 1		
2		P <sub>g</sub> 3		P <sub>g</sub> 4
3		P <sub>g</sub> 4		
4		P <sub>s</sub> 2		P <sub>g</sub> 1
5		P <sub>g</sub> 1		
		P <sub>s</sub> 4		
6		P <sub>g</sub> 5		P <sub>g</sub> 3
7		P <sub>s</sub> 3		P <sub>g</sub> 2



Protokol çalışmalarının sonuçları, katılımcıların eskizlerde manzaralara, çevreye, yüzeylere, hacimlere, ışığa, mimari unsurlara, kılavuzlara, zamana, dolaşıma, iç/dış ilişkisine, malzeme/dokuya odaklandıklarını göstermiştir. Anlatılarda atmosfer, duygu-izlenim, bağlam, açıklıklar, kenarlar, mimari elemanlar, malzeme, işaretler, çevre, zaman, biçim, fonksiyonlar, dolaşım ve ölçek/boyut üzerinde yoğunlaşmıştır. Katılımcıların eskizlerinde atmosfer ve renk izlenimi bulunmamaktadır, bu da onları hızlı eskizlerde temsil etmenin zorluğuna işaret etmektedir. Zaman, ister gündoğumu - gün batımı saati olsun, ister bir binanın gece görünümü olsun, katılımcıların hem eskizlerde hem de anlatılarda odaklandığı ortak bir özelliktir (Şekil 6 ve 7).



Şekil 6. Sırasıyla P<sub>g</sub>1 (endüstriyel tasarımcı), P<sub>g</sub>2 (mimar), P<sub>g</sub>3 (iç mimar), P<sub>g</sub>4 (mimar), P<sub>g</sub>5 (mimar) eskizler.



Şekil 7. Sırasıyla P<sub>s</sub>1 (ikinci sınıf), P<sub>s</sub>2 (üçüncü sınıf), P<sub>s</sub>3 (üçüncü sınıf), P<sub>s</sub>4 (üçüncü sınıf) eskizleri.

### 3. Bulgular

Birinci aşama protokol çalışmaları değerlendirildiğinde:

- Tasarımcıların eskizlerinde temsil etme eğiliminde oldukları renk ve anlatımda ortak kategorik çağrışımların ortaya çıktığı (hacim, seviyeler, ışık, gölge, malzemeler, bağlam, dolaşım, kamusal-özel);
- Aracın kullanımına özgü zorunlu eylemlerin, süreçte kısıtların yanında başka fırsatları da tetiklediği (örn: fırça temizlerken bir sonraki adımı düşünmek);
- Dijital çizim aracı seçeneklerinde, araçların doğal kullanım süreçlerine paralel biçimde, “silememe”, “geri alamama” gibi sınırlamaların olmasının, düşünsel sürekliliği beslediği;
- Özellikle suluboyanın, eskiz sırasında renkleri serbest ve özgür kullanma konusunda daha fazla potansiyele sahip olduğu ve her adımda “yeni”yi tetikleyebilme karakteri taşıdığı; gözlenmiştir.

Birinci aşama sonucunda gözlemlenen kategoriler, farklı araçların kullanımının ve özellikle suluboyanın potansiyeli ikinci aşamada kategorilerin derinlemesine incelenmesi ve mümkün olduğunca suluboya tarzı araçlarla eskiz yaptırılması gerekliliğini vurgulamıştır. İkinci aşama protokol çalışmalarının sonuçları, katılımcıların eskizlerde manzaralara, çevreye, yüzeylere, hacimlere, ışığa, mimari elemanlara, kılavuz çizgilere, zamana, dolaşıma, iç/dış ilişkisine, malzeme/dokuya odaklandıklarını göstermiştir. Anlatılar atmosfer, duygu-izlenim, bağlam, açıklıklar, sınırlar, mimari elemanlar, malzeme, işaretler, çevre, zaman, biçim, işlevler, dolaşım ve ölçek/boyut üzerinde yoğunlaşmıştır. Katılımcıların eskizlerinde atmosfer ve renk izlenimi bulunmamaktadır, bu da onları hızlı eskizlerde temsil etmenin zorluğunu göstermektedir. Renkte zamansal göstergeler katılımcılar için hem eskiz hem de anlatılarda ortak bir özellik olmuştur. **Tablo 4** renk-anlam ilişkilerinin sentezini rengin kendisi olarak ve temsil olarak kullanımı altında özetlemektedir.

**Tablo 4.** Protokol çalışmaları sonuçlarına dayalı renk-anlam ilişkilerinin sentezi.

Kendisi olarak renk - fiziksel	Temsil olarak renk - fikirleştirme	
Yüzey Örüntü Mimari eleman Strüktür Atmosfer	Form	Hacim Geometri Alan Yüzey Örüntü Çizgi Kenarlar / Sınırlar
Malzeme	Fonksiyon	
Bağlam	Yönelim (Direction)	Dolaşım Ölçek
	Atmosfer = Işık (Etki, his)	Malzeme = Geçirgenlik (Ton) (Gölge) (Karşıtlık) (Zaman)
	Sembolik	İşaretler Çizgiler Oklar Çevre Metin Gruplama - Kategorizasyon

Literatür protokol çalışmalarıyla karşılaştırıldığında şu noktalar ön plana çıkmıştır:

- Mimari tasarım sürecinde renk hem kendisi hem de temsili olarak kullanılabilir.
- Teknik çizim sürecinde genellikle renk kaybolmaktadır.
- Renk tek başına kullanıldığında farklı kişiler eskizlerden benzer anlamlar çıkarabilir, ancak tasarımcı onu kendi fikirlerinin temsili olarak kullandığında başka bir kişiye farklı anlamlar aktarılır.
- Anlatı, eskizlerin fikirleri (özellikle atmosferi ve mekan hissini) iletmek için yeterli olmadığı durumlarda devreye girmektedir.

Genel olarak tasarım sürecinde renk ve anlatının kategorik çağrışımları olduğu, araç kullanımının potansiyelleri ve kısıtlarının iyi analiz edilmesi gerektiği, tasarımcıların odaklandığı noktaların ortaklık ve




farklılıklarının genele ve kişiye özel araçlar üretirken göz önüne alınması gerektiği, mimari eskizin zorluğunun onun artışı olduğu, bu sebeple araç ve yöntem önerirken üzerine düşülmesi gereken bir fırsat olduğu bu çalışmayla ortaya çıkmıştır. İlk aşama protokol çalışmaları, eskiz tabanlı modelin sınırlandırılmasının araç yerine tasarım sürecine odaklanılması için bir fırsat olduğunu göstermektedir. Kısıtlamalar (tek bir çeşit fırça kullanımı, silme eyleminin sınırlandırılması gibi) özellik kalabalığı içinde kaybolmayı engellemekte, eldeki ile en iyisini ortaya çıkarmayı sağlamaktadır. Ayrıca hesaplamalı bir modeli kullanmadan önce kısa bir deneme süreci sunulması modelin üretiminde göz önüne alınması gereken bir noktadır. Hesaplamalı eskiz modelinin dinamizmi, zamansallığa işaret etmektedir. Sürecin kaydedilebilir, geri - ileri alınabilir olması, kullanıcının her girdisi ile modelin yeni bir şey sunması tasarım sürecinin bir “anlatı”sı olmaktadır. İkinci aşama protokol çalışmalarında tanımlanan renk - anlatı ilişkisi modelde kullanılacak öğrenme ve üretme algoritmaları için yol gösterici olmaktadır. Eskizlerden çıkarılabilecek renk - anlatı bilgisi ile veri tabanı oluşturulabilecek, modeldeki eskiz girdisi renk - anlatı ekseninde kategorilendirilip kullanıcı ve eğitim veri seti birleşimi ile yeni bilgi sunabilecektir. Rengin şu ana kadar hesaplanır hale getirilmiş renk kodları, paletleri, yüzdeleri gibi bilgilere ek olarak temsil olarak rengin anlatı desteğiyle dönüşümü için hesaplama stratejisi bu çalışmanın bir sonraki adımıdır.

## KAYNAKLAR

- Barragan Foundation. (n.d.). Chronology. <https://www.barragan-foundation.org/luis-barragan/chronology>
- Bleekere, S. & Gerards, S. (2017). Narrative Architecture: A Designer's Story. Routledge.
- Coates, N. (2012). Narrative architecture. John Wiley & Sons.
- Faulkner, W. (1972). Architecture and Color. Wiley.
- Forbus, K. D. (2012). Vision and Sketching. Perception 41 (9): 1031–39.
- Forbus, K. D. & Ainsworth, S. . 2017. Editors' Introduction: Sketching and Cognition. Topics in Cognitive Science 9 (4): 864–65.
- Gerards, S., & Bleekere, S. (2014). Narrative Thinking in Architectural Education. ARCC/EAAE 2014 | Beyond Architecture: New Intersections & Connections, 305–311. <http://www.arcc-journal.org/index.php/repository/article/view/282>
- Graves, M. (2012). Architecture and the Lost Art of Drawing. The New YorkTimes.
- Jonson, B. (2005). Design ideation: The conceptual sketch in the digital age. Design Studies, 26(6), 613–624. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.03.001>
- Johnson, G., Gross, M. D., Hong, J., & Do, E. Y. L. (2008). Computational support for sketching in design: A review. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, 2(1), 1–93. <https://doi.org/10.1561/1100000013>
- Martin, I. S. (1996). Luis Barragán: The Process of Discovery. Landscape Journal, 15(2), 99–112. <https://doi.org/10.3368/lj.15.2.99>
- Negroponte, N. (1970). The Architecture Machine. Massachusetts: The MIT Press.

- Pérez-Gómez, A. (2020). Narrative language, architecture and the city. *In\_Bo*, 11(15), 8-15+138. <https://doi.org/10.6092/issn.2036-1602/11712>
- Psarra, S. (2009). *Architecture and Narrative: The formation of space and cultural meaning*. Routledge
- Riley, C.A. (1996). *Color Codes: Modern Theories of Color in Philosophy, Painting and Architecture, Literature, Music and Psychology*. University Press of New England.
- Robbins, E., & Cullinan, E. (1994). *Why architects draw*. MIT press.
- Schultz, K., Wiedemann-Tokarz, H., & Herrmann, E. M. (2018). Color as structural and spatial element. In *Thinking Color in Space*.
- Schultz, K., Wiedemann-Tokarz, H., & Herrmann, E. M. (2018). Color in the architectural context. In *Thinking Color in Space* (pp. 131–345). <https://doi.org/10.1515/9783035618402-005>
- Smith, K. S. (2008). *Architects' Sketches: Dialogue and Design*. Architectural Press. <https://doi.org/10.2307/990115>
- Suwa, M. & Tversky, B., 1997. What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), pp.385-403.
- Tseng, C.-P. (2015). Narrative and the Substance of Architectural Spaces: The Design of Memorial Architecture as an Example. *Athens Journal of Architecture*, 1(2), 121–136. <https://doi.org/10.30958/aja.1-2-3>

## Matematikten İlham Almak: MathForm Eklentisi

Habibe Şenkal<sup>1</sup> ; Sema Alaçam<sup>2</sup> ; Orkan Zeynel Güzelci<sup>3</sup> 

<sup>1, 2, 3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>senkal21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>alacams@itu.edu.tr; <sup>3</sup>guzelci@itu.edu.tr

### Özet

Matematik bilgisinin gelişmesi, bilim, teknoloji, sanat ve mimarlık dahil birçok alanı kullanılan araç ve yöntemlerin değişmesi ve dönüşmesi bakımından derinden etkilemiştir. Matematiğin mimarlık alanına etkisini form, taşıyıcılık, optimizasyon gibi farklı alanlarda görmek mümkündür. Bu çalışma, matematik ile form arasındaki ilişkiye odaklanmakta ve soyut cebirsel ifadelerle dayanan matematik denklemlerinin tasarım girdisi olarak kullanıma potansiyellerini araştırmaktadır. Geleneksel yöntemler ile matematik denklemlerinin somut ve sezgisel olarak anlaşılır bir hale dönüştürmek için cebir, analitik, mantık, çok boyutlu düşünme ve teknik çizim gibi çok yönlü bilgilere ve becerilere ihtiyaç duyulmaktadır. Dijital çağın sunduğu imkanlar ise benzer şekilde kendine özgü beceri setlerini gerektirmektedir. Matematiğin barındırdığı form bilgisini açığa çıkarmak için gerekli olan beceriler, uzmanlık gerektirmeleri sebebiyle birer kısıt olarak değerlendirilmiştir. Kısıtlar ise çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın odaklandığı araştırma sorusu, matematik denklemlerinin barındırdığı form bilgisini hesaplamalı tasarım araçları ile ortaya çıkarmak için gereken beceri setinin ve uzmanlık düzeyindeki bilgi seviyesinin azaltılıp azaltılamayacağıdır. Çalışma, bir hesaplamalı tasarım aracı olan Rhino-Grasshopper yazılımı için yazarlar tarafından geliştirilen, MathForm adındaki eklentiyi sunmaktadır. Eklentinin girdi olarak matematik denklemi, denklem değişkenlerinin değeri veya tanım aralığı ve aralığın adımlanma sayısını alarak form üretmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen eklenti, yaklaşık 20 matematik yüzeyinin modellenmesi üzerinden test edilmiştir. Çalışma kapsamında, test aşamasında araştırılan yüzeyler içinden topolojik ve cebirsel karmaşıklıkları sebebiyle iç-dış ayrımının yapılmadığı, yönlendirmesiz, dört Öklid dışı matematik yüzeyinin modellenmesi ve manipülasyonunu derinlemesine bir bakış ile sunmaktadır. Bunlar Möbius şeridi, Umbilic torus, çift sarmal Möbius Şeridi (Figür-8 Klein şişesi olarak da adlandırılmaktadır) ve Sekiz torus yüzeyleridir. MathForm kullanımı karmaşık matematik yüzeylerinin analizi, üretimi ve manipülasyonunu kolaylaştırmanın yanı sıra yeni formların üretimi avantajına sahiptir. Eklentinin ön tanımı yapılmayan fonksiyonlarda hata vermesi çalışmanın kısıtını oluşturmaktadır. Buna karşılık, hesaplamalı tasarım ve üretim süreçlerini destekleyen bir araç olarak tasarım süreçlerini desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Matematik yüzeyleri, form üretimi, Rhino-Grasshopper, eklenti geliştirme, MathForm.

## Inspired by Mathematics: MathForm Plugin

Habibe Şenkal<sup>1</sup> ; Sema Alaçam<sup>2</sup> ; Orkan Zeynel Güzelci<sup>3</sup>   
<sup>1, 2, 3</sup>Istanbul Technical University  
<sup>1</sup>senkal21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>alacams@itu.edu.tr; <sup>3</sup>guzelci@itu.edu.tr

### Abstract

*Advancements in mathematical knowledge have profoundly impacted various fields, including science, technology, art, and architecture, in terms of the transformation and evolution of the tools and methods used. The impact of mathematics on architecture can be observed in various aspects such as form, structural durability, and optimization. This study focuses on the relationship between mathematics and form, exploring the potential of using mathematical equations, based on algebraic expressions, as design inputs. Traditionally, transforming mathematical equations into tangible and intuitively understandable forms requires a diverse set of knowledge and skills, including algebra, analytics, logic, multidimensional thinking, and technical drawings. Similarly, the digital age offers many opportunities but also necessitates specific skill sets. The skills needed to uncover the form of knowledge inherent in mathematics are specialized, and therefore act as constraints. These constraints motivated this study. In this context, the research question is whether the skill set and level of expertise required to uncover the form of knowledge contained in mathematical equations using computational design tools can be reduced. This study presents MathForm, a plugin developed for the Rhino-Grasshopper software, which is a computational design tool. The plugin aims to generate forms by taking a mathematical equation, the values of equation variables or their domain, and the number of steps within this domain as input. MathForm has been tested through the modeling of approximately 20 mathematical surfaces. However, due to topological and algebraic complexities, the study provides an in-depth examination of four non-Euclidean mathematical surfaces that are non-orientable, meaning they cannot be distinguished between inside and outside. These surfaces are the Möbius strip, the Umbilic torus, the Möbius doublet (known as Figure-8 Klein bottle), and the Eight torus. MathForm, karmaşık matematiksel yüzeylerin analizine, üretimine ve manipülasyonuna olanak tanıyarak yeni formlar oluşturma avantajı sağlar. The plugin's limitation lies in it giving an error-code when dealing with non-predefined functions. On the other hand, the plugin supports design processes as a tool that enhances computational design and manufacturing workflows.*

**Keywords:** *Mathematical surfaces, form generation, Rhino-Grasshopper, plugin development, MathForm.*

## 1. Giriş

Tasarım ve matematik arasında birbirini karşılıklı besleyen ve güçlendiren bir etkileşim vardır. Matematik alanındaki gelişmeler, tasarımcıların pek çok düşüncenin aynı kağıt üzerine döküldüğü, artzamanlı eskizlerinde gizlenen formların tanımlı hale gelmesini sağlamaktadır. Öte yandan, tanımlamak konusunda daha zorlanılan izler ise matematikçileri bu izlerin anlamlı olup olmadığının araştırılması konusunda teşvik etmektedir. Böylece, önceleri karşılığı olmayan yeni formlar mimarlık alanına yansımış, mimarlıktaki form anlayışının sınırlarını genişletmiştir. Örneğin, Öklid geometrisi uzun yıllar kesin ve tartışmasız sayılmıştır. Ancak, Gauss'un "bir doğruya dışındaki bir noktadan birden fazla paralel çizilebilir" önermesi, Öklid geometrisinin beş aksiyomundan biri olan "bir doğruya dışındaki bir noktadan yalnızca tek bir paralel çizilebilir" aksiyomuna yeni bir bakış açısı getirmiştir (Güner ve Çağdaş, 2019). Bu önerme, Öklid (Öklidyen) olmayan geometriler kavramını ortaya çıkarmış, modern geometrinin gelişmesini sağlamış ve yeni geometrilerin kurulmasına öncülük etmiştir. Öklid olmayan geometriler uzamsal mekanın eğrisel ve çok boyutlu oluşlarına odaklanmaktadır (Kolarevic, 2003). Bu odağın bir parçası olarak, hiperbolik, eliptik, projektif, fraktal, cebirsel ve topolojik geometriler sayılabilir.

Topolojik geometriler, geleneksel Öklid geometrilerinin basit düzlemlerinden ve düz uzaylarından ziyade, bükme, esnetme ve dönüştürme gibi işlemlerle oluşturulmaktadır. Cebirsel geometriler ise, farklı sayıda değişkenli ve dereceden denklemlerle tanımlanan geometrik nesnelere ifade etmektedir. Her iki geometri de yapıları itibarıyla form manipülasyonu için fırsatlar sunmaktadır. Topolojik geometriler genellikle "karmaşık" ve "eğrisel" kavramlarıyla ilişkilendirilmektedir (Kolarevic, 2003; Barczik ve diğ., 2011). Cebirsel geometriler ise soyut cebirsel ifadelerle ve hesaplara dayanması sebebiyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Tasarımcılar ve mimarlar gibi matematik alanı dışında çalışan ve bu geometriler hakkında derinlemesine bilgiye sahip olmayan kullanıcılar için "karmaşıklık" bir kısıttır. Öte yandan, tasarımcı bilgisayar etkileşimi, hesaplamalı tasarım ve üretim yaklaşımlarının yaygınlaşması gibi gelişmeler bu geometrileri tasarımcılar ve mimarlar için fırsatlar sunan bir yöntem haline getirmektedir (Eyce ve Alaçam, 2021). Karmaşıklık kısıtının etkisini azaltan bir diğer konu ise Carpo'nun (2011) ifadesiyle algoritmalarla düşünme ve tasarlama eyleminin yeni okuryazarlık haline gelmesidir. Diğer bir yandan ise, algoritma bilgisine ihtiyaç başka bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, çalışmanın araştırma sorusunun oluşmasına etki etmiştir.

Bu çalışma, matematik ile form (biçim) arasındaki ilişkiye odaklanmakta ve soyut cebirsel ifadelerle dayanan matematik denklemlerinin tasarım girdisi olarak kullanılma potansiyellerini araştırmaktadır. Çalışmanın odaklandığı araştırma sorusu, matematik denklemlerinin barındırdığı form bilgisini hesaplamalı tasarım araçları ile ortaya çıkarmak için gereken beceri setinin ve uzmanlık düzeyindeki bilgi seviyesinin azaltılıp azaltılamayacağıdır. Bu bağlamda, çalışma bir hesaplamalı tasarım aracı olan Rhino-Grasshopper yazılımı için



geliştirilen, MathForm adındaki eklentiyi sunmaktadır. Eklentinin girdi olarak matematik denklemleri, denklem değişkenlerinin değeri veya tanım aralığı ve aralığın adımlanma sayısını alarak form üretmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen eklenti, yaklaşık 20 matematik yüzünün modellenmesi üzerinden test edilmiştir. Çalışma kapsamında, test aşamasında araştırılan yüzeyler içinden topolojik ve cebirsel karmaşıklıkları sebebiyle iç-dış ayırımının yapılamadığı, yönlendirmesiz, dört Öklid dışı matematik yüzeyinin modellenmesi ve manipülasyonunu derinlemesine bir bakış ile sunmaktadır.

## 2. Tasarımı Biçimlendiren Matematik

Matematik, oranlar üzerinden ilişkiler kurmak, kompozisyon oluşturmak, tasarımın görsel cazibesini artırmak, odak noktaları oluşturmak ve parça bütün arasında ilişki kurmak (uyumlu/suz, dengeli/dengesiz) gibi konularda önemli rol oynamaktadır. Matematğin tasarım alanındaki bu katkısını resim (Endgame, Man Ray, 1946), heykel (Linear Construction in Space No1 ve 2, Naum Gabo, 1945-6 ve 1958), biçim araştırması (Eyce ve Alaçam, 2021), enstalasyon ve mimarlık gibi pek çok alanda görmek mümkündür (Kolarevic, 2003:9; Terzidis, 2006; Báez, 2007; Choma, 2015). Bu çalışma ise mimarlık alanındaki yapı tasarımına etkisine odaklanmaktadır.

### 1.1. Matematik Yüzeylerinin Temsili

Hilbert'in (1983) "Geometry and the imagination" adlı kitabın ön sözündeki ifadesine göre, matematik biliminde iki eğilim mevcuttur. Bunlardan ilki mantıksal ilişkilerin ön planda tutulduğu soyutlama eğilimidir. İkincisi ise, nesnenin daha hızlı kavranmasını, ilişkiler ağının somutlaştırılması ve dışsallaştırılmasını vurgulayan sezgisel anlamaya yönelik eğilimdir. Soyut eğilim, soyut akıl yürütme ve hesaplamayı güçlü bir şekilde kullanarak cebirsel geometri ve topoloji gibi sistematik teorilerin geliştirilmesini sağlarken, sezgisel anlayış eğilimi keşfedilen teorilerin her bilgi seviyesi için fikir edinilebilir olmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, matematik alanında görselleştirme (visualization) konusu başta matematiği öğrenme ve öğretme olmak üzere barındırdığı potansiyel katkıları sebebiyle birçok araştırmacı için ilgi gören bir araştırma alanı olmuş ve olmaya devam etmektedir (Nemirovsky and Noble, 1997; Arcavi, 2003; Hadjerrouit, 2019). Özellikle, 1990'lı yıllarda yapılan bir dizi araştırma ve rapor, geleneksel ispatlar ile mantıksal düşünmenin yerine görsel düşünmenin cebir sembolleriyle gerçekleştirilen manipülasyonlara güçlü bir alternatif olarak değerlendirmektedir (National Research Council, 1990; Barwise ve Etchemendy, 1991; Tall, 1991; Duval, 1999).

Teknolojide yaşanan gelişmeler ile bilgisayarların sunduğu imkanlar matematik alanındaki görselleştirme çalışmalarına ivme katmış, araştırmacıları matematik yüzeylerini ve klasik temsilleri görselleştirmek amacıyla arayüzler ve mobil programlar geliştirmeye veya geliştirilenleri kullanmaya teşvik etmiştir (Palais, 1999;

Barbosa ve Vale, 2023). Örneğin, bazı araştırmacılar kodlama becerilerini kullanarak matematik kavramlarını veya fonksiyonlarını iki veya üç boyutlu renkli görsellerle temsil etmiş (Ponce Campuzano, 2019), bazıları ise bu çalışmaları daha da geliştirerek çeşitli cihazlar ile kullanıma uyumlu olan ve etkileşimli dinamik görseller sunan arayüzlere dönüştürmüştür veya mevcut arayüzlerin kullanım alanını genişletmiştir (Saunders ve diğ., 2015; Montag ve Richter-Gebert, 2016; von Gagern ve diğ., 2016; Zamora, 2020). Bu bağlamda, dinamik matematik görselleri oluşturmak için Cabri (Url-1), Cinderella (Url-2) ve GeoGebra (Url-3) yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Matematik bilgisinin görsel bir temsilini oluşturarak somutlaştırılmasını hedefleyen çeşitli çalışmalar vardır. Bu çalışmalarda "mathematical visualization" ifadesinin kısaltması olan MathViz adı yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, MIT tarafından sunulan MathViz, bilgisayar programlama dilinde yazılan matematik kodlarını cebirsel dile uygun halde yeniden yazmaktadır (Url-4). Benzer isme sahip çeşitli internet siteleri ise soyut temel matematik kavramlarını görseller ve animasyonlar ile somutlaştırarak matematik öğrenimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır (Url-5; Url-6). Yine aynı isimle matematik eğitimi zenginleştirmeyi hedefleyen ders modeli araştırması da vardır (Brady, 2023). Görsel temsilin yanı sıra matematik yüzeylerinin fiziksel bir temsili oluşturmak için üç boyutlu baskı teknolojisini kullanan çalışmalar da mevcuttur (Segerman, 2012; Gür, 2020). Geliştirilen MathForm eklentisi ise, bahsedilen çalışmalardan farklı olarak, soyut matematik denklemlerinin içerdiği üç boyutlu yüzey bilgisini dışsallaştırmaya ve form oluşturmaya odaklanmaktadır. Eklentinin, bir NURBS modelleme yazılımı olan Rhino-Grasshopper ile uyumlu olması ise somutlaştırılan yüzeylerin bir forma dönüşme, manipüle edilme ve tasarım girdisi olma fırsatını artırmaktadır.

## 1.2. Tasarımda Matematik Yüzeyleri

Matematik prensipleri, mimari tasarımı etkileyen çok yönlü bir faktördür; fiziksel dayanım, estetik görünüm ve işlevsellik başta olmak üzere pek çok alanda etkisini göstermektedir. Çalışmanın bu bölümü ise matematik denklemleri ile tanımlanan yüzeylerin, mimari yapı tasarımına form ve işlevsellik açısından etki eden önemli bir araç olarak kullanımı sunulmaktadır.

Mimarlık alanında bir eğriden yüzey elde etme prensibine dayalı olarak hiperbolik paraboloid, hiperbol ve spiral yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, İspanya'daki L'Oceanografic restoranı ve giriş holü hiperbolik paraboloid örnekleridir. Restoran binası sekiz, giriş holü ise üç hiperbolik paraboloid tonozdan oluşan kabuk yapılarıdır (Domingo ve diğ., 1999; Tomas ve Martí, 2010). Future City Car Park (2022), ise bir hiperbolik örneğidir. Bu yapı her geçen gün giderek otomatize edilen araçlardan ilham alınarak, araçların tam otomatize bir şekilde taşınıp istiflendiği bir park istasyonu olarak tasarlanmıştır. Araç ve yaya sirkülasyonu hiperbolik

formdaki kulelerin içlerinde yer alan asansörler ve merdivenlerle sağlanmaktadır. Spiral ise daha çok döndürerek formun oluşturulduğu yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, 010 Building (Zero-Ten Building, 2022) binası, spiral şeklinde dönerek cephenin belirli alanlarını saran paslanmaz çelik elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar, doğal ışık kullanımını düzenlemeye ve farklı girişleri vurgulayan yönlendirici ve davetkar unsurlar olarak işlev görmektedir. Musée Atelier Audemars Piguet (2020) ise spiral şeklindeki yeşil çatısı ve çatıyı destekleyen eğrisel cam duvarlarıyla dikkat çekmektedir. Çatı, spiral hat boyunca yükselip alçalarak ve farklı yönlere eğilimlenerek cepheye hareket katmanının yanı sıra pencere alanlarını oluşturarak iç mekan doğal aydınlatmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, çatıdaki spiral form iç mekan organizasyonuna da etki ederek müzenin ziyaretçi sirkülasyonunu şekillendirmiştir.


Form manipülasyonunda bükme ilgi çeken deformasyon yöntemlerindedir. Örneğin, Twisted Brick Shell: Concept Library (2023) bükülmüş şeride benzeyen bir forma sahiptir. Bu form, iki yarım dairenin sürekli bir yüzey oluşturacak şekilde birleşiminden oluşmaktadır. Sürekli yüzey, yapıya iç ve dış mekan algısını bulanıklaştıran bir ilizyon katmaktadır. Bükülmüş bir şeride benzeyen bir diğer örnek ise, Kistefos Müzesi (The Twist, 2019)'dir. Müze, Norveç'te bulunan Randselva nehrinin iki kıyısını birbirine bağlayan bir köprü gibidir. Yapı, iki uçtaki düşey ve yatay galeriler ve bu galerileri yapının ortasında birleştiren bükülmüş alandan oluşmaktadır. The Luck Knoat (2016) ise Çin'in Çangşa (Changsha) kentinin iki tepesini birleştiren düğüm şeklindeki bir yaya köprüsüdür. Köprü, iki koldan ilerleyen merdivenlerden oluşmaktadır. Merdiven sahanlıkları köprünün tepe, dip veya düğüm noktalarında bulunmakta ve düğüm noktalarında birleşerek iki merdiven hattını birleştirmektedir. Bir başka form manipülasyonu örneği ise çift eğrilikli betonarme bir kabuk pavyon olan KnitCandela (2018)'dir. Pavyonun formu, minimal yüzey sınıfına ait olan Enneper Surface'in bir varyasyonudur. Ayrıca, pavyonun üretiminde, kavisli beton yüzeyleri oluşturmak için gereken kalıp maliyetini ve zamanını azaltmayı hedefleyen bir üç boyutlu örgü tekstil teknolojisi, KnitCrete, kullanılmıştır.

Matematik denklemleriyle ifade edilen yüzeyler, yapı tasarımında görsel ve estetik unsurların yanı sıra tasarım kurgusu, mekan organizasyonu ve sirkülasyon gibi işlevsellik kriterlerini de etkilemektedir. Örneğin, Klein Şişe Evi (2008), ismini aldığı matematik yüzeyinin karakteristik yapısını evin formu ve mekanları arasındaki ilişki bağlamında tasarıma entegre etmektedir. Möbius Evi (1997) ise, görsel olarak Möbius şeridi ile doğrudan ilişkili olmamasına rağmen 24 saatlik yaşam döngüsü konsepti ve mekan organizasyonu prensip olarak Möbius şeridinin sarmal döngüsüne dayanmaktadır. Möbius şeridinin, temsil ettiği sonsuzluk ve döngüsellik The journey of Senses (2020) pavyonuna da esin kaynağı olmuştur. Pavyon, World Expo 2020 için Lüksemburg'un tarihini; geçmişini, bugününü ve geleceğini yansıtmak amacıyla tasarlanmıştır. Pavyon tasarımında Möbius şeridi ile kurulan kavramsal ilişki yapı formuna ve sirkülasyon kurgusuna da etki

etmektedir. Pavyonun girişinden başlayan rampa, ziyaretçileri iç ve dış mekan arasındaki sınırları bulanıklaştıran, yönlendirici bir yol olarak işlev görmektedir.

Sunulan projeler matematik ile tasarım arasındaki organik ilişkiyi tasarımı oluşturan kavramsal arka plan ve form odağında ele almıştır. Ağırlıklı olarak son 5 yılı kapsayan projeler, ilişkili olduğu düşünülen matematik yüzeyi ve yüzeyi oluşturan matematik denklemleriyle birlikte **Tablo 1'**de sunulmuştur. Matematik yüzeylerinin, formun ve işlevsel ilişkilerin belirlenmesinde tasarımcıyı destekleyen bir araç olarak kullanımının yanı sıra estetik ve görsel çekiciliği artıran bir unsur olarak da tasarımı etkilediği görülmektedir. Bu bağlamda, matematik yüzeylerinin denklemler kullanılarak modellenmesi önem kazanmaktadır. Geleneksel yöntemlerle bir matematik yüzeylerinin temsil edilmesi, denklemlerin analiz edilmesi ve çözümlenmesi için matematik bilgisine, çözüm verileri kullanılarak ortografik izdüşüm modelinin oluşturulması için çok boyutlu düşünme ve algılama başta olmak üzere geometrik becerilere ve teknik çizim yetkinliğine dayanmaktadır. Diğer yandan, dijital hesaplamalı yöntemler matematik yüzeylerinin temsillerinin oluşturulmasında hesaplama doğruluğu, hassasiyeti ve hızının yanı sıra, düzenleme ve optimizasyon esnekliği ile görsel temsil oluşturma kolaylığı sunmaktadır. Ancak, dijital hesaplamalı yöntemlerin kullanımı da algoritma bilgisi ve okuryazarlığı gibi bu alana özgü yetkinlikler gerektirmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında, matematik yüzeylerinin temsil edilmesinde dijital hesaplamalı tasarım yönteminin avantajlarını sunan ve kullanımı için gereken uzmanlık bilgisine ihtiyacı azaltan bir eklenti geliştirmiştir.

**Tablo 1.** Matematik yüzeleriyle ilişkilendirilen yapılar.

Yıl	Proje Adı	Yer	Proje Görseli	İlişkili Matematik Yüzeyi	İlişkili Matematik Yüzeyinin Formülü
2023	Twisted Brick Shell Concept Library	Qizhou, Zhejiang, China			$F_x(u, v) = 3 \cdot \sin(u) \cdot \cos(v)$ $F_y(u, v) = 3 \cdot \sin(u) \cdot \sin(v)$ $F_z(u, v) = \cos(v)$ $u = [0, 2\pi]$ $v = [0, \pi]$
2022	010 Building	Fukuoka, Japan			$F_x(u, v) = 2 \cdot \cos(2v) \cdot (1 + \cos(u))$ $F_y(u, v) = 2 \cdot \sin(2v) \cdot (1 + \cos(u))$ $F_z(u, v) = 15v + 2\sin(u)$ $u = [-2, 2]$ $v = [0, 2]$
2022	Future Car Park	Hangzhou, China			$F_x(u, v) = a \cdot \cosh(v) \cdot \cos(u)$ $F_y(u, v) = a \cdot \cosh(v) \cdot \sin(u)$ $F_z(u, v) = -3 \cdot \sinh(u)$ $a = 2$ $u = [-\pi, \pi]$ $v = [-2, 2]$
2020	The Journey of Senses	Dubai, United Arab Emirates			$F_x(u, v) = (r+u \cdot \cos(a \cdot v/2)) \cdot \cos(v)$ $F_y(u, v) = (r+u \cdot \cos(a \cdot v/2)) \cdot \sin(v)$ $F_z(u, v) = u \cdot \sin(a \cdot v/2)$ $a = 1, r = 4$ $u = [-1, 1]$ $v = [0, 2\pi]$
2020	Musée Atelier Audemars Piguet	Le Brassus, Switzerland			$F_x(u, v) = u \cdot \cos(u)$ $F_y(u, v) = u \cdot v$ $F_z(u, v) = u \cdot \sin(u)$ $a = 5$ $u = [0, 2\pi], v = [0, 1]$
2019	The Twist	Jevaker, Norway			$F_x(u, v) = a \cdot \sin(2u) \cdot \cos(2v)$ $a = 1$ $u = [-1, 1]$ $v = [-0.74, 0.74]$
2018	KnitCandela	Mexico City, Mexico			$F_x(u, v) = u \cdot \cos(v)$ $(u^2 - 1/2a - 1) \cdot \cos(1/2a - 1/v)$ $F_y(u, v) = u \cdot \sin(v)$ $(u^2 - 1/2a - 1) \cdot \sin(1/2a - 1/v)$ $F_z(u, v) = 2/a \cdot u^2 \cdot \cos(a \cdot v)$ $a = 3, u = [-1, 1], v = [\pi/2, \pi/2]$
2016	The Lucky Knot Changsha Bridge	Changsha, China			$F_x(u, v) = (2r + r \cdot \cos(u/2)) \cdot \cos(u/3) + r \cdot \cos(u/3) \cdot \cos(r \cdot v)$ $F_y(u, v) = (2r + r \cdot \cos(u/2)) \cdot \sin(u/3) + r \cdot \sin(u/3) \cdot \cos(r \cdot v)$ $F_z(u, v) = (r + \sin(u/2)) \cdot (r \cdot \sin(r \cdot v))$ $r = 3, u = [0, 12\pi], v = [0, 2\pi]$
2008	Kein Bottle	Melbourne, Australia			$F_x(u, v) = 6 \cdot (\sin(u) + 1) \cdot \cos(u)$ $-3 \cdot (1 - \cos(u/2)) \cdot \cos(v)$ $F_y(u, v) = a \cdot \sin(u)$ $F_z(u, v) = 3 \cdot (1 - \cos(u/2)) \cdot \sin(v)$ $a = 19$ $u = [0, 2\pi], v = [0, 2\pi]$
2003	L'Oceanografic Restaurant & Entrance Hall	Valencia, Spain			$F_x(u, v) = u$ $F_y(u, v) = v$ $F_z(u, v) = u \cdot v$ $u = [-1, 1]$ $v = [-1, 1]$
1997	Möbius House	Het Gooi, Netherlands			$F_x(u, v) = (r - v \cdot \cos(a \cdot v/2)) \cdot \cos(v)$ $F_y(u, v) = (r - v \cdot \cos(a \cdot v/2)) \cdot \sin(v)$ $F_z(u, v) = -u \cdot \sin(a \cdot v/2)$ $a = 1, r = 4$ $u = [-1, 1], v = [0, 2\pi]$

## 2. MathForm Eklentisi

Matematik denklemlerinin modellenmesi ve üç boyutlu yüzeylerin elde edilmesi aşamasında Rhino 7 yazılımının Grasshopper eklentisi, kısaca Gh, kullanılmıştır. Gh, "Grasshopper Python Script Editor" (Davidson, 2019) adında, kısaca GhPython, Python kodlama dilini destekleyen bir bileşene sahiptir. Bu bileşen, Gh ile entegre bir şekilde çalışmaktadır. Diğer Gh bileşenlerinden veri almak ve vermek için "girdi" ve "çıkı" bölümleri vardır. Diğer bileşenlerden farklı olarak özelleşmiş işlevler oluşturmak için kod yazılmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede kullanıcılar, Python kodlama diline uygun olarak yazılan kodları kullanarak, hem Gh'nin temel bileşenlerinin yetersiz kaldığı durumlarda hem de uzun kod düğümlerini kısaltmak amacıyla kendi eklentilerini geliştirebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, matematik denklemlerini modelleyen "MathForm" adında bir eklenti geliştirilmiştir (**Şekil 1**). MathForm 10 adet girdi ve bir adet çıktı bölümüne sahiptir.



Şekil 1. Grasshopper Python Script Editor ve MathForm eklentisi.

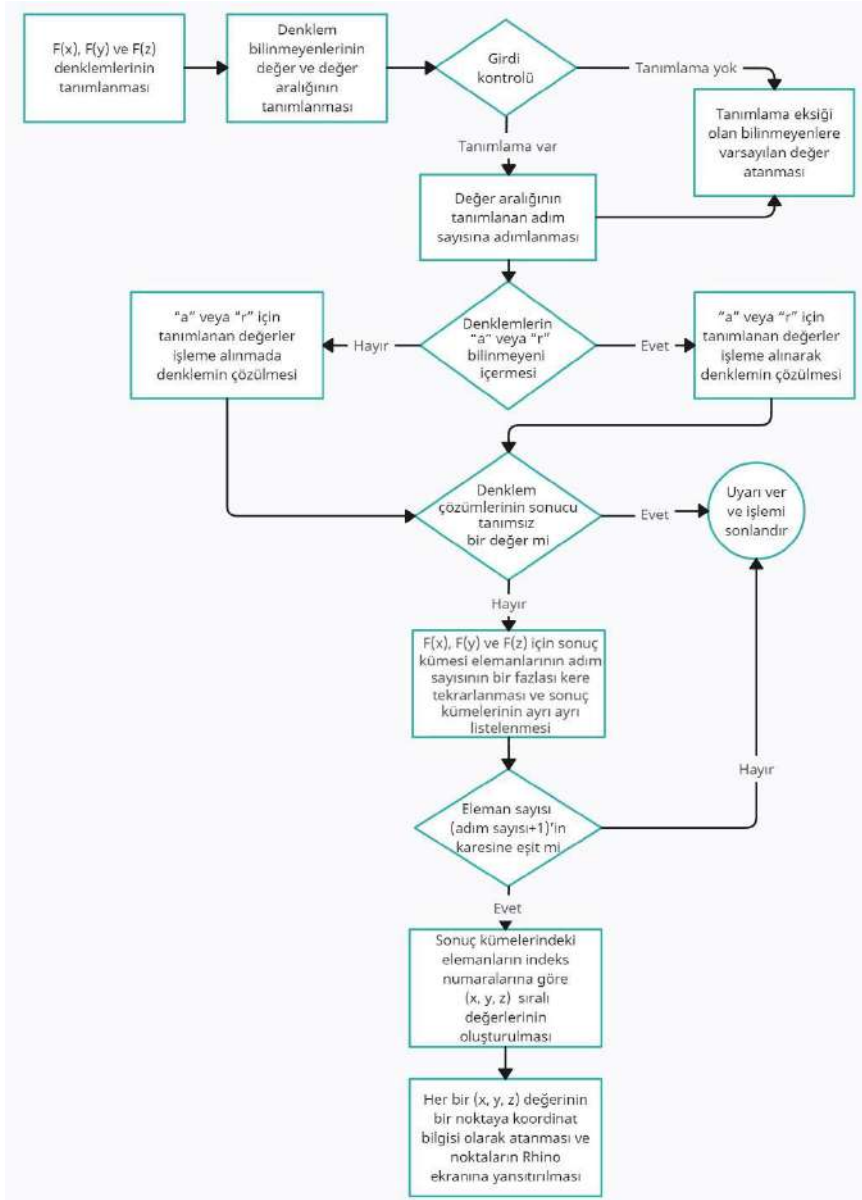
### 2.1. Geliştirilmesi

MathForm eklentisi ile matematik denklemleri kullanılarak üç boyutlu bir yüzey oluşturmak için  $x$ ,  $y$  ve  $z$  düzlemlerinde tanımlama yapmayı sağlayacak, parametrik denklemler kullanılmalıdır. Parametrik denklemleri iki boyutlu bir eğri olan  $y = x^2$  üzerinden tanımlamak gerekirse, bu eğriyi ifade etmek için  $F(x) = x^2$  grafiği kullanılabilir. Ayrıca, aynı eğri  $x(t) = t$  ve  $y(t) = t^2$ ,  $-\infty < t < \infty$  parametrik denklemleri ile de oluşturulmaktadır. MathForm eklentisinin kullanımı için parametrik denklemler kullanılmalıdır. Bu nedenle, kullanılacak  $F_x(u, v)$ ,  $F_y(u, v)$  ve  $F_z(u, v)$  denklemlerinin belirlenmeli ve birer panel aracılığıyla ilgili girdi bölümlerine bağlanmalıdır.

Denklemlerin yazımında sözdizimi bakımından uyulması gereken kriterlere vardır. Bilinmeyenler  $u$  ve  $v$  ile ifade edilmelidir. Kosinüs, sinüs, tanjant ve kotanjant gibi fonksiyonlar, cebirsel ifadelerine uygun olarak,  $\cos$ ,  $\sin$ ,  $\tan$ ,  $\cot$  şeklinde tanımlanmalıdır. Toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri sırasıyla  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ , üs işlemi  $**$  ve karekök işlemi ise  $\sqrt{\quad}$  ifadesiyle gösterilmelidir. Ek olarak, eğer denklemlerde var ise yarıçapın  $r$ , çapın  $2*r$  ve çap bilgisi dışındaki bilinmeyen  $a$  ile tanımlanması gerekmektedir.

Denklemlerde yer alan  $u$  ve  $v$  bilinmeyenleri  $u=[U_x, U_y]$  ve  $v=[V_x, V_y]$  şeklinde bir değer aralığına sahip olmalıdır.  $U_x$  ve  $V_x$  başlangıç,  $U_y$  ve  $V_y$  ise bitiş değerlerini ifade etmelidir. Bu değerler bir sayı,  $\pi$  ( $\pi$ ) veya  $\pi$ 'nin katı bir değer olabilir. Eğer  $U_x, U_y, V_x, V_y$  bir sayı ise Gh'nin sayı kaydırıcı (number slider) bileşeni,  $\pi$  veya  $\pi$ 'nin katı ise 'pi' bileşenine bağlanan sayı girdisi ile MathForm eklentisinin aynı isimlere sahip girdi bölümlerine bağlanmalıdır. Başlangıç ve bitiş değerlerini bir sayı doğrusu üzerinde düşünürsek, bu doğruda farklı değerlere sahip sonsuz sayıda nokta bulunmaktadır. Denklemlerde kullanılacak değerlerin belirlenmesi için doğrunun birbirine eşit büyüklükte belirli sayıda parçaya bölünmesi gerekmektedir. Bu sayı bir 'number slider/panel' bileşeni ile MathForm eklentisinin 'steps' girdi bölümüne bağlanmalıdır. Denklemlerde eğer katsayı değişkeni ( $a$ ), yarıçap ( $r$ ) veya çap ( $R=2r$ ) var ise bu sayıların da 'number slider' ile ilgili girdi bölümüne bağlanması gerekmektedir. MathForm eklentisinin kullanımı için  $a$  ve  $r$  haricindeki parametrenin zorunlu olarak tanımlanması gerekmektedir. Eğer denklemler  $a$  ve  $r$  var ise bu parametrelerle ilgili de tanımlama yapılması gerekmektedir. Tanımlama yapılmadığı durumda eklenti, varsayılan (default) olarak tanımlanan değerler ile işlem yapacaktır. Bu durum hatalı sonuçlara sebep olabilir.

MathForm eklentisi **Şekil 2'**de sunulan akış şemasındaki gibi girdi olarak aldığı verileri kullanarak ilgili matematik işlemi gerçekleştirmektedir. İşlem sonunda  $F_x, F_y$  ve  $F_z$  denklemleri için 'steps' sayısının bir fazlası kadar değer elde etmektedir. Ardından, bu değerler 'steps' sayısının bir fazlası katı kere tekrar edilmektedir. Örneğin, 'steps=35' ise önce 36 adet değer elde edilmekte, ardında bu değerler 36 kere tekrar edilip  $36 \times 36 = 1296$  adet değer elde etmektedir. Elde edilen değerler indeks numaraları ile ilişkili olarak bir araya getirilmektedir. Bu işlemin sonunda  $x, y, z$  eksenlerindeki koordinatları belli noktalar oluşmaktadır. Noktalar, matematik denkleminin karşılık gelen yüzeyin nokta bulutu şeklinde bir temsilini oluşturmaktadır. Eklentinin, "Points" adındaki çıktı bölümünden oluşturulan nokta bulutuna erişim sağlanabilmektedir. Son olarak, nokta bulutundan bir yüzey oluşturmak için Gh'in noktalardan yüzey üretmek için kullanılan "Surface from Points" bileşenine bağlanmaktadır. Bileşenin "U Count" değerine  $(x+1)$  tanımlaması yapıldıktan sonra 'number slider' ile 35 değeri girilmektedir. Oluşturulan nokta bulutu ve yüzey Rhino ekranına eş zamanlı olarak yansımaktadır. Ancak, bu sadece bir görüntüdür. Gh ortamında üretilenlerin Rhino için nesne olabilmesi için ilgili bileşene sağ tıklayarak "Bake" komutu kullanılmalıdır.



Şekil 2: MathForm eklentisinin akış şeması.



## 2.2. Yüzeyle

Geliştirilen MathForm eklentisi dört matematik yüzeyine ait matematik denklemleri kullanılarak model oluşturulmasıyla test edilmiştir. Bu yüzeyler, Möbius şeridi, Umbilic torus, çift sarmal Möbius şeridi ve Sekiz torustur. Yüzeylerin kesitleri farklı olmasına rağmen tek kenarlı, kapalı döngü hattına sahip ve yönlendirmesiz yüzey olmaları benzerlik göstermektedir. Kapalı döngü, yüzeyi oluşturan eğrisel hattın başlangıç ve bitiş noktalarının birleşmesi anlamına gelmektedir. Yüzeylerin sahip olduğu tek kenarını ise kapalı döngü hattı oluşturmaktadır. Yönlendirmesiz (non-oriented) olma özelliği ise yüzey için iç ve dış taraf ayrımının yapılamadığını ifade etmektedir. Yüzeylerin karakteristik özelliklerini kavramak için nasıl oluştuklarına daha derinlemesine bakmak faydalı olacaktır.





Möbius şeridi yüzeyi, bir kenarı diğerine oranla oldukça kısa, dikdörtgen şeklindeki bir şeridin 180 derece bükülerek iki kısa kenarının birleştirilmesiyle oluşmaktadır (Peterson, 2001). Bir dikdörtgenin dönüşümünden oluşması sebebiyle kesiti düz bir çizgidir. Yüzeyin oluşumu ise bu çizginin eğrisel bir hat boyunca farklı yönlere yöneliminden oluşmaktadır.

Umbilic torus, bir deltoidin kapalı bir döngü hattı boyunca adım adım dönerek ilerlemesiyle oluşmaktadır. Deltoid kesiti, çift eğrilikli bu yüzeyin sivri bir yüzey bitişine sahip olmasını sağlamaktadır. Bir deltoidin üç sivri köşesi olduğu için ilk bakışta üç kenarlı bir model olacağı düşünülmese de yüzeyi üç kere dönen tek kenarı vardır.

Çift sarmal Möbius şeridi ise klasik Klein şişesi yüzeyinin sekiz şeklinde kesite sahip olan bir varyasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle Figür-8 Klein şişesi olarak da adlandırılmaktadır. Klasik Klein şişesi ve sekiz kesitli varyasyonunun simetri eksenini, birbirinin aynalaması olan iki Möbius şerididir. Yüzey, bir dikdörtgenin iki kısa kenarının kıvrılarak önce bir "S", ardından her iki kısa kenar "S"nin merkezinde birleşerek bir "8" oluşturması ve daha sonra bu sekizin merkez noktasından bir çember boyunca esneyip bükülerek döndürülmesi sonucu oluşmaktadır.

Sekiz torus yüzeyi, dönerek birbiri içinden geçen iki dairesel kesitli eğrinin birleşmesiyle oluşuyor gibi gözükmesine rağmen çift sarmal Möbius şeridine benzer şekilde sekiz şeklinde kesite sahiptir. Sekiz şekli, bir çember boyunca dönerek ilerlemekte ve yüzeyi oluşturmaktadır. Bu bölümde oluşumları hakkında bilgi verilen, topolojik ve cebirsel özelliklere sahip dört yüzeye ait matematik denklemleri **Tablo 2**'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Möbius şeridi, Umbilic torus, çift sarmal Möbius şeridi ve Sekiz torusun matematik denklemleri.

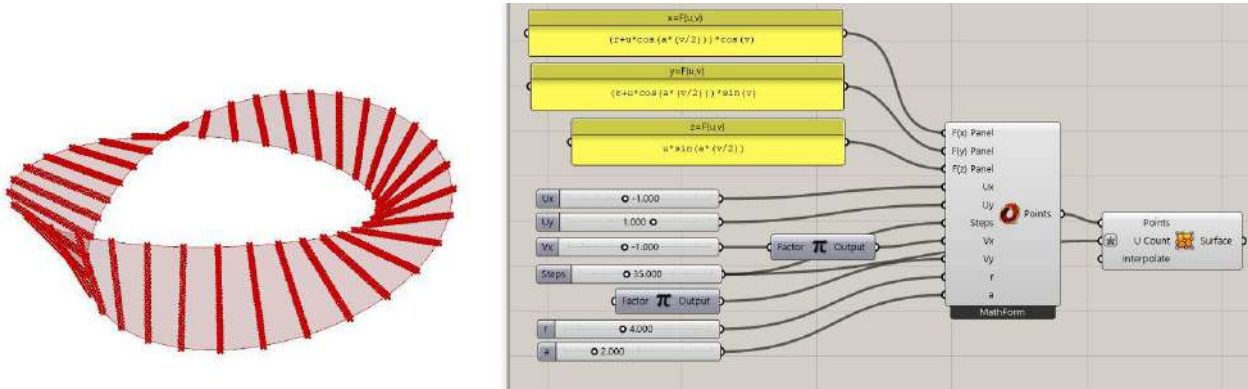
Form	Matematik Denklemleri
<p>Möbius Şeridi</p> 	$F_x(u, v) = (r + u \cdot \cos(a \cdot v/2)) \cdot \cos(v)$ $F_y(u, v) = (r + u \cdot \cos(a \cdot v/2)) \cdot \sin(v)$ $F_z(u, v) = u \cdot \sin(a \cdot v/2)$ $a = 1 \quad r = 4 \quad u = [-1, 1] \quad v = [0, 2\pi]$
<p>Umbilic Torus</p> 	$F_x(u, v) = \sin(u) \cdot (7 + \cos(u/3 - 2v) + 2\cos(u/3 + v))$ $F_y(u, v) = \cos(u) \cdot (7 + \cos(u/3 - 2v) + 2\cos(u/3 + v))$ $F_z(u, v) = \sin(u/3 - 2v) + 2\sin(u/3 + v)$ $u = [-\pi, \pi] \quad v = [-\pi, \pi]$
<p>Çift Sarmal Möbius Şeridi</p> 	$F_x(u, v) = (R + r(\cos(u/2) \cdot \sin(v) - \sin(u/2) \cdot \sin(2v))) \cdot \cos(u)$ $F_y(u, v) = (R + r(\cos(u/2) \cdot \sin(v) - \sin(u/2) \cdot \sin(2v))) \cdot \sin(u)$ $F_z(u, v) = r(\sin(u/2) \cdot \sin(v) + \cos(u/2) \cdot \sin(2v))$ $r = 10 \quad R = 2r \quad u = [0, 2\pi] \quad v = [0, 2\pi]$
<p>Sekiz Torus</p> 	$F_x(u, v) = \cos(u) \cdot (a + \sin(v) \cdot \cos(u) - ((\sin(2v) \cdot \sin(u))/2))$ $F_y(u, v) = \sin(u) \cdot \sin(v) + (\cos(u) \cdot \sin(2v))/2$ $F_z(u, v) = \sin(u) \cdot (a + \sin(v) \cdot \cos(u) - ((\sin(2v) \cdot \sin(u))/2))$ $a = 2 \quad u = [-\pi, \pi] \quad v = [-\pi, \pi]$

Matematik yüzeyleri, soyut cebirsel ifadeler ile tanımlandığında cebir konusunda uzman bilgisine sahip olmak bile yeni karşılaşılan bir karmaşık yüzeyi imgelemek için yetersiz kalmaktadır. Sezgisel somutlamayı kolaylaştırmak amacıyla bir matematik yüzeyinin betimlemeye dayalı sözel ifadeler ile tanımlanması cebirsel tasfiri kıyasla daha geniş bir kitle tarafından anlaşılır olmakla beraber formun karakteristik yapısını kavramak için yetersiz kalacaktır. Bu bağlam, karmaşık matematik yüzeylerinin tasarım girdisi olarak kullanım potansiyelini zayıflatmaktadır.

### 2.3. Uygulamalar ile Test Edilmesi

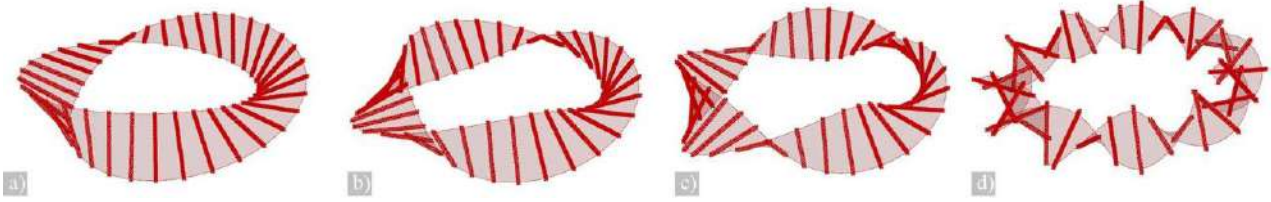
Geliştirilen MathForm eklentisinin kullanımı için oluşturulacak yüzeyin cebirsel ifadesi yani matematik denklemi, bilinmeyenlerin değer aralığı, eğer var ise denklem sabitlerinin değerleri ve yüzeyi oluşturan adım sayısı tanımlanmalıdır. Eklentinin test aşamasında ilk olarak Möbius şeridi yüzeyi ele alınmıştır.

Möbius şeridinin denklemi **Tablo 2'**de sunulduğu gibi u ve v bilinmeyenlerinin yanı sıra a ve r sabitlerini içermektedir. Denklemdaki bilinmeyenlerin değer aralığı sırasıyla  $u(U_x, U_y)=[-1, 1]$  ve  $v(V_x, V_y)=[0, 2\pi]$  şeklindedir. Denklem sabitlerinden olan ve katsayıyı ifade eden a değeri 1, r ile ifade edilen yarıçap değeri ise 4 birimdir. Bu değerler MathForm eklentisinin ilgili girdi bölümlerine panel, sayı kaydırıcı ve pi bileşeni ile bağlanmıştır (**Şekil 3**). Eklenti yüzey temsilini nokta bulutu şeklinde oluşturmuştur. Eklentinin çıktı verisinin noktalarla yüzey oluşturan bileşene bağlanmasıyla ise Möbius şeridi yüzeyi modellenmiştir. Model bir sınırlayıcı kutu (boundingbox) içine alındığında  $9x9,4x2$  birim ölçülerinde olduğu görülmektedir. Birim değer ise Rhino yazılımında kullanılan birim değerine eşittir.



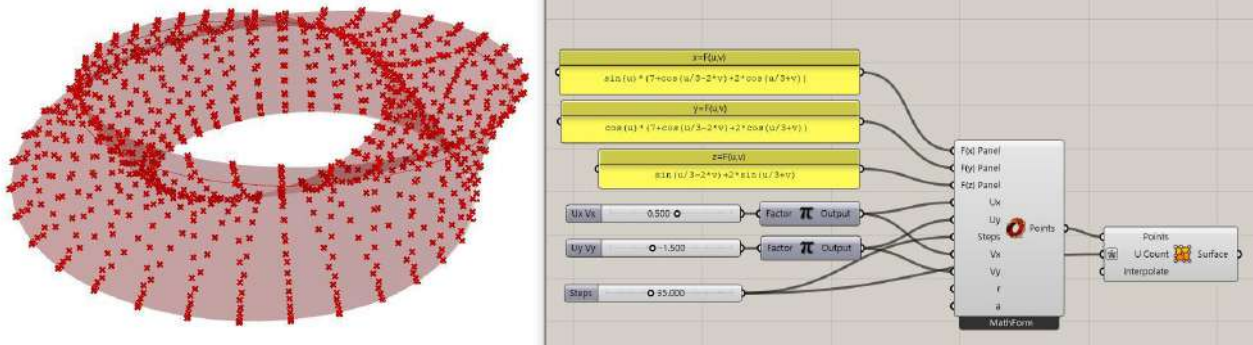
Şekil 3. MathForm eklentisi ile Möbius şeridi yüzeyinin modellenmesi.

Denklemden yapılan her değişiklik formun manipüle edilmesini sağlamaktadır. Örneğin, katsayı değerinin değiştirilmesi şeridin bükülme sayısını etkilemektedir. Katsayı değerinin 2, 3, 4 ve 10 olarak değiştirilmesinin yüzey üzerindeki etkisi **Şekil 4'**de sunulmuştur. Yarıçap değeri değişikliğinden ise yüzeyi oluşturan kapalı döngü hattının çapı etkilenmektedir (**Şekil 4**).



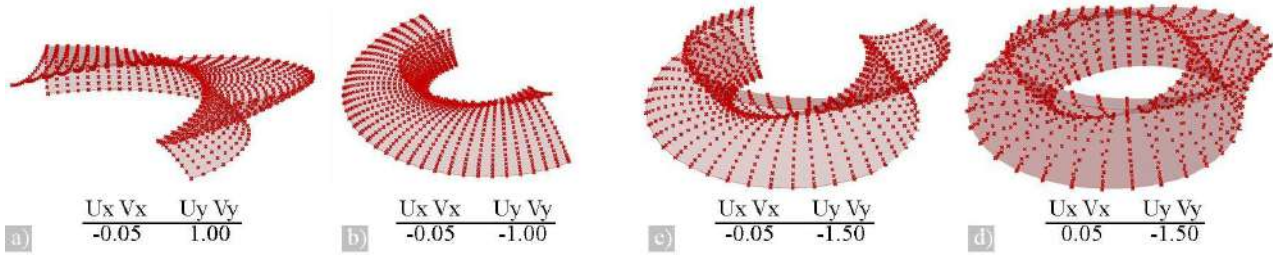
Şekil 4. MathForm eklentisi ile Möbius şeridi yüzeyinin manipülasyonu.

Möbius şeridinin modellenmesinde uygulanan işlem sırası, Umbilic torus, çift sarmal Möbius şeridi ve Sekiz torus modellerinin oluşturulması için de kullanılmıştır. Umbilic torus denkleminde yarıçap ve katsayı değeri olmadığından sadece bilinmeyenlerin değer aralığının tanımlanması gerekmektedir. Her iki bilinmeyenlerinin değer aralığı da aynı olup  $u(U_x, U_y)=v(V_x, V_y)=[-\pi, \pi]$ 'dir (Tablo 2). Umbilic torus yüzeyini oluşturmak için gerekli veriler MathForm eklentisinde tanımlandığında oluşan yüzey modeli Şekil 5'deki gibidir. Elde edilen modelin sınırlayıcı kutu ölçüsü ise 18,4x19x6 birimdir.



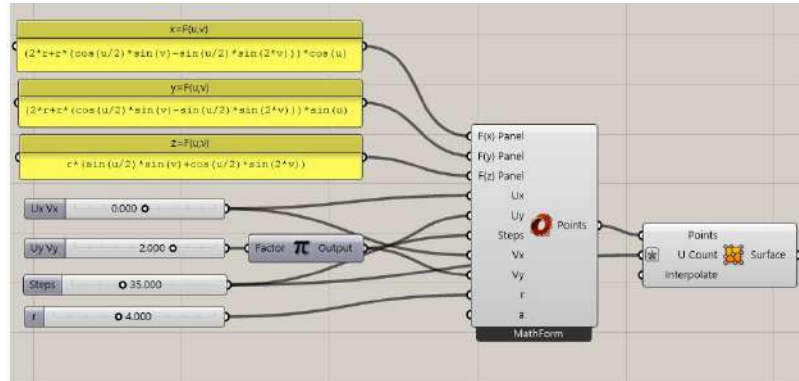
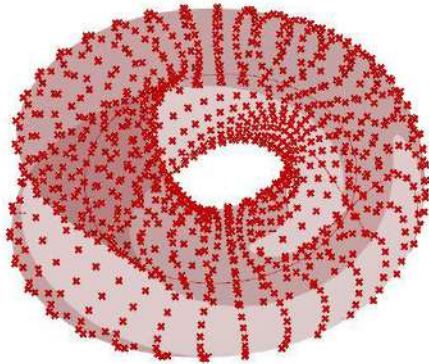
Şekil 5. MathForm eklentisi ile Umbilic torus yüzeyinin modellenmesi.

Bilinmeyenlerin değer aralığının etkisini gözlemlemek için bir sayı kaydırıcı aracılığıyla  $u$  ve  $v$  değerlerinin  $\pi$  katsayıları değiştirilmiştir. Öncelikle,  $U_x$  ve  $V_x$ 'in  $\pi$  katsayısı -0.05 ile çarpılırken  $U_y$  ve  $V_y$  değeri değiştirilmeyerek 1.00 değerlerinde tutulmuş ve yüzeye etkisi incelenmiştir (Şekil 6.a). Ardından,  $U_y$  ve  $V_y$  değeri sırasıyla -1.00 (Şekil 6.b) ve -1.50 (Şekil 6.c) yapılmıştır. Son olarak ise  $U_x$  ve  $V_x$  değeri 0.05 olarak değiştirilmiştir (Şekil 6.d). Yapılan sıralı değişikliklerin yüzeye etkisi Şekil 6'da sunulmuştur.



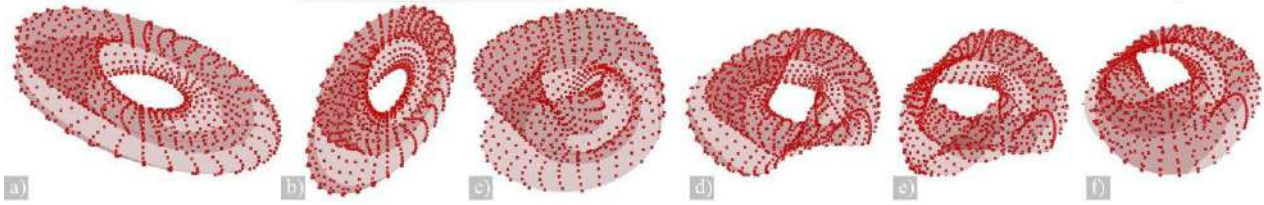
Şekil 6. MathForm eklentisi ile Umbilic torus yüzeyinin manipülasyonu.

Çift sarmal Möbius şeridi yüzeyi denkleminde  $u$  ve  $v$  bilinmeyenleri aynı değer aralığına sahiptir ve bu değer  $u(U_x, U_y)=v(V_x, V_y)=[0, 2\pi]$ 'dir. Ayrıca, çap ve yarıçap değerleri vardır ve yarıçap 4 birim olarak tanımlanmıştır. Böylece yüzey, **Tablo 2'**deki denklemler ve değerler kullanılarak MathForm eklentisi aracılığıyla modellenmiştir (**Şekil 7**). Model sınırlayıcı kutu ölçüsü  $60 \times 64 \times 24.6$  birimdir. Denklem değerlerinin yüzey üzerindeki etkisini, katsayı ve fonksiyon değişiklikleri üzerinden araştırılmıştır. Öncelikle,  $F(x)$  denklemi katsayı değişkeni içermemesine rağmen  $a=2$  katsayısı ile çarpılmış ve modelin değişimi **Şekil 8.a** ile sunulmuştur. Ardından, aynı işlem sırasıyla  $F(y)$  ve  $F(z)$  denklemlerine uygulanmış ve **Şekil 8.b** ve **Şekil 8.c'**deki modeller elde edilmiştir. Katsayı değişikliği, değişiklik yapılan denklemin etki ettiği eksende modelin katsayı miktarında uzamasına neden olmuştur.



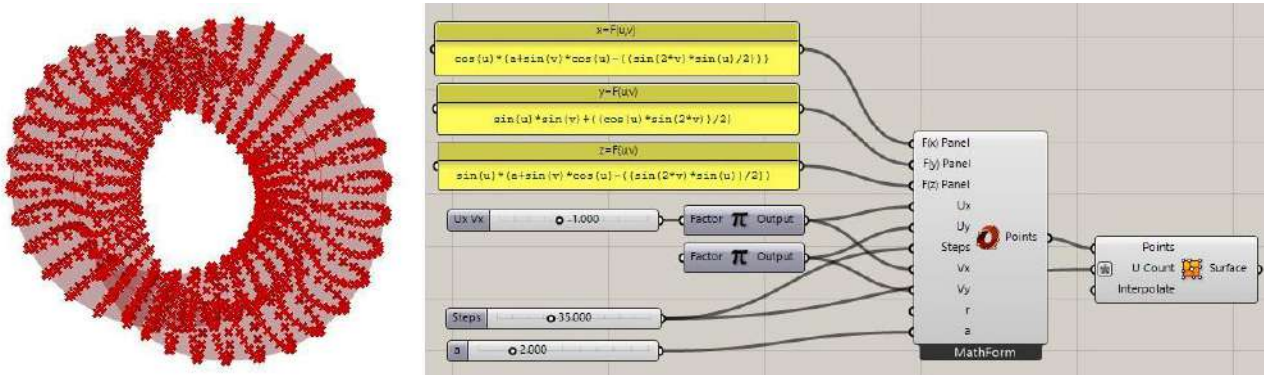
Şekil 7. MathForm eklentisi ile çift sarmal Möbius şeridi yüzeyinin modellenmesi.

Katsayı etkisini araştırmak için yapılan bir diğer değişiklik ise denklemlerde yer alan  $u$  ve  $v$  bilinmeyenlerinin katsayılarını içermektedir. Bunun için,  $F(x)$  denklemdeki  $\cos(u/2)$  fonksiyonu  $\cos(u)$  ile değiştirilerek **Şekil 8.d'**de sunulmuştur. Ardından, aynı denklemdeki sinüs fonksiyonun  $u$  değerinin katsayısı değiştirilmiş ve  $\sin(u/2)$  yerine  $\sin(u)$  yazılmıştır (**Şekil 8.e**). Yapılan son değişiklik ise,  $F(x)$  denklemde yapılan iki değişikliğe ek olarak,  $F(y)$  denklemdeki  $\cos(u/2)$  ve  $\sin(u/2)$  fonksiyonlarının  $\cos(u)$  ve  $\sin(u)$  fonksiyonu ile değiştirilmesidir (**Şekil 8.f**). Fonksiyonlardaki bilinmeyenlerin katsayılarının değiştirilmesi denklemin tamamına eklenen katsayıya oranla daha köklü bir deformasyona neden olmuştur.



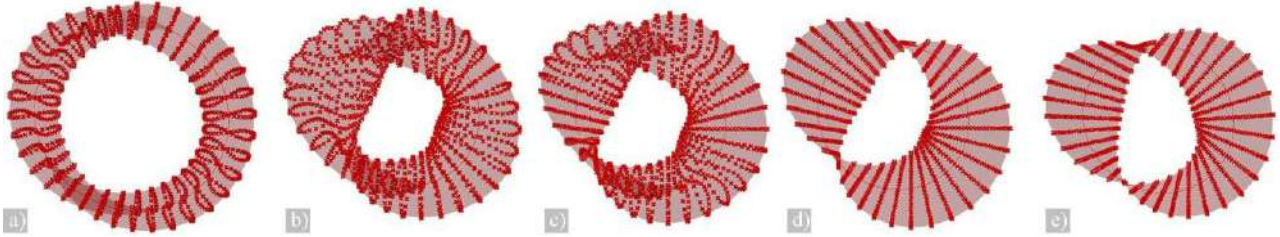
Şekil 8. MathForm eklentisi ile çift sarmal Möbius şeridi yüzeyinin manipülasyonu.

Sekiz torus modeli, diğer modellere benzer şekilde, önce **Tablo 2'**deki denklem ve değerler kullanılarak modellenmiştir (**Şekil 9**). Ardından, denklemde çeşitli değişiklikler yapılarak model manipüle edilmiştir. Sekiz torus denklemi katsayı değeri içerdiği için ilk olarak katsayının modele etkisi araştırılmıştır.



Şekil 9. MathForm eklentisi ile Sekiz torus yüzeyinin modellenmesi.

Yapılan ilk müdahale modelin üretiminde 2 olarak tanımlanan katsayı değerinin 10 olarak güncellenmesidir. Bu durum, modelin kalınlık değişimi olmaksızın çapının büyümesine neden olmuştur (**Şekil 10.a**). Ardından, bu işlem geri alınarak ilk hale geri dönmüş ve denklem fonksiyonlarındaki bilinmeyenlerin katsayı değerleri değiştirilmiştir. Her işlemde yapılan bir önceki değişiklik korunacak şekilde sırasıyla;  $F(x)$ ,  $F(y)$  ve  $F(z)$  denklemindeki  $\sin(2v)$  ifadesi  $\sin(v)$  ile değiştirilmiştir (**Şekil 10.b**, **Şekil 10.c** ve **Şekil 10.d**). Yapılan işlemlere ek olarak, denklemlere yapılan son müdahale ise  $F(x)$ ,  $F(y)$  ve  $F(z)$  denkleminde 2 olan payda değerinin 200 olarak değiştirilmesidir (**Şekil 10.e**). Çift sarmal Möbius şeridi modelinde olduğu gibi denklemlere yapılan müdahaleler, modelin dönüşümü ve farklılaşmasına etkisinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. MathForm eklentisi ile Sekiz torus yüzeyinin manipülasyonu.

### 3. Sonuçlar

Matematik yüzeylerini herhangi bir görsel veri kullanmadan, sözel olarak, betimleme yoluyla tanımlandığında bile zihinde canlandırılması ve tam olarak kavranması zordur. Soyut cebirsel ifadeler ile imgelemesi ise betimleme yoluna kıyasla daha zor olmanın yanı sıra uzmanlık gerektirmektedir. Bu bağlamda çalışma, matematik denklemleriyle tanımlanan karmaşık formların Rhino-Grasshopper yazılımında hesaplamalı olarak üretimini kolaylaştırmak için geliştirilen MathForm eklentisini ve muhtemel potansiyellerini sunmakta olup, daha geniş kapsamlı hedefleri olan bir araştırmancının, araştırma sürecine destek olması amacıyla yapılan daraltılmış kapsamlı bir ön çalışması niteliğindedir.

MathForm eklentisi ile matematik denklemlerinden karmaşık formlar üretimi için bir araç ve yöntem önerilmektedir. Eklentinin test sürecinde yaklaşık 20 matematik yüzeyi modellenmiş ve seçilen dört Öklid dışı yüzeyin üretim ve manipülasyonu çalışma kapsamında derinlemesine bir bakış ile sunulmuştur. Eklenti, test aşamasında form üretimlerini ön tanımlı yapılan fonksiyonlar için başarıyla gerçekleştirmiştir. Ancak, eklentinin arka planında çalışan Python kod bloğunda tanımlanmayan fonksiyonların kullanımı veya uygun olmayan sözdizimleri hata vermesine neden olmaktadır. Ayrıca, çalışma MathForm eklentisinin erken aşamalarını sunduğundan eklentinin performansı daha karmaşık fonksiyonlar içeren denklemler ile

araştırılmaya ve hata tespiti ile geliştirilmeye açıktır. Buna karşılık, hesaplamalı tasarım araçlarıyla karmaşık formların analizi, üretimi, manipülasyonu ve tasarım süreçlerine entegrasyonu için avantajlar sunmaktadır. Hesaplamalı tasarım araçlarının kullanımında gerekli işlem adımlarını azaltmakta ve iş akışını pratikleştirmektedir. Böylece, MathForm eklentisi, tasarım sürecini daha verimli hale getirmekte, geometrik kompleksliğe sahip tasarımların hesaplamalı yöntemlerle oluşturulması ve üretimi süreçlerine destek olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Arcavi, A. (2003). The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational studies in mathematics*, 52(3), 215-241.
- Báez, R. Z. (2007). A Proposal for the Classification of Mathematical Sculpture. In *Bridges Donostia: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture*, 67-74.
- Barbosa, A., ve Vale, I. (2023). Mobile math trails: An experience in teacher training with Mathcitymap. *Acta Scientiae*, 25(6), 157–182. <https://doi.org/10.17648/ACTA.SCIENTIAE.7597>
- Barczik, G., Lordick, D., ve Labs, O. (2011). Algebraic Expansions: Broadening the Scope of Architectural Design through Algebraic Surfaces. In *Computational Design Modelling: Proceedings of the Design Modelling Symposium Berlin 2011* (pp. 9-16). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Barwise, J. ve Etchemendy, J. (1991). Visual information and valid reasoning. W. Zimmerman and S. Cunningham (eds.), *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*, Mathematical Association of America, MAA Notes Series, 10–24.
- Brady, C. (2023). Making mathematics together by modeling shared experiences. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1165228). Frontiers.
- Carmo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*, MIT Press.
- Choma, J. (2015). *Morphing: A Guide to Mathematical Transformations for Architects, Designers*. Hachette UK.
- Davidson, S. (2019). Your First Python Script in Grasshopper. RhinoDeveloper web sitesi. 29.02.2024 tarihinde <https://developer.rhino3d.com/guides/rhinopython/your-first-python-script-in-grasshopper/> linkinden erişilmiştir.
- Domingo, A., Lázaro, C., ve Serna, P. (1999). Design of a thin shell fibre reinforced concrete hypar roof. In: Astudillo, R., and Madrid, A.J.,(Eds.), *Proc 40th Cong IASS, Madrid: CEDEX*, pp. A169-A179.
- Duval, R. (1999). *Representation, Vision and Visualization: Cognitive Functions in Mathematical Thinking. Basic Issues for Learning*.
- Eyce, N. ve Alaçam, S. (2021). Mimari Çizimin Fourier Serisi ile Matematiksel Çözülmesi . “Dayanıklılık, Dirençlilik, Esneklik” temalı XV. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu (2-13). 28-29 Haziran 2021, İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi
- Gür, Y. (2020). Mathematical Modelling and Additive Manufacturing of a Gyroid. *Mathematical Modelling and Optimization of Engineering Problems*, 187-196.



- Güner, Y.R. ve Çağdaş, G. (2019). Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyleyler ile Biçim Arama Yaklaşımı. JCoDe: Journal of Computational Design, 1(1), 35-54).
- Hadjerrouit, S. (2019). Impacts of visualization tools on mathematical learning in teacher education: A critical evaluation. In Conference of the International Journal of Arts & Sciences, 12(1), 21-30.
- Hilbert, D. ve Cohn-Vossen, S. (1983). Geometry and the Imagination, Translated by P. Nemenyi. Chelsea Publishing Company, New York, USA, 1983.
- Kolarevic, B. (2003). Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. <http://doi.org/10.1007/s00004-004-0025-4>
- Montag, A., ve Richter-Gebert, J. (2016). CindyGL: authoring GPU-based interactive mathematical content. In International Congress on Mathematical Software (pp. 359-365). Cham: Springer International Publishing.
- National Research Council, Division on Engineering, Physical Sciences, Commission on Physical Sciences, Mathematics, Applications, ... & Future Directions. (1990). Renewing US mathematics: A plan for the 1990s. National Academies Press.
- Nemirovsky, R., ve Noble, T. (1997). On mathematical visualization and the place where we live. Educational Studies in Mathematics, 33(2), 99-131.
- Url-1: <http://www.cabri.com/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-2: <https://cinderella.de/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-3: <https://www.geogebra.org/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-4: <https://people.csail.mit.edu/pgbovine/mathviz/index.py/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-5: <https://www.mathviz.org/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-6 : <http://mathviz.com/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-7 : <https://hchcstudio.com/bricklibrary>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-8 : <https://cloudsao.com/010-BUILDING>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-9 : [https://www.danielstatham.com/project\\_item/future-car-park/](https://www.danielstatham.com/project_item/future-car-park/), erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-10 : <https://metaform.lu/projects/beyond-senses/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-11 : <https://big.dk/projects/musee-atelier-audemars-piguet-2884>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-12 : <https://big.dk/projects/the-twist-1337>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-13 : <https://www.zaha-hadid.com/design/knitcandela/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-14 : <https://www.nextarchitects.com/changsha-bridge/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-15 : <https://www.mcbridecharlesryan.com.au/project/klein-bottle-house/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-16 : <https://www.ciudadfcc.com/en/-/museum-of-arts-and-science-and-oceanographic-park-spain>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-17 : <https://www.arkitektuel.com/mobius-evi/>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Palais, R. S. (1999). The visualization of mathematics: Towards a mathematical exploratorium. Notices of the AMS, 46(6), 647-658.
- Peterson, I. (2001). Fragments of Infinity: A Kaleidoscope of Math and Art. John Wiley & Sons, pp. 138-141.
- Ponce Campuzano, J. C. (2019). The use of phase portraits to visualize and investigate isolated singular points of complex functions. International journal of mathematical education in science and technology, 50(7), 999-1010.

- Saunders, B. V., Antonishek, B., Wang, Q., & Miller, B. R. (2015). Dynamic 3D visualizations of complex function surfaces using X3DOM and WebGL. In Proceedings of the 20th International Conference on 3D Web Technology (pp. 219-225).
- Segerman, H. (2012). 3D printing for mathematical visualisation. *The Mathematical Intelligencer*, 34(4), 56-62.
- Tall, D. (1991). Intuition and rigor: The role of visualization in calculus. W. Zimmerman and S. Cunningham (eds.) *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*, Mathematical Association of America, MAA Notes Series, 105–120.
- Terzidis, K. (2006). *Algorithmic architecture*. *Routledge*.
- Tomas, A. ve Martí, P. (2010). Optimality of Candela's concrete shells: A study of his posthumous design. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 51(1), 67-77.
- von Gagern, M., Kortenkamp, U., Richter-Gebert, J., & Strobel, M. (2016, July). CindyJS: Mathematical visualization on modern devices. In *International Congress on Mathematical Software* (pp. 319-326). Cham: Springer International Publishing.
- Zamora N, F. J. (2020). Understanding Fundamentals of Transistor Amplifiers by Mathematical Interactive Visual Modeling with GeoGebra. In *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1377-1380). IEEE.

# Küresel Aydınlatmada Sıvıların Emilim ve Saçılım Değerlerinin Fotogerçekçiliğe Etkileri

Ayhan Mucur<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1, 2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>ayhan.mucur@gmail.com; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

## Özet

Gerçekçi görüntü sentezinin temel amacı, ışığın doğal davranışını simüle etmek, nesnelerin ve sahnelerin görsel doğruluğunu artırmaktır. Bu bağlamda, doğrudan ve dolaylı aydınlatma, yansıma ve kırılma, gölgeler, kostik efektler ve küresel aydınlatma gibi temel prensipler, modelleme süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu prensiplerin modellenmesi için ışın izleme (ray tracing), yayılım (radiosity), foton haritalama (photon mapping) ve yol izleme (path tracing) gibi çeşitli algoritmalar uygulanmaktadır. Işın izleme, ışık ışınlarının izini süren bir tekniktir ve yalnızca ayna yansımaları, kırılmalar ve doğrudan aydınlatmayı ele almakta, ancak alan derinliği, hareket bulanıklığı ve dolaylı aydınlatma gibi karmaşık etkileri hesaplayamamaktadır. Yayılım, dolaylı aydınlatma etkilerini hesaplamakta ve ışığın yüzeyler arasında alışverişini simüle ederken yansıma ve kırılma gibi etkileri doğru şekilde modelleyememektedir. Foton haritalama, ışın izleme ve yayılım yöntemlerinin yetersiz olduğu durumlarda başarılı sonuçlar ortaya koymakta ve ışık kaynaklarından çıkan fotonların saçılması ve yüzeylerle etkileşimlerinin kaydedilmesi gibi aşamalardan oluşmaktadır. Yol izleme, ışığın sahne içerisindeki karmaşık etkileşimlerini modelleyerek dolaylı aydınlatma ve karmaşık yansımalar gibi zorlu efektleri oluşturabilmektedir. Işığın şeffaf ve yarı geçirgen nesnelere geçişinin hesaplanması, küresel aydınlatmada en karmaşık durumlardan biridir. Emilim, ışığın enerjisinin bir ortamda soğurulmasıdır ve sıvılar belirli dalga boylarındaki ışığı emerek kendine özgü bir renk kazanmaktadır. Saçılım, ışığın bir ortamda yön değiştirmesidir ve ışığın sıvı içinde yayılmasını sağlayarak yumuşak bir aydınlatma etkisi oluşturmaktadır. Emilim ve saçılım değerlerinin doğru hesaplanması, sıvıların ve içlerindeki nesnelerin renklerinin gerçekçi görülmesini sağlamak ve sahnenin genel atmosferine katkıda bulunmaktadır. Gerçekçi görüntü sentezi yapan yazılımlar, yüksek düzeyde fotogerçekçilik sunma potansiyeline sahip olsa da halen uzun hesaplama süreleri ve tam olarak gerçekçi olmayan sonuçlar gibi problemlere sahiptir. Fizik yasaları ile ilgili teoremlerin bu yöntemlere tam olarak dahil edilmemesi de önemli bir sorundur. Işığın maddenin yüzeyi ile olan etkileşimleri hesaplanırken, ışığın maddenin içinden geçişi gibi faktörler göz ardı edilmektedir. Özellikle şeffaf ve yarı geçirgen nesnelere üzerinde problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, hem yüzeysel hem de hacimsel hesap yöntemlerinin birlikte kullanılması gerekmektedir. Yüzeysel yöntemler, nesnelerin dış görünüşünü modellemekte, hacimsel yöntemler ise nesnelerin iç yapısını ve saydam ortamların etkileşimlerini hesaplamaktadır. Bu çalışmada, gerçek ve dijital sahnelerde ışığın emilim ve saçılım özelliklerinin küresel aydınlatmadaki etkisi karşılaştırılacaktır. Amaç, hesap yöntemlerindeki eksiklikleri tamamlayan bir öneri tasarlamak ve bunu bir yazılım modülü ya da eklentisine dönüştürmektir. Bu gelişme, mimari görselleştirme, ışık ve aydınlatma simülasyonları ve yapı bilgi modellemede ışık analizi gibi alanlarda önemli ilerlemeler sağlayacaktır. Küresel aydınlatma, ışığın nesnelere yansıması, kırılması ve saçılması hesaplayarak ortamın aydınlatılmasını ve gölgelerin daha gerçekçi modellenmesini hedeflemektedir. Bu çalışmada, küresel aydınlatmadaki emilim ve saçılım şiddetleri ölçülecek ve elde edilen verilere göre bir model önerisi sunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel aydınlatma, ışık transferi, emilim, saçılım.

# The Effects of Absorption and Scattering Values of Liquids on Photorealism in Global Illumination

Ayhan Mucur<sup>1</sup> ; Togan Tong<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Yıldız Technical University

<sup>1</sup>ayhan.mucur@gmail.com; <sup>2</sup>togantong@yahoo.com

## Abstract

*The primary objective of realistic image synthesis is to simulate the natural behavior of light to enhance the visual fidelity of objects and scenes. This endeavor involves leveraging fundamental principles such as direct and indirect illumination, reflection and refraction, shadows, caustic effects, and global illumination within the modeling processes. To this end, various algorithms—namely ray tracing, radiosity, photon mapping, and path tracing—are employed. Ray tracing, for instance, traces the paths of light rays, effectively handling mirror reflections, refractions, and direct lighting. However, it falls short in accurately capturing complex effects like depth of field, motion blur, and indirect lighting. Radiosity, on the other hand, calculates indirect lighting effects and simulates light exchange between surfaces but struggles with accurate modeling of reflection and refraction. Photon mapping emerges as a robust method where ray tracing and radiosity are inadequate, consisting of photon scattering from light sources and recording their interactions with surfaces. Path tracing excels in modeling the complex interactions of light within a scene, thereby producing intricate effects such as indirect lighting and complex reflections. Calculating the transmission of light through transparent and translucent objects constitutes one of the most intricate challenges in global illumination. Absorption refers to the process where light energy is absorbed by a medium, with liquids acquiring distinctive colors by absorbing specific wavelengths of light. Scattering denotes the deflection of light within a medium, facilitating the diffusion of light and creating a soft lighting effect. Accurate computation of absorption and scattering values is essential for rendering realistic colors of liquids and the objects within them, thereby enhancing the overall atmosphere of the scene. Despite the potential of software for realistic image synthesis to deliver high levels of photorealism, it still grapples with challenges such as prolonged computation times and results that are not entirely realistic. A significant issue is the incomplete incorporation of physical laws into these methods. When calculating light interactions with material surfaces, factors like the transmission of light through the material are often overlooked, posing particular challenges for transparent and translucent objects. Consequently, a combined approach employing both surface and volumetric calculation methods is necessary. Surface methods model the external appearance of objects, while volumetric methods compute the internal structure and interactions within transparent media. This study aims to compare the effects of light absorption and scattering properties in real and digital scenes on global illumination. The objective is to propose a solution that addresses the deficiencies in current calculation methods and to develop this into a software module or plugin. This advancement is expected to significantly enhance fields such as architectural visualization, lighting simulations, and light analysis in building information modeling. Global illumination strives to achieve realistic environmental lighting and shadow modeling by accounting for the reflection, refraction, and scattering of light from objects. In this study, absorption and scattering intensities in global illumination will be measured, and a model proposal will be presented based on the acquired data.*

**Keywords:** Global illumination, light transport, absorption, scattering.

## 1. Giriş

Gerçekçi görüntü sentezi; gerçek fotoğraftan ayırt edilemeyecek görüntüleri, hesaplamalı yöntemler ve gelişmiş teknikler kullanarak oluşturma sürecidir. Temeli bilgisayar grafikleri ile başlayan bu süreç, teknolojik ilerlemelere paralel olarak gelişmektedir. Gerçekçi görüntü sentezinin, film ve video endüstrisi, sanal (VR) ve artırılmış (AR) gerçeklik, mimari ve şehir planlama, endüstriyel tasarım, eğitim simülasyonları ve tıbbi görüntüleme sistemleri gibi birçok alanda önemli uygulamaları bulunmaktadır.

Gerçekçi görüntü sentezi, mimarlıkta önemli bir rol oynamakta ve sadece görselleştirme amacıyla sınırlı kalmamaktadır. İleri algoritmalar ve hesaplamalı yöntemler kullanarak gerçekleştirilen bu teknikler; bir yapının nasıl görüneceğinin ötesinde, aydınlatma tasarımı, malzeme analizi, ışık ve enerji analizi gibi birçok kritik alanda etkin olarak kullanılıp, projelerin daha verimli ve fonksiyonel olmasını sağlamak için gereklidir. Ayrıca pazarlama ve tanıtımda etkili olan gerçekçi görüntüler, sanal gerçeklik (VR) sayesinde kullanıcılara mekânsal algı, derinlik gibi deneyimler sunmaktadır. Aydınlatma tasarımında, doğal ve yapay ışık kaynaklarının simüle edilmesinde, aydınlatma şemalarının oluşturulmasında, gerçekçi görüntü sentezi kullanılmakta olup bu sayede enerji verimliliği gibi analizler yapılmaktadır. Bu analizler güneş ışığı gibi doğal ışık kaynaklarının mekandaki etkisini, yapay ışık kaynaklarının mekandaki konumunu belirlemektedir. Ayrıca gerçekçi görüntü sentezi, mekânın işlevine uygun aydınlatma şemalarının tasarımında etkin rol oynamakta ve enerji tasarrufu sağlayan aydınlatma çözümlerinin araştırılması ve uygulanmasında etkin rol oynamaktadır. Gerçekçi görüntü sentezi, mimari ve tasarım alanında malzeme seçimi ve analizi için verimli bir araç olmaktadır. Bu teknoloji, malzemelerin ışıkla olan etkileşimi simüle ederek, yansıtıcılık, geçirgenlik ve kırılım gibi fiziksel özelliklerin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu simülasyonlar, malzeme seçim sürecinde, estetik beklentilerle beraber, enerji verimliliği ve aydınlatma performansı gibi kriterlerinin de göz önünde tutulmasına neden olmaktadır. Yapı bilgi modelleme de kullanılan binaların enerji, ısı ve ışık analizlerinin alt yapısını gerçekçi görüntü sentezinde kullanılan yöntemler oluşturmaktadır. Bu yöntemler sayesinde elde edilen veriler, binaların hem işlevsel hem de estetik açıdan verimliliğini artırarak çevresel ayak izini azaltmak, hem de binaların yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Gerçekçi görüntü sentezi; sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri ile entegre edildiğinde, mimarlık ve tasarım alanlarında üst düzey etkileşim potansiyeline sahiptir. Sanal gerçeklik, kullanıcıları dijital bir ortama sokarak, gerçek dünyadan bağımsız bir deneyim sunmakta olup, tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde sayısız seçenekler sunmaktadır. Artırılmış gerçeklik ise gerçek dünya görüntülerinin üzerine dijital bilgilerin eklenmesini sağlamaktadır. Böylece tasarımcılar var olan fiziksel mekanlar üzerinde gerçek zamanlı tasarımlar yapabilmektedirler. Görüldüğü üzere, gerçekçi görüntü sentezinde kullanılan teknikler, doğru ve etkili kullanıldığında projelerin hem estetik hem fonksiyonel açıdan iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Gerçekçi görüntü sentezinin temel amacı, ışığın doğal davranışını simüle etmek, nesnelerin ve sahnelerin görsel doğruluğunu artırmaktır. Doğrudan aydınlatma, dolaylı aydınlatma, yansıma ve kırılma, gölgeler, kostik efektler ve küresel aydınlatma, ışığın doğal davranışını modellemede kullanılan temel prensiplerdir. Bu prensipleri modellemek için, kullanılan algoritmalar arasında ışın izleme (ray tracing), yayılım (radiosity), foton haritası (photon mapping) ve yol izleme (path tracing) bulunmaktadır. Bütün bu algoritmalar, küresel aydınlatmayı hesaplamak için kullanılan farklı yöntemlerdir. Işık davranışını örnekleyen her bir algoritmanın, diğerlerine göre avantajlı ve dezavantajlı özellikleri bulunmaktadır. Işın izleme (ray tracing); bir model aracılığıyla sonsuz küçük ışık demetlerini izleyen bir nokta örnekleme tekniğidir (Whitted, 1980). 1980’de başlatılan temel ışın izleme, ışık ışınlarının gözlemciden ışık kaynaklarına doğru izlemesi prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşım yalnızca ayna yansımalarını, kırılmalarını ve doğrudan aydınlatmayı ele almakta, alan derinliği, hareket bulanıklığı, kostik, dolaylı aydınlatma ve parlak yansıma gibi etkileri hesaplayamamaktadır. Yayılım (radiosity); dolaylı aydınlatma efektlerini hesaplamak için geliştirilmiştir (Cohen & Wallace, 1993). Bu teknik, sahnedeki her yüzeyin hem ışığı alması hem de bir ışık kaynağı gibi davranabilmesi fikrine dayanmaktadır. Sahnedeki yüzeyler arasındaki ışık alışverişi dengesinin hesaplandığı ışın izleme yöntemlerine bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Yayılım algoritması, ışığın yüzeylerden yansıması ve şeffaf nesnelerin içinden geçmesi gibi ışık etkileşimlerini simüle etmekte sınırlı kalmaktadır. Yayılım, esas olarak yüzeyler arası dolaylı ışık transferini ve bu ışığın nasıl dağıldığını hesaplamak için tasarlanmıştır. Bu yöntem, yansıma ve kırılma gibi etkileşimleri doğru bir şekilde simüle edebilmesi için genellikle ışın izleme gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır. Yayılım yönteminin gücü, sahnenin genel aydınlatmasını ve dolaylı ışık efektlerini ve ışığın yüzeyler arasındaki dağılımını hesaplamasından gelmektedir. Foton haritalaması (photon mapping); ışın izleme ve yayılım yöntemlerinin yetersiz olduğu materyal ve yüzey koşullarında oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır (Jensen, 2001). Bu yöntem, küresel aydınlatma hesaplamalarında kullanılan iki aşamalı bir yöntemdir. İlk aşama, ışık kaynaklarından çıkan fotonların saçılması ve bu fotonların yüzeylerle etkileşimlerinin kaydedilmesidir. İkinci aşama ise, bu bilgileri kullanarak görsel olarak doğru görüntüler üretmek için yapılan ışık hesaplamalarıdır. Foton haritalama, dolaylı aydınlatma, kostik (caustics) ve diğer karmaşık ışık etkileşimlerini modellemek için uygundur. Özellikle şeffaf ve yarı şeffaf nesnelerin simülasyonunda ışık izleme ve yayılım gibi yöntemlere göre verimli sonuçlar almaktadır. Yol izleme (path tracing) yöntemi ise, ışığın bir sahne içerisindeki karmaşık etkileşimlerini simüle eden güçlü bir gerçekçi görüntü sentezi yöntemidir (Kajiya, 1986). Işık yollarının sahnedeki ilerleyişlerini izleyerek, yansıma, kırılma, gölgeler ve dolaylı aydınlatma gibi fenomenleri doğal bir şekilde modelleyebilmektedir. Bu yöntem, gerçek dünyanın fiziksel yasalarına dayalı olarak çalışır. Bu sayede dolaylı aydınlatma, karmaşık yansımalar ve kostik (ışığın kırılma sonucu oluşturduğu parlak ışık desenleri) gibi zorlu efektleri kolaylıkla oluşturabilmektedir. Tüm bu temel yöntemlere ek olarak, çift yönlü ışın izleme (bidirectional ray tracing), Metropolis ışık transferi

(Metropolis light transport), Monte Carlo ışın izleme (Monte Carlo ray tracing) gibi tamamlayıcı algoritmalar da temel yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır.

Küresel aydınlatmada, hesaplanması en karmaşık durum, ışığın şeffaf ve yarı geçirgen nesnelerin içinden geçişidir. Işık özellikle sıvıların içinden geçerken benzersiz etkileşimler göstermekte, sıvının yoğunluğuna ve bileşenlerine bağlı olarak emilip ve saçılmaktadır. Bu etkileşimler, sıvının görünüşünü, renk derinliğini ve içindeki nesnelerin nasıl görüneceğini etkilenmektedir. Emilim (absorption); ışığın bir ortamda ilerlerken enerjisinin kısmen ya da tamamen soğurulması ve ortam tarafından tutulmasıdır. Sıvılar, belirli dalga boylarındaki ışığı emmekte, bu da sıvının kendine özgü bir renk kazanmasına neden olmaktadır. Emilim değerlerinin doğru bir şekilde simüle edilmesi, sıvıların gerçekçi bir renk ve derinlik hissi kazanmasını sağlamaktadır. Saçılım (scattering); ışığın bir ortamdan ilerlerken yön değiştirmesidir. Bu özellik, ışığın sıvı içinde daha geniş bir alana yayılmasına ve bu süreçte yumuşak bir aydınlatma etkisi oluşturmaya neden olmaktadır. Sıvı içindeki saçılımın doğru bir şekilde modellenmesi, sıvının opaklık derecesini ve içindeki nesnelerin görünürlüğünü etkilenmektedir. Emilim ve saçılım değerlerinin doğru bir şekilde hesaplanması, sıvıların ve içerisindeki nesnelerin renklerinin gerçekçi bir şekilde görülmesini sağlamakta, bu da sahnenin genel atmosferine katkıda bulunmaktadır. Sıvıların derinliklerine bağlı olarak değişen emilim oranları, sahnede derinlik algısı oluşturmaktadır. Saçılım, sıvı içinde ve etrafında yumuşak aydınlatma efektleri oluşturmaya ve sıvı yüzeyindeki ve içindeki nesneler üzerindeki gölgelerin daha gerçekçi görünmesini sağlamaktadır. Emilim ve saçılım, sıvı içindeki nesnelerin ne kadar net görüneceğini belirlemektedir. Bu, sıvı içindeki bulanıklık derecesi ve nesnelerin arkasındaki detayların görünürlüğü açısından önemlidir.

Sıvıların emilim ve saçılım değerlerinin doğru bir şekilde modellenmesi, küresel aydınlatma algoritmalarının bir parçası olarak, fotogerçekçi görüntülerin üretilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu, özellikle su, cam gibi şeffaf malzemeler ve farklı sıvılar içeren sahnelerde, görsel gerçekçiliği artırmak için önemlidir.

### 1.1. Problem

Gerçekçi görüntü sentezi yapabilen yazılımlar, yüksek düzeyde fotogerçekçilik sunma potansiyeline sahip olsalar da halen bazı zorluklar ve problemlerle karşı karşıyadır. Uzun hesaplama süreleri, tam olarak gerçekçi olmayan sonuçlar, karmaşık bir arayüz, yüksek performans gerektiren donanımlar hala bilinen en temel problemlerdir. Bunların en önemlisi; fizik yasaları ile ilgili teoremlerin, bu yöntemlere aşamalı dahil olmaları hatta bazı teoremlerin göz ardı edilmiş olmasıdır.

Tüm görüntü sentezi yazılımlar yazılımları üç boyutlu bir uzayda; ışık, gölge ve malzeme algoritmalarını kullanarak gerçek dünyayı taklit etmeye çalışmaktadır. Bu nedenle yazılımlar arka planda fizik biliminin

teorilerini kullanmaktadır. Optik, elektromanyetik ve elektrokimya gibi bilim dallarının elde ettiği bulgular, görüntü işleme yazılımlarının içine aşamalı ve kısmi girmiştir. Görüntü işleme yazılımlarının kullanıcılar tarafından tercih edilmesi, hesaplama sürelerinin kısa olmasına ve sonuçların gerçekçi olmasına bağlıdır. Bu nedenle yazılımcı firmalar, hesaplamaların hızlı olması için, temel bilimlerin teorilerini, örnekleme ve benzetme teknikleri ile kullanmışlardır.

Gerçekçi görüntü sentezi yapan yazılımların hesap yöntemleri güncel fizik teorilerini tamamen kapsamamaktadır. Tüm hesap yöntemleri, ışığın yansıma, kırılım, yayılım gibi özelliklerini sadece maddenin yüzeyi ile olan etkileşimine göre hesaplamıştır. Aslında ışık kısmen de olsa maddenin içinden geçmektedir. Absorpsiyon, (emilim) yansıma ve saçılma, iletim ve kırılım gibi ışığın fiziksel olarak madde ile etkileşimin davranışları bazı hesap yöntemlerinde göz ardı edilmiştir. Gerçekçi görüntü sentezi yöntemlerinde problemler şeffaf ve yarı geçirgen nesnelere üzerinde ortaya çıkmaktadır.

1986'da James Kajiya "Rendering Equation" adlı denklemi, hala birçok hesap yönteminin temeli oluşturmaktadır. Rendering Equation, ışık etkileşimlerinin karmaşıklığını ve gerçekçilik arayışındaki zorlukları matematiksel bir formülle ifade etmektedir. Enerjinin korunumu kanununu esas alan bu denklem, modern grafik tekniklerinin, özellikle ray tracing ve path tracing gibi yöntemlerin teorik temelini oluşturmaktadır. James Kajiya'nın bu katkısı, bilgisayar grafiklerinde fotogerçekçi görüntülerin oluşturulmasında devrim yaratmış ve onu bu alanın öncülerinden biri yapmıştır. Fakat bu denklem, ışık ve madde arasındaki etkileşimleri modellemek için bir çerçeve sunmakta, ancak bazı karmaşık malzeme özelliklerini hesaplamada yeterli olmamaktadır. Özellikle yüzey altı saçılması (subsurface scattering) ve kostik (caustics) efektlerde farklı hesaplama teknikleri gerekmektedir. Bu karmaşık etkileşimler, denklemin doğrudan uygulamasını daha da zorlaştırıp ışığın yayılım ve emilim değerleri hesaplamamaktadır.

$$L_o(x, \omega_o) = L_e(x, \omega_o) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega_i \rightarrow \omega_o) L_i(x, \omega_i) (\omega_i \cdot n) d\omega_i$$

BRDF	Gelen	Yüzey
Bidirectional	Tüm	Saçılması
Reflectance	Işıkların	
Distribution	Toplam	
Function	Enerjisi	

Şekil 1. 1986'da James Kajiya'nın "Rendering Equation" adlı denklemi.



Gerçekçi görüntü sentezinde; ışığın nesnelere etkileşimini doğru bir şekilde modelleyebilmek için hem yüzeysel hem de hacimsel hesap yöntemlerinin birlikte kullanılması gerekmektedir. Her iki yönteminde ışığın karmaşık etkileşimi simüle etmek için güçlü ve etkili yönleri bulunmaktadır. Yüzeysel hesaplama yöntemleri, yansıma ve kırılma, gölgeleme, renk ve doku haritalama gibi nesnelere yüzeylerdeki ışık etkileşime odaklanmaktadır. Hacimsel hesaplama yöntemleri ise emilim, saçılım, iletim ve yüzey altı saçılması gibi şeffaf ve yarı şeffaf nesnelere ışık ile olan etkileşimlerini hesaplamaktadır. Yüzeysel yöntemler, nesnelere dış görünüşünü; hacimsel yöntemler ise nesnelere iç yapısını ve saydam ortamların etkileşimlerini modellemekte etkilidir. Bu iki hesaplama yaklaşımının birleşimi, fotogerçekçi görüntülerin üretiminde kritik bir rol oynamaktadır.

**Tablo 1.** Yüzey ve hacim hesaplama yöntemleri.

Yüzey hesaplama yöntemleri (Surface rendering)	Hacim hesaplama yöntemleri (Volume rendering)
Reflection models (yansıma ve kırılma modelleri) Direct illumination (doğrudan aydınlanma) Indirect illumination (dolaylı aydınlanma) Global Illumination (küresel aydınlanma) Radiosity (yayılm) Monte Carlo Methods (alan derinliği ve hareket yumuşaklığı) Path Tracing (sapmasız hesaplama)	Transmission (ışığın yüzeyden geçişi) Subsurface scattering (ışığın yüzey altındaki saçılması) Polarization (ışığın farklı ortamlardaki yansımaları) Radiation (yayılan ışığın enerjisi) Scattering (ışığın yayılması) Absorption (ışığın emilimi)

Bu çalışmada, bir deneyle gerçek ve dijital sahnelerde ışığın emilim ve saçılım özelliklerinin küresel aydınlatmadaki etkisi karşılaştırılacaktır.

## 1.2. Amaç ve Kapsam

Gerçekçi görüntü oluşturmak amacıyla başlayan bu süreç, zamanla endüstrinin diğer alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ışık ve madde etkileşimini temel alan tüm alanlarda bu hesap

algoritmaları kullanılmaktadır. Mimari görselleştirme, ışık ve aydınlatma simülasyonları, yapı bilgi modellemede ışık analizi, malzeme özelliklerini tanımlama bu alanlardan bazılarıdır.

Bu çalışmanın sonucunda; hesap yöntemlerindeki bazı eksiklikleri tamamlayan bir öneri tasarlamak ve bunu bir yazılım modülü ya da eklentisine dönüştürmek hedeflenmiştir. Hesap yöntemlerindeki gelişme, diğer tüm alanlarda da önemli ilerlemeler sağlayacaktır.

### 1.3. Sınırlılıklar

Küresel aydınlatma; gerçekçi görüntü sentezin tüm hesaplama yöntemlerinde kullanılan, gerçek ışık davranışını örnekleyen bir dizi teknik ve algoritmadır. Küresel aydınlatma, ışığın nesnelere yansıması, kırılması ve saçılmasını hesaplayarak, ortamın aydınlatılması ve gölgeleri daha gerçekçi modellemeyi hedeflemektedir. Bu çalışmada, küresel aydınlatmadaki emilim ve saçılım şiddetleri ölçülecek ve elde edilen verilere göre bir model önerisi sunulacaktır. Ayrıca bu çalışmada yüzey altı saçılması ve ışığın hacim içinde ilerleyişi ile sorunlar göz ardı edilecektir. Küresel aydınlatmanın diğer özellikleri incelenmeyecektir.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada, sıvıların emilim ve saçılım değerlerinin küresel aydınlatmadaki etkilerini ölçmek için bir deney planlanmıştır. Bu deneyde 55cm lik bir Cornell kutusu içerisine farklı sıvılar ile dolu bir kadeh yerleştirilmiş ve her farklı sıvı için Cornell kutusunun yüzeylerindeki ışıklılık değerleri ölçülmüştür. Aynı sahne dijital olarak görüntü sentezi yapan V-Ray 6 yazılımı ile oluşturulmuştur. Sonuçta; gerçek maket ile sanal görüntüdeki yüzey ışıklılık değerleri karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Deney Kurgusu

Cornell Box deneyi; gerçek dünyadaki ışık ve gölge etkileşimlerini simüle etmek ve analiz etmek için tasarlanmış bir deneydir. 1980'lerin ortalarında Cornell Üniversitesinde tasarlanmış bu deneyde, kırmızı ve yeşil renklerin seçilmesinin birkaç nedeni vardır:

**Renk Kontrastı:** Kırmızı ve yeşil renkler, renk spektrumunda birbirine zıt renklerdir. Işığın farklı yüzeylerde yansıma ve yayılımının gözlenmesi, bu zıtlık sayesinde kolaylaşmaktadır. Böylece, ışığın farklı renkler üzerindeki davranışını daha net bir şekilde analiz edilmektedir.

**Işık Yansıması ve Yayılması:** Farklı renkler, ışığı farklı şekillerde yansıtmakta ve yaymaktadır. Kırmızı ve yeşil gibi güçlü renkler, ışığın bu yüzeyler üzerindeki davranışını belirgin hale getirmektedir. Bu sayede, ışığın yansıma ve yayılma özelliklerini daha detaylı incelenmektedir.

**Gerçekçilik ve Doğruluk:** Kırmızı ve yeşil renklerin kullanılması, bilgisayar grafiklerinde ve görsel efektlerde gerçekçi sahneler oluşturmak için yapılan hesaplamaların doğruluğunu test etmek için kullanılmaktadır. Bu

renkler, ışık ve gölge etkileşimlerini ve bu etkileşimlerin insan gözü tarafından nasıl algılandığını test etmek için idealdir.

**Psikolojik Etki:** Kırmızı ve yeşil renkler, insan gözü tarafından kolayca ayırt edilebilen renklerdir. Bu, gözlemcilerin ışık ve renk etkileşimlerini daha rahat analiz etmelerini sağlamaktadır.

Deney; 55 cm'lik bir Cornell kutusu, bir siva üstü armatür ve bir ölçüm cihazı ile yapılmıştır. 55 cm'lik bir kutunun iç yüzeyleri RAL kodu tanımlı renkler ile boyanmıştır.

**Tablo 2.** Yüzeylerdeki renk kodları.

Kırmızı yüzeyler	:	RAL 3020
Yeşil yüzeyler	:	RAL 6001
Beyaz yüzeyler	:	RAL 9003

**Tablo 3.** RAL 6001 renk kodunun diğer renk sistemlerindeki karşılıkları.

RAL 6001			
RGB	54, 103, 53	CSS	rgb(54, 103, 53);
HSL	119, 32, 31	CSS	hsl(119, 32%, 31%);
HSB	119, 49, 40	Hex	#366735
CMYK	80, 30, 100, 10	Websafe	#336633

**Tablo 4.** RAL 3020 renk kodunun diğer renk sistemlerindeki karşılıkları.

RAL 3020			
RGB	187, 30, 16	CSS	rgb(187, 30, 16);
HSL	5, 84, 40	CSS	hsl(5, 84%, 40%);
HSB	5, 91, 73	Hex	#bb1e10
CMYK	0, 100, 100, 10	Websafe	#cc3300

**Tablo 5.** RAL 9003 renk kodunun diğer renk sistemlerindeki karşılıkları.

RAL 9003			
RGB	236, 236, 231	CSS	rgb(236, 236, 231);
HSL	60, 12, 92	CSS	hsl(60, 12%, 92%);
HSB	60, 2, 93	Hex	#ecece7
CMYK	0, 0, 0, 0	Websafe	#ffffff



**Şekil 2.** Deney kutusu ve RAL kodları.



**Şekil 3.** Deney kutusu ve ölçüm cihazı.

Armatür; iç mekân aydınlatmada kullanılan, sıva bir üstü bir modeldir.

**Tablo 6.** Armatürün teknik özellikleri ([Ürünler | İkiizler Aydınlatma \(ikiizleraydinlatma.com\)](#)).

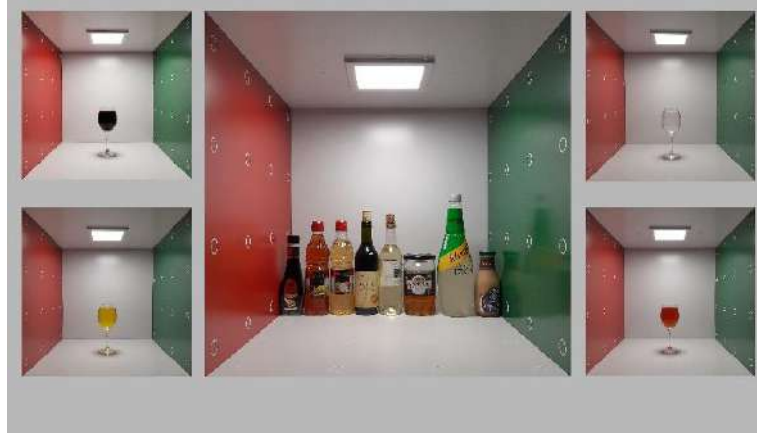
Sipariş Kodu	W	Lm	CCT	CRI	Boyutlar (mm)	Kesim Ölçüsü (mm)	Kg
05247.22.40	18	1920	4000	Ra>80	175/175/81	165/160	0,6

Ölçümlerde Konica Minolta CS-2000 Spectroradiometer kullanılmıştır.



**Şekil 4.** CS-2000 Spectroradiometer.

Cornell Kutusu içinde, bir boş kadeh ve 8 farklı sıvının, kutu yüzeylerindeki etkileri ölçülmüştür. Farklı sıvılardaki değer değişimleri tablolarla karşılaştırılmıştır. Bu deneyde; boş kadeh, su, süt, zeytinyağı, beyaz şarap, kırmızı şarap, bira, bal ve üzüm sirkesi kullanılmıştır. Ölçüm değerleri ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )'dir.

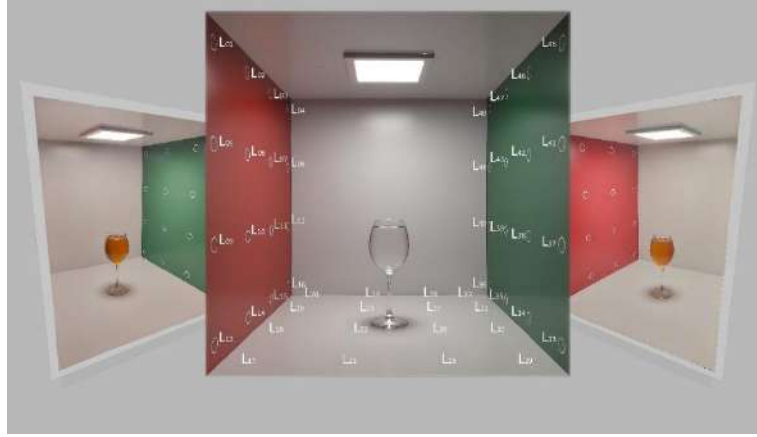


Şekil 5. Boş kadeh ve 8 farklı sıvının Cornell kutusu yüzeylerindeki ışıklılık şiddeti etkileri.

Her sıvı için Cornell kutusu yüzeyi üzerinde 16 farklı noktadan ölçüm yapılmıştır.

Tablo 7. Cornell kutusu içindeki ölçüm noktaları.

Yüzey ölçüm noktaları	
Kırmızı Yüzey	L01, L02, L03, L04, L05, L06, L07, L08, L09, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16
Yeşil Yüzey	L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32
Beyaz Yüzey	L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48

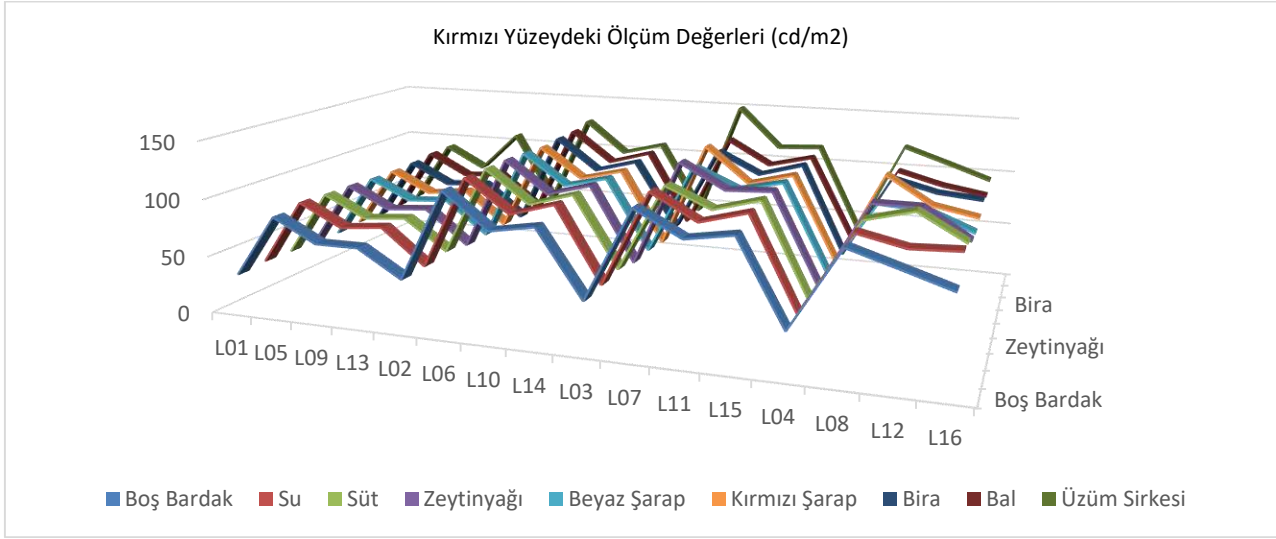


Şekil 6. Cornell kutusu yüzeyleri üzerindeki ölçüm noktaları.

## 2.2. Deney Bulguları

Tablo 8. Cornell kutusunun kırmızı yüzeyindeki ölçüm değerleri (cd/m<sup>2</sup>).

Sıvılar	L01	L05	L09	L13	L02	L06	L10	L14	L03	L07	L11	L15	L04	L08	L12	L16
Boş Bardak	32,68	86,69	66,96	67,11	43,98	121,5	91,86	98,54	42,53	120,1	99,59	106,1	36,35	104,1	91,74	79,04
Su	34,24	90,5	71,48	75,1	44,79	123,8	96,42	107,6	44,39	124,3	103,2	113,8	37,66	105,3	96,67	98,34
Süt	33,39	89,28	70,71	73,92	47,81	123,8	95,97	107,3	46,96	121,1	104,4	115,1	38,54	105,7	115,9	94,22
Zeytinyağı	32,58	88,97	70,42	73,42	43,54	124	96,55	107	42,33	132,8	111,9	113,8	38,2	110,3	110,1	85,89
Beyaz Şarap	31,61	87,83	70,23	72,66	43,84	122,9	96,18	105,2	43,3	120,8	104,2	112,9	38,3	100,9	98,3	82,78
Kırmızı Şarap	33,31	87,49	69,09	73,53	44,31	121,5	94,9	104,2	40,89	132,2	101,5	111,6	37,91	117,7	93,84	86,25
Bira	31,65	88,53	69,91	72,68	42,82	123	95,05	105,4	45,78	120,5	101,9	112,9	34,14	106,3	96,41	92,96
Bal	32,95	90,92	71,45	73,89	43,99	123,7	95,76	106,6	42,35	124,7	103,3	112,8	39,61	105,5	94,99	88,45
Üzüm Sirkesi	34,35	91,49	71,89	108,2	44,37	127,6	97,97	107,8	44,32	149,5	113,1	115,3	37,98	120,9	107,8	94,52

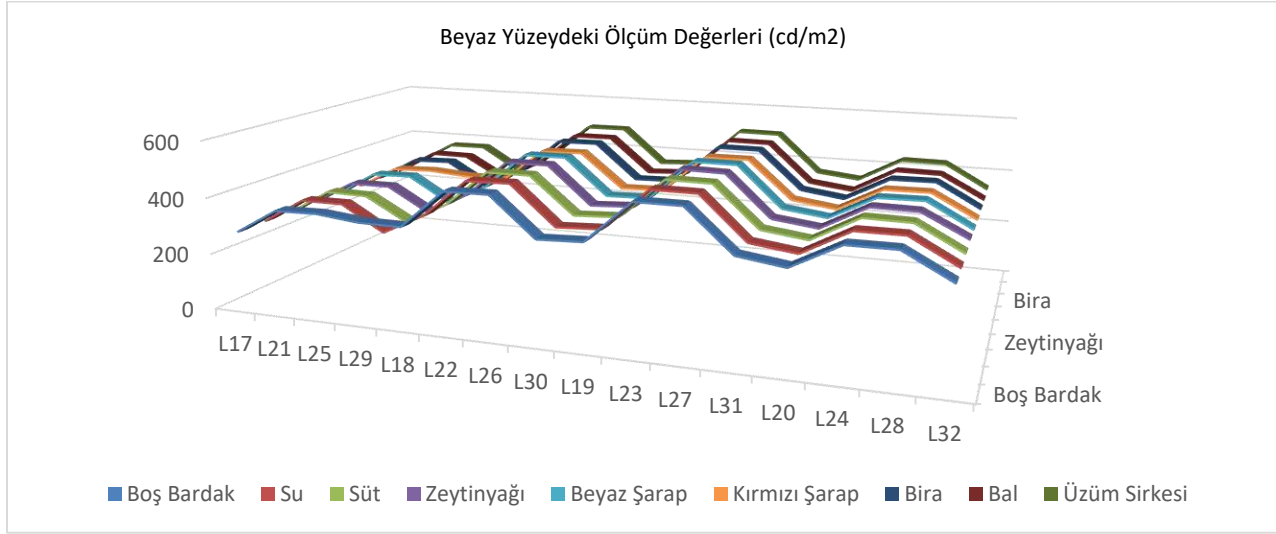


Şekil 7. Kırmızı yüzeydeki ışıklılık değer değişim grafiği.

Tablo 9. Cornell kutusunun beyaz yüzeyindeki ölçüm değerleri (cd/m<sup>2</sup>).

Sıvılar	L17	L21	L25	L29	L18	L22	L26	L30	L19	L23	L27	L31	L20	L24	L28	L32
Boş Bardak	275	363	366	350	349	480	482	350	356	497	497	357	335	420	421	336
Su	276	365	365	276	351	482	485	351	358	502	501	357	336	423	423	337
Süt	274	362	359	275	353	481	481	354	361	502	501	360	340	427	424	339
Zeytinyağı	279	361	361	275	354	485	486	353	362	506	502	359	340	425	423	344
Beyaz Şarap	277	364	368	279	352	483	484	354	357	501	501	358	338	422	424	338
Kırmızı Şarap	273	355	360	348	347	469	472	349	352	489	490	355	333	416	418	335
Bira	276	360	365	278	350	478	480	352	355	496	495	357	336	420	422	336
Bal	274	359	358	274	347	474	475	348	356	493	492	353	333	420	417	335
Üzüm Sirkesi	282	368	370	280	357	484	485	355	363	503	502	361	344	430	428	341

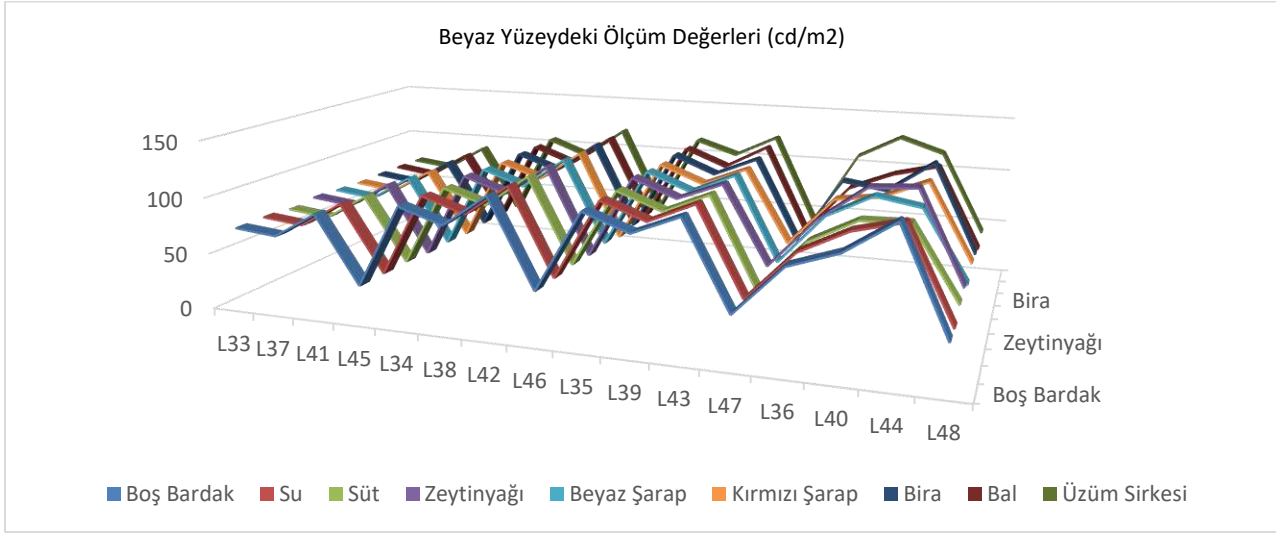




Şekil 8. Beyaz yüzeydeki ışıklılık değer değişim grafiği.

Tablo 10. Cornell kutusunun yeşil yüzeyindeki ölçüm değerleri (cd/m<sup>2</sup>).

Sıvılar	L33	L37	L41	L45	L34	L38	L42	L46	L35	L39	L43	L47	L36	L40	L44	L48
Boş Bardak	71,8	68,2	91	31,8	104	91,7	119	44	113	99,1	116	42,2	84,4	98,4	126	39,4
Su	72,3	68,4	91	31,5	104	91,7	119	43,7	113	99	117	42,5	84,8	105	115	36,8
Süt	70,7	66,3	88,6	31,5	103	90,8	119	44,5	113	98,3	115	39,7	83	104	105	43,1
Zeytinyağı	73,4	68,9	91,5	29,5	106	92,5	120	42,4	116	100	116	47,9	91,8	122	125	45,5
Beyaz Şarap	72,1	67,4	89,8	30,1	104	90,9	119	43,6	113	98	115	40,7	85,8	106	99,6	36,1
Kırmızı Şarap	71,3	66,4	88,1	28,7	103	90,3	117	39,6	112	96,9	113	48	91,7	96,7	114	44,2
Bira	72,1	67,1	89,9	30,4	104	90,7	119	41,6	114	98,1	115	40,4	100	94,1	122	42
Bal	72,4	66,9	90,1	30,4	104	90,2	118	42,6	113	97,8	119	40,2	85,2	101	111	36,2
Üzüm Sirkesi	72,3	67,6	90,3	29,4	105	91	119	41,1	114	102	122	40,7	108	129	116	42,4



Şekil 9. Yeşil yüzeydeki ışıklılık değer değişim grafiği.

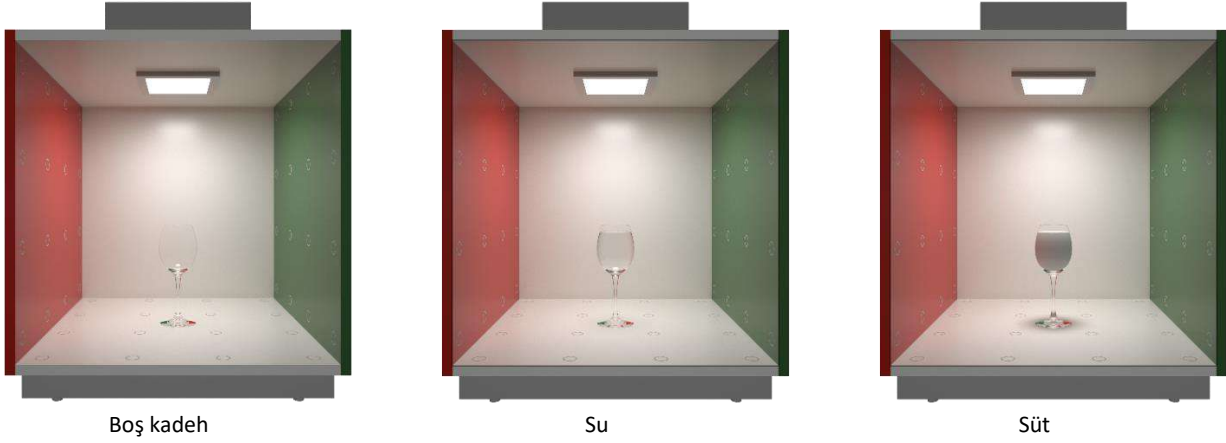
### 2.3. Sanal Sahne Deneyi

Teknik detayları yukarıda açıklanan deneyin 3D ortamında simülasyonu yapılmıştır. Cornell kutusu, armatür ve kadeh aynı ölçülerde modellenmiş ve malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Kullanılan armatür, üretici firmanın laboratuvarında yeniden ölçülmüş ve bu değerlere uygun bir IES haritası alınmıştır. Yüzeylerin RAL renk kodları RGB değerlerine çevrilmiş ve bu değer malzeme özelliklerine işlenmiştir. Görüntü işleme yazılımı olarak V-ray 6.0 kullanılmış ve yüzey ışıklılık değerleri (cd/m<sup>2</sup>) olarak VrayLightingAnalysis render element modülü ile ölçülmüştür.

### 2.4. Sanal Sahne Malzeme Özellikleri

Kırmızı, yeşil ve beyaz alanın malzemeleri Diffuse – Roughness, Reflection – Glossiness ve Fresnel Reflection parametreleri ile tanımlanmıştır. Armatür aydınlatmasındaki ışık değeri için VRayIES light kullanılmıştır. Cam kadeh ve tüm sıvıların malzeme özellikleri Diffuse – Roughness, Reflection – Glossiness, Fresnel Reflection, Refraction – Glossiness – IOR ve Translucency – Fog Color – Depth(cm) parametreleri ile tanımlanmıştır.

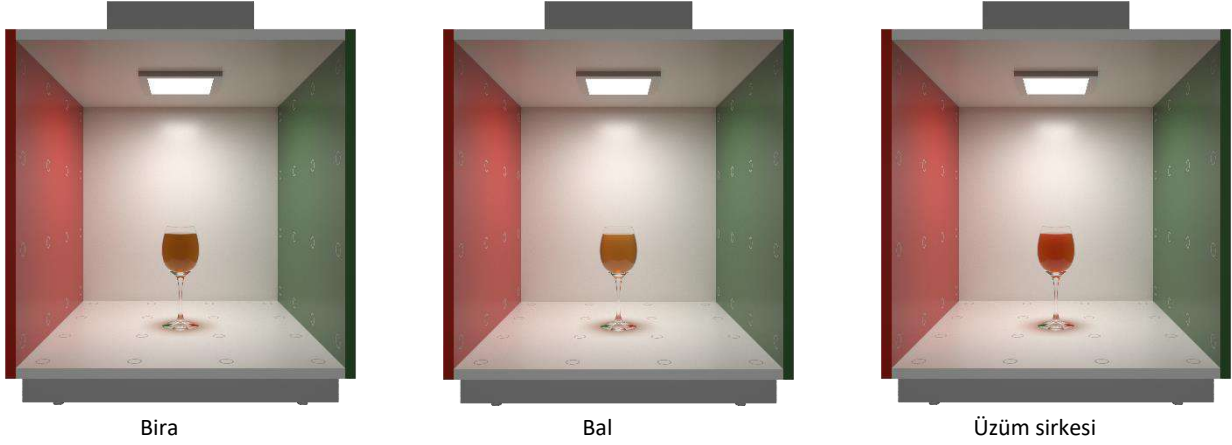
## 2.5. Sanal Deney Bulguları



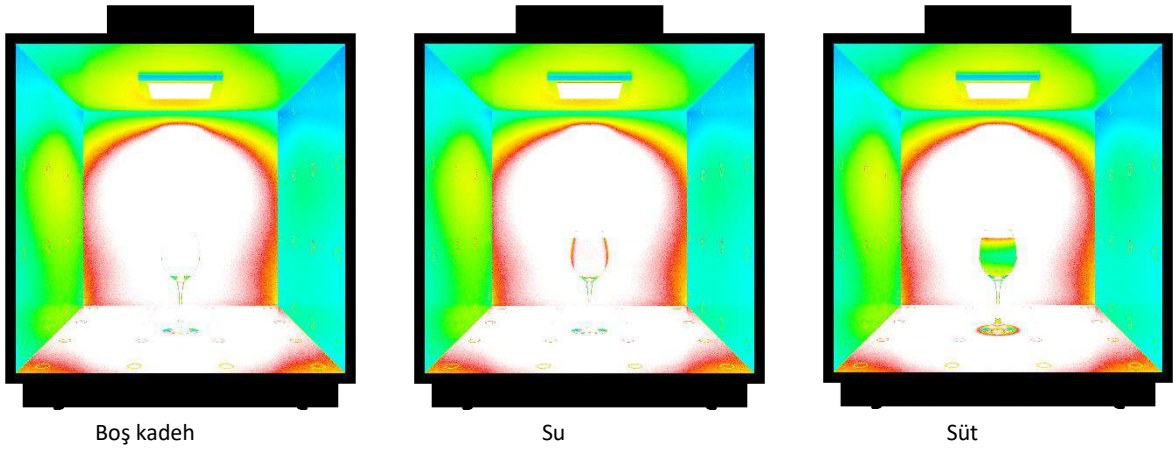
Şekil 10. Boş kadeh, su ve süt gerçekçi görüntü işlemleri.



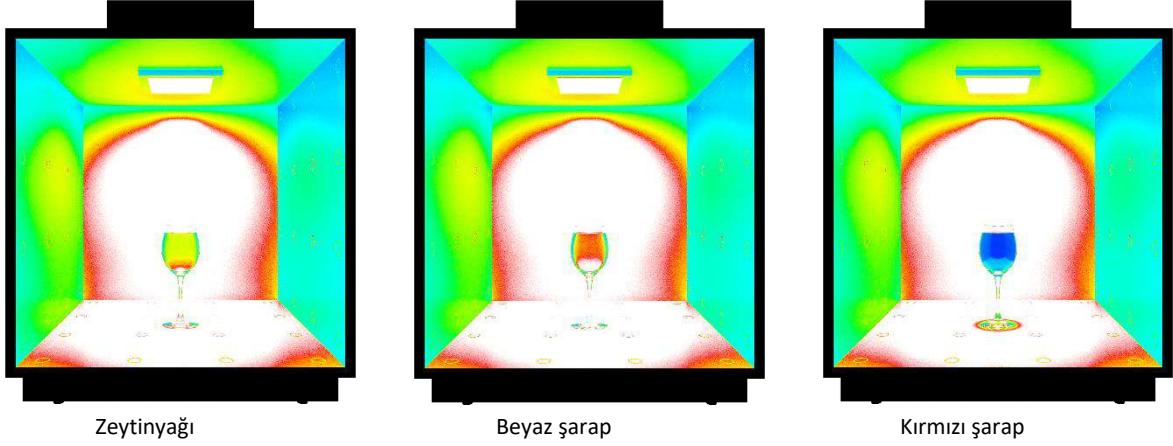
Şekil 11. Zeytinyağı, beyaz şarap ve kırmızı şarap gerçekçi görüntü işlemleri.



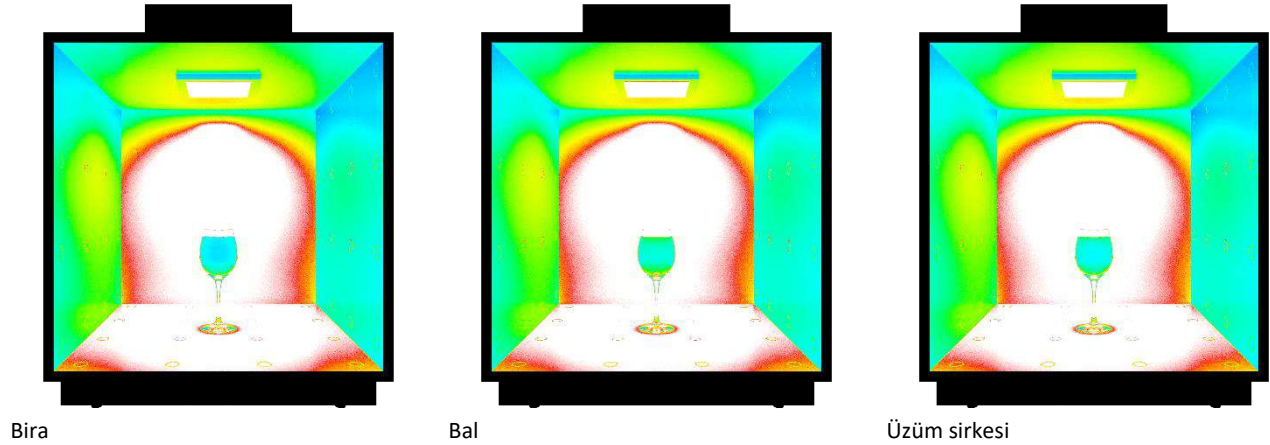
Şekil 12. Bira, bal ve üzüm sirkesi gerçekçi görüntü işlemleri.



Şekil 13. Boş kadeh, su ve süt ışık analiz işlemleri.



Şekil 14. Zeytinyağı, beyaz şarap ve kırmızı şarap ışık analiz işlemleri.



Şekil 15. Bira, bal ve üzüm sirkesi ışık analiz işlemleri.

### 3. Sonuçlar

Bu deneyin beklenen sonucu; yüzeylerdeki ışıklılık değerlerinin farklı çıkması, sıvıların farklı geçirgenlik ve saçılma katsayılarına sahip olmalarıdır. Cornell kutu deneyinde, yapılan hassas ölçümler sonucunda kutu yüzeylerinde ışıklılık değerleri farklı çıkmıştır. Fakat sanal deneyde, Cornell kutusu yüzeylerindeki sonuçlar neredeyse aynıdır. Bu da gerçekçi görüntü işleme yazılımında bir eksiklik ya da göz ardı edilmiş bir özelliğe olduğunu göstermektedir. Görselleştirme yazılımlarının malzeme editörüne “**absorbsiyon**” parametresi eklenmelidir. Böylece küresel aydınlanmada nesnelere sıçrayıp yüzeylere gelen ışık enerjisi tanımlanabilir. Buna ek olarak, her sıvının önceden ölçülmüş bir ön ayar değeri tanımlanabilir.

$$L_o(x, \omega_o) = \left( L_e(x, \omega_o) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega_i \rightarrow \omega_o) L_i(x, \omega_i) (\omega_i \cdot n) d\omega_i \right) - \text{Toplam Yüzey Işık Emilimi}$$

**Şekil 16.** James Kajiya’ nın “Rendering Equation” nin denklemine ekleme.

Bu çalışma, diğer gerçekçi görüntü işleme yazılımların analizi ve önerilen parametrelerin kod altyapısının hazırlanması açısından devam etmektedir. Arnold Renderer ve Renderman gibi yazılımların analizleri yapılmaktadır. Ayrıca Sony ImageWorks firması tarafından geliştirilen Open Shading Language (OSL) dili ile önerilen parametrelerin malzemelere eklenmesi planlanmıştır. Open Shading Language (OSL) Arnold, Blender/Cycles, Pixar/Renderman, Chaos/V-ray gibi render işleme yazılımları ile entegre çalışmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışmanın her aşamasında görüşlerini ve desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Doç. Dr. Togan TONG’a çok teşekkür ederim.

### KAYNAKLAR

- Glassner, A. S. (1995). Principles of Digital Image Synthesis. Morgan Kaufmann Publishers, Inc.  
Möller, T., Haines, E. (1999). Real-Time Rendering. A K Peters, Ltd.  
Shirley, P. (2000). Realistic ray tracing. A K Peters, Ltd.  
Jensen, H. W. (2001). Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping. A K Peters, Ltd.  
Dutre, P., Bala, K., Bekaert, P. (2006). Advanced Global Illumination (2th ed.). A K Peters, Ltd.  
Kurachi, N. (2007). The Magic of Computer Graphics. CRC Press  
Angel, E., Shreier, D. (2015). Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with WebGL (7th ed.). Pearson

- Peddie, J. (2019). Ray Tracing: A Tool for All. Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-17490-3>
- Slusallek, P., Pflaum, T., Seidel, H. -P. (1995). Using Procedural RenderMan Shaders for Linear Sources. Computer Graphics Forum, 14(3), 205-216. [https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.1995.cgf143\\_0311.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.1995.cgf143_0311.x)
- Schlick, C. (1995). A Survey of Shading and Reflectance Models. Computer Graphics Forum, 13(2), 121-131. [https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.1995.cgf143\\_0311.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.1995.cgf143_0311.x)
- Phar, M., Hanrahan, P. (2000). Monte Carlo evaluation of non-linear scattering equations for subsurface reflection. In Proceedings of SIGGRAPH 2000, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, edited by Kurt Akeley, 75-84. <https://doi.org/10.1145/344779.344824>
- Ramamoorthi, R., Hanrahan, P. (2001). An Efficient Representation for Irradiance Environment Maps. [SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques](https://doi.org/10.1145/383259.383317), 497-500. <https://doi.org/10.1145/383259.383317>
- Patow, G., Pueyo, X. (2003). A Survey of Inverse Rendering Problems. Computer Graphics Forum, 22(4), 663-687.. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2003.00716.x>
- Benthin, C., Wald, I., Slusallek, P. (2003). A Scalable Approach to Interactive Global Illumination. Computer Graphics Forum, 22(3), 621-630. <https://doi.org/10.1111/1467-8659.t01-2-00710>
- Chan, C. -W., Lin, W. -C., Ho, T. -C., Huang, T. -S., Chuang, J. -H. (2008). Real-Time Translucent Rendering Using GPU-based Texture Space Importance Sampling. Computer Graphics Forum, 27(2), 517-526. [https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.1995.cgf143\\_0311.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.1995.cgf143_0311.x)
- Hong, C. -H., Spence, I., Nikolopoulos, D. S. (2018). GPU Virtualization and Scheduling Methods: A Comprehensive Survey. ACM Computing Surveys, 50(3), 1-37. <https://doi.org/10.1145/3068281>
- Yuan, H., Zheng, C. (2017). Adaptive rendering based on a weighted mixed-order estimator. The Visual Computer, 33(6-8), 695-704. <https://doi.org/10.1007/s00371-017-1381-x>
- Schwenk, K., Kuijper, A., Behr, J., Fellner, D. W. (2012). Practical Noise Reduction for Progressive Stochastic Ray Tracing with Perceptual Control. IEEE Computer Graphics and Applications, 32(6), 46-55. <https://doi.org/10.1109/MCG.2012.30>
- Deng, H., Wang, B., Wang, R., Holzschuch, N. (2020). A practical path guiding method for participating media. Computational Visual Media, 6(1), 37-51. <https://doi.org/10.1007/s41095-020-0160-1>
- Yan, L. -Q. (2021). Realistic Rendering in “Details”. IEEE Computer Graphics and Applications, 41(4), 20-26. <https://doi.org/10.1109/MCG.2021.3077918>
- Wu, W., Wang, B., Yan, L.-Q. (2022). A survey on rendering homogeneous participating media. Computational Visual Media, 8(2), 177-198. <https://doi.org/10.1007/s41095-021-0249-1>
- Guo, J., Hu, B., Chen, Y., Li, Y., Guo, Y., Yan, L.-Q. (2022). Rendering discrete participating media using geometrical optics approximation. Computational Visual Media, 8(3), 425-444. <https://doi.org/10.1007/s41095-021-0253-5>

# Enerji Verimli Binaların Tasarımı İçin Yapay Zeka ve Sinirsel Bulanık Mantık Yönteminin Uygulanmasına İlişkin Bir İnceleme

Setenay Uçar<sup>1</sup> ; İlknur Akiner<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Antalya Bilim Üniversitesi; <sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi

<sup>1</sup>setenay.ucar@antalya.edu.tr; <sup>2</sup>ilknurakiner@akdeniz.edu.tr

## Özet

Mimarlıkta yapay zeka çok çeşitli disiplinlere uygulanabilir ve karar verme aracı olarak kullanılabilir. Ancak mimaride uygulama alanları çeşitli metodolojilerle genişlemektedir. Günümüzde mimarlık ders içeriklerine de entegre edilen bu yöntemlerin kullanım alanları oldukça yaygındır ancak hala gelişme aşamasındadır. Özellikle görseller üretme konusunda birçok alternatif uygulamalar bulunurken, sayısal içerikli yazılım gerektiren yöntemler için daha az uygulama yapıldığı literatürde incelenmiştir. Özellikle mimari tasarım öncesi çok kriterli durumlarda insanın hesaplama veya gözden kaçırma durumlarına karşılık büyük bir alternatif olarak gelişen bu yöntemlerin uygulanması, tasarıma başlama konusunda karar verme hızını ve yolunu belirlemektedir. Bu araştırma kapsamında, enerji verimli binalar oluşturabilmek için yapay zeka teknolojilerinin uygulanmasına ilişkin yapılan son çalışmaların kapsamlı ve derinlemesine sistematik bir incelemesi yer almaktadır. Bina enerji kullanımı tahmininde yaygın olarak kullanılan yapay zeka tabanlı modelleme yaklaşımlarının ilkeleri ve uygulamalarının detaylandırılmasının yanı sıra, enerji verimli bina başta olmak üzere başlıca yapay zeka alanlarında yürütülen çalışmaların değerlendirilmesi yapılarak mimari tasarım açısından örnek bir yapı üzerinden açıklanmaktadır. Çalışma kapsamında seçilen örnek bina olan kapalı havuz yapısının ideal enerji verimliliğini sağlayabilmesi için gerekli parametrelerinin belirlenmesi ile örnek çalışma yapılmıştır. İç mekan ve dış mekan sıcaklık değerleri, yalıtım malzemesi ısı geçirgenlik değeri, mekanda havalandırma olup olmaması, cephede gölgelendirme elemanı olup olmaması, binanın yönlendirilmesi (güney, kuzey, doğu, batı) pencere duvar oranı bu çalışmada girdi olarak değerlendirilen parametrelerdir. Ayrıca, çalışma kapsamında hedeflenen yıllık enerji ihtiyacının belirlenmesi de araştırmanın çıktılarına oluşturmaktadır. Elde edilen sayısal verilerin karşılaştırması için 8 gruba ayrılarak her bir grubun içinde en az enerji ihtiyacı olacak yapı özelliği araştırılmıştır. Araştırma sonucu meydana gelen bulgular bina tasarımına yön verecek değerlerin ortaya çıkmasındaki doğruluk payı için sinirsel bulanık mantık ANFIS yöntemi ile bulunan hata değeri oranı 0,0033174 olduğu, regresyon analizi ile değerlendirme yapıldığında ise  $R^2$  değeri 0,9997 (%99) oranında doğruluk payı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile mimarlıkta henüz sinirsel bulanık mantık ile ilgili çalışmaların gelişmemesi nedeniyle yapılacak yeni çalışmalara fikir verebilecek bir yöntem olarak mimarlara yardımcı olabileceği ve literatüre katkı sağlayabileceği öngörülmektedir. Araştırma kapsamında kullanılan yöntemlerin, bina kullanıcılarına konforlu bir iç ortam sağlamak üzere tasarlanan binaların enerji verimliliğini ve maliyet etkinliğini büyük ölçüde artırabileceği vurgulanmaktadır. Son olarak çalışma, yapay zekanın enerji verimli binalarda uygulanmasına ilişkin gelecekteki araştırmalara yönelik bir tartışma içermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji etkin yapı, mimari tasarımı, sinirsel bulanık mantık, yapay zeka.



# A Review on the Application of Artificial Intelligence and Neural Fuzzy Logic Method for the Design of Energy-Efficient Buildings

Setenay Uçar<sup>1</sup> ; İlknur Akiner<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Antalya Bilim University; <sup>2</sup>Akdeniz University

<sup>1</sup>setenay.ucar@antalya.edu.tr; <sup>2</sup>ilknurakiner@akdeniz.edu.tr

## Abstract

*Artificial intelligence in architecture can be applied to various disciplines and used as a decision-making tool. However, its application areas in architecture are expanding with multiple methodologies. Nowadays, the usage areas of these methods, which are also integrated into architecture course contents, are pretty standard, but they are still in the development stage. While there are many alternative applications, especially for generating visuals, it has been examined in the literature that there are fewer applications for methods that require software with digital content. Applying these methods, which have developed as a great alternative to human calculation or overlooking, especially in multi-criteria situations before architectural design, determines the speed and path of decision-making in starting the design. This research provides a comprehensive and in-depth systematic review of recent work on applying artificial intelligence technologies to create energy-efficient buildings. In addition to detailing the principles and applications of AI-based modeling approaches commonly used in predicting building energy use, an evaluation of the work carried out in major AI fields, exceptionally energy efficient building, is made and explained through an example building in terms of architectural design. Within the scope of the study, a case study was carried out by determining the necessary parameters for the indoor pool structure, which is the selected sample building, to provide ideal energy efficiency. Indoor and outdoor temperature values, thermal transmittance value of insulation material, ventilation in the space, presence of a shading element on the facade, building orientation (south, north, east, and west), and window wall ratio are the parameters evaluated as input in this study. In addition, the research outputs include the determination of the targeted annual energy requirement within the scope of the study. Building features with the lowest energy requirements in each group were examined by splitting them into eight groups to compare the numerical data collected. The findings of the research show that the error value ratio found with the neural fuzzy logic ANFIS method is 0.0033174 for the accuracy in the emergence of the values that will guide the building design, and when evaluated by regression analysis, the  $R^2$  value is 0.9997 (99%). It is anticipated that this study is expected to help architects and contribute to the literature as a method that can generate ideas for new studies to be conducted due to the scarcity of studies on neural fuzzy logic in architecture. It is emphasized that the methods used in this study can significantly improve the energy efficiency and cost-effectiveness of buildings designed to provide a comfortable indoor environment for building occupants. Finally, the study discusses future research on using artificial intelligence in energy-efficient buildings.*

**Keywords:** Energy efficient building, architectural design, neural fuzzy logic, artificial intelligence.

## 1. Giriş

Doğal çevre üzerinde kalıcı olarak etkiye sahip olan inşaat sektörünün, küresel enerji tüketiminin de büyük bir kısmına etkisi bulunmaktadır. Binaların enerji tüketimini azaltacak şekilde tasarlanması, bu problemi gidermek adına önerilen çözümlerin başında gelmektedir. Bununla birlikte, uygun mimari planlamanın yapı yaşam süreci çerçevesinde işletme maliyetinden önemli ölçüde tasarruf sağladığı bilinmektedir. Öte yandan, bir binanın tasarımını, inşasını ve işletilmesini hayal etmek adına kullanılan araç ve yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli genetik algoritmalar ve uzman sistemler içeren yapay zeka (AI – Artificial Intelligence) yöntemleri, enerji verimli binaların tasarlanması ve işletilmesi adına bina enerji talebinin tahminini öncelikle mühendislik simülasyonları yoluyla çözmektedir.

Son yıllarda yapay zekanın kullanımı ve gelişimi hakkında yürütülen çalışmalarda hızlı bir artış olduğu görülmektedir. Mimarlıkta yapay zeka kullanımı, birçok farklı disiplinde kullanılabildiği gibi bir karar verme yöntemi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte farklı yöntemlerle mimaride kullanım alanları da çoğalmaktadır. Bu yöntemler henüz gelişme aşamasında olmasına rağmen uygulama alanları giderek yaygınlaşmakta ve mimarlık dersleri müfredatına dahil edilmektedir. Literatürde, özellikle görsel üretimi için çok sayıda alternatif program bulunurken, sayısal içerikli yazılım gerektiren yöntemler için nispeten az sayıda uygulama yapıldığı anlaşılmaktadır. Sayısal içerikli yazılım gerektiren yöntemler arasında olan yapay sinir ağları ve bulanık mantık konuları arasında yapılan araştırmalarla enerji verimliliğini ve konfor sağlayan yapıların tasarlanmasına yönelik araştırmalar ele alınmıştır. Isıl konfor, iç hava kalitesi ve cephe elemanlarının tasarımları gibi konuların yer aldığı bu araştırmalarda Web of Science veritabanı ilgili ve güncel çalışmaları sistematik olarak araştırmıştır. Araştırma sonucunda ANFIS ile bina tasarımı konusunda 338, ANFIS ile ısı konfor konusunda 35, ANFIS ile duvar çevre oranının bulunmasını amaçlayan 1 yayına ulaşılmıştır. 2020-2024 yılları arasında yayınlanan 20 açık erişim yayın seçilerek mimarlık ve mühendislik alanlarında çalışmalar yapıldığı belirlenmiştir. Bu yayınlar, en alakalı makaleleri bulmak için Web of Science sayfasında "Anfis", "fuzzy", "mimari", "inşaat" ve "enerji verimli" anahtar kelimeleri ile aranmıştır. Bu anahtar kelimelerden sadece bir veya ikisini içeren makaleler literatür taramalarına dayalı olarak derlenip incelenmiştir. Bu anahtar kelimelerin bir arada kullanıldığı bir yayın ise bulunmamaktadır. Bu anlamda yapılacak çalışmalarda enerji verimliliğinin mimari tasarıma etkisi incelenmesi ve Anfis yöntemi ile belirlenmesi ise literatüre katkı sağlayacağı belirlenmiştir.

Mimarlık ile ilgili mevcut yayınlara bakıldığında; El-Maraghy vd. (2024) derin öğrenme ile cami binalarında işletme aşamasında enerji tüketiminin tahmin edilmesine yönelik yeni bir yaklaşım önererek yapay zekanın inşaat ve mimarlığa katkı bulunmasına yönelik yöntem geliştirmiştir. Cao vd.'ne (2023) göre, ısıtma ve

soğutma yüklerini önemli ölçüde etkileyebilecek sekiz parametre sinirsel bulanık mantık yaklaşımıyla analiz edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde en güçlü etki parametrelerden biri olan çatının neden olduğu belirlenmiştir. Razmi vd.'ne (2022) göre, ANN yöntemi ile iki modelin değerlendirilmesi ve karşılaştırma yapılmasıyla karmaşık sorunları optimize etmek üzere termal konfor performansının yanı sıra enerji verimliliği ve gün ışığı performansının da yıl içerisinde arttığı sonucuna varılmıştır. Al-Shargabi vd.'nin (2022) araştırmalarına göre, derin öğrenme ile enerji tahmin doğruluğuna yönelik karşılaştırmalı analiz yapılarak bina özelliğine göre enerji tahmin çalışması araştırılmıştır. Taylan ve ark. (2021) nöro-bulanık mantık tekniğini kullanarak iç mekandaki hava kalitesini daha iyi hale getirebilmek için yapay zeka yardımı ile kardiyovasküler ve solunum yoluyla ölümleri azaltmanın ve kirliliğin zararlı etkilerinden kaçınmanın yollarını araştırmaktadır. Valiyev ve ark. (2021), CAD programları ile geliştirilen tasarımda, güneş değerlerini bulanık bir sistem oluşturarak olasılıkları değerlendirerek daha doğru sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Yeterli gün ışığı için güneş ışınımına sahip pencerelerin boyutu ve durumuna ilişkin hesaplamalar geliştirilerek, çalışmada seçilmiş bir tesisin tasarımında model üretilmiştir. Diğer bir araştırma konusu olarak bir eğitim binasındaki yıllık soğutma yükleriyle ilgili enerji tasarruflarına ilişkin karşılaştırmalı bir çalışmada López-Pérez ve José Jassón (2021), uygulama ile sonuçları göstermektedir. Enerji tasarrufu sağlayabilmek için modelleme kullanılarak belirlenen ortalama konfor değerinde bir artış olduğunu yapılan model ile ortaya koymaktadır. Tropikal iklim bölgelerinde olan binalarda, ANFIS'in dikkate alınması iç mekanda konforun artmasını sağlamakta soğutma yüklerinde, enerji tasarrufu sağlamada ve termal konforda önemli gelişme sağlamaktadır. ANFIS yöntemi ile sonuçlara ulaşmak, farklı, daha karmaşık ve zaman alıcı parametrelerin bir araya getirilmesiyle hedeflenene ulaşmanın en doğru ve kullanışlı yöntemidir. Enerji tasarrufu ile ilgili yapılan bir başka çalışma ise, Le ve Nguyen (2021) tarafından yapılan, Anfis ile konum, hava durumu ve soğutma yükü tahmini gibi parametreleri girdi olarak kullanarak enerji tüketimi tahmini ile kesin sonuçlar elde etmeyi amaçlayarak tasarruf konusunda araştırmalar yapılmıştır. Gassar vd. (2021) binaların enerji verimli tasarım performansını artırmak için çeşitli erken aşama tasarım optimizasyon sorunları ele alınmıştır. Ngarambe vd. (2020) ise iç mekanlarda gün ışığının modellenmesinde makine öğrenmesine ilişkin bina tasarımı, gün ışığı ve enerji verimliliği için gün ışığı kontrol şemalarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

Ağırlıklı olarak mühendislik alanlarında kullanılan bu yöntemde yapılan çalışmalarda da incelenen konular arasında Lee ve Lee (2023), etkili enerji tasarrufu sağlamak için yapay zeka uygulamalarının temel donanım yükseltmeleriyle desteklenmesi gerektiğini belirtmiştir. Mousavi vd.'ne (2023) göre, ANFIS yöntemi ile enerji-konfor tahmini yürütülerek optimize edilmiş yeşil çatılar kullanarak konforun %12,8 oranında artması ve enerji talebinin %14 oranında azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. López-Pérez ve Flores-Prieto (2023) tropikal

iklime sahip bölgede soğutma yükünün ANN yöntemi ile %43,7 oranında azaltılabileceğini kanıtlamıştır. Elbeltagi vd.'e (2023) göre, geliştirilen optimizasyon modeliyle Mısır'da enerji kullanımının %25 oranında azaltılması olasılığı tartışılarak enerji verimliliği sağlayamaya yönelik kendi iklim özelliklerine göre yeni bir yöntem sağlanmıştır. Abdolvand vd.'e (2023) göre, tasarım öncesi aşamada maliyeti ve gömülü enerjiyi tahmin etmek ve termal yükü tahmin ederek enerji verimli yapılar oluşturmayı hedeflemiştir. Moayed ve Le Van (2022), iki model belirlenerek, önerilen iki model arasında en düşük RMSE (ortalama karekök sapması) ve en yüksek korelasyon katsayısını elde etme açısından BBO-ANFIS'in en güçlü tahmin modeli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile Anfis'in güçlü bir tahmin modeli olabileceği mimarlık ve inşaat alanları dışında da doğruluğu kanıtlanmıştır. Panagiotou ve Dounis (2022) ANFIS ve geri yayılım tabanlı eğitilmiş modellerin, her ikisinin de karmaşık doğrusal olmayan durumları iyi bir şekilde ele almaları nedeniyle diğer tüm modellerden daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Szul vd.'ne (2021) göre, enerji verimliliği sağlayabilmek için Takagi-Sugeno tipi bulanık çıkarım modelinin kullanılabilirliğini deneyerek 109 bina arasından değişkenlerin belirlenmesi ve yapay sinir ağları ve diğer tahmin modelleriyle karşılaştırmalar yapılmıştır. İyileştirme amaçlı yapılan bu araştırmalar gösteriyor ki henüz mimarlık alanında gelişmekte olan önceden karar verme sistemlerinde Anfis kullanımının fayda sağlayabileceği deneylerle kanıtlanmış Son yıllarda mühendislik alanında artmaya başlayan bu yöntemin mimarlık alanında da artmasının enerji tasarrufu binalar yaratma konusunda fayda sağlayabileceği açıktır. Özellikle tasarım aşamasında ve yapı hayata geçirilmeden önce gerçekçi sonuçların değerlendirilmesi için nöro-bulanık mantık, bulanık mantık ve ANFIS gibi yapay zeka yöntemlerinin uygulamalarının arttırılması faydalı olacaktır. Bu durum çalışmaların daha sürdürülebilir, sağlıklı ve konforlu tasarımlara sahip olmasını sağlayacaktır.

Mimari tasarım öncesi çok kriterli durumlarda insanın hesaplama veya gözden kaçırma durumlarına karşılık büyük bir alternatif olarak gelişen bu yöntemlerin uygulanması, tasarıma başlama konusunda karar verme hızını ve yolunu belirlemektedir. Enerji verimli yapılar inşa etmek amacıyla bu çalışmanın bir parçası olarak yapay zeka teknolojilerinin mimari tasarıma uygulanmasında sinirsel bulanık mantık yaklaşımının katkısı ve etkisi araştırılmaktadır.

### 1.1. Sinirsel Bulanık Mantık Yöntemi ve Mimari Tasarım Sürecinde Kullanımı

Yapay zeka ilk kez 1950'lerde ortaya çıktı. John McCarty, düşünme ve karar verme konusunda insana örnek teşkil eden bir yapı üzerinde çalıştı ve bir düşünme girişimi yaratıldı (Yalkı, 2001). Yapay zeka yöntemlerinden biri olarak kabul edilen bulanık mantıkla ilgili ilk bilgiler 1965 yılında Zadeh tarafından kaleme alınmıştır (Özkan, 2022; Zadeh, 1965). Bulanık mantık yönteminin yaygınlaşmasıyla birlikte 1970'lerden sonra özellikle Japonya'nın teknolojik gelişmeleri sayesinde batıya göre daha fazla benimsenmiştir. Özkan'a (2022) göre

bunun nedeni, Doğu ülkelerinde felsefi düşüncenin daha yaygın olması, Batı'da ise katı kuralların varlığını kabul etmeleri; yani bulanık mantık, gerçekliğin mantığıyla çeliştiğinden veya çelişmediğinden dolayı geç ilerlemektedir. Klasik mantık 1 ve 0 (evet veya hayır) iken, bulanık mantık 1 ile 0 arasındaki sözel değerlerdir.

Bir diğer yapay zeka yöntemi ise sinirsel bulanık mantıktır. Yapay sinir ağları ile yapılan ilk çalışmalar, MC Culloch ve Pitts'in önermesel mantık hesaplama modeli ve teorisine dayalı olarak mantıksal işlemlerin gerçekleştirilebileceğini göstermiştir (Piccinini, 2004). Dixon vd. (1984), mimaride karar verme ve yeniden tasarlama sürecinde yapay zekanın faydalı olabileceğini ve bu konuda daha fazla bilgi elde edildikçe yeni fırsatların ortaya çıkacağını belirtmiştir. Bu nedenle yeni yollar aramak ve en doğru tahmini gerçekleştirecek yöntemlerin denenmesi sürecin hızlı karar verme ve doğru sonuçları önceden belirleyebilme için önemli hale getirmektedir.

Mimari tasarım sürecinde, enerji tasarrufunun tahmin edilmesinde veya konfor değerlerine sahip mekânların oluşturulmasında yapay zekanın kullanım alanları vardır. Mimarlık konu alanıyla ilgili literatür taramalarında ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System), "Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi" konusunda az sayıda yayın bulunmaktadır. ANFIS, sinirsel bulanık mantık, Yapay Zeka bulanık mantık yöntemi ve her iki sistemin birleşiminden oluşmaktadır.

Günümüzde yapay zeka mimaride henüz tam olarak kullanılmasa da tasarımda karar verme ve eskiz çalışmalarını yapan bir yapay zeka modeli üretilmiştir. Yıldız ve Aktaş 2017 yılında bulanık mantık yardımıyla erken tasarım aşamasında değişken parametrelere bağlı öneri tasarımları oluşturarak bir cephe modeli oluşturmuşlardır. Aynı yıl Banaei vd. (2017) iç mekana ilişkin yapay zekaya benzer şekilde form ve ölçek gibi parametrelere göre kümeleme analizi yaparak sonuçların başarılı olup olmadığını incelemiştir.

Farklı tarihsel dönemlerden, farklı tarzlarda toplanan konut oturma odası örnek görüntüleri üzerinde yapılan kümeleme analizi sonuçlarına göre, tüm görüntülerin benzer formlara sahip olduğu 25 resmi küme, kümeler arasındaki tanımlayıcı özellikleri, benzerlikleri ve farklılıkları ortaya koymaktadır. Yıldırım ve Demirarslan, 2020 yılında tasarım aşamasında yapay zekanın kullanıldığı, değişken parametrelerin analiz kısmında bir araya getirildiği aşamada bilginin düzenlenmesinin önemini belirtmişlerdir. Tasarımcı tarafından geliştirilen bu modelin sistem tarafından verileri işlediğini ve tasarım problemine uygun çözümler sunduğunu ileri sürmüşlerdir. Han ve Shin, 2021 yılında gerçekleştirilen çalışmada, mimari tasarım aşamalarından fikir planlama aşamasında, mimari görüntü verilerine dayalı fotoğrafları veya eskizleri öğrenip analiz ederek gerçekleştirilen sanal bir tasarımı hayata geçirmek için kullanılabilecek bir otomasyon teknolojisi

geliştirmiştir. Bazı aksaklıkların yaşandığı belirtilen çalışmada, eskizde duvar ile pencerenin ayırt edilememesi gibi bir sorun yaşandığı kaydedilmiştir. Bu konuda gelişmeye devam etmeyi amaçlamış ve bunun sonucunda yapay zeka sayesinde soyut bir eskiz ile fotoğraf gibi görsellerin oluşturulmasına olanak sağlayan araştırmalara dönüşmeyi amaçlamıştır (Han ve Shin, 2021). Benzer bir başka çalışmada Zhou (2021) tasarım yaklaşımının çeşitliliğindeki çok yönlülüğün, yapay zekanın yarattığı çoklu seçeneklerde faydalı olabileceğini belirtmiştir. Zhou ayrıca tasarımın başladığı tasarım/planlama aşamasında eskiz yaparken, yapay zekanın önerdiği çok sayıda olası seçenekle mimarların kavramsal olarak ilham vermelerine yardımcı olabileceğini belirtmiştir. Araştırmaya göre mimari tasarım ve iç mekan tasarımı süreçlerinde plana başlamadan önce karar verme aşamasında yapay zeka kullanılmıştır ve bu konuyla ilgili çalışmalara devam edilmektedir.

En yaygın kullanılan iki yapay zeka yöntemi, yapay sinir ağları ve bulanık mantıktır (Yılmaz, 2017). Bulanık mantık tabanlı sistemler eğitim yoluyla öğrenme yeteneğine sahip değildir, ancak yapay sinir ağları bunu yapabilir. Bu, bulanık mantık ve yapay sinir ağları arasındaki en temel farktır. Bulanık küme teorisi ile sinir ağlarının hesaplama tekniği, insanların tahmin ve hesaplama zorluklarından daha fazla olduğu çok girdili durumlarda basitleştirme yoluyla sonuçlara ulaşma sistemidir. Bu hesaplama güncel bilgilerin sisteme girilmesiyle yapıldığı için girdiler öngörülemez değildir. Çıktılar kurallar aracılığıyla öneriler getirir. ANFIS, öğrenme yeteneğine sahip Sugeno tipi bulanık sistemin sinirsel öğrenme yeteneğine sahip uyarlanabilir bir nöro-bulanık çıkarım sistemidir. Bulanık çıkarım özelliğini anlık hesaplama yeteneği ve yapay sinir ağlarının eğitim yoluyla öğrenme yeteneği ile birleştiren bir yapay zeka yöntemidir (Yılmaz, 2017). Bu yöntemin uyarlanabilirliği, bulanık mantık sisteminde sunulan verileri kullanarak problemi öğrenmesi ve kendini güncelleyerek yeniden öğrenmesidir. ANFIS'in problem çözme becerisi, belirsizlik durumlarında insanları taklit ederek verilen sözlü verilerin en iyi sonuçları vermesini sağlar.

## 2. Yöntem

Binalarda sürdürülebilir tasarımların yaşam standartlarını arttırmak ve kullanıcıların konfor ihtiyaçlarını karşılamak başta olmak üzere çevresel etkisi ve ekolojik katkıları bulunmaktadır. Buna karşın, binalarda konfor koşullarını korumakla ilgili enerji tüketimini azaltmak çoğu zaman birbiriyle çelişen hedeflerdir ve genellikle akıllı sistem tasarımı gerektiren tipik bir optimizasyon problemini temsil etmektedir. Özellikle, iç mekanda termal konforun sağlanması, hava kalitesinin artması, elektrik, ısıtma / soğutma giderlerinin azaltılması gibi nedenlerden dolayı sürdürülebilir çözümler ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle enerji kullanımı ile kullanıcılar için uygun iç mekan konfor seviyeleri arasındaki hassas noktayı bulmak için günümüzde Yapay Zeka tekniklerine dayanan farklı metodolojiler kullanılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmada seçilen tekniklerden biri olan sinirsel bulanık mantık yöntemi ANFIS ile çözüm bulmak ve mimari

tasarım aşamasında karar verme yöntemi olarak değerlendirme yapılmaktadır. Öncelikle mimari tasarımın işlevini belirlemek ve enerji verimliliğine etki edecek parametreleri belirlemek, girdi ve çıktı olarak değerlendirmeye almak gerekmektedir. Çalışma alanı olarak belirlenen bina, sıcak ve nemli iklim özelliklerine sahip Antalya ilinde Muratpaşa ilçesinde yer almaktadır. Akdeniz iklim bölgesinden Antalya ili için değerlendirme yapılan çalışma kapsamında seçilen örnek bina olan Antalya Süleyman Erol Olimpik Yüzme Havuzu yapısının ideal enerji verimliliğini sağlayabilmesi için gerekli parametrelerinin belirlenmesi ile örnek bir çalışma yapılmıştır.



Şekil 1. Antalya Süleyman Erol Olimpik Yüzme Havuzu.

Bu çalışmada kullanılan parametreler, iç mekan ve dış mekan sıcaklık değerleri, yalıtım malzemesi ısı geçirgenlik değeri, mekanda havalandırma olup olmaması, cephede gölgelendirme elemanı olup olmaması, binanın yönlendirilmesi (güney, kuzey, doğu, batı) pencerenin duvara oranı girdi olarak değerlendirilen 6 değerden oluşmaktadır. Çıktı olarak da yıllık enerji ihtiyacı belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sayısal verilerin karşılaştırması için 8 gruba ayrılarak her bir grubun içinde en az enerji ihtiyacı olacak yapı özelliği elde edilmeye çalışılmıştır. Analiz edilen gruplar;

- 1.Yaz döneminde doğal havalandırma kullanılması ve cephede gölgelendirme elemanının uygulanması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi
- 2.Yaz döneminde doğal havalandırmanın kullanılmaması ve cephede gölgelendirme elemanının uygulanması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi
- 3.Yaz döneminde doğal havalandırma kullanılması ve cephede gölgelendirme elemanının uygulanmaması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi

- 4.Yaz döneminde doğal havalandırmanın ve cephede gölgelendirme elemanının kullanılmaması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi
- 5.Kış döneminde doğal havalandırma kullanılması ve gölgelendirmenin kullanılması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi
- 6.Kış döneminde doğal havalandırmanın kullanılmaması ve cephede gölgelendirme elemanının uygulanması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi
- 7.Kış döneminde doğal havalandırma kullanılması ve cephede gölgelendirme elemanının uygulanmaması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi
- 8.Kış döneminde havalandırmanın ve cephede gölgelendirme elemanının uygulanmaması ile yıllık enerji ihtiyacının etkisi olarak belirlenmiştir.

Sinirsel bulanık mantık yöntemi ile elde edilen en verimli çıktı sonucuna ulaşmak için kapalı havuz yapısının tasarımındaki enerjiye etki edecek parametreleri literatür taraması yardımıyla belirlenmiştir. Kullanılacak sinirsel bulanık mantık girişleri aşağıdaki gibidir;

- 1- Girdi verileri; Dış sıcaklık, pencere duvar oranı, Yalıtım ısı geçirgenlik (U) değeri, doğal havalandırma (var / yok), gölgelendirme elemanı (var/ yok), binanın yönü (kuzey/güney/doğu/batı)
- 2- Çıktı verisi; Toplam ihtiyaç duyulan enerji miktarı

ANFIS sinirsel bulanık mantık yöntemiyle veri işlenmesinden elde edilen çıktı, yapıda ihtiyaç duyulan toplam enerjidir. Bu yöntem için kullanılacak program MATLAB yazılım programı ile değerlendirilmektedir. 0 ile 1 arası verilen rakamlarla değerlendirilecek olan bu yöntemde, belirsiz olan kısımlarda MATLAB hesaplaması ile sayısal ara değerler ortaya çıkmaktadır. Bulanık olan bu kesin olmayan değerlerin sözel olarak değerlendirilmesi aşamasında beklenen sonuç elde edilmesi ile mimari tasarım öncesi erken değerlendirme yapılmasına katkı sağlamaktadır.

### 3. Bulguların Tartışılması

Kapalı havuz yapısının örnek bina olarak seçildiği, girdiler ve çıktı değerine göre yapılan değerlendirmede sayısal değerlerin yorumlanmasıyla elde edilen verilere göre,

- Güneye yönlendirilen binada havalandırma sağlanırken, cephede gölgeleme elemanı uygulanmadığında yaz ve kış dönemlerinde enerji verimliliği sağlanması için yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri yüksek olduğu durumda pencere duvar oranlarının %10 olarak uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı



koşullarda yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri düşük olduğu durumda pencere duvar oranlarının %20 olarak uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

- Kuzeye yönlendirilen binada havalandırma sağlanırken, cephede gölgeleme elemanı uygulanmadığında yaz ve kış dönemlerinde enerji verimliliği sağlanması için yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri yüksek olduğu durumda pencere duvar oranlarının %90 olarak uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı koşullarda yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri düşük olduğu durumda pencere duvar oranlarının %10-%20 olarak uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Yaz aylarında soğutma yükü ağırlıkta olan bölgede kış aylarında ısıtma yükü fazla olmayacağı için %70-80-90 olarak da tercih yapabilirken, kış ayı gibi ısıtma yükü yoğunlukta bir bina olacaksa pencere boyutunun %10-20 oranlarında olması ideal olacaktır.

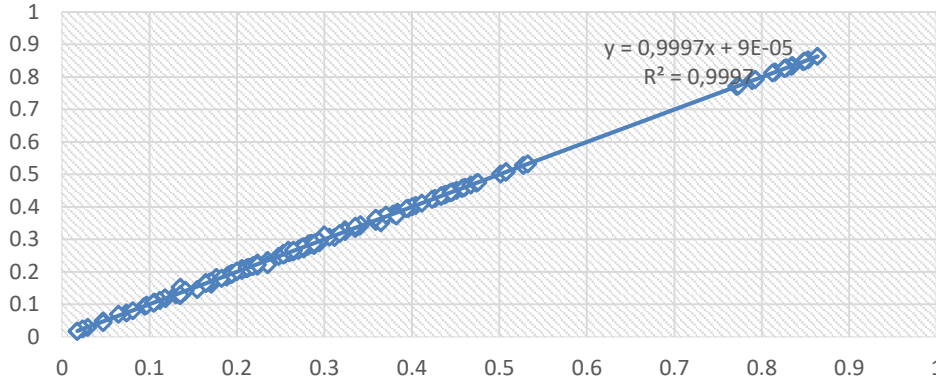
- Doğuya yönlendirilen binada havalandırma ve cephede gölgeleme elemanı kullanıldığında yaz ve kış dönemlerinde enerji verimliliği sağlanması için yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri yüksek veya düşük olduğu durumda pencere duvar oranlarının %10-90 olarak uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Yaz dönemi yoğunlukta geçen bir bölgede soğutma yükünün ısıtma yükünden fazla olduğu düşünülürse bu oranlar %20-70-80 olarak da uygulanabilir. Ancak bu oranlar kış ayları için kullanılan enerji miktarını bir miktar arttıracaktır.

- Batıya yönlendirilen binada havalandırma ve cephede gölgeleme elemanı kullanıldığında yaz ve kış dönemlerinde enerji verimliliği sağlanması için yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri yüksek olduğu durumda pencere duvar oranlarının %10-90 olarak uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı koşullarda yalıtım malzemelerinin ısı geçirgenlik değerleri düşük olduğu durumda pencere duvar oranlarının %10-20-30-40-50 olarak uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Tablo 1.** Sinirsel bulanık mantık yöntemi ile elde edilen sayısal verilerin sözel olarak aktarıldığı özet tablo.

Bina Yönlendirmesi	Doğal havalandırma	Cephede gölgelendirme elemanı	Mevsim	Yalıtım malzemesi ısıl geçirgenlik değeri	Pencere duvar oranı
Güney	Var	Yok	Yaz ve kış	Yüksek	%10
				Düşük	%20
Kuzey	Var	Yok	Yaz ve kış	Yüksek	%90
				Düşük	%10- %20
			Yaz	Düşük	%70-80- %90
Kış	Düşük	%10- %20			
Doğu	Var	Var	Yaz ve kış	Yüksek ve Düşük	%10- %90
			Yaz		%20-70- 80
Batı	Var	Var	Yaz ve kış	Yüksek	%10 veya %90
				Düşük	%10-20- 30-40- 50

Bu bulgular bina tasarımına yön verecek değerlerin ortaya çıkmasındaki doğruluk payı için sinirsel bulanık mantık ANFIS yöntemi ile bulunan hata değeri oranı 0,0033174 olduğu, regresyon analizi ile değerlendirme yapıldığında ise  $R^2$  değeri 0,9997 (%99) oranında doğruluk payı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Regresyon analizi sonucu.

Bu çalışma ile mimarlıkta henüz sinirsel bulanık mantık ile ilgili çalışmaların gelişmemesi nedeniyle yapılacak yeni çalışmalara fikir verebilecek bir yöntem olarak mimarlara yardımcı olabileceği ve literatüre katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

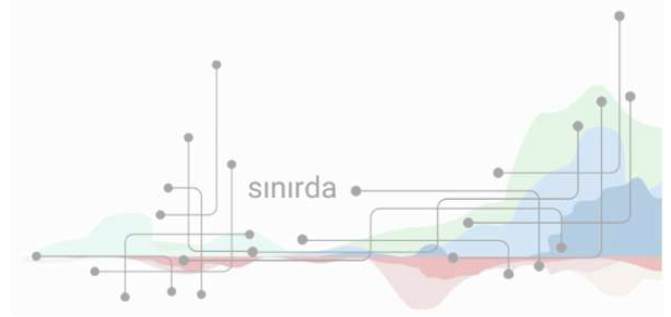
#### 4. Sonuç

Kapalı mekanlarda klima, soğutucu gibi mekanik sistemlerin kullanımı sıcak iklimlerde soğutma yükünün artmasına dolayısıyla ihtiyaç duyulan enerjinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle enerji tasarrufu sağlayan mimari tasarım konseptinin soğuk iklimlerde olduğu kadar sıcak iklimler için de geçerli olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında sinirsel bulanık mantık yöntemi uygulanarak mimari tasarımda yapay zekanın tasarımcıyı hedeflenen parametreler çerçevesinde yönlendirebilmesi ve optimum sonuca ulaşılması hedeflenmektedir. Böylece, yapının kullanım aşamasında etkili olacak faktörlerin önceden belirlenmesi ve değerlendirilmesi açısından son derece önemli olan enerji tasarrufu sağlayan tasarım konseptinin karar aşamasındayken planlamaya dahil edilmesi mümkün olmaktadır. Araştırma sonuçları kapsamında, yapay zekanın mimari tasarımda çok kriterli seçim yapmak açısından doğru bir yöntem olduğu ortaya konmaktadır. Buna göre Akdeniz iklim koşullarına sahip bir bölgede yer alan yarı olimpik kapalı havuz yapısının tasarım aşamasında binanın konumlandırılması, pencere-duvar oranı ve cephe tasarımında güneşin kontrolü, pencere boşlukları, kullanılacak malzemelerin ısı geçirgenlik değerleri gibi dikkat edilmesi gereken parametrelerin enerji tasarrufunda etkin olduğu anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abdolvand, M., Nezhad, A., Bambach, M., & Dias-da-Costa, D. (2023). Integrated climate-responsive thermal load ML model and cost/embodyed energy estimate from a preliminary building design. *Energy and Buildings*, 113837. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113837>
- Al-Shargabi, A. A., Almhafdy, A., Ibrahim, D. M., Alghieth, M., & Chiclana, F. (2022). Buildings' energy consumption prediction models based on buildings' characteristics: Research trends, taxonomy, and performance measures. *Journal of Building Engineering*, 54, 104577. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104577>
- Banaei, M., Ahmadi, A., & Yazdanfar, A. (2017). Application of AI methods in the clustering of architecture interior forms. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3): 360-373. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.05.002>
- Cao, Y., Pourrostam, T., Zandi, Y., Denić, N., Ćirković, B., Agdas, A. S., Semi, A., Vujović, V., Jermstittiparsert, K. & Milic, M. (2021). Analyzing the energy performance of buildings by neuro-fuzzy logic based on different factors. *Environment, Development and Sustainability*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01382-4>
- Dixon, J. R., Simmons, M. K., & Cohen, P. R. (1984). An architecture for application of artificial intelligence to design. In 21st Design Automation Conference Proceedings, pp. 634-640. IEEE. <https://doi.org/10.1109/DAC.1984.1585866>
- Elbeltagi, E., Wefki, H., & Khallaf, R. (2022). Sustainable Building Optimization Model for Early-Stage Design. *Buildings*, 13(1), 74. <https://doi.org/10.3390/buildings13010074>
- El-Maraghy, M., Metawie, M., Safaan, M., Eldin, A. S., Hamdy, A., El Sharkawy, M., Abdelaty, A., Azab, S. & Marzouk, M. (2024). Predicting energy consumption of mosque buildings during the operation stage using deep learning approach. *Energy and Buildings*, 303, 113829. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113829>
- Gassar, A. A. A., Koo, C., Kim, T. W., & Cha, S. H. (2021). Performance optimization studies on heating, cooling and lighting energy systems of buildings during the design stage: A review. *Sustainability*, 13(17), 9815. <https://doi.org/10.3390/su13179815>
- Han, S. K., & Shin, D. Y. (2021). A Study on Architectural Image Generation using Artificial Intelligence Algorithm-A Fundamental Study on the Generation of Due Diligence Images Based on Architectural Sketch. *Journal of KIBIM*, 11(2): 54-59.
- Le, H. T., & Nguyen, T. T. (2021). ANFIS for building cooling load estimation. In AIP Conference Proceedings. (Vol. 2420, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0068984>
- Lee, D., & Lee, S. T. (2023). Artificial intelligence enabled energy-efficient heating, ventilation and air conditioning system: Design, analysis and necessary hardware upgrades. *Applied Thermal Engineering*, 235, 121253. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121253>
- López-Pérez, L. A., & Flores-Prieto, J. J. (2023). Adaptive thermal comfort approach to save energy in tropical climate educational building by artificial intelligence. *Energy*, 263, 125706. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125706>
- López-Pérez, L. A., & José Jassón, F. P. (2022). Energy Savings Comparative in Tropical Climate Educational Building by Adaptive Thermal Comfort Approach and Artificial Intelligence. *SSRN*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4076993>

- Moayed, H., & Le Van, B. (2022). The applicability of biogeography-based optimization and earthworm optimization algorithm hybridized with ANFIS as reliable solutions in estimation of cooling load in buildings. *Energies*, 15(19), 7323. <https://doi.org/10.3390/en15197323>
- Mousavi, S., Gheibi, M., Waclawek, S., & Behzadian, K. (2023). A novel smart framework for optimal design of green roofs in buildings conforming with energy conservation and thermal comfort. *Energy and Buildings*, 291, 113111. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113111>
- Ngarambe, J., Irakoze, A., Yun, G. Y., & Kim, G. (2020). Comparative performance of machine learning algorithms in the prediction of indoor daylight illuminances. *Sustainability*, 12(11), 4471. <https://doi.org/10.3390/su12114471>
- Özkan, F. (2022). Prediction of long-term streamflow by using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Master thesis, Hasan Kalyoncu University Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Gaziantep, 109 p.
- Panagiotou, D. K., & Dounis, A. I. (2022). Comparison of hospital building's energy consumption prediction using artificial neural networks, ANFIS, and LSTM Network. *Energies*, 15(17), 6453. <https://doi.org/10.3390/en15176453>
- Piccinini, G. (2004). The First computational theory of mind and brain: a close look at mcculloch and pitts's "logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *Synthese*, 141(2): 175-215. <https://doi.org/10.1023/B:SYNT.0000043018.52445.3e>
- Razmi, A., Rahbar, M., & Bemanian, M. (2022). PCA-ANN integrated NSGA-III framework for dormitory building design optimization: Energy efficiency, daylight, and thermal comfort. *Applied Energy*, 305, 117828. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117828>
- Szul, T., Nečka, K., & Lis, S. (2021). Application of the takagi-sugeno fuzzy modeling to forecast energy efficiency in real buildings undergoing thermal improvement. *Energies*, 14(7), 1920. <https://doi.org/10.3390/en14071920>
- Taylan, O., Alkabaa, A. S., Alamoudi, M., Basahel, A., Balubaid, M., Andejany, M., & Alidrisi, H. (2021). Air Quality Modeling for Sustainable Clean Environment Using ANFIS and Machine Learning Approaches. *Atmosphere*, 12(6): 713. <https://doi.org/10.3390/atmos12060713>
- Valiyev A., Imamguluyev R., & Ilkin G. (2021). Application of Fuzzy Logic Model for Daylight Evaluation in Computer Aided Interior Design Areas. 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, ss. 715-722, 5 January, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64058-3\\_89](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64058-3_89).
- Yalkı, H. (2001). Mimarlıkta yapay zeka kullanımı. Master thesis, Yıldız Technical University, İstanbul, 72 p.
- Yıldırım, B. & Demirarslan, D. (2020). İç Mimarlıkta Yapay Zekâ Uygulamalarının Tasarım Sürecine Faydalarının Değerlendirilmesi. *Humanities Sciences*, 15(2):62-80.
- Yıldız, B. & Aktaş, B. (2017). Mimari Tasarım Sürecinde Karar Verme: Bulanık Mantık Tabanlı Cephe Modeli Önerisi. 11. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. Middle East Technical University, p.173-181, 14-15 June 2017, Ankara.
- Yılmaz, A. (2017). Yapay Zeka. Kodlab, İstanbul, 384 s.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*. 8(3): 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241X)
- Zhou, Y. (2021). Sketch with Artificial Intelligence (AI)-A Multimodal AI Approach for Conceptual Design. Master Thesis, University of Hawai'i, Manoa, 101 p. <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2021.1.201>






## OTURUM 5 – PARALEL OTURUM |

Sayısal Fabrikasyon Teknikleri ve Robotik

**Oturum Başkanı**  
**Prof. Dr. Tuğrul Yazar**

## Doğadan Referans Alan Katlanabilir Beton Kalıp Sistemleri Üzerine Bir İnceleme




Görkey Gürel<sup>1</sup> ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu<sup>2</sup> ; Leman Figen Gül<sup>3</sup>   
<sup>1,2,3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi  
<sup>1</sup>gurelg17@itu.edu.tr; <sup>2</sup>akcakaykavakoglu@itu.edu.tr; <sup>3</sup>fgul@itu.edu.tr

### Özet

*Doğa, uzun bir evrimsel süreç boyunca çeşitli organizmaları bünyesinde barındırarak onların çevreye uyum sağlamasına olanak sağlamıştır. Bu organizmalar, hem işlevsellikleriyle hem de estetik değerleriyle insanları etkilemiş ve onlara ilham kaynağı olmuştur. Özellikle mimarlık ve inşaat sektörü, doğanın karmaşık yapılarını anlamaya çalışarak onlardan ilham alıp yenilikçi çözümler geliştirmeye çalışmıştır. Bu bağlamda, bitki dünyasının incelikli ve zarif örnekleri, özellikle Mavi Patates Çiçeği gibi bitkilerin simetrik yapıları, mimari tasarım ve üretim alanında kullanılacak strüktürel çözümler için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Mavi Patates Çiçeği'nin dinamik strüktürel yapısının incelenmesi mimarlık ve inşaat alanında katlanabilir ve adapte edilebilir beton kalıp sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. Bu sistemlerin kullanımı, inşaat endüstrisinde üretim süreçlerini optimize ederek yapısal çözümleri daha esnek hale getirebilmektedir. Bu araştırma, geleneksel beton kalıp sistemlerinin sınırlarını sorgulayarak katlanabilir beton kalıp sistemleri için yenilikçi bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Doğadan ilham alınarak tasarlanan katlanabilir beton kalıp sistemleri için çeşitli sayısal ve fiziksel modeller üretilerek fiziksel ve dijital süreçler arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Bu süreçte elde edilen sonuçlar, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin esneklik, ölçeklenebilirlik ve maliyet-etkinlik gibi avantajlarını da vurgulamaktadır. Ayrıca bu araştırma, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin inşaat endüstrisinde gelecekte önemli bir rol oynayacağını öngörmekte ve endüstrideki mevcut zorluklara çözüm getirmeyi hedeflemektedir. Araştırmanın sonunda ise katlanabilir beton kalıp sistemleri ile üretilen beton blokların kullanım alanlarına dair örnek bir çalışma yapılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Katlanabilir kalıp sistem, kumaş kalıp, hesaplamalı model.

## A Study on Deployable Concrete Mold Systems with Reference from Nature

Görkey Gürel <sup>1</sup> ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu <sup>2</sup> ; Leman Figen Gül <sup>3</sup>   
<sup>1,2,3</sup>Istanbul Technical University  
<sup>1</sup>gurelg17@itu.edu.tr; <sup>2</sup>akcaykavakoglu@itu.edu.tr; <sup>3</sup>fgul@itu.edu.tr

### Abstract

*Nature has provided various organisms with the opportunity to adapt to the environment through a long evolutionary process. These organisms have influenced and inspired humans both functionally and aesthetically. Especially the field of architecture and construction has endeavored to understand the complex structures of nature and derive innovative solutions from them. In this context, the intricate and graceful examples of the plant world, particularly the symmetrical structures of plants such as the Blue Potato Bush, hold great potential for structural solutions that can be utilized in architectural design and production. The examination of the dynamic structural system of the Blue Potato Bush holds significant potential in the development of deployable and adaptable concrete mold systems in architecture and construction. The use of these systems can optimize production processes in the construction industry, making structural solutions more flexible. This research aims to present an innovative approach for deployable concrete mold systems by questioning the limits of traditional ones. Various computational and physical models have been produced for deployable concrete mold systems designed with inspiration from nature, and differences between physical and computational processes have been compared. The results obtained in this process also emphasize the advantages of deployable concrete mold systems such as flexibility, scalability, and cost-effectiveness. Additionally, this research anticipates a significant role for deployable concrete mold systems in the construction industry in the future and aims to address current challenges in the industry. Finally, an example study on the applications of concrete blocks produced with deployable concrete mold systems is presented at the end of the research.*

**Keywords:** Deployable mold system, fabric mold, computational model.



## 1. Giriş

Doğa, uzun yıllar boyunca evrimleşmiş ve çevresine uyum sağlamayı başarmış organizmalara ev sahipliği yapmaktadır. Bu organizmalar, geçmişten günümüze hem işlevsellikleriyle hem de estetik değerleriyle insanları etkilemiş ve onlar için ilham kaynağı olmuştur. Özellikle mimarlık ve inşaat sektörü, doğanın karmaşık yapılarını anlamaya çalışarak onlardan ilham almış ve yenilikçi çözümler geliştirmeye çalışmıştır. Bu yapılar arasında, bitki dünyasının incelikli ve zarif örnekleri ön plana çıkmaktadır. Özellikle Mavi Patates Çiçeği, *Lycianthes rantonnetii*, (Şekil 1) gibi bitkilerin simetrik yapıları, mimari tasarım ve üretim alanında kullanılabilecek strüktürel çözümler için potansiyel barındırmaktadır.



Şekil 1. Mavi Patates Çiçeği (*Lycianthes rantonnetii*).

Bu çiçek, merkezde birleşen ve taşıyıcı özellik gösteren taç yapraklardan (petal) ve bu yaprakları birbirine bağlayan ince yüzeylerden (gusset) oluşmaktadır. Çiçek tamamen kapalı durumdayken taç yapraklar tamamen katlanır ve erkek organın merkezini sarmalarken çiçek yarı açık durumdayken taç yapraklar hafifçe erkek organın merkezi etrafında yayılır, ancak hala katlanmış durumdadır ve açılmaya eğilimlidir ve çiçeğin katlanma süreci tamamen katlanmış durumdan yarı açık duruma doğrudur (Rugui et al., 2019). Mavi Patates Çiçeklerinin genellikle beş veya altı adet taç yaprağı bulunmaktadır ve her bir yaprak arasında katlanabilir yüzeyler (gusset) yer almaktadır. Çiçek tamamen açıldığında, bu yapraklar ve yüzeyler bir beşgen veya altıgen oluşturmaktadır (Kobayashi ve Horikawa, 2008). Bu nedenle, çokgen düzlemlerin katlanma prensiplerini anlamak için patates çiçeklerinin katlanma biçimleri referans alınabilmektedir. Bu dinamik yapının incelenmesi, mimarlık ve inşaat alanında katlanabilir ve adapte edilebilir kalıp sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu tür elemanların özellikle inşaat endüstrisi alanındaki kullanımı, üretim süreçlerini optimize etmek ve yapısal çözümleri daha esnek hale getirmek için önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca Mavi Patates Çiçeği'nin strüktürel özelliklerinin incelenmesi, beton bloklar için katlanabilir kalıp sistemlerinin tasarımında daha esnek ve verimli üretim süreçlerinin yanı sıra çeşitli yapısal gereksinimlere

uygun çözümler sunabilme potansiyeline de sahiptir. Kısaca bu çalışma, geleneksel beton kalıp sistemlerinin sınırlarını sorgulayarak katlanabilir kalıp sistemleri için yenilikçi ve deneysel bir araştırma ortaya koymaktadır.

Doğadaki bitkilerin çiçek açma biçiminden ve strüktürel yapısından esinlenilerek ortaya konan birçok tasarım mevcuttur. Bu çalışmanın odağını oluşturan Mavi Patates Çiçeği'nin fiziksel yapısı referans alınarak ortaya konan tasarım örneklerinden biri olarak ise Amerika'daki Starlight Tiyatrosu'nun katlanabilir çatı strüktürü gösterilebilir. Asefi ve Foruzandeh'e (2011) göre bu örnek, geçici ve dönüşebilen yapılar için ana tasarım kriterlerini karşılamak üzere doğanın prensiplerini bir araç olarak kullanmaktadır. Tasarlanan çatı strüktürü, Mavi Patates Çiçeği'nden ilham alınarak üretilen üçgen parçalardan meydana gelmektedir. Merkezi bir çekirdek ve dört üçgen kanat içeren bu yapı, farklı ölçeklerde ve farklı koşullarda çeşitli formların oluşturulmasını da mümkün kılmaktadır (Asefi ve Foruzandeh, 2011). Aynı zamanda bu strüktür, düzenlenecek etkinliklerin sürekliliğinin hava koşullarından bağımsız olarak sağlanabilmesi için açılıp kapanabilir özellikte tasarlanmıştır (Zenter ve Yıldırım, 2020).

Yukarıda bahsedilen örneklere bakıldığında, doğadan alınan referansın yapı elemanlarının form ve işleyişine doğrudan yansıtıldığı görülebilmektedir. Ancak bu referansın, bir yapı elemanı olan beton blokları üreten katlanabilir kalıp sistemleri için bir araç olarak kullanılmasının bu alana farklı bir bakış açısı kazandırabileceği düşünülmektedir. Bu noktada katlanabilen strüktür, bir yapı elemanı olmak yerine yapı elemanını üreten kalıp rolünü üstlenmiş olacaktır. Böylece beton bloklar çeşitli ölçek ve geometrilerde üretilebilecektir ve katlanabilir kalıp sistemleri, dolaylı olarak yapının formunu belirleyen bir unsur haline gelecektir. Bahsedilen katlanabilir kalıp sistemlerinin üretilmesinde, kalıp yüzeyini oluşturmak için kumaş malzemesinin kullanılması üzerine çalışmalar da mevcuttur. Akçay Kavakoğlu'na (2020) göre, kumaş kalıp kullanarak form oluşturma yöntemi; malzeme tasarrufu, hesaplama, inşaat ve sürdürülebilirlik alanlarında gelişen teknolojilerle birlikte gelecekte daha da ön plana çıkacaktır. Bu nedenle, kumaş ve betonun tektonik potansiyellerini dijital alanlarda keşfetmek için üretilen formlarla ilgili kalıpların ve malzemelerin hesaplanabilir davranışları daha ayrıntılı incelenmelidir (Akçay Kavakoğlu, 2020).

## 2. Yöntem

Bu çalışma özelinde, Mavi Patates Çiçeği (*Lycianthes rantonnetii*) bitkisinin yapısal özelliklerinden yola çıkılarak beton bloklar için çeşitli prototip kalıp sistemleri üretilmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Çalışma, Akçay Kavakoğlu'nun katlanabilir tekstil kalıp ile form üretimi metodolojisi referans alınarak kurgulanmıştır (Akçay

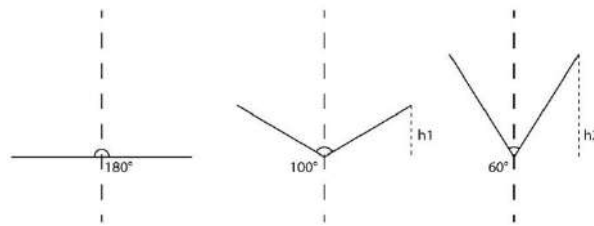
Kavakoğlu, 2020). Çalışma altı temel süreçten meydana gelmektedir: (1) Katlanabilir örüntü araştırması ve seçimi, (2) seçilen örüntünün katlama ve kalıp özelinde formal davranışlarını gözlemleyebilmek için hesaplamalı modellerinin oluşturulması, (3) katlanabilir kalıbın prototiplerinin üretimi ve beton dökümü, (4) katlanabilir kalıp aracılığıyla beton blokların üretilmesi (5) referans, fiziksel ve hesaplamalı modellerin karşılaştırılarak süreç değerlendirmesinin yapılması ve (6) dijital ortamda üretilen beton bloklar kullanılarak örnek bir çalışma, tasarım yapılması.

## 2.1. Kalıp Modeli Seçimindeki Kriterler

Mavi Patates Çiçeği modelinin referans olarak seçilmesinde avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte modelin işlevselliğine ve uygulanabilirliğine yönelik birtakım parametreler göz önünde bulundurulmuştur.

### Katlanabilirlik

Mavi Patates Çiçeği modeli, benzer uzunluktaki kenarların ortak merkezde birleşmesi nedeniyle simetrik bir yapı ortaya koymaktadır. Bu durum, simetrik bir sonuç elde etmek için ideal ve basit bir sistemi tariflemektedir. Öte yandan, asimetrik bir çerçeve, kenarların uzunluklarında değişiklik gerektireceğinden kalıbın ağırlık merkezinin kaymasına neden olacaktır. Kalıp tek bir sabit noktadan asıldığında, belirli bir yöne doğru eğilme gösterecektir ve asimetrik sonuçlar elde etmek için sistem üzerinde daha fazla kontrol gerektirecektir. Bir diğer parametre ise taşıyıcı elemanların katlanma açısıdır. Açı azaldıkça, kalıbın derinliği artmaktadır.



Şekil 2. Katlanma açısı ile kalıp derinliği arasındaki ilişki.

Değişkenler arasındaki ters orantıdan dolayı  $100^\circ > 60^\circ$  ise  $h_1 < h_2$ 'dir (Şekil 2).

## Üretilebilirlik

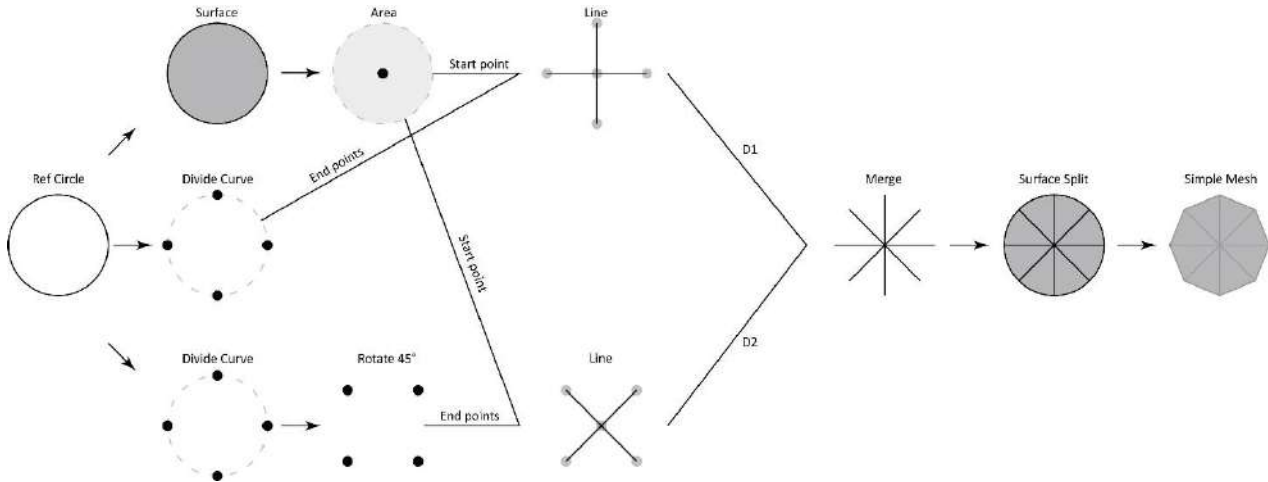
Kalıbın üretilebilmesi açısından, belirli sayıdaki taşıyıcı elemanın (taç yaprak) tek bir noktada birleşmesi ve belirli açılarda hareket edebilmesi gerekmektedir. Simetrik bir strüktür için taşıyıcı eleman sayısı arttıkça aralarındaki açı değeri azalacaktır. Ayrıca belirli uzunluk ve sayıdaki taşıyıcı elemanın bir araya gelmesiyle oluşan strüktür özellikle üretim aşamasında manevra kabiliyeti sağlama potansiyeline sahiptir.

## 2.2. Hesaplamalı Modellerin Üretilmesi

Mavi Patates Çiçeği referans alınarak Rhino ve Grasshopper aracılığıyla üretilen dijital modeller ile kalıp sisteminin algoritması ve modeli oluşturulmuştur. Bu modeller dairesel ve karesel olmak üzere iki farklı şekildedir.

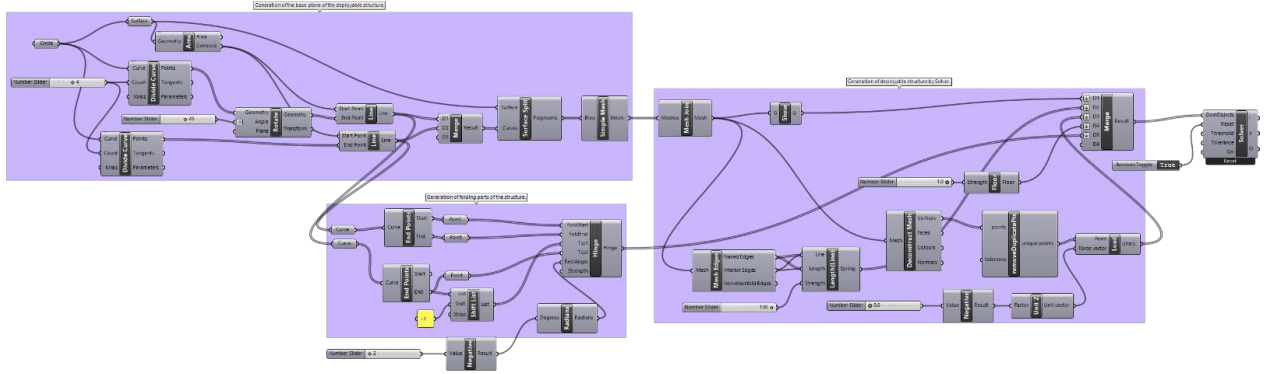
### 2.2.1. Daire Tabanlı Hesaplamalı Model

Katlanabilir kalıp modelinin üretimi için ilk olarak Grasshopper aracılığıyla daire tabanlı sistemin algoritması ve bu algoritma kullanılarak da hesaplamalı modeli oluşturulmuştur. Bu algoritma kalıbın katlanabilir parçalarını üretmek için bir daireyi kullanarak dayanak noktalarını, katlanma çizgilerini ve katlanma açısını tanımlamaktadır.



Şekil 3. Dairesel zemini ve katlanma çizgilerini tanımlayan algoritmanın şematik gösterimi.

Çember yayı üzerinde eşit aralıklarla oluşturulan noktalar çemberin merkezi ile birleştirilerek katlanma doğrultuları oluşturulmuştur. Bu durumda 8 adet taç yaprak (petal) ve bunları birleştiren 8 adet yüzey (gusset) oluşmaktadır (Şekil 3).



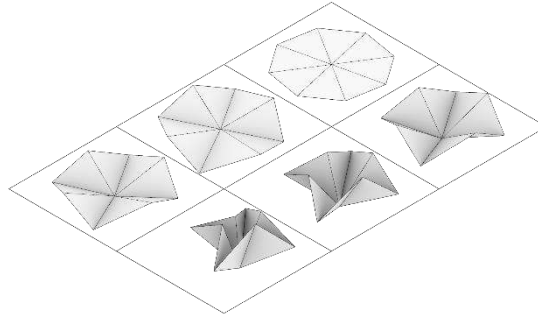
Şekil 4. Daire tabanlı modeli tanımlayan bütünleşik algoritma.

Algoritmayı oluşturan bileşenlerden sol üst kısım sırasıyla dairesel deseni ve desenin katlanma doğrultularını tanımlamaktadır. Sayısal modelleme ortamı Rhino aracılığıyla oluşturulan çember, Grasshopper yazılımı kullanılarak *Circle* bileşenine atanmıştır. *Line* bileşenleri sol alt kısımda gösterilen *Curve* bileşenlerine atanarak algoritma devam ettirilmiştir. *Radians* değerini tanımlayan değer parçaların katlanma açısını ifade etmektedir. *Simple Mesh* bileşeni sağ kısımda gösterilen *Mesh Join* bileşenine bağlanarak algoritma devam ettirilmiş ve sürecin sonunda ise katlanabilir kalıp sisteminin yüzeyini, katlanma doğrultularını, katlanma açısını, katlanan elemanların sayısını ve katlanma hareketini belirleyen değerler *Merge* bileşenine bağlanarak *Solver* bileşeni ile sistemin algoritmik modeli oluşturulmuştur. *Hinge* bileşenine ait *RestAngle* girdisi ise katlanma açısını tanımlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 5. Değişen katlanma açısına göre daire tabanlı modelin görünümü.

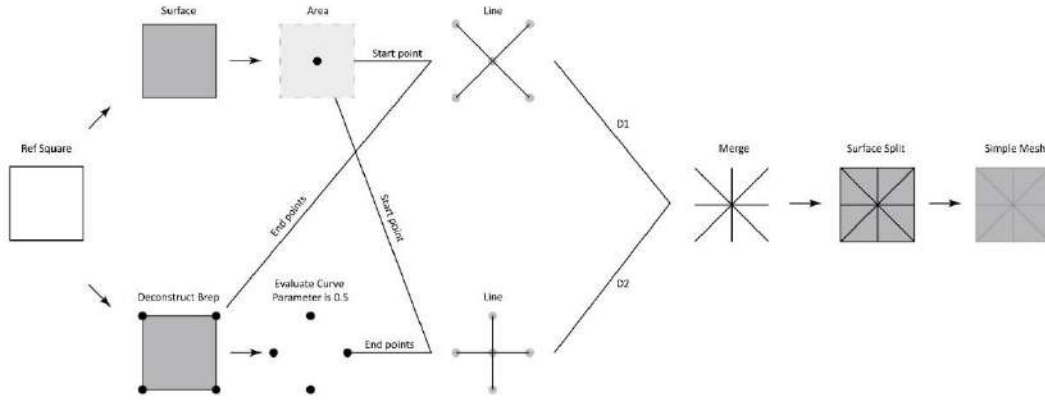
Değişen katlanma açısına göre kalıp modelinin geometrisi de değişecektir. *Boolean Toggle* bileşeni, *Solver* bileşeninin çalışmasını *Dur / Devam et* prensibiyle kontrol eden bir sigorta niteliğindedir. Bu değer *True* ise katlanma açısı değişse bile modelde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Modelin değişen katlanma açısına göre davranışını görmek için bu değer *False* olmalıdır (**Şekil 5**).



Şekil 6. Modelin katlanma sürecini gösteren diyagram.

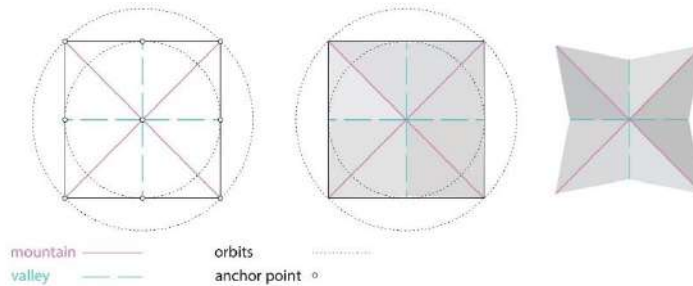
### 2.2.2. Kare Tabanlı Hesaplamalı Model

Daire tabanlı modele ek olarak, kare tabanlı modelin algoritması ve bu algoritma kullanılarak da hesaplamalı modeli Grasshopper aracılığıyla Kangaroo eklentisi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu algoritma kalıbın katlanabilir parçalarını üretmek için bir kare kullanarak katlanma noktalarını ve çizgilerini tanımlamaktadır.



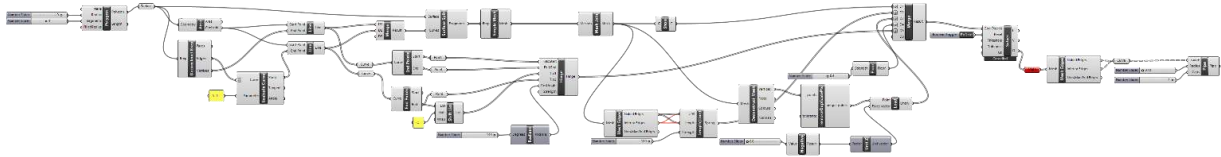
Şekil 7. Karesel zemini ve katlanma çizgilerini tanımlayan algoritmanın şematik gösterimi.

Oluşturulan kare yüzeyin köşe ve kenar orta noktaları belirlenerek ve bu noktalar karenin merkezi ile birleştirilerek modelin katlanma çizgileri oluşturulmuştur (Şekil 7).



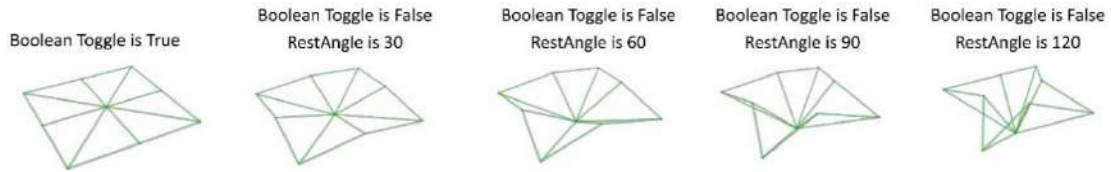
Şekil 8. Kare tabanlı modelin bileşenleri.

Mor çizgiler tümsek (mountain), mavi çizgiler çukur (valley) katlanma çizgilerini temsil etmektedir. Karenin köşe ve kenar orta noktaları ise dayanak noktalarını (anchor point) göstermektedir (Şekil 8).



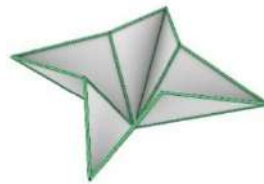
Şekil 9. Kare tabanlı hesaplamalı modeli tanımlayan bütünlük algoritma.

Modelin karesel zeminini oluşturmak için *Polygon* bileşeninin *Segments* girdisi 4 (kenar sayısı) olarak tanımlanmıştır. Daha sonra ise belirtilen adımlar izlenerek karenin merkezi ile köşelerini ve kenar orta noktalarını birleştiren katlanma çizgileri tanımlanmıştır. *Line* bileşenleri *Curve* bileşenlerine bağlanmıştır. Daha sonra ise belirtilen adımlar izlenerek modelin katlanabilir parçaları çizgisel olarak tanımlanmıştır. *Hinge* bileşenine ait *RestAngle* girdisi modelin katlanma açısını ifade etmektedir. *Simple Mesh* bileşeni ise *Mesh Join* bileşenine bağlanmıştır. Daha sonra ise yukarıda belirtilen adımlar izlenerek kare tabanlı katlanabilir kalıp model oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 10. Değişen katlanma açısına göre kare tabanlı modelin görünümü.

Katlanma açısına göre, kare tabanlı modelin geometrisi ve dolayısıyla derinliği de değişmektedir. *RestAngle* değeri arttıkça modelin katlanma derecesi de artacaktır (Şekil 10).



Şekil 11. Katlanmış haldeki kare tabanlı dijital model.



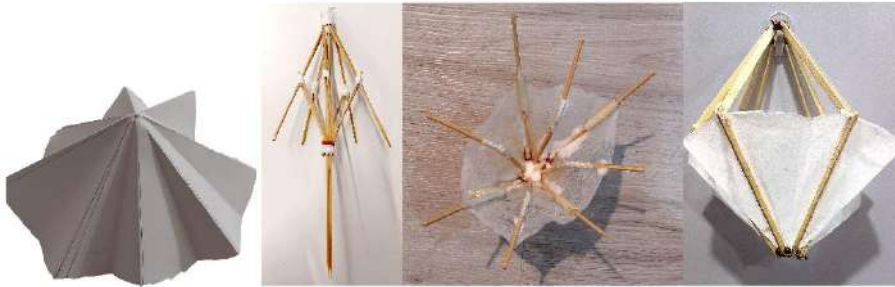
Yeşil renkle gösterilen parçalar kalıbın katlanabilir dinamik elemanlarını (taç yaprak), gri renkle gösterilen alanlar ise bu elemanları birleştiren kumaş yüzeylerini (gusset) temsil etmektedir (**Şekil 11**).

### 2.3. Fiziksel Modellerin Üretilmesi

Dijital (hesaplamalı) modellere ek olarak fiziksel modeller de üretilmiştir. Ayrıca süreç boyunca deneme amaçlı çeşitli fiziksel modeller üretilerek avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır.

#### 2.3.1. Daire Tabanlı Fiziksel Modeller

Daire tabanlı kalıp model için ilk olarak kalın kağıt kullanılarak bir fiziksel model üretilmiştir. Origami tekniği kullanılarak üretilen bu model daha sonra üretilecek modeller için referans olarak kullanılmıştır.



**Şekil 12.** (Soldan sağa) Daire tabanlı fiziksel model 1, 2, 3, 4.

Origami tekniği kullanılarak daire tabanlı fiziksel model 1 üretilmiştir. Gür ve diğerlerine (2020) göre origami, nesilden nesle aktarılan geleneksel bir Japon kağıt katlama tekniğidir. Origami temelli tasarımın amacı, iki boyutlu düzlemlerden üç boyutlu geometriler oluşturmaktır. Aynı zamanda origami, mimari tasarımlar için önemli bir yere sahiptir. Bu katlama stratejisi, karmaşık geometriler kullanılarak özellikle mimaride mekansal ve yapısal fikirlerin oluşturulmasında bir yöntem olarak kullanılmıştır (Gür et al., 2020). Daire tabanlı fiziksel model 2 için ilk olarak ahşap çubuklar kullanılarak bir şemsiye sistemi üretilmiştir. İlk olarak ince çubuklardan kısa olanlar uzun olanların orta noktalarından bantla birleştirilmiştir. Daha sonra birleştirilen ince çubuklar merkezdeki görece daha kalın çubuğa ucundan sabit ve ortasından hareketli olacak şekilde bant yardımıyla birleştirilerek çerçeve oluşturulmuştur. Katlanabilir parçaların birleştiği noktaya yukarı yönlü bir kuvvet uygulanırsa hareketli ince çubuklar yanlara doğru açılacaktır. Daire tabanlı fiziksel model 3 için ise ahşap

çubuklar, bakır tel, bant ve ıslak mendil kullanılmıştır. Sistemin iskeletini oluşturan ahşap çubuklar taç yaprakları (petal) ve ıslak mendil ise taç yapraklar arasındaki yüzeyleri (gusset) temsil etmektedir. Daire tabanlı fiziksel model 4 için ise kalın ahşap çubuklar, bakır teller, boncuklar, kablo kelepçeleri ve kaplama malzemesi olarak da kumaş kullanılarak üretilmiştir (**Şekil 12**).

### Daire Tabanlı Fiziksel Model 2:

#### Avantajlar

- Tüm sistemin tek bir noktadan kontrol edilebilmesi
- İnce ve hafif malzeme kullanımı

#### Dezavantajlar

- Dayanıksız ve kırılğan yapı
- Stabil olmayan bağlantı noktaları
- Kendi başına ayakta durabilme özelliğinin olmaması

### Daire Tabanlı Fiziksel Model 3:

#### Avantajlar

- Parçaların kolay birleştirilebilmesi
- Tek merkezli hareket

#### Dezavantajlar

- Zamanla yüzeylerin gerginliğini kaybetmesi

### Daire Tabanlı Fiziksel Model 4:

#### Avantajlar

- Tüm sistemin tek bir noktadan kontrol edilebilmesi
- Asılabilir strüktürel tasarım
- Ayarlanabilir bağlantı elemanı (kablo kelepçesi)
- Dayanıklı tavan ve taban nokta bağlantısı (bakır tel, boncuk)

#### Dezavantajlar

- Dengesiz (oynak) ahşap iskelet

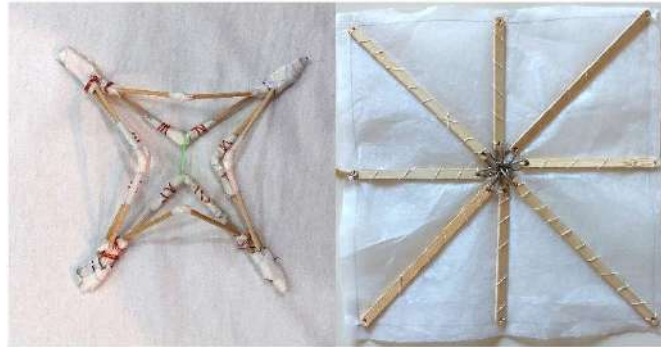


Şekil 13. Daire tabanlı fiziksel model 4 için üretim aşamaları.

Daire tabanlı fiziksel model 4 için üretim aşamasında kalem, bıçak, cetvel, pense ve tornavida gibi çeşitli araçlar kullanılmıştır (Şekil 13).

### 2.3.2. Kare Tabanlı Fiziksel Modeller

Kare tabanlı fiziksel model için iki farklı fiziksel model üretilmiştir.



Şekil 14. (Soldan sağa) Kare tabanlı fiziksel model 1, 2.

Kare tabanlı fiziksel model 1, dört ayak üzerinde durmaktadır. Modelin katlanabilir elemanları birbirine tel ve bant yardımıyla bağlanmış hareketli sekiz çift ahşap çubuktan oluşmaktadır. Altta iki çift çubuk, katlanma esnasında sisteme esneklik sağlaması için elastik saç lastiği ile bağlanmıştır. Saç lastiği enine gerildiğinde ahşap çubuklar katlanmakta ve sistem açılmaktadır. Kare tabanlı fiziksel model 2 ise ahşap çubuklar, ip, kumaş, bakır ve demir teller kullanılarak üretilmiştir. Yapının tüm katlanabilir parçaları kare yüzeyin merkezinde buluşmaktadır. Sekiz ayrı çubuktan oluşan simetrik bir yapıdır. Döküm sırasında çimentonun kalıbın ahşap kısımlarına temas etmemesi için kumaş yüzey ahşap çubukların arkasına yerleştirilmiştir. Bu

durum, kumaş yüzeyin kullanım süresini uzatacak ve katlanabilir kalıp modeli döküm için birden fazla kez kullanılabilir (Şekil 14).

#### Kare Tabanlı Fiziksel Model 1:

##### Avantajlar

- Esnek strüktürel tasarım
- Kendi başına ayakta durabilme kabiliyeti

##### Dezavantajlar

- Katlanabilme kabiliyeti düşük iskelet yapısı
- Kumaş kaplama için uygun olmayan yüzeyler

#### Kare Tabanlı Fiziksel Model 2:

##### Avantajlar

- Birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilir ahşap katlanabilir parçalar
- Sistemin kolay kontrol edilebilmesi
- Simetrik üretim için uygunluk
- Sağlam ve dayanıklı bağlantı detayları
- Asılabilirlik

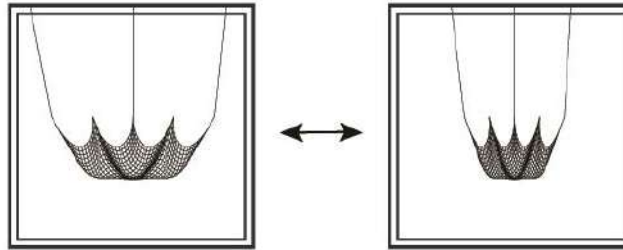
##### Dezavantajlar

- Dengesiz (oynak) ahşap iskelet



Şekil 15. (Sol) Kare tabanlı fiziksel model 2 birleşim detayı. (Sağ) Katlanabilir kalıp modelin ahşap çerçeveye asılması.

Soldaki görselde demir teller, ahşap çubukları merkez noktasındaki bakır tel ile birleştirmektedir. Sağdakinde ise beton dökümü yapılmak üzere kare tabanlı katlanabilir kalıp model ahşap çerçeveye asılmıştır (Şekil 15). Kalıp, iplerin çerçeve boyunca hareket etmesiyle açılıp kapanabilmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. Katlanabilir kalıp modelin ahşap çerçeve üzerindeki hareketi.

Model ve çerçeve arasındaki ilişki şu şekilde tanımlanmıştır:

- **Ahşap Çerçeve:** Model ahşap çerçeveye monte edilmiştir. Bu çerçeve, modelin asılabilmesi ve hareket ettirilebilmesi için kullanılan yapıyı tariflemektedir.
- **Eksen Boyunca Hareket:** Tasarım, modelin belli bir eksen boyunca açılıp kapanma yeteneğini dikkate almaktadır. Bu da modelin istenilen pozisyonda sergilenmesi için olanak sağlamaktadır.

- **Kontrol Mekanizması:** Kalıbın hareket kontrolü ipler aracılığıyla sağlanmaktadır. Kullanıcı, kalıbın istenilen yönde hareketini bu ipler aracılığıyla kontrol edebilmektedir.

#### 2.4. Katlanabilir Kalıp Aracılığıyla Beton Blokların Üretilmesi



Şekil 17. (Sol) Kare tabanlı katlanabilir kalıba beton dökümü. (Sağ) Üretilen beton blok.

Katlanabilir kalıbın asılabilir olması, döküm sürecini kolaylaştırmıştır. Ancak bu noktada, katlanmanın kontrolünü sağlayan kuvvetler yerçekimi ve dolayısıyla betonun ağırlığıdır. Ortaya çıkacak sonuç, kumaşın esneme miktarına bağlıdır. Katlanabilir çubuklar arasındaki kumaş yüzeyler, dökülen karışımın ağırlığından dolayı sarkma eğilimindedir (Şekil 17). Karışımında beyaz beton tozu ve su kullanılmıştır. Aşırı su kullanımı, betonun katılaşmasının uzun sürmesine neden olacaktır ve sonuç olarak dayanıklılık yönünden zayıf bir ürün elde edilecektir. Doğru miktarda su kullanımı, betonun dayanıklılığı açısından büyük bir öneme sahiptir. Kuruyan betonun kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak için kalıbın iç yüzeyine ince şeffaf poşet yerleştirilmiştir.



**Şekil 18.** (Sol) Daire tabanlı katlanabilir kalıba beton dökümü. (Orta) Üretilen beton blok. (Sağ) Beton blok taban yüzeyi.

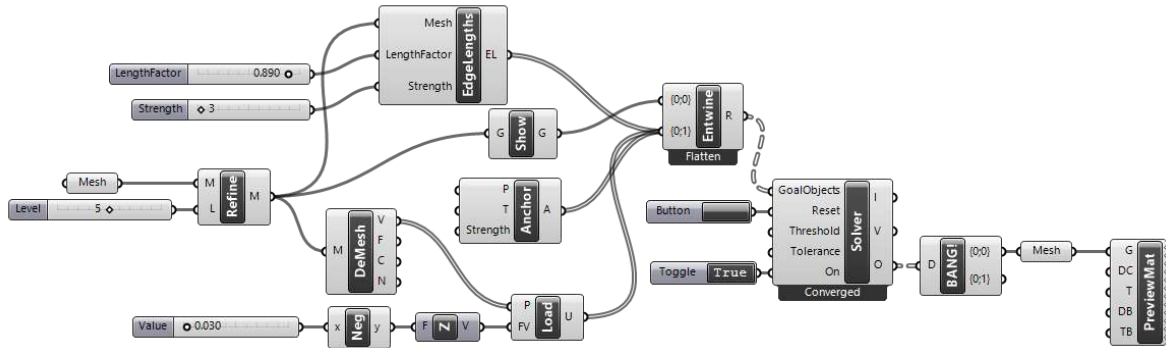
Daire tabanlı katlanabilir kalıp modeli bir kutunun içine yerleştirilmiş ve bir gün boyunca bekletilmiştir. Bu yöntem, modeli sabit bir noktaya asmaktan ziyade istenilen şekilde sabitlemek için uygulanmıştır. Kumaşın katlanmasından kaynaklanan çizgiler beton bloğun yüzeyinde görülmektedir. Bu durum, kumaş yüzeyin iyi gerilememesinden kaynaklanmaktadır. Beyaz beton ve suya ek olarak kullanılan alçıdan dolayı beton bloğun rengi **Şekil 17**'de gösterilenden farklı olarak beyazdan griye kaymıştır. Önceki örneğe göre daha az miktarda su kullanımı nedeniyle sağlamlığı çok daha iyidir ve ufulanma görülmemektedir. Taban yüzeyinde oluşan dalga desenleri ise karışımı oluşturan maddelerin homojen dağılmadığını göstermektedir (**Şekil 18**).



**Şekil 19.** (Sol) Fotogrametri yöntemiyle üretilen üç boyutlu beton blok modeli. (Sağ) Modelin Rhino ortamındaki yüzey dokusu, mesh wire.

## 2.5. Kumaş Yüzeyin Performans Analizi

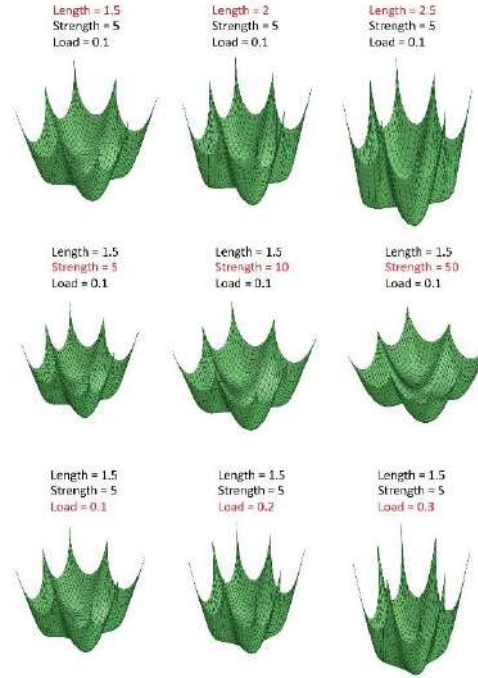
Üretilen fiziksel modeller ve bu modellerin Kangaroo eklentisi kullanılarak hesaplamalı tasarım yoluyla oluşturulan dijital karşılıklarına yukarıda değinilmiştir. Bu bölümde ise kumaş yüzeye ait performans değerlendirmesi yapılacaktır. Performans değerlendirmesi, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin pratik olarak uygulanabilirliğini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 20. Döküm esnasında kumaş yüzeyin davranışını tanımlayan Grasshopper algoritması.

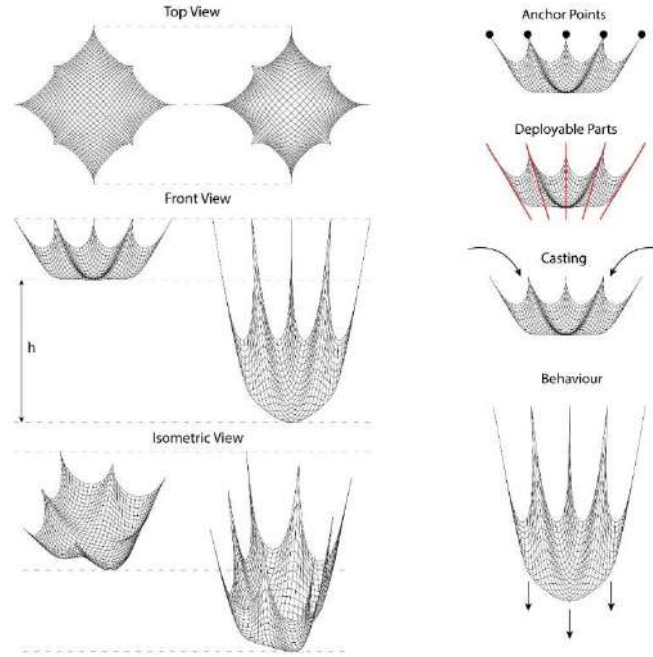
Kalıp sistemlerinin davranışlarını dijital ortamda değerlendirmek için görsel programlama aracı Grasshopper yazılımı ile simülasyonun algoritması oluşturulmuştur. Algoritmanın başında yer alan *Mesh* bileşeni Şekil 9'daki *Surface* bileşeni ile bağlıdır. *Load* bileşenine ait *FV* girdisi kumaş yüzeye etki eden yük miktarını, *EdgeLengths* bileşenine ait *Strength* girdisi ise kumaş yüzeyin mukavemetini göstermektedir (Şekil 20).





Şekil 21. Kumaş yüzeyin değişen parametrelere göre davranışı.

*Strength* değeri kumaşın türüne bağlı olduğundan kullanılan kumaşa ait doğru değeri bulmak zordur. Ancak bu değerdeki değişimin kumaşın davranışına olan etkisi gözlemlenebilmektedir (Şekil 21).

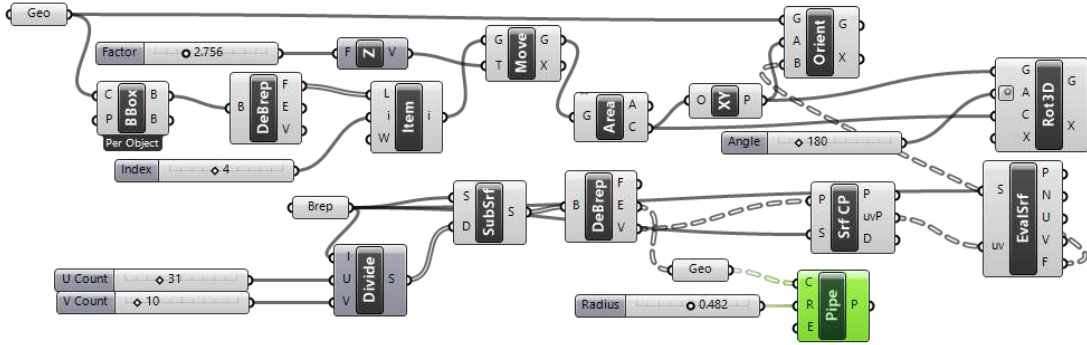


Şekil 22. Kumaş yüzeyin yük altındaki davranışı.

Dökülen karışımın ağırlığı nedeniyle kumaş yüzeyinde sarkma meydana gelmektedir. Eğer kumaşın dayanıklılığı yüksekse sarkma seviyesi düşüktür. Ayrıca  $h$  değeri kumaşın türüne ve dökülen beton miktarına bağlıdır (Şekil 22).

### 3. Vaka Çalışması

Bu aşamada, üretilen beton blokların mimarlık ve inşaat sektöründeki potansiyel kullanımına dair bir çalışma yapılmıştır. Beton blokların yapısal bileşen olarak kullanımına dair yapılan bu çalışma, gelecekteki uygulamalar için bir motivasyon niteliği de taşımaktadır.



Şekil 23. Vaka çalışması için oluşturulan Grasshopper algoritması.

Grasshopper aracılığıyla oluşturulan algoritma örnek strüktür çalışmasını tanımlamaktadır. Daha önce oluşturulan sayısal kalıp modeli *Geo* bileşenine atanmış ve sıradaki adımlar izlenerek strüktür oluşturulmuştur (Şekil 23).



Şekil 24. Beton blokların yapısal bileşen olarak kullanımı: (Üst) Plan görünüşü. (Alt) Perspektif görünüşü.

Üretilen sayısal beton bloklar Grasshopper algoritması ile oluşturulan küresel çerçeve strüktüre entegre edilmiştir. Yukarıdaki şekilde soldan sağa doğru çerçevenin boyutu sabit tutularak beton blokların sayısı artırılmıştır. Çerçeveye entegre edilen beton bloklar hem gölge elemanı hem de destekleyici yapı elemanı olarak kullanılmıştır. Bu çalışma, hafif çerçeve strüktürler için uygulanabilir bir örnek niteliğindedir (**Şekil 24**).

#### 4. Bulgular ve Yorum



**Şekil 25.** (Sol) Referans model. (Orta) Fiziksel model. (Sağ) Hesaplamalı model.

**Şekil 25**'te gösterilen referans model (Mavi Patates Çiçeği), üretilen fiziksel ve hesaplamalı model ile görsel açıdan benzerlik taşısa da davranışsal olarak farklılıklar içermektedir. Çiçek açma süreci boyunca taç yapraklar eş zamanlı ve eşit miktarda katlanma eğilimindedir. Ancak fiziksel model için bu durum söz konusu değildir. Katlanma kabiliyetine sahip ahşap çubuklar belli bir miktar da olsa birbirinden bağımsız hareket edebilmektedir. Sistemin stabil olmayan bu davranışı onu referans modelinden farklı kılmaktadır. Hesaplamalı modelde ise her iki durumdan farklı olarak çevresel etkenlerden bağımsız ve tam simetrik bir katlanma süreci söz konusudur. Katlanabilir elemanlar girilen açı değerine bağlı olarak eşit miktarda katlanmaktadır. Bu yüzden Grasshopper aracılığıyla oluşturan algoritmanın daha fazla veriye ihtiyacı olduğu açıktır.



Şekil 26. (Sol) Fiziksel model. (Sağ) Hesaplamalı model.

Kare tabanlı fiziksel model için tam simetrik bir katlanma sürecinden bahsedilememektedir. Ahşap çubuklar kısmen de olsa birbirlerinden bağımsız hareket edebilmektedir. Ancak hesaplamalı model için bu durum söz konusu değildir. Bir çubuğun hareketi diğerlerini de etkileyecektir. Ayrıca fiziksel modelde ahşap çubuklar merkezdeki dairesel bir bağlantı elemanına tutunmaktadır. Ancak hesaplamalı modelde bu parçalar ortak bir noktada birleşmiştir. Bu parçaların hareketine izin veren bağlantı elemanı algoritmada tanımlanmamıştır. Yine fiziksel modelde kumaş yüzeyde esnemeler mevcutken diğer modelde bu yüzeyler pürüzsüz ve gergin bir şekilde konumlanmıştır. Hesaplamalı modeli oluşturan algoritmanın yeterli veriye sahip olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 26).



## 5. Sonuç

Bu araştırma, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin yenilikçi tasarımı, üretimi ve potansiyel uygulamaları üzerine deneysel bir çalışma ortaya koymaktadır. Bu sistemler, geleneksel kalıp sistemlerine kıyasla daha esnek, ölçeklenebilir ve maliyet-etkin bir seçenek sunabilmektedir. Bunu yaparken, fiziksel ve dijital modellerden yararlanılmış, çıktılar arasındaki benzerlikler ve farklılıklar tartışılmıştır. Bu çalışma, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin potansiyelini vurgulamakla birlikte, endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan mevcut zorlukların ve çözüm yollarının da dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Sonuç olarak, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin inşaat endüstrisindeki rolünün giderek artacağı ve gelecekteki inşaat projelerinde önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Asefi, M., Foruzandeh, A. (2011). Nature and Kinetic Architecture: The Development of a New Type of Transformable Structure for Temporary Applications. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 5(6), 513-526.
- Zenter, Ö., Yildirim, M. T. (2020). Proposal of Bio-Inspired Kinetic Mechanisms Utilization for Providing Functional Flexibility In Architectural Design. *Gazi University Journal of Science*. 8, 643–656.
- Rugui, W., Jiaying, S. & Dai, J. (2019). Design Analysis and Type Synthesis of a Petal-inspired Space Deployable-Foldable Mechanism. *Mechanism and Machine Theory*. 141. 151–170.
- Akçay Kavakoğlu, A. (2020). Beyond Material - Digital Tectonics of Fabric and Concrete. Werner, L. and Koering, D. (Eds.), *Anthropologic: Architecture and Fabrication in the cognitive age - Proceedings of the 38th eCAADe Conference Volume 1*, TU Berlin, Berlin, G (pp.89-96). Berlin, Germany.
- Kobayashi, H., Horikawa, K. (2008) "Deployable structures in plants," *Advances in Science and Technology*, Vol. 58, pp. 31-40.
- Gür, H., İnce Güney, Y. & Gür Karabulut, B.Y. (2020). "Reflections of Origami to Architecture". *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*. 6(37), 1879-1887.

# Robotik Tasarım Yaklaşımlarında Sözel Olmayan İletişim Stratejileri: Myco-morphosis Örneği

Bengü Özmutlu <sup>1</sup> ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu <sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>ozmutlu21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>akcakaykavakoglu@itu.edu.tr

## Özet



İnsanlar ve robotlar arasındaki etkileşim, tasarım ve inşaat araştırmalarında, özellikle kolektif üretim ve birlikte tasarım alanlarında, Yapay Zeka (AI - Artificial Intelligence) ve robotik alanlarındaki gelişmelerle ön plana çıkmıştır. Bu etkileşim, inşaat sürecindeki kalıp çalışmaları, üretim ve imalat gibi çeşitli yollarla araştırılmış ve insan yaratıcılığı ile robotik hassasiyeti senkronize edilerek işbirlikçi iş akışları oluşturmayı hedeflemiştir. Bu çalışmalarda beton, ahşap ve çelik gibi geleneksel endüstriyel yapı malzemeleri çevresel etkileri nedeniyle sorgulanmakta ve iklim krizi endişelerine yanıt olarak biyolojik bazlı malzemelere geçiş yapılmaktadır. Zamanla dönüşme ve evrimleşme yeteneklerine sahip biyolojik bazlı malzemeler, statik ve dayanıklı endüstriyel malzemelerin yerini alarak esnek tasarımlara olanak sağlamaktadır. Bu geçiş, tasarım ve inşaat süreçlerindeki işbirlikçi iş akışlarının ve özellikle robotik tasarım yöntemlerinin yeniden değerlendirilmesini gerektirir. Robotlarla etkili sözlü iletişim, bu bağlamda kritik bir öneme sahiptir ve KUKA Robotik Language (KRL) arayüzü gibi sistematik yöntemler ve Rhino, Grasshopper gibi görsel programlama arayüzleri aracılığıyla insan-robot etkileşiminin biyobazlı malzemeler odağında geliştirilme potansiyeline sahiptir. Bu araçlar, özellikle biyolojik bazlı malzemeler kullanıldığında sezgisel iletişimi kolaylaştırır ve işbirlikçi iş akışlarının yeniden değerlendirilmesini sağlayarak gerekli iyileştirmeleri sağlar.

Biyomateryallerden miselyum bazlı malzemeler, zamanla büyüme ve değişme yeteneklerine sahip olduğundan, farklı iletişim yöntemlerini gerektirir. Miselyum, mantarların vejetatif kısmı olup, tarımsal atıkları alt tabaka olarak kullanarak kademeli olarak sertleşen ve ağ yapısı oluşturarak büyüyen bir özellik gösterir. Bu büyüme özellikleri; renk, desen, doku ve morfoloji değişikliklerine dayalı sözel olmayan iletişim sistemlerinin kullanımını mümkün kılar, bu da robotik kolektif tasarım yöntemlerinde kritik bir rol oynar. Bilgisayarlı Görü (CV) teknikleri, görüntü sınıflandırma ve nesne tespiti gibi sözel olmayan iletişim sistemleri, gerçek zamanlı tepkileri mümkün kılarak insan-robot etkileşimlerini geliştirir. Bu teknolojiler, otomatik nesne tespiti ve robotik montaj gibi görevler için kritik önem taşır, ancak miselyum bazlı malzemelerin morfolojik durumu üzerine odaklanan az sayıda çalışma bulunmaktadır.

"Myco-morphosis" vaka çalışması insan, robot ve canlı biyolojik bazlı malzemeler arasındaki etkileşimleri kolaylaştıran sözel olmayan iletişim sistemlerini ve geri bildirim dayalı süreç odaklı metodolojiyi detaylandırmayı amaçlamaktadır. Miselyum bazlı tasarım için işbirlikçi bir çerçeve oluşturmayı, gerçek zamanlı etkileşimleri incelemeyi ve yaratıcı tasarım süreçleri ve kolektif iş akışı hakkındaki temel araştırma sorularını ele almayı hedeflemektedir. Çalışma, 5 aşamada sürdürülmüştür: (1) etkileşim aktörlerinin ve rollerinin tanımlanması, (2) modüler tasarım sürecinin tanımlanması, (3) laboratuvar deneylerinin ve veri toplama yöntemlerinin açıklanması, (4) CNN (Convolutional Neural Network) modelinin eğitimi ve sistem senkronizasyonu ve (5) sözel olmayan iletişimin ve insan-robot-biyomateryal işbirliğinin dijital simülasyonu. Bilgisayarlı Görü teknikleri, görsel programlama yazılımları ve robotik kollar kullanılarak, bu çalışma insan-robot-canlı miselyum etkileşimlerinin karmaşık etkileşimini araştırmayı ve doğa tabanlı tasarım metodolojilerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Myco-morphosis biyolojik bazlı malzemelerin kullanıldığı tasarım süreçlerinde yaratıcı çözümler sunmayı hedeflemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sözsüz iletişim, robotik tasarım yöntemleri, biyo-tabanlı materyaller, kolektif yaratım, ortak tasarım, bilgisayarlı görme.

# Non-Verbal Communication Strategies in Robotic Design Approaches: The Case of Myco-morphosis

Bengü Özmutlu <sup>1</sup> ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu <sup>1</sup>   
<sup>1,2</sup> Istanbul Technical University  
<sup>1</sup>ozmutlu21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>akcakaykavakoglu@itu.edu.tr

## Abstract

*The interaction between humans and robots has become a focal point in design and construction research, particularly in the realms of co-creation and co-design, driven by advancements in Artificial Intelligence (AI) and robotics. This interaction has been explored through various avenues such as formwork studies, creation, and fabrication within the construction process, aiming to synchronize human creativity with robotic precision to create collaborative workflows. Traditional industrial building materials like concrete, wood, and steel are being scrutinized for their environmental impact, prompting a shift towards bio-based materials in response to climate crisis concerns. Bio-based materials, characterized by their ability to transform and evolve over time, are replacing static and durable industrial materials, enabling flexible designs. This transition necessitates a reevaluation of collaborative workflows in design and construction processes, particularly in robotic design methods. Effective verbal communication with robots is crucial in this context, with systematic methods such as the KUKA Robotic Language Interface (KRL) and visual programming interfaces like Rhino and Grasshopper enhancing human-robot interaction with a focus on bio-based materials. These tools facilitate intuitive communication, especially when incorporating bio-based materials, and enable necessary improvements by reassessing collaborative workflows.*

*Mycelium-based materials, being a subset of biomaterials, require different communication methods due to their growth and change capabilities over time. Mycelium, the vegetative part of fungi, utilizes agricultural waste as substrates, gradually solidifying and forming a network structure as it grows. These growth characteristics allow the use of non-verbal communication systems based on changes in color, pattern, texture, and morphology, which play a critical role in robotic co-design methods. Computer Vision (CV) techniques, such as image classification and object detection, enhance human-robot interactions by enabling real-time responses. These technologies are vital for tasks such as automatic object detection and robotic assembly, yet few studies have focused on the morphological status of mycelium-based materials.*

*The "Myco-morphosis" case study aims to elaborate on the non-verbal communication systems and feedback based process-led methodology that facilitate interactions between humans, robots, and living bio-based materials specifically mycelium. It seeks to establish a collaborative framework for mycelium-based design, examine real-time interactions, and address fundamental research questions regarding creative design processes and collective workflows. The study is structured into five stages: (1) identification of interaction actors and their roles, (2) definition of modular design process, (3) description of laboratory experiments and data collection methods (4) training the CNN model and system synchronization and (5) simulating the non-verbal communication and human-robot-mycelium collaboration computationally. Utilizing CV techniques, visual programming software, and robotic arms, this study aims to investigate the complex interplay of human-robot-living mycelium interactions and contribute to nature-based design methodologies. Myco-morphosis aims to offer creative solutions in design processes involving bio-based materials.*

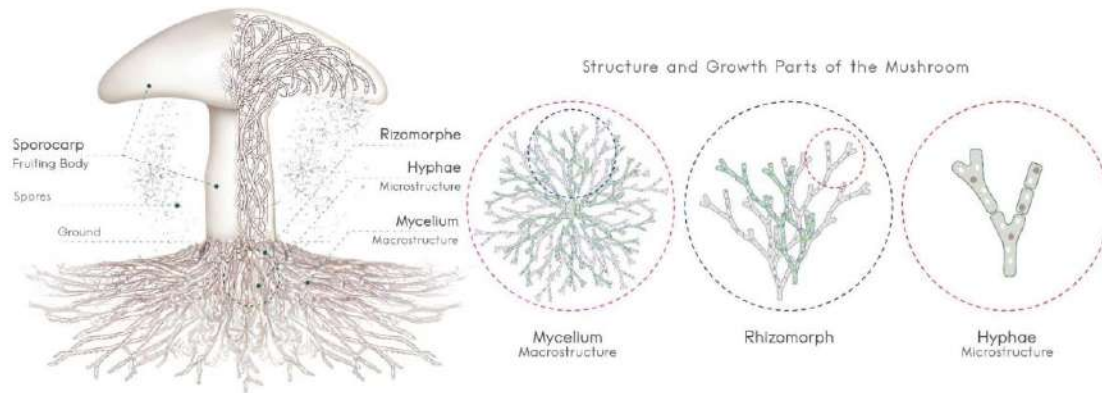
**Keywords:** Non-verbal communication, robotic design methods, bio-based materials, collective creation, co-design, computer vision.



## 1. Introduction

The interaction between humans and robots has become a focal point in design and construction research, particularly in the realms of co-creation and co-design, driven by advancements in Artificial Intelligence (AI) and robotics. This change is primarily driven by developments in AI and robotics, significantly expanding the possibilities for integrating robotic systems into creative and practical applications. Recent studies highlight the importance of human-robot interaction at various stages of construction processes. Culver et al. (2016) and Yang et al. (2019) have examined this interaction through formwork studies, demonstrating that synchronizing robotic precision with human creativity can enhance construction efficiency. Similarly, Mitterberger et al. (2022) have investigated the role of robots in production processes, while Ercan Jenny et al. (2023) have explored integrated fabrication processes, underscoring the potential for collaboration between humans and robots.

Critical developments in sustainability and environmental impact have prompted a reevaluation of traditional industrial building materials such as concrete, wood, and steel. Although these materials are durable and widely used, their environmental footprints contribute to climate change and resource depletion. In response to these concerns, there is a growing interest in bio-based materials, which are derived from renewable sources and possess the ability to transform and evolve over time. Bio-based materials such as mycelium, the vegetative part of fungi, offer promising alternative behaviors due to their sustainable nature and unique properties. Mycelium can utilize agricultural waste as substrates, gradually solidifying and forming a network structure as it grows, making it a potential candidate for innovative construction applications (**Figure 1**).



**Figure 1.** Structure and growth parts of the mushroom: mycelium (macrostructure), rhizomorphs, and hyphae (microstructure) (Source: authors).

Systematic methods such as the KUKA Robotic Language Interface (KRL) and visual programming interfaces like Rhino and Grasshopper establish verbal communication channels in human-robot interaction. However, the integration of bio-based materials into design, creation and construction processes introduces new challenges in these communication channels. Existing workflows and design methods developed for static materials are not suitable for living materials found in nature. This necessitates the development of new collaborative workflows and design approaches that can effectively integrate the dynamic nature of bio-based materials into the system. In this context, non-verbal communication between humans, robots, and bio-materials becomes critical.

Living biomaterials like mycelium, which have the ability to grow and change over time, present several challenges compared to traditional materials. Effective integration of these biomaterials into design and construction workflows requires the development of new communication methods and interactive collaboration techniques that facilitate the interaction between humans, robots, and bio-based materials. These methods must adequately manage the dynamic properties of these materials and adapt to their changes throughout the process.

The primary objective of this research is to explore and develop non-verbal communication systems that facilitate the interaction between humans, robots, and living biomaterials. This study addresses the Myco-morphosis case, which aims to establish a collaborative framework for mycelium-based design. The

framework seeks to enhance process-oriented design and collaboration, building upon the work of Alima et al. (2022) on the dynamics of mycelium-based design. Unlike Alima et al.'s study, which uses a final design to observe material behavior and feedback, this research structures a process-led design problem to address interactions through non-verbal communication. By utilizing Computer Vision (CV) techniques, visual programming software, and robotic arms, this study aims to contribute to nature-based design methodologies by investigating the complex interplay of human-robot-living mycelium interactions..

## 2. Theoretical Background

### 2.1. Introduction to Human-Robot Interaction in Design and Construction

Culver et al. (2016) and Yang et al. (2019) provided significant insights into Human-Robot Interaction (HRI) through their studies on mold patterns, laying the foundational principles of this field. Mitterberger et al. (2022) expanded upon this research by focusing on the role of robots in production processes rather than design, emphasizing the increasing integration of robotic systems in construction and fabrication environments. Building on these advancements, Ercan Jenny et al. (2023) examined integrated fabrication processes, highlighting the potential for collaboration between humans and robots. Their research showed that the synergy between human creativity and the precision and repeatability of robotic systems can lead to more efficient and flexible construction processes. The integration of robotic precision with human creativity promises a transformative impact on the design and execution of construction and manufacturing processes.

### 2.2. Bio-based Materials and Mycelium

Bio-based materials, such as mycelium, offer sustainable alternatives that require a reevaluation of collaborative workflows in design and construction processes (Thomsen, 2021; Modanloo et al., 2021; Thomsen & Tamke, 2022). Mycelium has significant potential for transformative changes in the construction industry, being utilized in various architectural applications like bio-composites, building components, and scaffolds for biomineralized engineered living materials (Attias et al., 2020; Viles, 2024; Muiruri et al., 2023). These mycelium-based composites are renewable, biodegradable, and align with circular economy principles, utilizing waste products as substrates and promoting biodiversity (Bitting et al., 2022; Barta, 2024).

The use of mycelium in architecture supports sustainable development principles by offering eco-friendly and resilient building practices (Echavarri-Bravo et al., 2019; Muiruri et al., 2023). It enables the creation of

modular interlocking systems, living structures, and components for 3D printing and robotic deposition, thereby expanding the applications of bio-based materials in architecture (Abdelhady et al., 2023; Diniz & Melendez, 2023; Ilgün & Schmickl, 2022). Combining digital technologies with biological processes allows for the development of bio-inspired architectural systems, integrating sustainability with advanced design principles (Chayaamor-Heil et al., 2023; Diniz & Melendez, 2023). The living and evolving nature of mycelium highlights the need for a new communication model to effectively integrate its dynamic properties.

### 2.3. Verbal Communication Models in Robotic Design

The integration of verbal communication models in robotic design is essential for improving human-robot interaction (HRI) in architecture. Effective communication between robots and users is critical for successful collaboration. Frijns et al. (2021) introduced the "AMODAL-HRI" model, a framework based on joint action theory, common robot architectures, and cognitive architectures, providing a comprehensive foundation for verbal communication strategies in HRI. Yablonina et al. (2021) emphasized the importance of architecturally embedded machines in adaptive spatial interactions, exploring innovative human-robot collaboration in spatial configuration tasks.

Banerjee & Moses (2010) contributed by enhancing modular robotic systems' communication through an immune system-inspired impact-response strategy, offering insights into robust communication architectures. Wei et al. (2008) proposed a middleware-based approach for flexible and scalable control architectures in modular robotic systems, focusing on component-based software architecture for reusability and interoperability. These studies collectively offer essential guidance for integrating verbal communication models into architectural robotic systems, ensuring effective and seamless human-robot collaboration.

### 2.4. Non-verbal Communication Potential with Computer Vision

The potential of Computer Vision (CV) technologies to enable real-time non-verbal communication in robotic design has been highlighted in various studies. Zhong (2024) explored the use of deep learning-based computer vision to enable robots to understand non-verbal human expressions, such as body language, in crowded public spaces. This research emphasizes that computer vision can enhance the effectiveness of robot interactions in dynamic and variable environments. Misaros et al. (2023) introduced an application that enhances human-robot communication by monitoring and interpreting gestures and facial expressions, further proving the impact of computer vision on non-verbal communication. Mazhar et al. (2018) presented a framework for real-time physical human-robot interaction using hand gestures, demonstrating how robots

can be adaptive and responsive during physical interactions. Ritschel et al. (2019) focused on synthesizing intentional and emotional non-verbal sounds for social robots, highlighting the role of audio design in robot communication and interaction. This study shows that auditory cues are crucial in complementing visual cues to convey emotions and intentions effectively in robotic feedback mechanisms.

In addition to these technological advancements, the inclusion of living materials such as mycelium in design holds potential for further enhancing non-verbal communication models. Mycelium's ability to grow and respond to environmental stimuli by forming dynamic and interactive surfaces can convey information through its physical changes. This characteristic allows mycelium to be perceived by robots as a form of body and gesture language. Integrating such living materials into robotic design can enable robots to interact with their environments and users in more organic and intuitive ways, adding new dimensions to non-verbal communication.

### 3. Methodology

The Myco-morphosis case study focuses on non-verbal communication systems to thoroughly examine interactions between humans, robots, and biological materials. The research of Alima et al. (2022) on robotic production and nature-based design dynamics forms the foundation for creating a collaborative framework for mycelium-based design in this research. However, instead of using a final design to observe material behavior and feedback, Myco-morphosis structures a process-oriented collaborative design problem. This aims to study interactions through non-verbal communications. Using design-focused research methods, Myco-morphosis seeks to simulate the resolution of a process-led design problem, investigate real-time interactions, and address fundamental research questions about creative design processes and collective workflows (**Figure 2**).

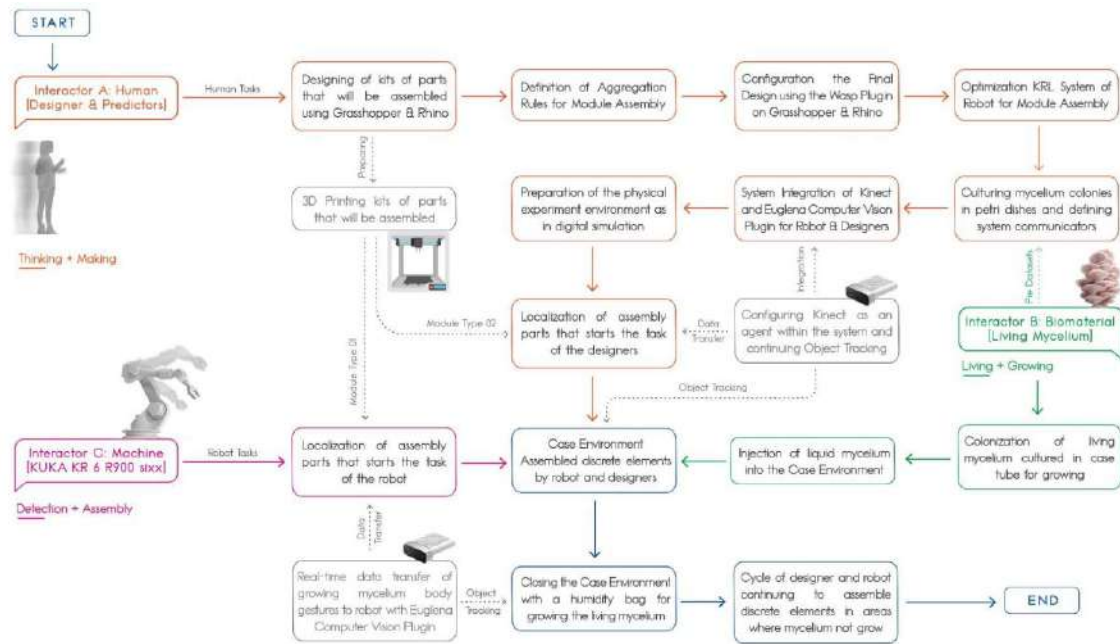
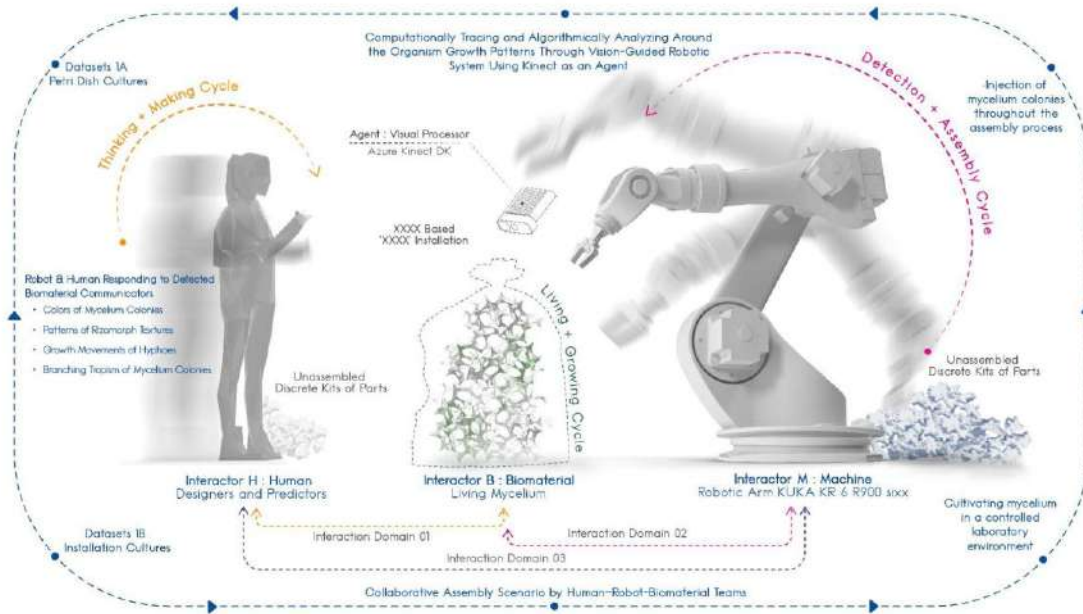


Figure 2. Process-led and practice-based methodology workflow diagram.

The Myco-morphosis study uses a collective and improvisational design approach to enable dynamic and adaptive interactions between humans, biological materials, and machines (Figure 3). The improvisational and collective design approach in this study includes dynamic communication and feedback mechanism, real-time monitoring and adaptation, collective design and integration. Humans and robots detect and respond to mycelium growth patterns and accordingly they adjust the assembly process through a dynamic communication and feedback mechanism. This communication and feedback emergence is enabled via real-time monitoring and adaptation where the Kinect monitors the mycelium in real-time and feeds the robot movements for real-time decision-making. Consequently, humans and robots develop strategies based on mycelium growth, which robots implement, allowing the biological material to shape the structure organically.



**Figure 3.** Improvisational and collective design approach: collaborative assembly scenario between interactors and tasks cycles.

The study is structured into five stages: (1) identification of interaction actors and their roles, (2) definition of modular design process, (3) description of laboratory experiments and data collection methods (4) training the CNN model and system synchronization and (5) simulating the non-verbal communication and human-robot-mycelium collaboration computationally.

### 3.1. Interaction Actors and Roles

Myco-morphosis which involves Human-Robot-Biomaterial collaboration, the identification of different actors and their specific tasks is crucial for the system's efficiency and the successful completion of the case. Turn-taking task distribution with feedback mechanisms comprises multi-actor interactions including human operators, digital design models, visual processors, robotic arms, and biomaterials. Each actor assumes specific roles throughout the processes of thinking, sensing, application, and assembly.

Humans, who are the initial actors, are labeled as *Interactor H* in this study. Humans identify and gather the unassembled discrete modules, which prepares them for subsequent tasks. They then evaluate the visual properties of the modules, including observing the growth and adhesion processes of the biomaterial. Based on the results of this visual analysis, they make strategic plans and design decisions regarding the module assembly. . After the analysis and planning phase, they assemble the modules at designated points, maintaining the system's integrity and thus becoming key actors in the design process.

Robots which are named as *Interactor R*, analyze visual data to identify and classify the modules, perceiving the growth, morphology, and adhesion of biomaterials on the modules. They then merge and combine information from the KUKA|prc command sequence to determine the position of the modules. Based on the integrated data, robots apply the predetermined rule system and execute the LIN (Linear Movement) commands specified in the sequence. In the picking task, robots grasp and move the modules. They perform the stabilization task to ensure that the modules are placed securely and stably. Finally, in the placement and release task, robots position and release the modules at the correct location, thus completing the design and assembly.

Biomaterial as the third actor named as *Interactor B*. The growth routine ensures the mycelium grows in a controlled environment, adhering to the modules and taking the desired form, guiding the organic shaping of the structure.

### 3.2. Modular Design Process

This study advances collaborative mycelium-based design by simulating digital design processes. It involves digitally designing modules for different tasks, ensuring structural integrity and assembly flexibility. The reason for selecting modular design is to enable the robot to facilitate pick and place operations and to more easily orient organic structures, thereby allowing for creative solutions. The design process supports both robotic and manual assembly, allowing the modules to adapt to various scenarios. **(Figure 4)** Connection points enhance structural consistency and simplify assembly, while collection rules ensure a holistic and flexible system operation.

The modules are designed for multiple assembly in a digital environment, promoting compatibility, balance, and stability. Their organic forms and fluid surfaces increase the growth area for mycelium, supporting optimal growth conditions and adherence. Three different digital assembly scenarios **(Figure 4)** have been defined for the case study: Robots assemble Module A, which can self-replicate at eight points through an



automated digital process. Robots follow a predetermined program for acquiring, positioning, and assembling the modules. Humans assemble Module B, which can self-replicate at four points through a manual digital process. This scenario leverages human creativity and decision-making, offering flexibility for complex structural requirements. A hybrid approach where robots and humans collaboratively assemble Modules A and B; robots handle repetitive tasks, while humans manage flexible and complex tasks, enabling effective collaboration and innovative design solutions.

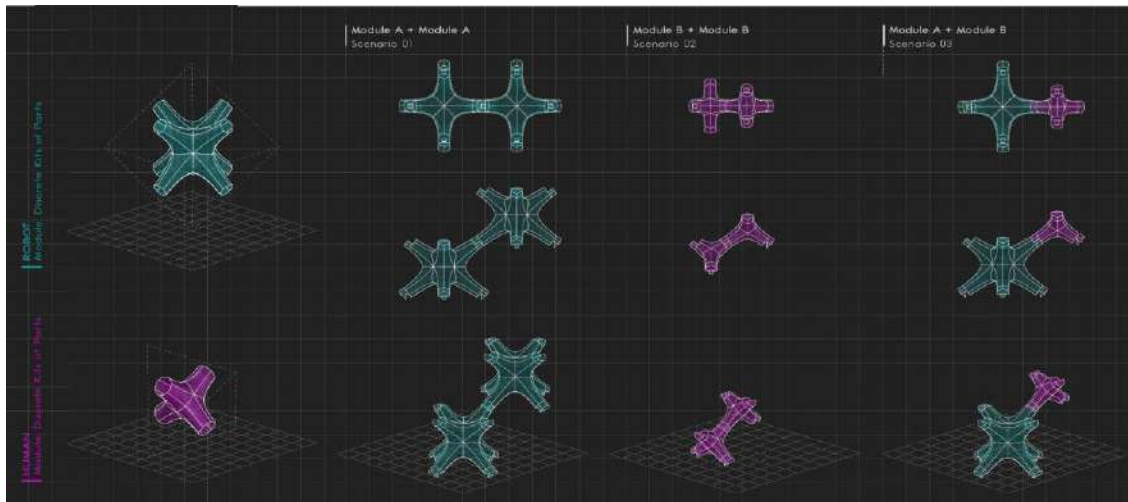
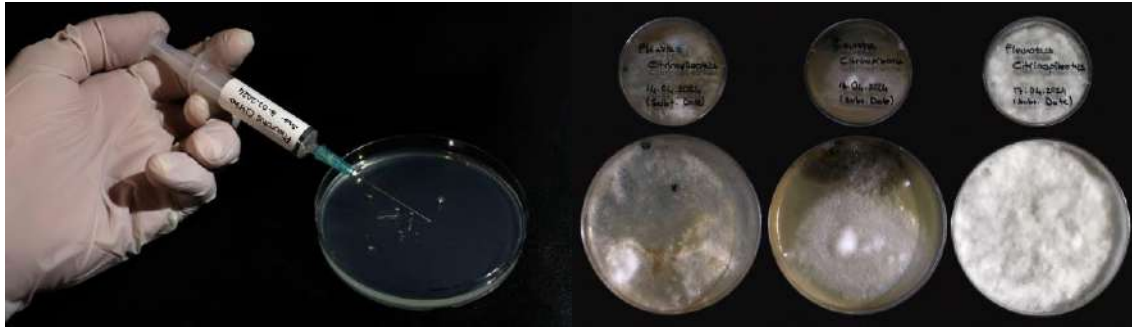


Figure 4. assembly scenarios of modules included tasks of robots and humans.

Rules were established to ensure structural integrity and functionality, enabling proper module assembly and a structured hierarchy. The design supports effective mycelium positioning and adherence, increasing its surface area for optimal growth. The system and scenarios allows flexible use of modules and adapts to both robotic and manual assembly, facilitating complex and dynamic digital design processes.

### 3.3. Laboratory Experiments and Data Collection Methods

Two laboratory experiments were conducted. In the first, mycelium from *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus djamor* was inoculated into 50 Petri dishes and monitored under various environmental conditions (Figure 5). Parameters such as growth, colony diameter, color changes, and contamination were recorded to create a dataset for a computer vision model.



**Figure 5.** Inoculation of *Pleurotus Citrinopileatus* mycelium into an SDA Petri dish under controlled conditions (A), initiation of the mycelium cultivation process, and mycelium cultures in petri dishes (B).

First experiment showed that high humidity and low light accelerated mycelium growth. *Pleurotus citrinopileatus* grew fastest in high humidity and darkness, with colony diameters up to 35 mm, exhibiting a filamentous, dense structure with wavy edges. *Pleurotus djamor* performed best in medium humidity and low light, with colony diameters of 28-30 mm, featuring a cottony, dense structure with smooth edges.



**Figure 6.** Inoculation of liquid mycelium into a module designed under controlled conditions, initiation of the mycelium cultivation process, and mycelium cultures on designed modules.

In the second experiment, mycelium was injected onto 3D-printed models using a bamboo-based filament (**Figure 6**). The experiment aimed to study mycelium growth in confined spaces and under various environmental conditions, using the same mycelium species (**Figure 7**). Parameters such as growth rate, colony diameter, color change, and structural morphology were recorded. The shape and size of the modules, along with the material, impacted mycelium adhesion and spread. This data formed the secondary dataset for training a CNN model.



**Figure 7.** Living mycelium traces and details observed on the modules after inoculation.

Results indicated that high humidity and low light conditions promoted faster, denser mycelium growth with filamentous structures and wavy edges. In low humidity and high light, growth slowed, colonies turned dark gray, and structures became sparse. Module size and shape influenced growth direction and speed, with larger colonies in wide, deep areas and limited growth in narrow, shallow spaces. These findings highlight the mycelium's sensitivity to environmental conditions and its behaviors in real-world scenarios.

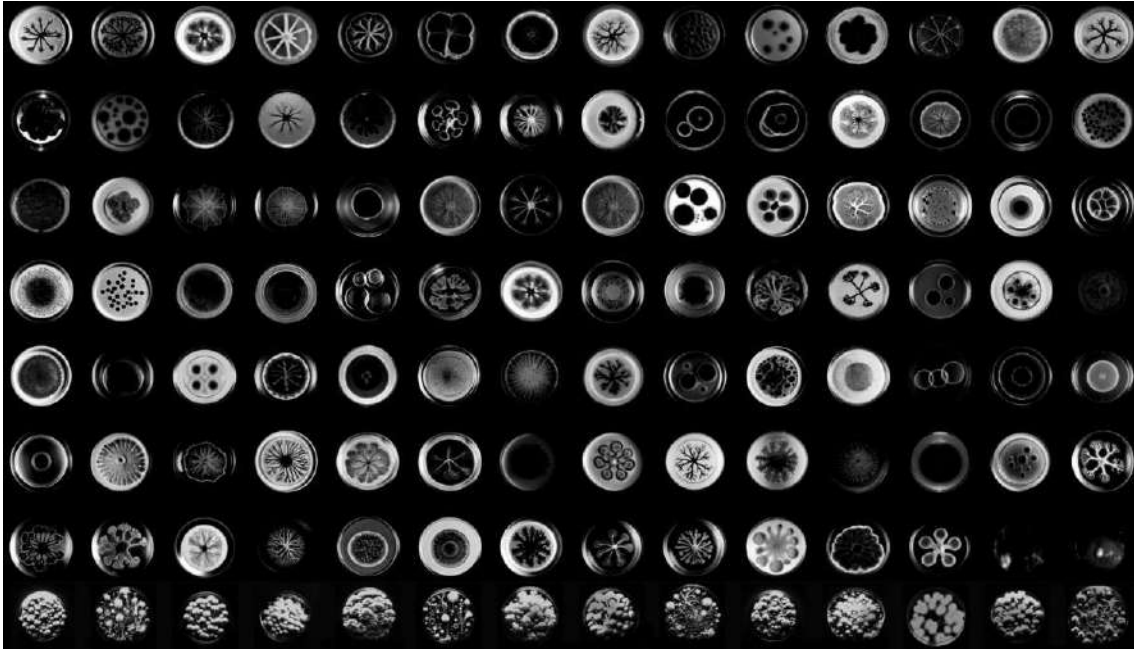
### 3.4. Training the CNN Model and System Synchronization

The data from these experiments show how mycelium characteristics, such as color, rhizomorph texture patterns, hyphal growth movements, and branching tropism, respond to environmental conditions. These changes are interpreted as biological responses to environmental stress.



**Figure 8.** Living mycelium traces and details observed on the modules after inoculation.

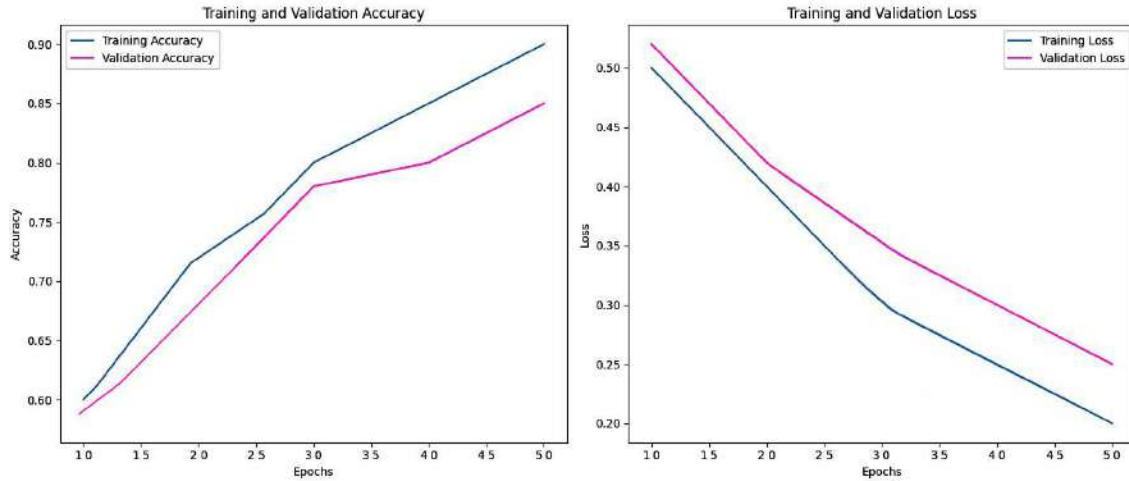
Rhizomorph texture patterns are a significant parameter during mycelium growth. Growth movements and branching tropism varied with environmental conditions. Under high humidity and low light, the mycelium exhibited a filamentous, dense structure with wavy and pointed edges. Conversely, under low humidity and high light, growth slowed, and colonies became sparse and filamentous. This indicates mycelium sensitivity to environmental signals, expressed through biological and morphological changes.



**Figure 9.** Depth Map of Rhizomorph Texture Patterns- Visual representation of mycelium growth, showing dense structures in high humidity/low light and sparse growth in low humidity/high light.

Physical data were used to create depth maps with the Azure Kinect tool, capturing both photographic images and depth maps. **(Figure 9)** Two datasets were created: (Dataset 1A) from Petri dish mycelium cultivation experiments, revealing growth characteristics under different conditions, and (Dataset 1B) from designed module growth experiments, showing mycelium growth in confined spaces and its response to various environmental conditions and microorganisms **(Figure 8)**.

These primary and secondary datasets trained a Convolutional Neural Network (CNN) model. Image processing techniques like rotation, translation, and brightness adjustments augmented the datasets. The dataset was split into 80% for training and 20% for validation. Model training used TensorFlow and Keras libraries, building the CNN with the Sequential API and various layers. Regularization techniques like Dropout and BatchNormalization prevented overfitting, and EarlyStopping stopped training if validation loss didn't improve for 10 epochs **(Figure 11)**.



**Figure 10.** Visualization of CNN Model Training Results - This graph depicts the training and validation accuracy (A) and loss over epochs (B), illustrating the model's performance and convergence throughout the training process.

During training, the model's performance was evaluated by monitoring training and validation accuracy and loss values. An increase in training accuracy and a decrease in loss values indicated good performance. However, early stabilization of validation accuracy and low validation loss suggested overfitting. To address this, more aggressive data augmentation, increased model complexity, and extended training duration were applied. These improvements led to better performance on both training and validation datasets. **(Figure 10)** The trained CNN model achieved high accuracy in classifying mycelium growth.

The trained model was integrated with the Script Component in Rhino Grasshopper, enabling the KUKA robot to identify mycelium growth areas based on color and texture. The model is linked to a Pick & Place routine in KUKA|prc, where it analyzes modules for mycelium growth, classifying them as "Mycelium Growth Present" or "Mycelium Growth Absent" **(Figure 12)**. These classifications are communicated to the robot, which then skips placing in areas with mycelium and completes placing in areas without mycelium using "LIN" (Linear Movement) commands to systematically move between specified points.

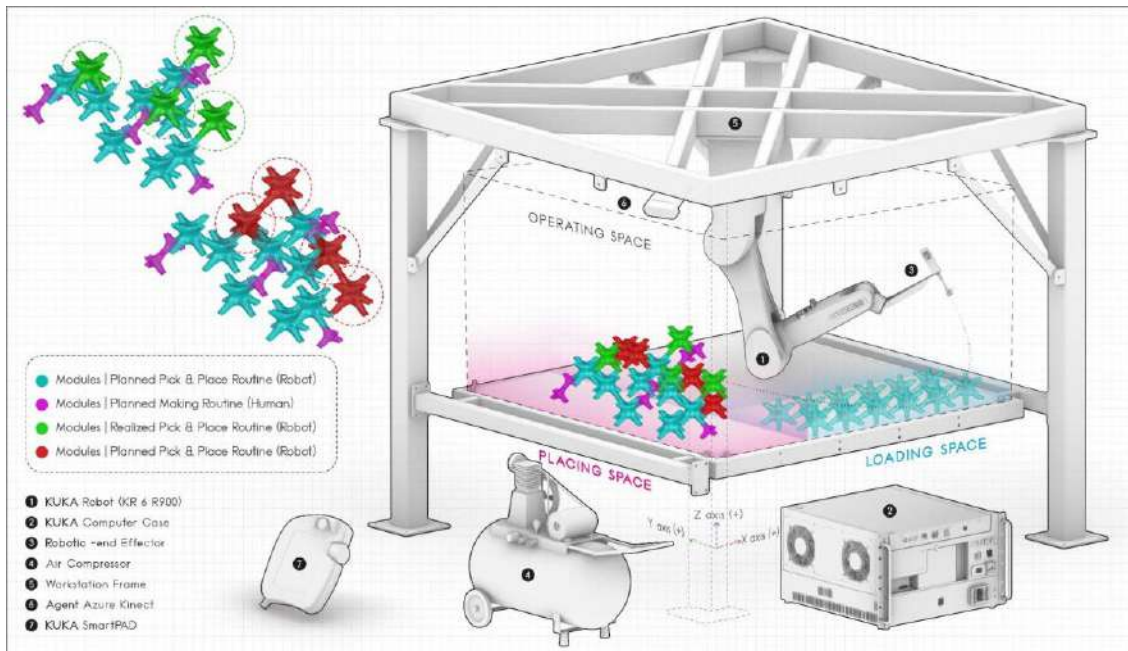


**Figure 11.** Integration of CNN Model with KUKA |prc - The model detects mycelium growth and guides the KUKA robot's Pick & Place routine, selectively avoiding areas with mycelium.

This setup enables the robot to obviously identify and respond to the mycelium growth surface, optimizing its actions based on the model's analysis. The growth areas and characteristics of mycelium serve as a "body language and gestures" for guiding the robot's movements and tasks. This approach enhances the use of biological data in robotic applications, improving the understanding of mycelium's intuitive interactions.

### 3.5. Computational Simulation: Testing Non-verbal Communication Procedure

This study conducted a computer simulation focusing on the collaboration between robots and humans for module placement and mycelium injection using KUKA |prc and Grasshopper. Initially, the robot correctly positioned five modules, with two placed independently and two interlocked. Simultaneously, seven modules planned for human placement were integrated, with three attached to robot-placed modules, three independent, and two interlocked.



**Figure 13.** Mycelium Detection Simulation Based on Color and Texture as Morphology - The robot identifies mycelium growth using color analysis, halting assembly in detected areas.

To simulate mycelium injection, Kinect depth map data of mycelium colonies were overlaid on the structure, and the robot observed these shadowed spots for 10 seconds. The robot scanned for mycelium traces and classified modules as either having mycelium growth (True-1) or not (False-0). For modules without mycelium, the robot continued its Pick and Place routine. **(Figure 13)** For those with mycelium, the robot halted assembly. This process was repeated using both color and texture analysis. The robot successfully distinguished mycelium growth and responded in real-time, demonstrating its capability to detect and appropriately react to mycelium based on both color and texture features.

#### 4. Result and Conclusion

The study successfully demonstrated the integration of non-verbal communication systems in robotic design through computational simulations and laboratory experiments regarding the Myco-morphosis case. Myco-



morphosis study demonstrates the potential of integrating bio-based materials, such as mycelium, into robotic design and construction processes, highlighting the applicability and effectiveness of non-verbal communication systems. The combination of computer vision techniques and real-time data processing has enabled the KUKA robot to dynamically interact with mycelium, responding to growth patterns and environmental stimuli. The findings indicate that environmental conditions significantly influence mycelium growth and that these growth patterns can be effectively monitored and interpreted using advanced computer vision technologies. The successful integration of the trained CNN (Convolutional Neural Network) model with the KUKA robot's operational system underscores the importance of developing intuitive and non-verbal communication frameworks for human-robot-biomaterial interactions. These frameworks allow the robot to interpret living material growth patterns, colors and morphological changes as a form of body language and gesture, optimizing its movements and operational tasks.

This research contributes to nature-based design methodologies, proving that innovative communication models can be developed to accommodate the dynamic properties of living, evolving bio-materials. By leveraging the compatible properties of mycelium and advanced robotic systems, the study paves the way for more sustainable and adaptable construction practices. The use of non-verbal communication systems enables robots to interact with bio-materials in a more organic and intuitive manner, fostering a natural, efficient, and collaborative working environment, and facilitating collective designs and creations. Within the scope of this study and results of simulation, the non-verbal communication strategies can be listed as follows:

**Table 1.** The non-verbal communication strategies according to the analysis of Myco-morphosis case.

Strategies	Description
Integration of Computer Vision Technology	Utilize advanced computer vision technologies to detect and monitor the growth patterns, color, and morphological changes of living bio-materials.
Real-Time Data Processing	Employ real-time data processing techniques to track the growth rate and direction of bio-materials and provide dynamic feedback based on this data.
Use of Machine Learning Models	Implement machine learning and deep learning models (e.g., Convolutional Neural Networks) to classify growth patterns of bio-materials and integrate these classifications into robotic systems.
Development of Intuitive Communication Frameworks	Create intuitive and non-verbal communication frameworks for human-robot-biomaterial interactions, establishing protocols that allow robots to interpret the physical changes of bio-materials.
Response Mechanisms	Develop mechanisms that enable robots to dynamically respond to the growth patterns, colors, and morphological changes of bio-materials.
Optimization of Human-Robot-Biomaterial Interactions	Develop new communication models to optimize interactions between humans, robots, and bio-materials, using biological data to create more natural and efficient working environments.
Dynamic Feedback Mechanisms	Provide real-time feedback to robotic systems by monitoring and analyzing the reactions of living bio-materials.
Adaptive Algorithms and Learning Systems	Develop continuously learning algorithms that enable robotic systems to adaptively respond to the growth and changes of bio-materials, predicting their development and adjusting accordingly.
Bio-Material Interactive Surface Design	Design special surfaces and structures that facilitate interaction between robots and bio-materials, supporting natural movements and growth of the materials while enabling robots to detect and respond to these changes.
Visual and Tactile Feedback Systems	Monitor and evaluate the interactions of robots with bio-materials through visual and tactile feedback systems, providing more precise and accurate interactions by conveying the physical responses and changes of the bio-materials to the robots.
Bio-Material Based Communication Protocols	Develop specific communication protocols to standardize the interaction between living bio-materials and robots, converting the physical and chemical signals of bio-materials into data formats that robots can understand.

Future research should focus on further improving these non-verbal communication models and exploring their applicability in broader architectural and construction contexts. Integrating robotic systems with bio-materials has the potential to create revolutionary changes in the construction and design fields.

## Acknowledgements

For this study, gratitude is extended to Mehmet Onur Senem for his support in preparing the simulation environment for the use of the robot and the laboratory setup. His contributions were invaluable in facilitating the practical aspects of this study. Special thanks also to Aykut Dağ for his technical assistance in photographing and recording the dataset. His photography passion, dedication, and support were pivotal to the successful completion of this research.




## REFERENCES

- Abdelhady, O., Spyridonos, E., & Dahy, H. (2023). Bio-modules: mycelium-based composites forming a modular interlocking system through a computational design towards sustainable architecture. *Designs*, 7(1), 20. <https://doi.org/10.3390/designs7010020>
- Alima, N. (2023). Interspecies Forms the hybridization of architectural, biological and robotic agencies. *Architectural Intelligence*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44223-023-00025-0>
- Alima, N., Snooks, R., & McCormack, J. (2022). Bio Scaffolds. In *Proceedings of the 2021 DigitalFUTURES: The 3rd International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2021)* 3 (pp. 316-329). Springer Singapore.
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., ... & Grobman, Y. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>
- Attias, N., Danai, O., Tarazi, E., Pereman, I., & Grobman, Y. (2019). Implementing bio-design tools to develop mycelium-based products. *The Design Journal*, 22(sup1), 1647-1657. <https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1594997>
- Barta, D. (2024). Mycelium-based composites as a sustainable solution for waste management and circular economy. *Materials*, 17(2), 404. <https://doi.org/10.3390/ma17020404>
- Banerjee, S. and Moses, M. (2010). Modular radar: an immune system inspired search and response strategy for distributed systems., 116-129. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14547-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14547-6_10)
- Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Mele, T., Dillenburger, B., & Block, P. (2022). Challenges and opportunities in scaling up architectural applications of mycelium-based materials with digital fabrication. *Biomimetics*, 7(2), 44. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020044>
- Capunaman, Ö. B., Dong, W., & Gürsoy, B. (2022). A vision-based sensing framework for adaptive robotic tooling of indefinite surfaces. *Construction Robotics*, 6(3), 259-275.

- Chayaamor-Heil, N., Perricone, V., Gruber, P., & Guéna, F. (2023). Bioinspired, biobased and living material designs: a review of recent research in architecture and construction. *Bioinspiration & Biomimetics*, 18(4), 041001. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/acd82e>
- Culver, R., Koerner, J., & Sarafian, J. (2016). Fabric forms: The robotic positioning of fabric formwork. *Robotic fabrication in architecture, art and design 2016*, 106-121.
- Diniz, N. and Melendez, F. (2023). Hybrid bio-based architectural systems: living organisms and upcycled waste materials for 3d printing and robotic deposition.. <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2023.2.321>
- Echavarri-Bravo, V., Eggington, I., & Horsfall, L. (2019). Synthetic biology for the development of bio-based binders for greener construction materials. *Mrs Communications*, 9(2), 474-485. <https://doi.org/10.1557/mrc.2019.39>
- Ercan Jenny, S., Mitterberger, D., Lloret-Fritschi, E., Vasey, L., Sounigo, E., Tsai, P.-H., Aejmelaeus-Lindström, P., Jenny, D., Gramazio, F., & Kohler, M. (2023). Robotic on-site adaptive thin-layer printing: Challenges and workflow for design and fabrication of bespoke cementitious plasterwork at full architectural scale. *Architecture, Structures and Construction*, 3(2), 145–156. <https://doi.org/10.1007/s44150-022-00062-9>
- Frijns, H., Schürer, O., & Koeszegi, S. (2021). Communication models in human–robot interaction: an asymmetric model of alterity in human–robot interaction (amodal-hri). *International Journal of Social Robotics*, 15(3), 473-500. <https://doi.org/10.1007/s12369-021-00785-7>
- İlgün, A. and Schmickl, T. (2022). Mycelial beehives of hiveopolis: designing and building therapeutic inner nest environments for honeybees. *Biomimetics*, 7(2), 75. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020075>
- Mazhar, O., Ramdani, S., Navarro, B., Passama, R., & Cherubini, A. (2018). Towards real-time physical human-robot interaction using skeleton information and hand gestures. 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). <https://doi.org/10.1109/iros.2018.8594385>
- Misaros, M., Stan, O., Donca, I., & Miclea, L. (2023). Autonomous robots for services—state of the art, challenges, and research areas. *Sensors*, 23(10), 4962. <https://doi.org/10.3390/s23104962>
- Mitterberger, D., Atanasova, L., Dörfler, K., Gramazio, F., & Kohler, M. (2022). Tie a knot: Human–robot cooperative workflow for assembling wooden structures using rope joints. *Construction Robotics*, 6(3–4), 277–292. <https://doi.org/10.1007/s41693-022-00083-2>
- Muiruri, J., Yeo, J., Zhu, Q., Ye, E., Loh, X., & Liu, Y. (2023). Sustainable mycelium-bound biocomposites: design strategies, materials properties, and emerging applications. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(18), 6801-6821. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c00831>
- Ogenyi, U., Liu, J., Yang, C., Ju, Z., & Liu, H. (2021). Physical human–robot collaboration: robotic systems, learning methods, collaborative strategies, sensors, and actuators. *Ieee Transactions on Cybernetics*, 51(4), 1888-1901. <https://doi.org/10.1109/tcyb.2019.2947532>
- Ritschel, H., Aslan, I., Mertes, S., Seiderer, A., & André, E. (2019). Personalized synthesis of intentional and emotional non-verbal sounds for social robots. 2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII). <https://doi.org/10.1109/acii.2019.8925487>

- Sağlam, S. and Özgünler, S. (2022). An experimental study on production opportunities of biocomposite by using fungal mycelium. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3(2), 237-260. <https://doi.org/10.47818/drarch.2022.v3i2056>
- Song, Y., Agkathidis, A., & Koeck, R. (2023). Augmented bricks an onsite ar immersive design to fabrication framework for masonry structures. *Computational Design and Robotic Fabrication*, 385-395. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8637-6\\_33](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8637-6_33)
- Subad, R. A., Saikot, M. M. H., & Park, K. (2022). Soft multi-directional force sensor for underwater robotic application. *Sensors*, 22(10), 3850. <https://doi.org/10.3390/s22103850>
- Thomsen, M. R. (2021). Entering a Bio-Based Material Paradigm: Probing Advanced Computational Methods for a Shift in Material Thinking. In *Design Studio Vol. 2: Intelligent Control*. RIBA Publishing.
- Thomsen, M. R. and Tamke, M. (2022). Towards a transformational eco-metabolistic bio-based design framework in architecture. *Bioinspiration & Biomimetics*, 17(4), 045005. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ac62e2>
- Viles, E. (2024). Mycelium as a scaffold for biomineralized engineered living materials.. <https://doi.org/10.1101/2024.05.03.592484>
- Wei, H., Shiyi, L., Zou, Y., Yang, L., & Wang, T. (2008). A middleware based control architecture for modular robot systems.. <https://doi.org/10.1109/mesa.2008.4735730>
- Yablonina, M., Ringley, B., Brugnaro, G., & Menges, A. (2021). Soft office: a human–robot collaborative system for adaptive spatial configuration. *Construction Robotics*, 5(1), 23-33. <https://doi.org/10.1007/s41693-021-00056-x>
- Yang, X., Loh, P., & Leggett, D. (2019). Robotic variable fabric formwork. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(3), 404–413.
- Zhong, W. (2024). Improving visual perception of a social robot for controlled and in-the-wild human-robot interaction.. <https://doi.org/10.1145/3610978.3640648>

# Tarihi Ahşap Yapı Bileşenlerinin Belgelenmesi ve CNC ile Yeniden Üretimi

Baver Bekiroğlu <sup>1</sup> ; Sema Alaçam <sup>2</sup> ; Orkan Zeynel Güzelci <sup>3</sup> 

<sup>1, 2, 3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>bekiroglu21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>alacams@itu.edu.tr; <sup>3</sup>guzelci@itu.edu.tr

## Özet

*Kültürel miras öğeleri, toplumların belleklerini ve geçmiş üretimlerini gösteren varlıklardır. Bu varlıkların gelecek nesillere aktarılması toplumsal açıdan önem taşımakta ve disiplinler arası bir çalışma alanı olarak kabul görmektedir. Dijital araçlar, kültürel miras (KM) öğelerinin belgelenme süreçlerinin verimliliğini arttırdığı için bu alanda günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dijital araçlarla belgelenen öğelerin, dijital mecralar ile yayılması ve KM ögesinin görünürlüğüne artırılması daha yaygın olsa da belgelenen öğelerin yeniden üretilmesi de önemli bir çalışma konusudur. Ahşap kültürel miras unsurları insan müdalesi, doğa olayları ve zamana bağlı olarak malzeme mukavemetinin azalmasıyla deforme olmaya yatkındır. Bu bağlamda sürdürülebilir bir koruma yaklaşımı bakımından ahşap mirasın belgelenmesi, dijital kopyalarının oluşturulması ve gerektiği durumlarda fiziksel kopyalarının yani replikalarının oluşturulması bir gereklilik haline gelmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye’de ahşap oyma süslemeli sütunları ile özgün bir örnek teşkil eden Sivrihisar Ulu Cami’sine odaklanılmaktadır. Sütun gövdelerindeki ahşap oyma süslemelerinin fotogrametri tekniğiyle dijital kopyalarının oluşturulması, modellerin dijital yöntemlerle fiziksel kopyalarının oluşturulabilmesi için optimize edilmesi ve CNC araçları kullanılarak yeniden üretilmesine ilişkin bir çerçeve sunulmaktadır. Sivrihisar Ulu Cami’sinin UNESCO Dünya Mirası Listesi’nde olması, Anadolu’daki ahşap direkli camilerin ilk örneklerinden olması, ve özgün süsleme detaylarıyla beraber korunmuş örnekleri arasında yer alması nedeni ile dikkat çekmektedir. Giderek azalan zanaatkar sayısı ve örtük bilginin kaybolması nedeni ile CNC yöntemleri ile yeniden üretim bu noktada kaybolan mirasın yeniden üretiminde önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir. Çalışma aynı zamanda dijital belgelemede erişilebilir yöntemlerin önemine dikkat çekmektedir. Bu bağlamda dijital belgelemede yaygın bir yöntem olan fotogrametri tekniği ile Sivrihisar Ulu Cami’nin sütunlarının üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Veri işleme aşamasında, ücretsiz bir yazılım olan Blender ve endüstride bu amaçla yaygın olarak kullanılan yazılım olan Geomagic Wrap yazılımları kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Son aşamada, sütunların yeniden üretimi için SprutCAM yazılımı ile üretim simülasyonu hazırlanmıştır. Sütunların çok yönlü işlenmesi gerektiğinden bu simülasyonda CNC üretim aracı olarak 6 eksenli Kuka KR200 robot kol tercih edilmiştir. Sonuç bölümünde tercih edilen yazılımların ve simülasyonların yeterliliği tartışılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Kültürel miras, replika, fotogrametri, CNC.

# Documentation of Historical Wooden Building Components and Reproduction by CNC

Bayer Bekiroğlu<sup>1</sup> ; Sema Alaçam<sup>2</sup> ; Orkan Zeynel Güzelci<sup>3</sup>   
<sup>1, 2, 3</sup>Istanbul Technical University  
<sup>1</sup>bekiroglu21@itu.edu.tr; <sup>2</sup>alacams@itu.edu.tr; <sup>3</sup>guzelci@itu.edu.tr

## Abstract

*Cultural heritage elements are assets that showcase the collective memory and historical production of societies. The transmission of these assets to future generations holds significant societal importance and is recognized as an interdisciplinary field of study. In recent years, digital tools have become widely used in the documentation processes of cultural heritage (CH) elements due to their ability to enhance efficiency. While the dissemination and increased visibility of documented elements through digital platforms is common, the reproduction of these documented elements is also a critical area of focus. Wooden cultural heritage elements are particularly prone to deformation due to human intervention, natural events, and material degradation over time, posing a risk of their eventual loss. Consequently, documenting wooden heritage, creating their digital copies, and, when necessary, producing their physical replicas are essential for their preservation. This study presents a framework for the photogrammetry-based digital documentation of the wooden carved columns of Sivrihisar Ulu Mosque, an exemplary model with its intricate wooden carvings. The digital models are optimized for physical reproduction using digital methods, and the process of re-creating the columns using CNC tools is demonstrated. Sivrihisar Ulu Mosque, recognized for its inclusion in the UNESCO World Heritage List, stands out as one of the earliest examples of wooden-columned mosques in Anatolia and is notable for its well-preserved decorative details. The decreasing number of artisans and the loss of tacit knowledge make CNC methods significant in the reproduction of lost heritage. The study also emphasizes the importance of accessible methods in digital documentation. In this context, the three-dimensional models of the columns were created using the widely adopted photogrammetry technique. During the data processing stage, both the free software Blender and the industry-standard Geomagic Wrap software were utilized and compared. In the final stage, a production simulation was prepared using SprutCAM software for the columns' reproduction. Given the necessity of multi-faceted processing, a 6-axis Kuka KR200 robotic arm was chosen as the CNC production tool in the simulation. The conclusion discusses the adequacy of the chosen software and simulations. By documenting and re-producing the columns of Sivrihisar Ulu Mosque, this study contributes to the preservation of cultural heritage and highlights the potential of digital and CNC methods in overcoming the challenges posed by the decline of traditional craftsmanship.*

**Keywords:** Cultural Heritage, Replica, Photogrammetry, CNC.

## 1. Giriş

Kültürel miras, geçmişten bugüne varlığını sürdüren tarihi, sanatsal, arkeolojik, mimari unsurları ve kolektif belleğe dahil olan zanaat, halk oyunları gibi soyut unsurları temsil eder. Kültürel miras, insanların ortak belleğini ve birikimlerini oluşturur ve insanlık tarihindeki önemli olayları, yerleri ve nesnelere yansıtır. Bu nedenle, kültürel mirasın korunması, gelecek nesillere aktarılması ve değerinin anlaşılması son derece önemlidir. Koruma ve anlamının gerçekleştirilebilmesi için, miras nesnesinin güncel durumunu tespit ve kayıt etmek yani belgelemek önem taşımaktadır.

Günümüzde belgeleme işlemi için, belgeleme süreçlerini kısaltmak, belgelemedeki doğruluk oranını artırma gibi avantajları sebebiyle sıklıkla dijital belgeleme teknikleri tercih edilmektedir. Bunlar fotogrametri, lidar ve lazer tarama gibi tekniklerdir. Dijital belgeleme araçları ile belgeleme, nesnenin dijital ortamda modelini oluşturmak açısından da avantajlıdır. Dijital ortamda korumanın ana motivasyonları hasar durumunda bilgilerin kaybolmamasını sağlamak, sanal müzeler aracılığıyla yaygınlaştırmak, fiziksel kopyalar oluşturmak, sahtecilik tespiti ve gerçek nesneden zor elde edilen geometrik bilgilerin toplanmasını sağlamak şeklinde açıklanır (Gomes ve diğ., 2014).

Dijital belgeleme yöntemlerinden biri olan fotogrametri, günümüzde kullanılan akıllı telefonlar gibi erişilebilir araçları kullanarak nesnelerin dijital ortamdaki kopyalarının oluşturulmasına imkan vermesi açısından sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Aicardi ve diğ., 2018). Fotogrametri yöntemi ile dijital modeli oluşturulan nesnelerin çeşitli yöntemlerle fiziksel kopyalarını yani replikalarını oluşturmak mümkündür. Replikalar sayesinde miras nesnelere, direkt temas etmenin doğuracağı zarar görme riski olmaksızın yakından incelenebilir ya da nesneye farklı konumlarda erişim sağlanabilir. Bu sayede miras nesnesinin erişilebilirliği ve toplumun nesneye olan aşinalığı artırılabilir.

Türkiye ahşap kültürel mirası bakımından zengin bir ülkedir fakat ahşap yapı malzemesi yangın, insan faktörü gibi dış etmenler tarafından zarar görmeye çok açıktır, bu nedenle belgelenmeleri ve korunmaları önem teşkil etmektedir. 2023 yılında Türkiye kültür mirasınında önemli bir yer edinen ahşap direkli camilerden olan Afyonkarahisar Ulu Cami, Konya'daki Beyşehir Camii, Eskişehir'deki Sivrihisar Ulu Cami, Kastamonu'daki Mahmut Bey Camii ve Ankara'daki Eşrefoğlu Camii UNESCO Dünya Mirası listesine alınmıştır (UNESCO, 2023, 45 COM 8B.46). Bu camilerde ahşap sütun gövdeleri, sütun başlıkları, kirişleri, minber gibi alanlarda uygulanmış olan ahşap oyma işçilikleri ilgi çekicidir (Aktemur, 2002; Öney, 1971).

Bu çalışmada, kültürel mirasın bir parçası olan bu camilerdeki ahşap süslemelerin belgelenmesi, dijital modelinin üretilmesi ve dijital modeller aracılığıyla fiziksel kopyaların üretilmesi için erişilebilir ve



tekrarlanabilir bir çerçeve oluşturma amacıyla Sivrihisar Ulu Cami için bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Vaka çalışması kapsamında, Sivrihisar Ulu Cami'nin sütun gövdelerindeki ahşap oyma süslemeler sınıflandırılmış ve fotogrametri tekniği ile belgelenmiştir. Ardından, fotogrametri aracılığıyla elde edilen modellerin optimize edilmesi için ücretsiz bir yazılım olan Blender ve bir ileri mühendislik yazılımı olan Geomagic programlarının performansı karşılaştırılmıştır. Son aşamada, fiziksel kopya üretimi için üretilen dijital modelleri, CNC robot kol işleme simülasyonuna aktarılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

## 2. Arka Plan

### 2.1. Kültürel Mirası Belgeleme

Kültürel mirasın belgelenmesinde çeşitli geleneksel ve dijital yöntemler kullanılmaktadır. Fotogrametri ve diğer tarama yöntemleri son zamanlarda yüksek doğrulukta model üretme kapasitesi ile ön plana çıkmaktadır (Pavlidis ve diğ., 2007). Ancak fotogrametri süreçleri veri toplama aşamasında fotoğraf çekme gibi yaygınlaşmış ve erişilebilir bir dökümandan yararlandığından kültürel mirasın belgelenmesinde hem ucuz hem de erişilebilir bir dijital yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Kültürel mirasın dijitalleştirilmesinde başlıca motivasyonlar Guidi ve Frischer (2020) tarafından görselleştirme ve etkileşim, akademik, uzaktan ziyaret, dijital rekonstrüksiyonlar ve modifikasyonlar, replika (kopya) üretimi ve 3B (Üç boyutlu) arşivler oluşturma başlıkları ile ilişkilendirilip açıklanmıştır.

Bu çalışmanın motivasyonunu oluşturan kültürel miras unsurlarının replikalarının oluşturulması, nesnelerin dijital modelleri oluşturulduktan sonra 3B yazıcı gibi eklemeli yöntemler ya da CNC (Computer Numerical Control - Bilgisayarla Kontrollü İmalat) frezeleme gibi eksiltmeli yöntemler kullanılarak yapılabilir. Üretilen replikalar kimi zaman bütünlüğü bozulmuş kültürel miras nesnesini desteklemek için kullanılabilir. Örneğin, Baumeister ve diğ. (2020) tarafından ele alınan 17. yy. tarihli Cassiobury Evi Merdivenlerinin eksik başlık süsleri için yapılan çalışma kapsamında merdivenin halihazırda var olan orijinal ahşap başlık süslemelerinden, en iyi korunmuş olanı olanın lazer tarama yöntemiyle dijital modeli oluşturulmuş, sonrasında CNC frezeleme tekniği ile ahşap başlıkların replikaları üretilmiş ve mevcut durumda eksik olan başlık süslemeleri bu replikalar kullanarak tamamlanmıştır (Baumeister ve diğ., 2020). Kültürel miras öğesinin yerine geçmeyi ya da öğeye eklenmeyi hedefleyen, sadece kültürel miras nesnesine fiziksel teması kolaylaştırmak için gerçekleştirilen replika üretimi çalışmaları da mevcuttur. Örneğin Norina ve Liu (2021) ahşap miras öğelerinin dijital fabrikasyon ile yeniden üretilmesi bağlamında, bir kilisenin ahşap kolon başlığını fotogrametri ile belgeleyerek dijital modelini oluşturmuş, ardından robotik kol ve CNC kullanarak prototiplerini üretmişler. Doğal afetler ya da savaş gibi beşeri etkenler nedeniyle gelecekte yok olma ihtimali

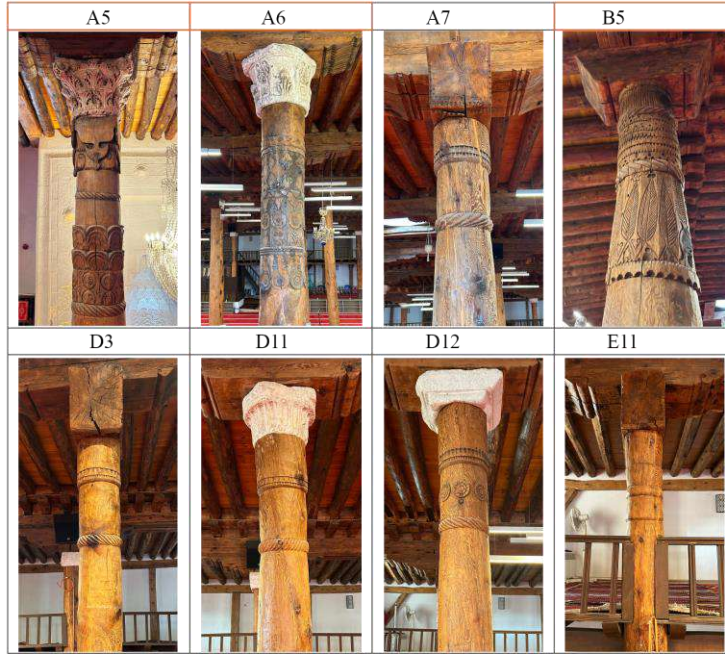
bulunan kültürel miras nesnelere korunması adına, bir güvenlik önlemi olarak da replika üretimi yapılabilir (Balletti ve Ballarin, 2019).

## 2.2. Sivrihisar Ulu Camii

Sivrihisar Ulu Camii, 1974 yılında gerçekleştirilen restorasyon çalışmalarının ardından bugünkü görünümüne kavuşmuş olup, Anadolu'daki ahşap direkli camiler arasında önemli bir konuma sahiptir. Dış kabuğu kagir olan bu yapının iç mekanı, 63 adet meşe ağacından yapılmış ahşap sütun bulunmaktadır ve bu sütunlardan ahşap süsleme barındıran dördü günümüze kadar orijinal halleriyle korunmuştur (Aslanapa, 1972). Mihrabın önünde yer alan iki sütun koyu renklidir, taş sütun başlıklarına sahiptir ve zengin oyma ahşap süslemeler ve kalem işleriyle bezenmiştir. Bu sütunlardaki oyma işçiliği, Orta Asya kökenli eğri kesim tekniği kullanılarak yapılmış olup, Anadolu'da ender rastlanan bir ahşap işçiliği tekniğidir (Öney, 1970; Aktemur, 2002).

## 3. Vaka Çalışması

Vaka çalışması kapsamında Eskişehir'in Sivrihisar İlçesinde bulunan Sivrihisar Ulu Camii ziyaret edilmiş **Şekil 1**'de gösterilen sütunlar fotogrametri ve tablet entegre lidar ile belgelenmiştir. Ancak tablet entegre LiDAR sonuçları, çalışmanın odağında olan ahşap oyma süslemelerin ayrıntılarını ifade etme konusunda fotogrametri yöntemine göre çok yetersiz kaldığından çalışmanın belgeleme yöntemi fotogrametri olarak belirlenmiştir (**Şekil 2**). Veri toplama aşaması bir gün sürmüştür. Fotogrametri modellerinin oluşturulma süreci birkaç güne bölünmüş programın en iyi modeli üretebilmesi için gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan Sivrihisar Ulu Camii ahşap taşıyıcı sütunlarındaki ahşap oyma işleri mobil entegre LiDAR ve fotogrametri yöntemleriyle taranmıştır. Taranan sütunlar cami planı üzerinde işaretlenerek **Şekil 3**'de sunulmuştur. Lidar tarama yönteminde dördüncü nesil Ipad Pro cihazı, Polycam ve 3d Scanner App uygulamaları kullanılmıştır.

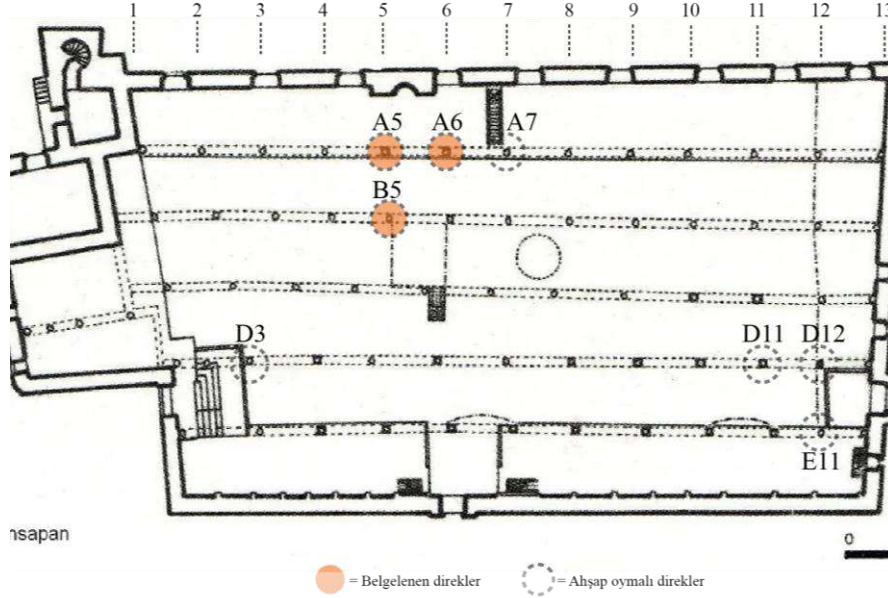


Şekil 1. Sivrihisar Ulu Cami'nde belgenen oymalı sütunlar.

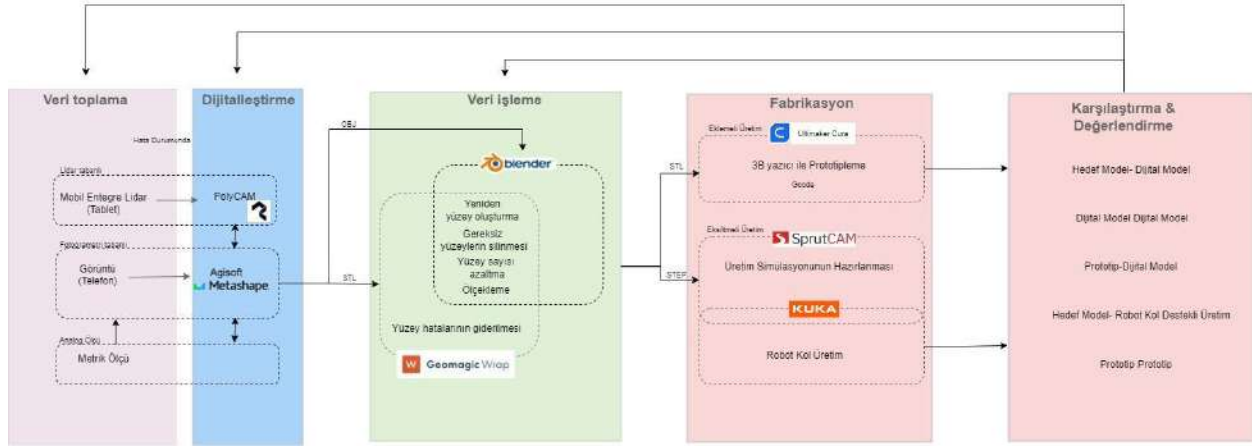


Şekil 2. Lidar modeli (solda) ve fotogrametri modeli (sağda).

İlk aşamada **Şekil 1**'deki sütunların plan düzleminde harf ve sayılarla numaralandırılmasının ardından belgeleme yapılan sütunlar işaretlenmiştir.



**Şekil 3.** Sivrihisar Ulu Camii'nde belgelenen direklerin plan üzerinde gösterimi (Altinsapan, E., 1988. Sivrihisarda Türk Mimarisi'nden alınan plan üzerine işlenmiştir).



Şekil 4. Çalışmanın yöntem şeması.

### 3.1. Veri Toplama

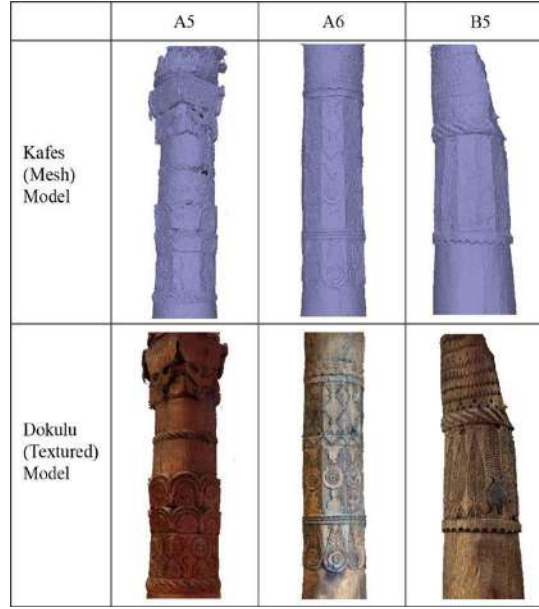
Sivrihisar Ulu Cami’de ahşap oyma süslemeleriyle dikkat çeken üç sütun, mobil telefon ve tripod yardımıyla fotogrametri tekniğine uygun olarak fotoğraflanmıştır. Bu işlem gerçekleştirilirken sonrasında fotogrametrik modelin hatasız bir biçimde oluşturulabilmesi için, fotoğrafların fotogrametri tekniğine uygun olarak birbirini takip edip tamamlayan açı ve konulardan çekilmesine ve fotoğraflarda yansıma oluşmuş bir yüzey olmamasına dikkat edilmiştir. Fotogrametri yönteminde ise Iphone 14 cihazı ile 4K 3840x2160 çözünürlükte sütunlar etrafında 360 derece dönerek fotoğraflama yapılmıştır. Bu işlemde toplam 270 adet fotoğraf çekilmiş ve Agisoft Metashape yazılımının izin verdiği en yüksek ayarlarda fotoğraf hizalama ve yüzey oluşturma adımları yürütülmüştür. Belirtilen iki farklı yöntem ile üretilen modeller mevcut geometriye yakınlığı, polygon sayısı gibi özelliklerle karşılaştırılmış bunun sonucunda fotogrametrinin çalışma kapsamında daha verimli bir yöntem olacağı kanısına varılmıştır (**Tablo 1**). Tarama işlemindeki başlıca zorluk sütun yükseklerinin insan ölçeğinde tarama yapmaya uygun olmaması ve oyma işlerinin sütun başlığı bölgesine yakın olmasıdır. Bu nedenle, 3 ve 6 metre boyunda tripodlar kullanılmıştır. Fotoğraf çekimi sırasında tripodlar üç farklı yükseklik seviyesinde ayarlanmış, her yükseklik seviyesinde fotoğrafların birbiriyle örtüşecek şekilde kamera aşağı ve yukarı yönde açı verilerek ve tüm sütun etrafında bu sistemde dönülerek fotoğraf çekilmiştir.

**Tablo 1.** Sivrihisar Ulu Cami fotogrametri verileri.

Sütun Kodu	Çekilen Fotoğraf Sayısı	Hizalanan Fotoğraf Sayısı	Fotogrametri Modeli Yüzey Sayısı	Fotogrametri Modeli Tie Points
A5	241	207	11,670,305	123,177
A6	362	351	12,516,695	336,653
B5	54	48	3,393,616	38,212

### 3.2. Dijitalleştirme

Veri toplama aşamasında elde edilen fotoğraf verileri Agisoft Metashape yazılımı kullanarak model oluşturma işlemi gerçekleştirilmiştir. Metashape detaylı modelleme becerisi ve kolay kullanımıyla ön plana çıkan bir fotogrametri yazılımıdır. Metashape görüntüleri kamera koordinatlarına göre hizalama ve bu görüntülerden nokta bulutu yoğun nokta bulutu, DEM verileri ve ortofotolar oluşturur.



Şekil 5. Sivrihisar Ulu Cami’de elde edilen fotogrametrik modeller.

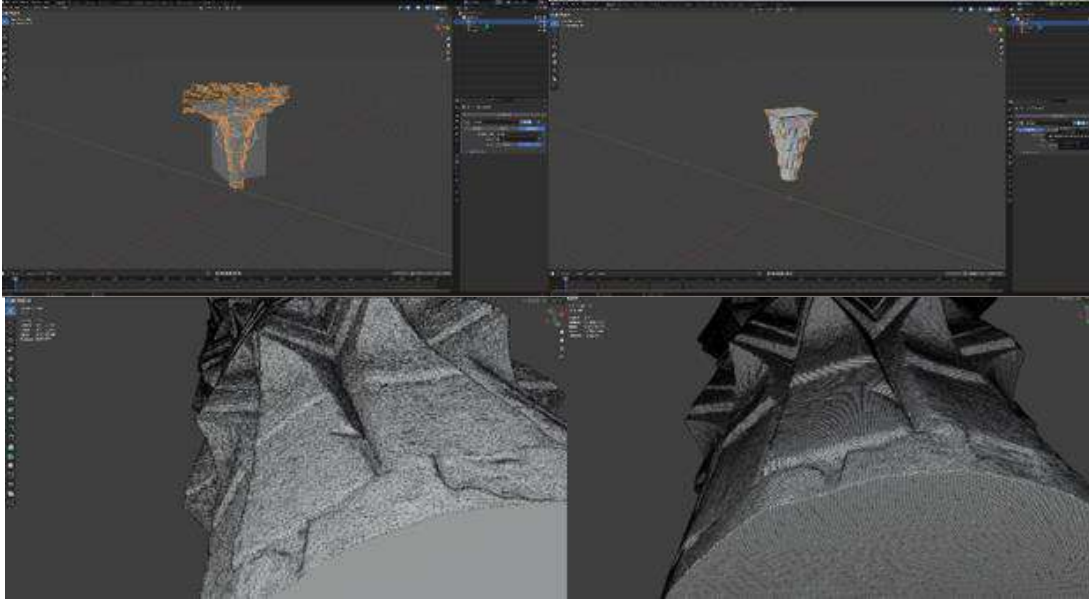
### 3.3. Veri İşleme

Dijital modellerin fiziksel üretim aşamasına hazır hale getirilmek için optimize edilmesi Blender ve Geomagic Wrap yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. İki farklı yazılımın bu bağlamda gösterdikleri performans ve oluşan modellerin niceliksel bilgileri paylaşılmıştır. Bu bağlamda bu iki yazılımın seçilme nedenleri: Blender’ın modelleme, düzenleme, animasyon gibi birçok işlevi birada ve ücretsiz olarak sunan bir program olması, Geomagic Wrap’in ise tersine mühendislik yazılımlarında ve tarama verilerinin düzenlenmesi konusunda yaygın kullanılan bir program olmasıdır.

#### 3.3.1. Çok amaçlı modelleme yazılımı ile düzenleme

Blender yazılımında, fotogrametri yazılımından alınan OBJ formatındaki dosyaların optimizasyon sürecinde ölçeklendirme, gereksiz parçaların kaldırılması “Boolean intersect”, poligon sayısının düşürülmesi “Decimate modifier” ve Şekil 6’da gösterildiği gibi yüzeylerin yeniden oluşturulması “Remesh modifier” adımları yer almaktadır. Çok sayıda denemeye farklı işlem uygulamaları, işlem sıralamaları ve oranları test edilmiştir. Bu testler sonucunda Yüzey azaltma işlemi, yeniden yüzey oluşturma işlemlerinin uygulama sırasının sonuç

modelin yüzey sayısına etki ettiği görülmüştür. Yüksek poligonlu modellerde programın hata vermemesi ve işlemlerin hızlı gerçekleşmesi için yüzey azaltma adımı zorunludur. Bu işlemler, modellerin detaylarından ödün vermeden daha sade geometrilerle ifade edilmesini sağlamış ve modelin diğer yazılımlarla uyumlu çalışmasını kolaylaştırmıştır.

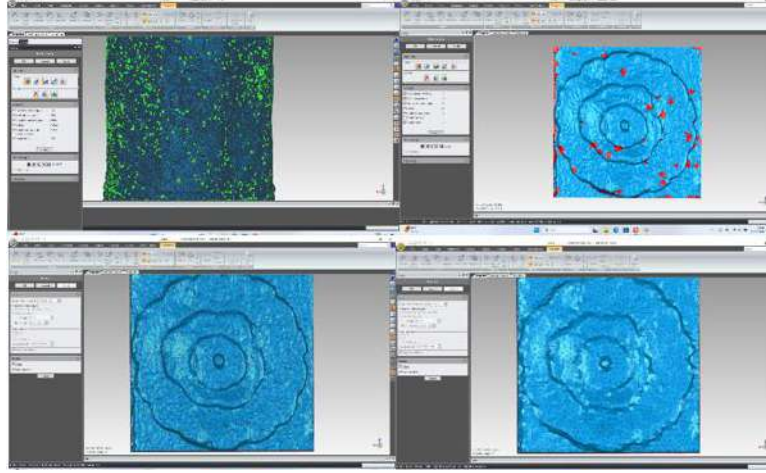


Şekil 6. Blender’da yüzeyler yeniden oluşturulmadan önce (solda) ve sonra (sağda).

### 3.3.2. Tersine mühendislik yazılımı ile düzenleme

















Geomagic yazılımı ücretli bir tersine mühendislik yazılımıdır. Ücretli olması, yazılımın erişilebilir olması önünde engel teşkil etmektedir. Ancak, fotogrametri modeli düzenleme konusunda başarılı bir araç olduğundan, bu karşılaştırmaya dahil edilmiştir. Geomagic Wrap yazılımının en önemli avantajlarından biri yüzey hatalarını otomatik tespit etme ve onarma yeteneğidir. Bu sebeple STL dosya formatında programa aktarılan model öncelikle yüzey hatalarını giderme işleminden, daha sonra sırasıyla: ölçeklendirme, gereksiz kısımların silinmesi, yüzey boşluklarını kapatma, yeniden yüzey üretimi ve yüzey sayısının azaltılması aşamalarından geçmiştir (Şekil 7).





Şekil 7. Geomagic yazılımında düzenleme aşamaları.

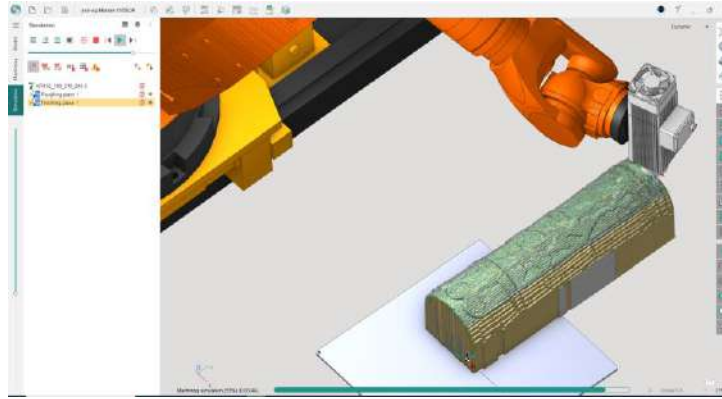
Belirlenen iki yazılımda gerçekleştirilen düzenleme işlemlerinin sonucunda elde edilen modellerin yüzey sayısı ve biçimleri 1:1 ölçekte prototip ve model yüz sayısı dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. 1:1 prototip oluşturma aşaması 3B yazıcı ile en kaliteli model üretim ayarlarında gerçekleştirilmiştir. İlk bulgu iki yazılımda da büyük oranda yüzey sayısı azaltma işlemlerinin prototipin üretiminde herhangi bir farklılık oluşturmamasıdır. Ayrıca Blender yazılımının yeniden yüzey oluşturma aşamasında modelin yüzey sayısının büyüklüğünü çok arttırdığı tespit edilmiştir.

Araç	Dijital Model	3D Baskı Ürünü	Uygulanan İşlem	Modelin Yüz Sayısı
Hırm Model			-	64,976
Geomagic			%80 Decimate	13,432
			Remesh + Decimate	50,330
			%50 Decimate	33,630
			Remesh	78,470
Blender			Remesh + Decimate	801,754
			Decimate + Remesh	104,564
			%50 Decimate	33,162

Şekil 8. Prototip karşılaştırma tablosu.

### 3.4. Üretim simülasyonunun gerçekleştirilmesi

Model robot kol ile işlenmesi bağlamında SprutCAM yazılımı kullanılmıştır. SprutCAM, gelişmiş bir CAM (Bilgisayar Destekli İmalat) yazılımıdır. Bu yazılım, CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) makineleri için detaylı ve karmaşık imalat süreçlerini programlamak amacıyla kullanılır. Sütunun silindirik bir formu olması nedeni ile 6 eksenli Kuka KR200 robot kol işleme sürecini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. 16mm çapında silindirik tipte takım ile işleme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucuna göre modelin üretim 120cm uzunluğunda olan sütun gövdesinin işlenme süresi 34dk olarak gösterilmiştir (Şekil 9). Ancak simülasyonda malzeme tepkisinin incelenememesi kısıtları arasında yer almaktadır.



Şekil 9. Geomagic yazılımında düzenleme aşamaları.

#### 4. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Yapılan karşılaştırma işlemlerinde elde edilen üç boyutlu baskı sonuçları oldukça benzer niteliktedir. Bu nedenle üzerinde işlem yapılmasının daha kolay olması açısından en düşük yüzey sayısı sonucunu veren Geomagic Wrap programında, %80 oranında Decimate işlemi uygulanan optimizasyon yönteminin en verimli yöntem olduğuna karar verilmiştir. Bunun yanı sıra, Geomagic Wrap programı, çok yüksek yüzey sayısına sahip ham modeller işlenirken, Blender’da karşılaşılan programın hata vermesi sorununu yaratman, akıcı işlem performansı sunması yönüyle de üstün bulunmuştur. Fakat, Blender’ın ücretsiz bir yazılım olması ve sonuç ürün niteliğinin de eşdeğer olması sebebiyle, Geomagic Wrap’e erişim olmaması durumunda Blender programının da işlevsel bir seçenek olduğu kanısına varılmıştır.

Bu çalışmada Unesco Dünya Mirası Listesinde yer alan Ortaçağ Anadolu Ahşap Hipostil Camileri’nin dijital belgelenmesi ve yeniden üretiminin gerçekleştirildiği kapsamlı bir çalışmanın bir bölümü paylaşmıştır. Üretim süreci devam etmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, elde edilen modellerin CNC frezeleme yöntemiyle ahşap bloklardan eksiltmeli olarak üretilip, eksiltmeli yöntem ve geleneksel el ile ölçü yöntemlerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması planlanmaktadır. Aynı zamanda, CNC ile üretim, 3B yazıcı ile üretimden farklı bir optimizasyon süreci gerektirebileceğinden, optimizasyon süreci araştırmaların da genişletilmesi hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A. M., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 257-266.
- Aktemur, A. M. (2002). Türk Ahşap İşçiliği. *Türkler*, VI, Ankara, ss.98-106.
- Altinsapan, E. (1988). "Sivrihisarda Türk Mimarisi", Konya Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Aslanapa, O. (1972). Türk sanatı. Remzi Kitapevi. ss. 131-133; 207.
- Baumeister, M., Ackerman, L., Ng, J., & Kipre, I. (2020). Digital 3-D Reproduction and CNC Milling: Putting the Final Touches on an Architectural Highlight, the Cassiobury House Staircase. *Wooden Artifacts Group Postprints*, 34, 39-57
- Balletti, C., & Ballarin, M. (2019). An application of integrated 3D technologies for replicas in cultural heritage. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 285. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060285>
- Gomes, L., Bellon, O. R. P., & Silva, L. (2014). 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 50, 3-14.
- Guidi, G., & Frischer, B. D. (2020). 3D digitization of cultural heritage. In *3D Imaging, Analysis and Applications* (ss. 631-697).
- Norina, A., & Liu, S. (2021). Application of digital fabrication technologies in reproducing of a wooden component in heritage buildings. In *8th International Conference, Euro-Mediterranean Conference* (0.1007/978-3-030-73043-7\_38).
- Öney, G. (1970). Anadolu'da Selçuklu ve beylikler devri ahşap teknikleri. *Sanat Tarihi Yıllığı*, (3), 135-149.
- Öney, G. (1971). Ankara'da Türk Devri Yapıları. Ankara.
- Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Tsioukas, V., & Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(1), 93-98
- UNESCO. (2023). Karar No: 45 COM 8B.46. Erişim adresi: <https://whc.unesco.org/en/decisions/8427/>

## Su Dalgası Deseninin Sürekli Paneller ile Üretimine Yönelik Model Önerisi

Raşit Eren CANGÜR<sup>1</sup> ; İhsan Erdem ER<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi; <sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>rasit.cangur@yildiz.edu.tr; <sup>2</sup>erdem.er@yildiz.edu.tr

### Özet

*Bu çalışmanın amacı, su dalga desenlerinin üretimi için parametrik panel üretim modeli geliştirmektir. Bu model ile üretilen panellerin döşendiğinde derz geçişlerinin sürekli olması ve bu sürekliliğin paneller döndürülerek döşendiğinde de devam etmesi amaçlanmıştır. Parametrik panel üretim modeli için Rhino Grasshopper kullanılmıştır. Modele sırasıyla yüzey oluşumu, su dalgası deseninin üretimi ve döşeme simülasyonu olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Su dalgası deseni elde edebilmek için oluşturulan yüzey üzerindeki noktalar z düzleminde hareket ettirilmektedir. Panel sürekliliği, kenar üzerinde hareket ettirilen noktaların kenar orta noktalarına göre ayna simetrisi alınarak sağlanmıştır. Önerilen model sayesinde su dalgası deseninde kenar sürekliliğine sahip paneller üretilmiştir. Ayrıca panellerin farklı yönlerde çevrilerek sürekliliğini kaybetmeden döşenebilmesi sağlanmıştır. Ancak panellerin fiziksel üretimleri denenmemiştir. Dijital modelleme ortamı için kurgulanan model, su dalga deseni üretiminde sürekli panellerin kullanımıyla ilgili özgün bir parametrik yaklaşım sunmaktadır. Model çıktılarının ilerleyen çalışmalarda fiziksel üretim deneyleri için altlık oluşturacağı düşünülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Sürekli desen üretimi, panel üretimi, parametrik tasarım.

# Model Proposal for the Production of Water Wave Pattern with Continuous Panels

Raşit Eren CANGÜR <sup>1</sup> ; İhsan Erdem ER <sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Technical University; <sup>2</sup>Yıldız Technical University

<sup>1</sup> rasit.cangur@yildiz.edu.tr; <sup>2</sup> erdem.er@yildiz.edu.tr

## Abstract

*The aim of this study is to develop a parametric panel production model for generating water wave patterns. The continuous alignment of joints when the panels are laid and ensuring this continuity even when the panels are rotated during installation are targeted with this model. Rhino Grasshopper was used for the parametric panel production model. The model consists of three steps: surface formation, wave pattern generation, and installation simulation. Points on the surface created to obtain the water wave pattern are moved along the z-plane. Panel continuity is ensured by taking mirror symmetry with respect to the edge midpoints of the points moved on the edge. As a result of the proposed model, panels with edge continuity in the water wave pattern have been produced. Additionally, the ability to lay panels in different directions without losing continuity has been ensured. However, physical production of the panels has not been tested. The model developed for the digital modeling environment provides an original parametric approach to the use of continuous panels in water wave pattern production. Future research is expected to use the model's outputs as a foundation for actual production experiments.*

**Keywords:** Continuous pattern production, panel production, parametric design.

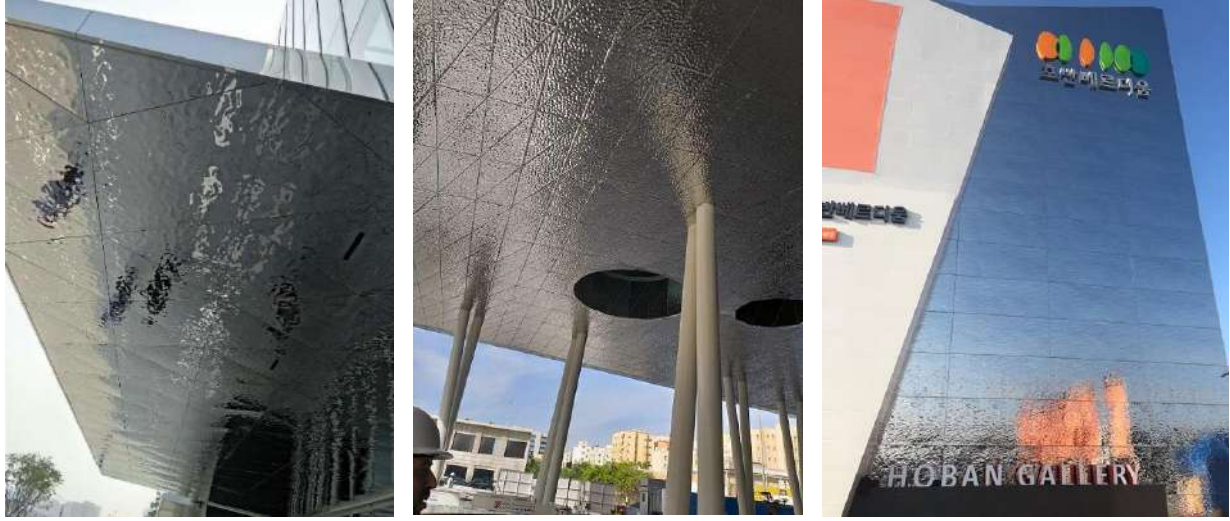
## 1. Giriş

GGünümüzde, düzensiz ve çift kıvrımlı desenlere sahip panellerin sürekli bir şekilde üretilmesiyle ilgili zorluklar önemli bir sorun olarak adından söz ettirmektedir. Özellikle binalarda çift kıvrımlı cephe panellerinin özelleştirilmesindeki zorluklar binalarda çift kıvrımlı cephe panellerinin tek tip kalıptan oluşturulmasındaki zorluklar (**Şekil 1**), genellikle yüzey sürekliliği, panel doğruluğu ve artık malzeme azaltma gibi faktörleri içermektedir (Davis, 1990; Pine, 1999).



**Şekil 1.** Kabartma makinesi ile desen üretimi.

Ancak, hesaplamalı tasarım ilkeleriyle çalışan mimarlık firmaları, özellikle bina kabuğu tasarımı ve inşasında bu tür zorlukların üstesinden gelmek için güncel dijital tasarım ve üretim süreçlerini benimsemektedir (Kestelier, 2011). Hesaplamalı tasarım ve özellikle robotik üretim alanındaki araştırmaların bir odak noktası da bu üretim uygulamalarını geliştirmek için tasarımdan otonom üretim süreçlerine odaklanmaktadır. Bu yaklaşımlar, çift kıvrımlı panellerin köşelerinin birleşim kenarlarının içe kıvrılmasından doğan derz görüntüsünün önüne geçmeyi (**Şekil 2**) ve desen takibinin sürekli olmasını amaçlamaktadır.



**Şekil 2.** Soldan sağa sırasıyla: Beijing Vanke Times Merkezi Giriş Saçağı, Doha Stadium, Seul Hoban Galeri Binası (BWT, 2017).

Bu çalışma, özelleştirilebilen, sürekli desene sahip panel üretim yöntemi önermektedir. Önerilen yöntemin çıktısı, doğada rastlantısal olarak devinim gösteren su dalgacığı yüzeyini oluşturmayı hedef almıştır. Desenlerin yüzey içinde sürekli bir biçimde takibi, geometrik formlarının simetriye sahip olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Simetri, mimarlık tarihinde önemli bir rol oynamış olup, cephelerde sıkça kullanılmıştır (Akleman ve diğ., 2000). Simetri eksenlerinin çeşitliliği, desenlerin yönlerinin çeşitlenmesine katkı sağlar. Öteleme, kaydırma, döndürme ve yansıma gibi 17 farklı simetrik eksen bulunmaktadır (Grünbaum & Shephard, 1987). Bu çeşitlilik, desenlerin tasarlanması ve uygulanmasında geniş bir yelpaze sunmaktadır. Böylece estetik ve işlevsellik açısından çeşitli seçenekler barındırmaktadır. Desenlerin tekrar edilebilir olması, üretim sürecinde önemli kolaylıklar sağlar. Özellikle, desenin düzensiz veya düzenli morfolojisine bakılmaksızın simetrik olması, kalıp aşamasını minimize ederek üretimde verimlilik sağlamaktadır. Bu özellik, çift bükümlü eğrileri içeren panellerin kademeli levha şekillendirme yöntemiyle hesaplı bir şekilde üretilmesinde avantajlar sunmaktadır (Lee & Kim, 2012). Bu yöntem, desenlerin simetrik yapısından faydalanarak üretim maliyetlerini düşürürken, aynı zamanda tasarımın estetik ve işlevsel gereksinimlerini de karşılamaktadır. Bu sayede, endüstride desenli panellerin üretimi daha verimli ve ekonomik hale gelmektedir. Panel üretimindeki bir başka sorun ise birleşim noktalarında sürekliliği bozacak tutarsız şekiller belirli kısıyollar ve geçici çözümlerle



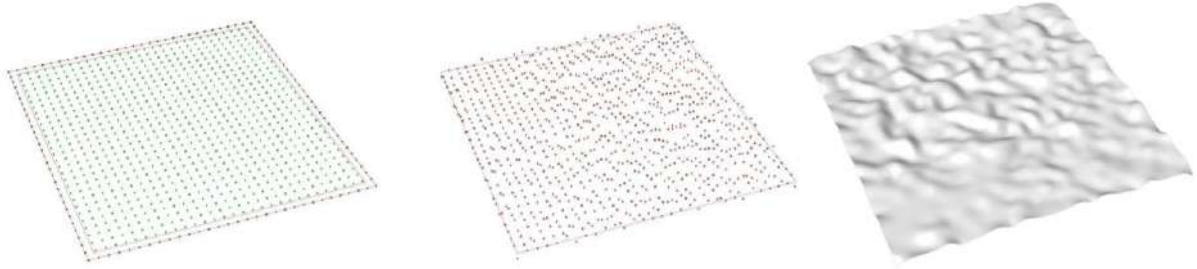
geciktirilmektedir (Lee & Kim, 2012). Bu çalışmada önerilen üretim model ile bu problemlerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

## 2. Model Önerisi

Bu çalışmada çok yönde sürekli desene sahip dörtgen yüzey üretimi için kullanılan modelin akış diyagramı **Şekil 3'**de gösterilmiştir. Çalışma, Rhino Grasshopper programında gerçekleştirilen üç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda kullanıcının seçim parametrelerine göre iki boyutlu başlangıç yüzeyi üretilerek kontrol noktaları belirlenmektedir. Kontrol noktaları oluşturulan yüzeyin kenarında ve için olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Akış diyagramında mor ile gösterilen kısımlar içte kalan noktalarla, mavi ile gösterilen kısımlar ise kenar noktalarla ilişkilidir. Kullanıcıların modeli kontrol etmek için kullanacağı parametre grupları ise kırmızı ile gösterilmiştir.

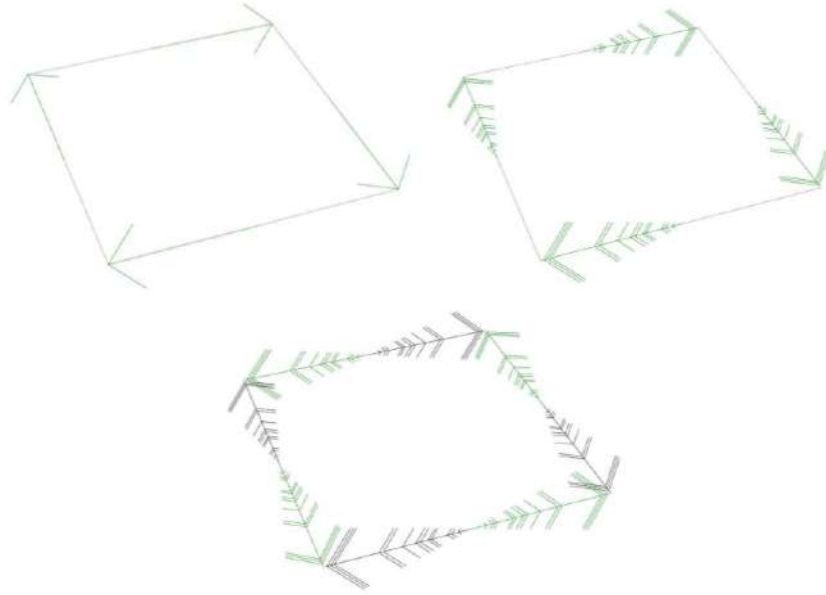


İlk adımda kullanıcıların kontrol edebileceği üç parametre grubu bulunmaktadır. Kullanıcı ilk olarak panel boyutu parametrelerini belirleyerek başlangıç yüzeyini oluşturmaktadır. Ardından çözünürlük parametresi girilerek oluşan yüzey için kafes düzeni oluşturularak kesişim noktalarından nokta bulutu üretilmektedir. Daha sonra çekme payı belirlenerek, bu paya göre içte ve dışta kalan noktalar oluşturulmaktadır (**Şekil 4a**).



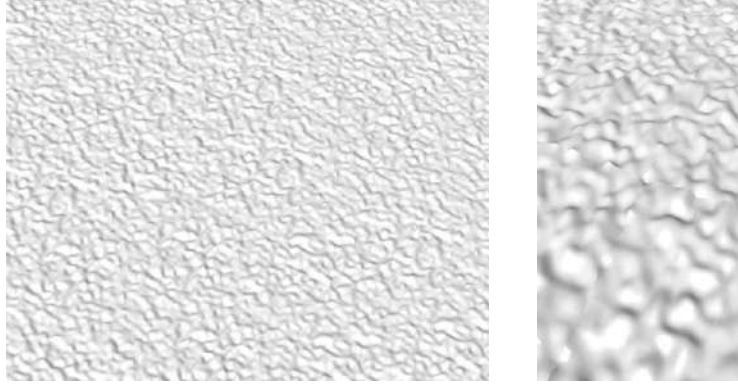
**Şekil 4a (solda).** İçte ve dışta kalan noktalar. **Şekil 4b (ortada).** Nokta bulutu. **Şekil 4c (sağda).** Dalga yüzeyi.

Kenar noktaları ise yüzey kenarlarının orta ve başlangıç noktaları belirlendikten sonra oluşturulan yarım çizgilerin kenar kontrolü parametresine göre üretilen değerler ile parçalanması ile oluşturulmaktadır. Bu parçalama işlemi kenar orta noktasından ve kenar başlangıç noktasına doğru farklı büyüklükte vektörler oluşturularak yapılmaktadır. Vektör büyüklükleri iki nokta arasındaki mesafe ile orta nokta yaklaşma sınırı parametresinde belirlenen değer aralığında kenar kontrol noktası parametresi kadar rastgele değer üretilerek sağlanmaktadır. Ayrıca rastgeleliği değiştirmek için tohum(seed) parametresi bulunmaktadır. Bu işlem ile yarım kenar üzerinde belirlenen vektörlerin kenar orta noktasına göre ayna görüntüleri alınmaktadır. Elde edilen tüm vektörlerin bitiş noktaları ise kenar kontrol noktalarını oluşturmaktadır (**Şekil 5**).



Şekil 5. Kenar kontrol noktalarının üretimi.

İkinci adımda ise üretilen kontrol noktaları z düzleminde hareket ettirilerek su dalgacığ yzey görünümü elde edilmektedir. Bu adımda ise kullanıcının kenar ve orta noktalar için hareket sınırlarını ve rastgeleliği kontrol ettiği üçer parametreden oluşan iki parametre grubu bulunmaktadır. Düşeyde hareket için gerekli vektör ölçüleri bir önceki bölümde kenar kontrol noktalarını belirlemek için kullanılan algoritmanın aynısı kullanılarak belirlenmektedir. Kontrol noktalarının taşınma işlemi tamamlandıktan sonra yeni noktalar dışta kalan noktalar ile birleştirilerek nokta bulutu (Şekil 4b) üzerinden Şekil 4c' de gösterilen dalga yüzeyi oluşturulmaktadır.

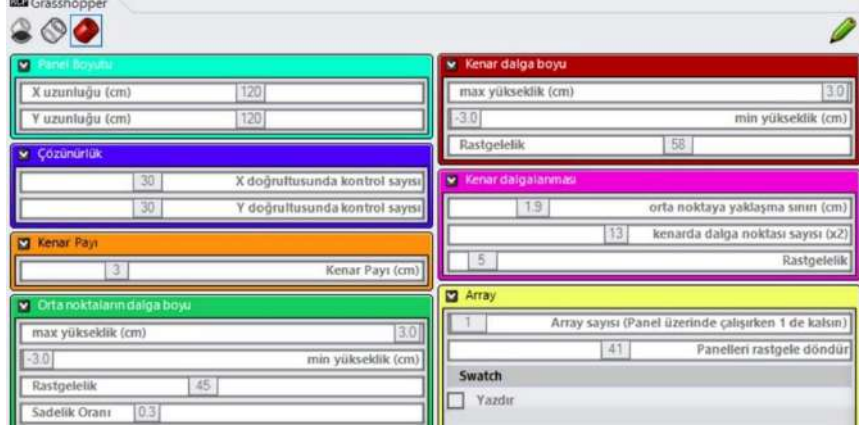


**Şekil 6a (Solda).** Döşeme simülasyonu. **Şekil 6b (Sağda).** Panel birleşimleri.

Son adımda ise üretilen yüzeyin döşeme simülasyonu (**Şekil 6a**) gerçekleştirilmektedir. Simülasyon işlemi kullanıcının kopyalama sayısı ile kontrol edebildiği ızgara düzeninde çoğaltma işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca üretilen panelin çok eksenli sürekliliğini gösterebilmek için kopyalanan paneller rastgele döndürülmektedir. Bu sayede döşeme sırasında panel birleşimlerinde (**Şekil 6b**) karşılaşılabilecek sorunlar görülmektedir. Panellerin döndürme oranı ise panel sayısı kadar 0 ile 360 arasında rastgele oluşturulan sayıların modu alınarak yapılmaktadır. Mod değeri ise panelin en boy oranına göre belirlenmektedir. Üretilen panelin eni boyuna eşit ise dört yönde sürekli olduğu için mod değeri 90, eşit değilse iki yönde sürekli olduğu için mod değeri 180 kabul edilmektedir.

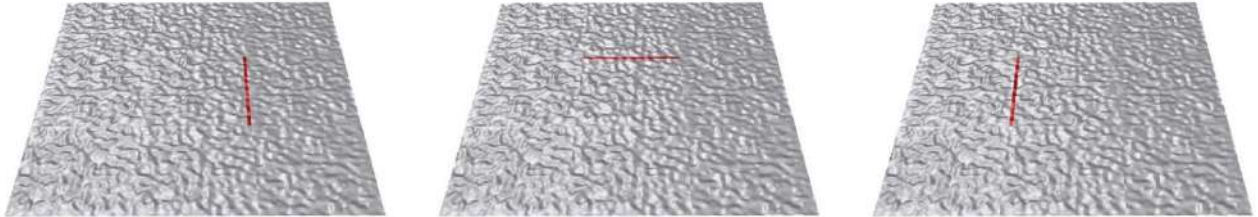
### 3. Arayüz ve Üretim Çıktıları

Bu çalışmada kullanıcı arayüzü için Rhino Grasshopper'ın uzaktan kontrol paneli modülü kullanılmıştır. Bu arayüz ile kullanıcıların görsel kodlama modülünü açmadan panel tasarımı ve üretim sürecini kontrol edebilmeleri sağlanmıştır. Arayüzün, kullanım kolaylığını arttırmak için Bölüm 2'de açıklanan üretim adımlarının kontrolleri gruplanarak renklendirilmiştir (**Şekil 7**). Üretilecek panellerin çeşitli özellikleri bu gruplanmış parametre ayarları üzerinden kontrol edilmektedir. Bu gruplar sırasıyla; panel boyutu, çözünürlük, kenar payı, orta noktaların dalga boyu, kenar dalga boyu, kenar dalgalanması ve çoklama bölümlerinden oluşmaktadır.



Şekil 7. Arayüz görünümü.

Arayüzden belirlenen parametrelere göre üretim süreci, sıralı adımlar halinde gerçekleşir ve sonuç olarak sürekli desenlere sahip dörtgen paneller elde edilmektedir. İlk adımda, belirlenen parametrelere göre başlangıç yüzeyi oluşturulur ve kontrol noktaları belirlenir. Daha sonra, çözünürlük ve çekme payı parametreleri kullanılarak iç ve dış noktalar belirlenir ve kenar noktaları oluşturulur. İkinci adımda, kontrol noktaları z düzleminde hareket ettirilerek su dalgacı yüzey görünümü elde edilir. Bu adımda, kullanıcıların kenar ve orta noktalar için hareket sınırlarını ve rastgeleliği kontrol edebilecekleri parametreler bulunur. Son adımda, üretilen yüzeyin döşeme simülasyonu gerçekleştirilir. Bu simülasyon işlemi, kullanıcının belirlediği ızgara düzeninde çoğaltma işlemi ile gerçekleştirilir ve panellerin döşeme düzeni üzerinde parametrik kontrol sağlanır. Bu şekilde, kullanıcılar tasarladıkları panellerin gerçekçi bir şekilde simülasyonunu yapabilir ve üretim sürecini daha iyi anlayabilirler.



Şekil 8. Döndürme sonrası döşeme düzeninde kenar sürekliliği.

Bu model ile üretilen her bir panelin kenarları simetri yöntemi ile oluşturulduğu için döşendiklerinde kenar birleşimlerinde süreklilik sağlanmaktadır. Bu süreklilik **Şekil 8'**da gösterildiği gibi panel herhangi bir yönde 90° döndürülse de korunmaktadır. Ancak kenar sürekliliğini sağlamak için kullanılan simetri yönteminin sınırlıkları bulunmaktadır. Kenar dalga boyu ile orta nokta dalga boylarının sınır değerlerinin çok genişlediği durumlarda kenar süreklilikleri bozulmaktadır. Ayrıca kenarlar üzerindeki kontrol noktası sayısının çok azaltıldığı durumlarda geçiş sürekliliği bozularak derz etkisi oluşmaktadır. Bu sebeple arayüzdeki dalga boyu parametreleri -3 ile 3, kenar dalga noktası sayısı ise 5 ile 20 aralığıyla sınırlandırılmıştır.

#### 4. Teşekkür

Bu çalışma sürecinde çalışmamız süresince göstermiş olduğu ilgi, sabır ve destekten dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Doç. Dr. Togan Tong, Öğr. Üye. Dr. Erdal Devrim Aydın ve Cemile Gül Gürcan Bahadır'a içten teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, katkılarıyla çalışmamızın gerçekleşmesine olanak sağlayan Kasso Mühendislik San. ve Tic. A.Ş. firmasına da teşekkürlerimizi sunarız.

#### 5. Sonuç

Bu araştırmada, özelleştirilebilir sürekli panellerin üretimi için yenilikçi bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, panellerin tasarımını, üretimini ve döşeme simülasyonunu kapsayan bir dizi sıralı adımdan oluşmaktadır. İlk olarak panellerin tasarımında özelleşmeyi ve esnekliği sağlamak için özgün bir üretim yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem, her panelin özel gereksinimlere göre uygulanabilmesi mümkün kılarak, geniş bir uygulama yelpazesine hitap etmektedir. Ayrıca, panellerin parametrik kontrolü üzerinde durulmuş ve kullanıcıların kolayca ulaşabileceği bir kontrol arayüzü tasarlanmıştır. Bu arayüz, panellerin çeşitli özelliklerini ayarlamak için gruplanmış parametreleri içermekte ve kullanıcıların istedikleri sonuçları elde etmelerini kolaylaştırmaktadır. Panellerin üretim süreci, doğadaki su dalgalarından esinlenmiştir. Bu dalgalar, panellerin akışkanlığını artırmak ve sürekli olarak çoğaltılabilir olmalarını sağlamak için tasarlanmıştır. Ayrıca, panellerin çift eksenli sürdürülebilir olmasına özel önem verilmiştir, böylece farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilmeleri sağlanmıştır. Ayrıca kullanıcının tasarladığı panellerin döşeme düzenini gözlemleyebileceği simülasyon adımı geliştirilmiştir. Bu adımda, panellerin döşeme düzeni üzerinden parametrik kontrolü sağlanmıştır. Bu sayede, panellerin kaplama sürecinde karşılaşılabilecek sorunların tespit edilebilmesi hedeflenmiştir.

Ancak, çalışmanın bazı limitasyonları da göz önüne alınmalıdır. Panel birleşim noktalarının sorunsuz olması, çekme mesafeleri tarafından sınırlandırılmaktadır. Ayrıca döşeme sonrası birleşimlerin sürekliliğini sağlamak için kenarlarda simetri düzeni kullanılmıştır. Bu durum da üretilebilecek panel desenlerini

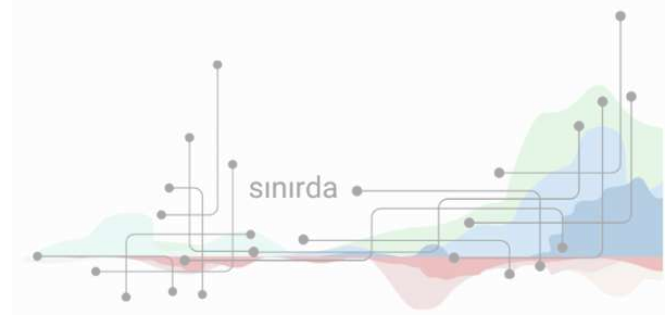
sınırlandırmaktadır. İleriki çalışmalarda, panel birleşim kenarlarında oluşturulan noktaların hareket kabiliyetinin genişletilmesi ve simetri düzenine alternatif çözümlerin geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, simetri limitasyonu ve gerçek üretim deneylerinin yapılmamış olması da bu çalışmanın potansiyel sınırlılıkları arasındadır.

Bu çalışmanın, özelleştirilebilir panellerin tasarımı, üretimi ve kaplanması alanında önemli bir ilerleme sağlayarak endüstriyel uygulamalarda daha fazla kullanılabilirlik ve verimlilik sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecekte, simetri limitasyonunun aşılması ve gerçek üretim deneylerinin yapılmasıyla, önerilen modelin pratik uygulamaları daha da güçlenecektir. Ayrıca, önerilen modelin farklı endüstriyel sektörlerdeki uygulamaları ve çeşitli yapı tiplerindeki kullanımıyla ilgili daha geniş kapsamlı çalışmaların yapılması, modelin potansiyelini tam olarak ortaya koymak için önemlidir. Bununla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik ve malzeme kullanımı gibi konular da dikkate alınarak, modelin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akleman, E., Chen, J., & Meric, B. (2000). Intuitive and effective design of periodic symmetric tiles. *Proceedings of ACM Multimedia*, 21(4), 100–108.
- BWT. (2017). BWT-Ripple Series. <https://www.bwtjs.com/en/al.asp?Im=BWT-Ripple%20Series>
- Davis, S. M. (1990). *Future perfect*. Springer.
- Grünbaum, B., & Shephard, G. C. (1987). *Tilings and patterns*. Courier Dover Publications.
- Kestelier, X. (2011). Design potential for large-scale additive fabrication. *Free-form construction*. *Fabricate: Making Digital Architecture*, 244–249.
- Lee, G., & Kim, S. (2012). Case study of mass customization of double-curved metal façade panels using a new hybrid sheet metal processing technique. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(11), 1322–1330.
- Pine, B. J. (1999). *Mass customization: the new frontier in business competition*. Harvard business press.





## OTURUM 6 |

Tasarımda Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti,  
Makine Öğrenmesi ve Optimizasyon

**Oturum Başkanı**  
**Prof. Dr. Birgül Çolakoğlu**  
**Prof. Dr. Sema ALAÇAM**

# Yapay Zekâ Destekli Bir Mimari Tasarım Metodolojisi: Analog Yöntemler, Hesaplamalı Tasarım ve Difüzyon Modellerinin Bütünleştirilmesi

Can Müezzinoğlu<sup>1</sup> ; Sevil Yazıcı<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi

<sup>1</sup>muezzinoglu20@itu.edu.tr; <sup>2</sup>sevil.yazici@itu.edu.tr

## Özet

*Tasarım doğası gereği karmaşıktır. Özellikle erken aşamalarda belirsiz koşullar ve öngörülemez çözümlerle, genellikle hasta-tanımlı problemler içerir. Bu problem yapısı, tasarım süreci ilerledikçe iyi-tanımlı problemlere dönüşür. Tasarım süreci; problem yapılandırma, ön tasarım, geliştirme ve detaylandırma olmak üzere dört aşamada ele alınmaktadır. Bu aşamaların her biri farklı türde bilgi ve tasarım mecrası gerektirir. Yapay Zekanın (YZ), özellikle de difüzyon modellerinin (DM) yaygınlaşması mimari tasarımı yeniden biçimlendirmektedir. İstemlerden (prompt) metin ve görüntü üretebilen bu modeller, tasarım sürecinin çeşitli aşamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Ancak tüm potansiyelleri içeren kapsamlı bir metodoloji henüz geliştirilmemiştir. Bildiri, YZ ve DM'lerin yaratıcılığı ve verimliliği artırmak için mimari tasarım sürecine nasıl dahil edilebileceğini araştırmaktadır. Geleneksel analog tasarım ve hesaplamalı tasarım yöntemleri ile DM'leri tasarımın farklı aşamaları boyunca süreçle bütünleştiren bir metodoloji önermektedir. Ön tasarım aşamalarında, DM'ler görüntüler üreterek yaratıcı fikirleri teşvik eder ve sürece katkı sağlar. Bunu, DM'lerin temel kararları değiştirmeden kütle modellerini ve malzeme seçimlerini iyileştirmeye yardımcı olduğu alternatif tasarımların oluşturulması süreci izler. Daha sonra, üretilen bu 2B görüntüler 3B modellere dönüştürülürerek, algoritmik tasarım ve analiz araçlarıyla ele alınır. Son olarak, DM'lerin yardımıyla nihai tasarım ürününün gerçekçi temsilleri üretilmektedir. Metodoloji, YZ'nin tasarımcının yerini almak yerine onu desteklediği insan merkezli bir yaklaşımı vurgulamaktadır. Bu bütünlük çerçevesi değerlendiren bir vaka çalışması, DM'lerin tasarımcı ve araç arasında dinamik bir diyalogu kolaylaştırdığını, arama uzayını genişlettiğini ve tasarım süreci boyunca daha bilinçli karar vermeyi sağladığını göstermektedir. Bu esneklik sadece mevcut uygulamaları iyileştirmekle kalmamakta, aynı zamanda yapay zekanın mimari tasarıma entegre edilmesinde gelecekteki çalışmalara zemin hazırlamakta ve alan için yeni stratejiler sunmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Difüzyon modelleri, mimari tasarım, tasarımda biliş, tasarım metodolojisi, yapay zeka tabanlı tasarım.

# An Artificial Intelligence-Assisted Architectural Design Methodology: Integration of Analog Methods, Computational Design and Diffusion Models

Can Müezzinoğlu<sup>1</sup> ; Sevil Yazıcı<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Istanbul Technical University

<sup>1</sup>muezzinoglu20@itu.edu.tr; <sup>2</sup>sevil.yazici@itu.edu.tr

## Abstract

*Design is inherently complex, often involving ill-defined problems with unclear conditions and unpredictable solutions, especially in early stages. These problem types evolve into well-defined problems as the design process advances. The design process can be divided into four stages as problem structuring, preliminary design, development, and detailing. Each requires different types of information and design media. The rise of Artificial Intelligence (AI), particularly Diffusion Models (DMs), is reshaping the architectural design. Although a comprehensive methodology encompassing their full potential remains underdeveloped, these models, which can generate text and images from prompts, are now being integrated into various phases of the design process. This paper explores how AI and DMs can be seamlessly incorporated into architectural design to enhance creativity and efficiency. It proposes a methodology that integrates traditional analog and computational design methods with DMs throughout the design stages. Initially, DMs stimulate creative ideas by generating images, aiding in the preliminary design phase. This is followed by the generation of alternative designs, where DMs help refine massing models and material selections without altering core decisions. Subsequently, these 2D images are transformed into 3D models, which are further enhanced through algorithmic design tools. Lastly, realistic final representations were made with the help of DMs. The methodology emphasizes a human-centered approach, where AI supports rather than replaces the designer, fostering a reflective practice. A case study evaluating this integrated framework shows that DMs facilitate a dynamic dialogue between the designer and the tool, expanding the search space and enabling more informed decision-making throughout the design process. This flexibility not only improves current practices but also sets the stage for future advancements in integrating AI into architectural design, promising new strategies for the field.*

**Keywords:** Architectural design, artificial intelligence based design, cognition in design, design methodology, diffusion models.

## 1. Introduction

The traditional methods used in design processes are evolving with the inclusion of innovative design media. Oxman (2006) questions whether digital design using digital drawing and computational design tools represents a new phenomenon or merely a reconstruction of traditional design processes through new media. She concludes that new media facilitate digital design thinking and create a novel design process. Building on Oxman's framework, Singh and Gu (2012) developed a framework for the integrated use of different generative design techniques.

Artificial intelligence (AI), particularly diffusion models (DMs), has started to find applications in architecture which is an innovative design media. However, more work is needed to fully explore AI's potential in architectural design, examine its possible uses, and integrate these tools into the design process as supportive partners. While the integration of DMs into various design phases is discussed in the literature, a comprehensive methodology encompassing their use throughout the entire design process is still lacking. This paper focuses on integrating AI-based methods into architectural design. It aims to develop a methodology for incorporating computational design tools and DMs with each other and into the conventional design process. The paper seeks to address the following questions:

1. How can a methodology be developed for integrating DMs into the architectural design process?
2. How can this integration contribute to enriching the production environment and advancing design?
3. How can this integration be centered on the human-designer?
4. Which DMs are most suitable for different design phases?

The research framework is built around DMs, which are widely used by architects due to their accessibility and user-friendly interfaces. Despite their limited integration into certain design phases, DMs may offer various usage possibilities, potentially changing according to different design phases. The background referring to the literature review examines design cognition studies, highlighting different problem structures designers encounter during the design process. It explains the features required of design mediums at specific stages and their contributions to designers. The section also analyzes research on the relationship between designers and tools, exploring how tools should interact with designers and each other in a holistic design process. The methodology of the paper is outlined in Section 3, categorizing different DM tools by design phases based on research in design cognition, and identifying the DMs that best fit specific design problems. Section 4 describes the case study organized to test this framework, and evaluation of the case study, discussing the potentials of the presented framework and its contribution to future studies

aiming to integrate analog design media, computational design tools, and DMs into design processes, ultimately leading to the development of new strategies.

## 2. Background

In this section, the interaction between the designer and tools in the architectural design process will first be discussed. This part highlights the transition from ill-defined problems in the early stages to well-defined problems in later stages. It emphasizes the importance of different media in various phases of the design process, focusing on how these mediums influence thought processes and design production. Key concepts such as reflection in action and the evolving role of designers with digital tools and AI integration are also explored. Following this, the section will introduce DMs in the architectural design process. This part will explain what DMs are and how they fit within the broader context of artificial intelligence, machine learning, and deep learning. The discussion will cover the various features of DMs, including text-to-image and image-to-image generation, image editing, and video generation. It will also describe specific techniques like ControlNet, which enhances image creation with spatial consistency, and how these models support designers in generating high-quality and realistic content.

### 2.1. Designer and Tool Interaction in Architectural Design Process

Casakin (2002) states that design problems, particularly in the early stages, are often ill-defined. These problems lack clear initial conditions, have undefined goals, unpredictable solutions and are non-routine. Conversely, well-defined problems which have clear initial conditions, precisely defined goals, and predictable solutions, typically appear in the later stages of the design process. Thus, as the design process advances, there is a transition from dealing with ill-defined problem structures to well-defined ones. Goel (1992) divides the various stages in the design process into four parts: problem structuring, preliminary design, development, and detailing. Within the scope of this paper, the design process will be analyzed in three phases based on Goel's schema: (1) preliminary design, (2) design development, and (3) presentation of the final design (rather than "detailing"). Depending on these phases, problems in the design process and how to produce solutions to them, and the inputs may change at each stage of the design. In order to provide a framework for the design process, the studies in the literature were examined and classified under two sub-headings: the features that the design medium should have depending on the design phase and the features that the holistic design process should have.

### The Features that the Design Medium Should Have

Different phases within the design process require various mediums to address problems, and the selection of these mediums should be guided by the nature of the problem being tackled. Representational medium are not just passive platforms for displaying inner thoughts; they actively influence the thought process and design production by engaging in a dialogue with the designer. As Casakin (2002) points out, in solving ill-defined problems, it is essential to explore a wide range of possible solutions, including unknown and unexplored options. This principle also applies to well-defined design problems. According to Oxman (1997), solving a design problem necessitates having numerous representations in the design environment. A rich array of stimuli, such as various resources for idea exchange in the design environment, is generally preferable, as it positively impacts the design process (Goldschmidt & Sever, 2011). However, Dorta et al. (2016) suggest that in the later stages of design, productions should be less ambiguous and more precise than those used in ill-defined problems. The design being handled during the design development phase can be realized on those from earlier stages. In the preliminary stages of design, more ambiguous productions should be employed for idea generation. As the design progresses, more precise tools should be used to refine the project, and the design medium should be adaptable to these experiments. For instance, Casakin's (2002) study on the role of visual analogy in the design process found that it was beneficial in the early stages but did not enhance success in the later stages. This is because, at that point, the design problem had evolved into a more defined issue, reducing the need for generating new ideas through visual analogy. **Table 1** shows the features that should be present in the design medium in the early and later stages of design.

**Table 1.** The features that should be present in the design medium in the early and later stages of design.

Features that should be present in the design medium in the early stages of design	Features that should be present in the design medium in the later stages of design
Enabling the designer to generate a dialog with the tool	Enabling the designer to be a decision maker
Supporting alternative productions and expanding the exploration space	Supporting alternative productions and expanding the exploration space
Using multiple design media in relation to each other	Using the outputs produced in the preliminary design phase
Enabling the design medium to allow ambiguous productions	Enabling the design medium to allow precise productions

### Features that Design Process should have:

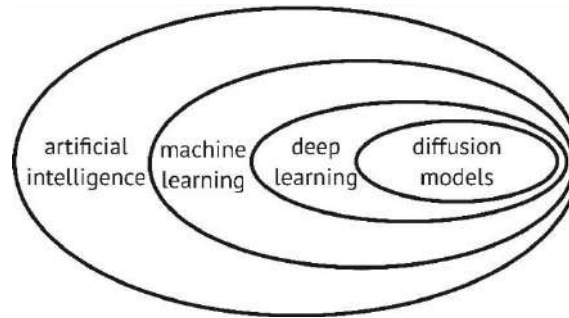
**Reflection and Interaction** in the design process involve the dynamic relationships between the designer, tools, and mediums. Donald Schön (1992) introduced the concept of "reflection in action," where designers interact with mediums to generate data for subsequent design stages. This interaction is crucial for aligning the design medium with the problem, enabling designers to progress through an iterative, non-linear process. The design process frequently involves shifting between different mediums and scales, highlighting the need for flexibility in the process structure (Dorta et al., 2016).

**The Role of the Designer** has evolved with digital design. According to Oxman (2006), designers are now "tool builders," maintaining centrality in managing interactions with all algorithms and methods. With the integration of artificial intelligence, particularly DMs, the designer's role is redefined to include decision-making with AI verifying decisions from an expanded solution space. This integration transforms AI into a new stakeholder in the design process, potentially collaborating as a co-designer (Figoli et al., 2022; Akçay Kavakoglu et al., 2022).

**Multimedia and Multiscale:** According to Dorta et.al. (2016), the current digital design paradigm ignores the difference between traditional and digital representational tools. Dorta et al. (2016) observed that students using CAD from the beginning of their design education may lose the notion of scale, a problem less evident in those using traditional tools. Incorporating both analog and digital tools can enhance representational diversity, enabling designers to work at different scales and preserve scale awareness. Oxman (1997) emphasized the importance of multiple representations in searching for design solutions, suggesting that integrating various types of tools, including DMs, can enhance the design process by exploring more possibilities.

## 2.2. Diffusion Models in Architectural Design Process

When integrating Artificial Intelligence (AI) into architecture, it's important to first clarify what AI means. AI allows computers to copy the complex ways humans think and act to solve tough tasks (Jaruga-Rozdolska, 2022). AI is a broad term that includes areas like "machine learning" and "deep learning." Not all AI systems use machine learning, but all machine learning techniques are part of AI. Deep learning, a newer part of machine learning, has greatly helped advance AI (Leach, 2022). The paper discusses DMs, which are a specific type of deep learning techniques. **Figure 1** in the paper shows how artificial intelligence, machine learning, deep learning, and diffusion models are related.



**Figure 1.** The relationship between artificial learning models.

Diffusion models (DMs) are a type of advanced tool in deep learning used for creating and improving images and videos in computational vision (Croitoru et al., 2023; Li et al., 2023). These models gradually learn to change images and produce new examples from the data they study (Zhang et al., 2023). They have become quite popular in recent research on machine learning because they can create very realistic images, videos, and texts. DMs are now widely used for creating new digital content. Designers find these models very useful in their design workflow (Yonder et al., 2023). There are different kinds of DMs, each designed for specific types of data. These models vary in how they process images, how users interact with them, and how much users can control what the model does (Müezzinoğlu & Lekesiz, 2024). The differences between these models mean they can be used in various ways throughout the design process, depending on what the designer needs at each stage (Müezzinoğlu & Lekesiz, 2024). They have thus far been utilized in various generative modeling endeavors, encompassing not only features like: image generation [with prompt], image editing, image-to-image translation (Li et al., 2023) but also control net, video generation (from text (with/without image)). **Figure 2** shows which of these features the various DMs embody. Before presenting the framework of integrated diffusion models, these features will be explained.



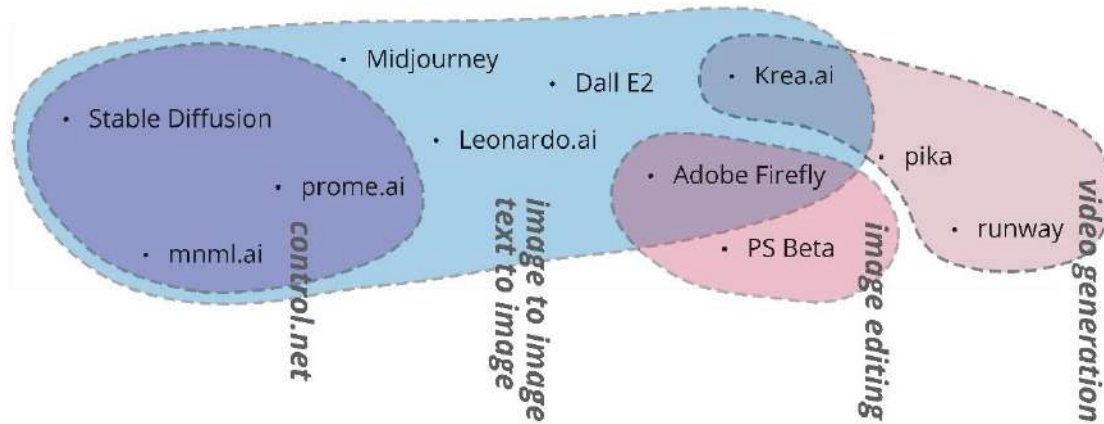


Figure 2. The features that various diffusion models embody.

### Text to Image & Image to Image Generation

Most DMs are algorithms that can generate images from text. DMs that generate images from text use natural language modeling (NLP) to generate the desired image. With this method, the given text input can be expressed in daily language. Although these written inputs are complex and detailed, it is possible to produce images close to the desired one (Çiçek et al., 2023). However, diffusion models may not only work with text as input. DMs can also use images as input. Visual inputs are used together with a written input to realize production. DMs try to produce the image appropriate to the written input by referencing the given visual input. Some examples of these DMs are: Midjourney, Dall E2, Leonardo.ai, Stable Diffusion, mnml.ai, prome.ai, Adobe Firefly and krea.ai.

**ControlNET:** Lvmin Zhang and Maneesh Agrawala (2023) introduced ControlNet in their article "Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models." This feature allows for the creation of images with spatial consistency using the design provided as the input for SD. ControlNet employs various techniques, such as edge detection, depth information analysis, sketch processing, and human pose recognition, which are trained to respond to different conditions. These techniques influence how the algorithm perceives and processes an image. Examples of DMs with controlNET include Stable Diffusion, mnml.ai, prome.ai. **Figure 3** shows the comparison of images produced with different diffusion models with and without using controlNET.

Depth map, scribble, and canny edge are the most suitable detection methods for architectural use. The depth map method analyzes an image's depth, representing objects in the foreground with lighter tones and those in the background with darker tones. This technique preserves the contours of the image while ignoring content on the same surface of the rendered object. On the other hand, the canny edge and scribble techniques aim to preserve both the content and contours of the image. This means that even if features are on the same surface, formal differences will be represented by distinct line layers using the canny edge method.



**Figure 3.** Comparison of images produced with different diffusion models (DMs not using controlNET (top), DMs using controlNET (bottom)) (Müezzinoğlu and Lekeşiz, 2024).

### Image Editing

The image editing feature allows us to make various changes to an already generated image. This image can be an image produced with DMs or any other image. With this feature, it is possible to make realistic modifications to specified regions through natural language prompts. The model generates edits that seamlessly integrate with the style and lighting of the surrounding context, including realistic shadows and reflections (Nichol et.al., 2021). These models can help people to create impressive custom images quickly and effortlessly. Photoshop beta and Adobe firefly are two DMs with image editing capabilities.

### Video Generation

Especially with recent innovations, DMs that can produce video have evolved considerably. video diffusion models produce high quality images that are consistent with each other. besides producing high-quality content within individual frames, an important feature in video generation is the ability to capture realistic and tailored motion across frames (Chen et.al., 2024). Key developments include improvements in text-to-video generation, which aim to create high-quality videos that match textual descriptions. Additionally, image-to-video generation uses image inputs to produce videos that correspond to those images (Chen et.al., 2024). Examples of DMs with video generation include krea.ai, pika and runway.

## 3. Integrated Diffusion Model-Aided Design Framework

In this section, DMs are categorized according to their suitability in different design processes. Design processes are divided into three phases: (a) preliminary design, (b) design development, and (c) presentation of the finalized design.

**(a) Triggering Creative Ideas:** Designers can utilize A Diffusion Models (such as Midjourney, DALL-E2, Stable Diffusion, mnml.ai, prome.ai, dream.ai, and Krea.ai) to generate images from both text and images. In addition to traditional methods like sketching and physical model making, these tools enable designers to produce images that integrate with paper-based design media.

**(b1) Generating Alternatives:** For design development, B Diffusion Models (Stable Diffusion, mnml.ai, and prome.ai) can be employed to generate alternative images. This stage represents the transition to a well-defined problem, allowing decisions on massing models, solid-void experiments, material selection, and facade design based on the experiments generated with these tools. Unlike A Diffusion Models, B Diffusion Models at this stage should have the ControlNET feature, enabling the production of various visuals without altering the preliminary design decisions.

**(b2) Converting 2D Images into 3D Models:** B2 tools are used to transform two-dimensional images into three-dimensional models, turning any image into data and information. This conversion of alternatives obtained using B Diffusion Models into 3D models is crucial for accelerating the subsequent stage (b3) and integrating design tools into the process.

**(b3) Integration with Algorithmic Design Tools:** In the final stage of design development, algorithmic design tools are integrated into the process. The 3D models generated in the previous stage are analyzed to produce quantitative data, aiding further design development.

**(c) Presentation of the Final Design:** The final representations are the conclusive results of the design process. In this stage, the designer post-produces the two-dimensional images (obtained from B Diffusion Models) using C1 Diffusion Models (such as Adobe Firefly and Photoshop Beta) and generates a short video with C2 Diffusion Models (such as Runway, Krea.ai, and Pika) based on the C1 Diffusion Models' output.

This framework is tested with a case study that also illustrates the data flow. The design process obtained in the case study will be evaluated through the change in inputs and interaction between the designer and the tool.

#### 4. Testing the Framework with a Case Study

The case study will be explained through the phases in the framework given in chapter 3 “Integrated Diffusion Model Aided Design Framework”. These stages, as shown in figure X (previous image, simple diagram), consist of 8 steps in total: (1) design problem (2) idea generation with analog design media and (3) idea generation using A DM (4) generating alternatives with B DM, (5) image to 3D model, (6) integration with algorithmic design tools (7) render generation with B DM, (8) representation with C1&C2 DM.

##### (1) Design Problem

The chosen location for the case study is in Sancaktepe, Istanbul. The project involves designing a library building. Alongside the library, the design must include study areas, a reception area and a café. No other functions are required beyond these specified components. The total designed area should not exceed 600 square meters.

##### (2) Idea Generation with Analog Design Media

The design problem is first reframed to understand the mass scale. In the initial phase of the preliminary design, the designer uses analog representation. During this phase, the designer conceptualizes the layout and space organization through sketches with schematic sections. Based on these preliminary design ideas, the library structure, occupying 400 square meters, should have 2 floors. The café, public toilets, and circulation area should together occupy an additional 200 square meters. A public passage is planned to connect the main road in front of the site to the densely residential road behind it. To facilitate this transition,

the café is positioned on the left side of the passage, adjacent to the square in front, while the 2-floor library structure is on the right. Additionally, a reception area is included at the library's entrance, and a staircase is placed on the side of this entrance facing the residential area behind the library to provide access to the upper floor. Publicly accessible toilets are located next to the staircase. **Figure 4** shows schematic section sketch drawing produced during the analog preliminary design phase, showing sections passing through the café, passage, and library structure.



**Figure 4.** Schematic section sketch drawing produced during the analog preliminary design phase.

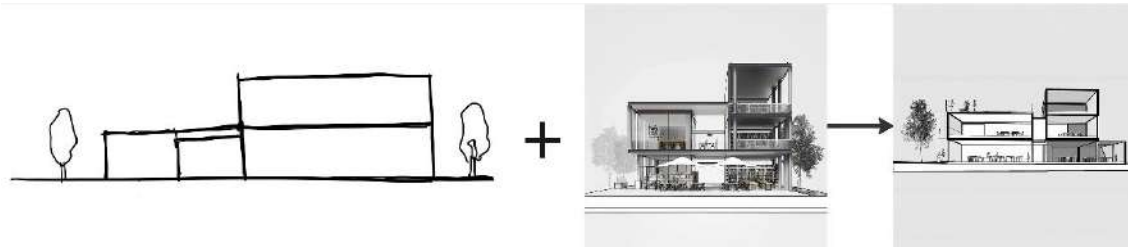
### (3) Idea Generation Using A DM

After developing the analog preliminary design ideas, the DM preliminary design phase begins. In this phase, Midjourney, an AI design tool, is utilized. This tool helps the designer establish a dialog through which early-stage design productions are realized. To facilitate this dialog, ambiguous spatial productions are preferred. The 'imagine' command in Midjourney generates visuals from text input. The first step involves expressing the initial design idea of the project as a prompt. For this purpose, the phrase "perspective section of a library building, modern architecture, café with one story on the left side, library two stories on the right side, canopy in between" was used. The phrase "perspective section of a..." was included at the beginning of the prompt to produce ambiguous space visuals. **Figure 5** shows the output images using the "imagine" command on Midjourney.



**Figure 5.** Generations obtained with the "imagine" command on Midjourney.

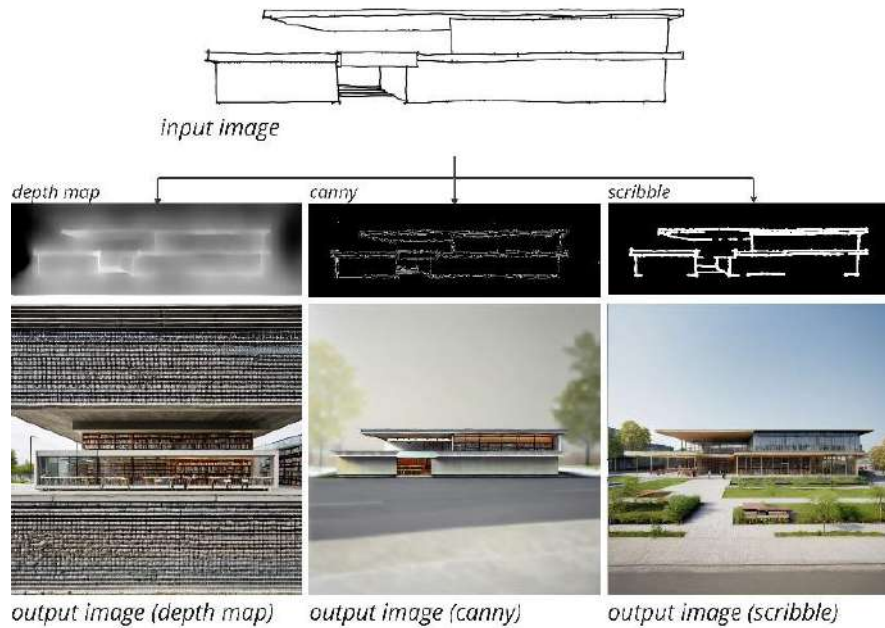
The fourth image closely aligns with the scale and ideas considered during the analog preliminary design phase. It effectively depicts the two distinct masses (the café and the library) and the possibility of using them as a transition. Image 4 also closely resembles a schematic section, making it the preferred choice to move forward with. To incorporate contextual data into the design process through Midjourney, it was necessary to combine the Schematic Section with the output generated using the “imagine” command. The “blend” command on Midjourney was utilized for this purpose (**Figure 6**).



**Figure 6.** Images merged using the “blend” command: schematic section (right), the image using imagine command (middle) the output image using merge command (left).

#### (4) Generating Alternatives with B DM

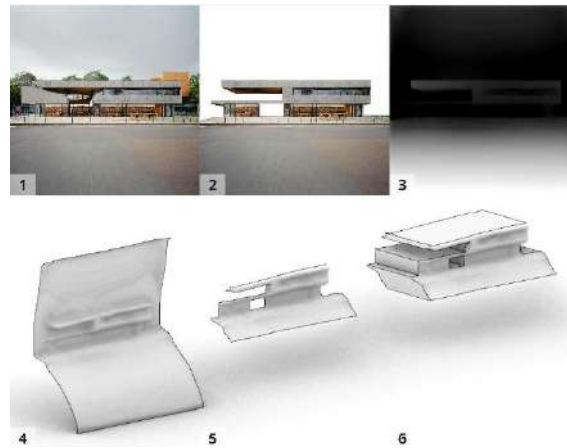
In the design development phase, decisions regarding mass, form, and composition made in previous phases are refined by generating alternatives for massing, façade design, and material choices. B diffusion models are utilized to generate these alternatives. Stable Diffusion was preferred in this case study due to its greater control over the tool. The controlNET feature in Stable Diffusion allows for generating alternatives based on reference sketches while preserving their characteristics. To generate these alternatives, a prompt is used along with the image as input. The prompt used in this phase is "a library building, modern architecture, cafe with one story on the left side, library two stories on the right side, canopy in between, glass and concrete facade." The selection of alternatives is based on the compatibility of the massing and façade ideas with those from the preliminary design phase. If the results are unsatisfactory, some design decisions may need to be revised by returning to the preliminary design stage. The visual input was a sketch drawing without any environmental data to ensure that other elements do not interfere with the main mass. The reproductions of this sketch using depth map, canny, and scribble detection methods are shown in **Figure 7**. Among these methods, the canny detection method provided the best results based on the given visual input.



**Figure 7.** Alternative productions created with sketch drawing as an input using different detection methods (depth map (left), canny (middle), scribble (right)).

### (5) Image to 3D Model

In this section, the steps for converting the images generated in the previous section into three-dimensional models and incorporating algorithmic design tools will be shared. The "Heightfield" command in Rhinoceros was used to create a three-dimensional model from the image. First, non-architectural elements in the selected image should be removed using any image editing program. Next, a depth map of the edited image needs to be created. This depth map image is then input into the Heightfield command in Rhinoceros. This process converts the 2D image into a 3D model. On the generated model, further adjustments can be made, such as adding volume and refining the non-architectural elements, to obtain a cleaner 3D model to work on. **Figure 8** shows the process of generating 3d model from 2d image.

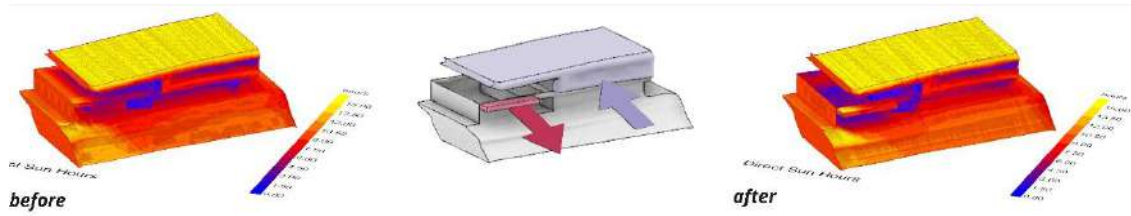


**Figure 8.** The steps of turning 2D image into a 3D model.

#### **(6) Integration with Algorithmic Design Tools**

In this section, the goal is to analyze how much sunlight the 3D modeled facade receives throughout the day and make spatial adjustments accordingly. The 3D model created in Rhinoceros was imported into Grasshopper, an algorithmic modeling environment, for daylight simulation using Ladybug. The geometry definition for analysis was the previously produced 3D model. Running the simulation, Ladybug measured the number of hours of sunlight the modeled geometry received daily and generated a color-coded representation of the results. The simulation results showed that the café section receives an average of 9 hours of sunlight per day, which is relatively high compared to other parts of the building. In contrast, the lower floor of the library receives only 1 to 3 hours of sunlight per day, which is quite low. To address this, a canopy was added in front of the café section to provide shade. Additionally, the upper floor of the library was set back to allow more sunlight to reach the lower floor. **Figure 9** shows the first sunlight simulation process, the design decisions after the simulations and the simulation after these decisions.



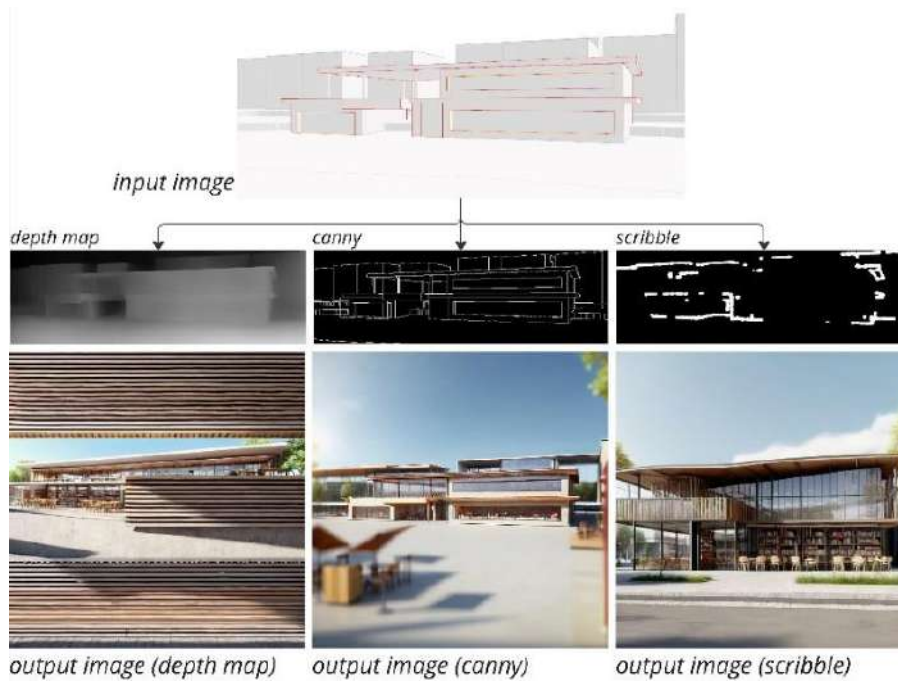


**Figure 9.** Sunlight simulation process of the 3D generated model using Ladybug (first simulation (left), design decisions after simulation (middle), simulation after design decisions (right)).

During this stage, the building's performance was tested, and feedback was generated through the inclusion of algorithmic design tools in the process. The designer adjusted some design decisions and continued running simulations until the desired result was achieved.

### (7) Render Generation with B DM

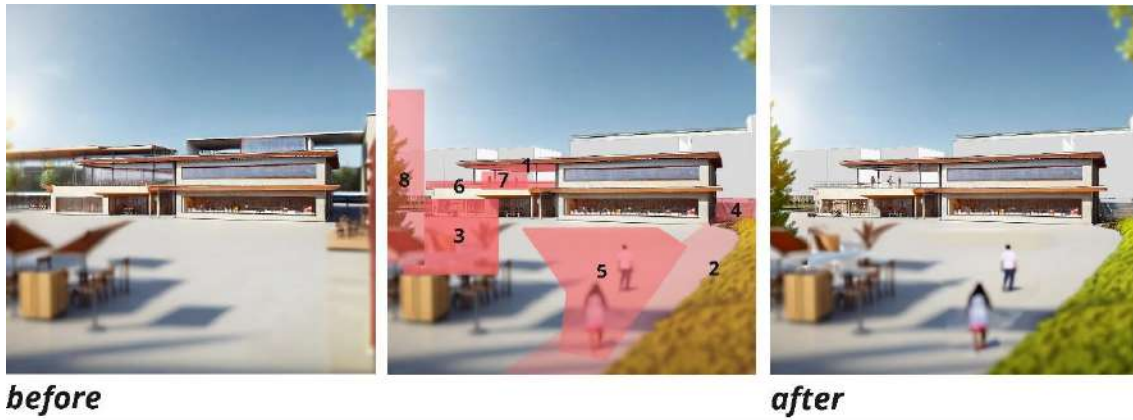
To create the rendering image, the 3D model produced at the end of the design development phase is used as input for rendering. Stable Diffusion was employed for this purpose. In this section, control.net was used, which was also utilized for generating alternative productions. The prompt should be provided along with the image as input. The phrase used for this section was: "a library building, modern architecture, café with one story on the left side, library two stories on the right side, canopy in between, glass and concrete facade, architectural realistic rendering, sunny atmosphere, eye-level view." The images produced in this section should also include contextual data. Providing images with clear details of the facade as input will help ensure the output has the desired details. At this stage, a 3D model image containing environmental data was given as visual input. The render images with 3D model image using depth map, canny, and scribble detection methods are shown in **Figure 10**. Among these methods, the canny detection method yielded the best results.



**Figure 10.** Renders created with 3d model as an input using different detection methods (depth map (left), canny (middle), scribble (right)).

### (8) Representation with C1&C2 DM

**C1:** In this section, the rendered image selected in the previous section is edited using Photoshop Beta, one of the C1 Diffusion Models. The process involves selecting the regions to be modified in Photoshop and then specifying the objects to be added through prompts. The prompts used for making changes to the selected layers are as follows: (1) wooden roof, (2) landscape design, (3) people sitting in front of a cafe, (4) stairs, (5) people walking, (6) metal handrail, (7) people silhouette, (8) tree in front. **Figure 11** shows the image used as input at the beginning of this step and the production obtained by modifying this image.



**Figure 11.** The process of post-production using C1 DM (Input image (left), areas marked for modification (middle) and output image (right)).

**C2:** This section aims to produce a short video from the image outputted in the previous section. To achieve this, Runway, one of the C2 diffusion models, was used. The "text/image to video" option was selected on the Runway website. As a result, a 4-second video was produced. **Figure 12** shows images from each second of the produced video.



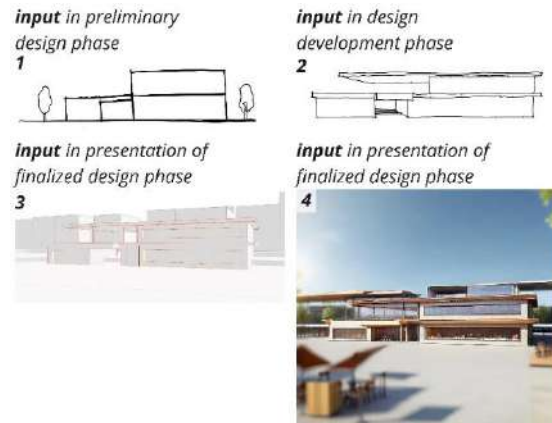
**Figure 12.** Sequences of the video produced with C2 DM.

#### 4.1. Results and Discussion

The findings will be evaluated under two sub-headings: the change in inputs and the opportunities offered in vehicle-user interaction by the integrated diffusion models-aided design process.

##### The Change In Inputs:

**Visual inputs:** Throughout a case study, visual and written inputs were dynamically used and modified across different design phases. Initially, the visual input during the preliminary design phase was schematic section. As the process evolved into the design development phase, these visuals included decisions about the building's massing and general composition but lacked detailed façade and environmental data. By the final design representation stage, the visuals had evolved to include detailed façade decisions, mass decisions, and environmental contexts. **Figure 13** shows the visual inputs that are used in the case study design process.



**Figure 13.** Visual inputs used in the case study.

**Written inputs (Prompts):** Similarly, written prompts—consisting of specific descriptive statements—also evolved to match the progressing detail in the visual inputs. The foundational prompt used throughout the design process described a "library building, modern architecture, cafe with one story on the left side, library two stories on the right side, canopy in between." Early prompts included terms like "perspective section of a" to support more abstract visualizations, whereas later additions like "glass and concrete façade" aimed at generating detailed façade alternatives during the design development phase. By the final stages, prompts included highly detailed descriptions such as "architectural realistic rendering, sunny atmosphere, eyelevel

view” to facilitate realistic final design visuals. Additionally, the prompt “people standing” was used to create video representations, capturing human elements and movement, highlighting the nuanced use of prompts to direct the specificity and realism of design outputs.

### **The Possibilities Offered By The Integrated Diffusion Model-Aided Design Process In Tool-User Interaction:**

The design process is inherently non-linear, requiring a **reflexive approach** to progress effectively. This reflexivity is demonstrated in a case study where outputs from various design stages are used as inputs for subsequent stages, facilitating transitions between different scales and detail levels. The choice of an appropriate design medium is crucial, depending on the design problem and phase. The selected medium should enable collaborative creation and reflection throughout the design process.

In the described case study, DMs are used flexibly, enhancing the designer's reflection and ability to revisit earlier design stages if the desired results are not achieved. This iterative process involves both analog and digital media, with DMs guiding the selection of productions based on their alignment with previously created analog outputs. For instance, in preliminary design, the selection among generated alternatives is based on their similarity to prior analog productions. In later stages, algorithmic tools are introduced to aid in the selection process among DM-generated alternatives.

**The Role of The Designer** evolves significantly throughout the process. Initially, the use of analog representation media allows for direct interaction with a paper-based medium. As the process progresses, the interaction with DMs shifts from a dialogic to a more controlled approach, reflecting the transition from conceptual design to detailed representation. This change is marked by the designer taking on more of a directive role, especially in later stages where the design decisions are finalized.

**The Integration of Multiple Media Types:** Ranging from analog to advanced AI-supported systems—plays a vital role in enriching the design process. Each medium introduces different potentials, enhancing the search for design solutions. For example, the process might begin with analog methods to generate initial ideas, then expand through the use of AI models (A-DM) to support the production of alternatives. Later, the quick transformation of 2D images into 3D models incorporates algorithmic design tools, providing a more comprehensive approach to design development. Moreover, the ability to produce varied outputs, including videos through advanced DMs (C2-DM), enriches the representation techniques, allowing for rapid visualization of designs at different scales. This capability is especially beneficial for visualizing the

relationship between a building and its environment, aiding quick revision decisions based on realistic images.

Overall, the case study highlights the dynamic role of the designer and the multifaceted, multiscale approach enabled by integrating diverse media into the design process. This approach not only enhances flexibility and creativity but also ensures a more thorough exploration and refinement of design solutions.

## 5. Conclusion

The paper introduces a framework integrating diffusion models (DMs) with conventional and digital design processes. It identifies various design problems and necessary features through literature research, highlighting the increased use of DMs in architectural design over the past two years. However, in the studies in the literature, the use of DMs only in certain stages of the design, the use of only one DM in the process, and the inability to integrate DMs with analog design media and algorithmic design tools have been an important step in the emergence of the framework. The proposed framework aims to integrate multiple DMs with traditional design methods, ensuring that designers remain central to and in control of the process. Detailed investigations into DMs provided a categorization of various DM tools based on their capabilities. The framework's methodology was structured around these tools' potential, and its effectiveness was evaluated through a case study. This case study revealed that DMs facilitate a dialogue between the tool and the designer, particularly in the early design stages, by supporting alternative productions and aiding in decision-making in later stages. Throughout the process, DMs expanded the search space by offering diverse production alternatives, allowing the designer to choose among them. The framework's human-centered design approach aligns with the concept of 'reflective practice' as defined by Schön, wherein AI tools play a supportive role. The case study demonstrated that as the design process progressed, the detail and amount of information in the written and visual inputs increased. The framework's flexible structure allows for seamless transitions between different design stages, accommodating various media and scales in the design process. This adaptability is expected to contribute to future research by integrating paper-based design media, computational design tools and DMs, ultimately fostering the development of new strategies and methodologies in the design field.



## REFERENCES

- Akçay Kavakoglu, A., Almag, B., Eser, B., & Sema, A. (2022). AI Driven Creativity in Early Design Education: A pedagogical approach in the age of Industry 5.0. Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 1(January), 133–142. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2022.1.133>
- Casakin, H. (2002). Well-defined versus ill-defined design problem solving. DRS2002 Research Papers, 1–15.
- Chen, X., Xia, T., & Xu, S. (2024). UniCtrl: Improving the Spatiotemporal Consistency of Text-to-Video Diffusion Models via Training-Free Unified Attention Control. arXiv preprint arXiv:2403.02332.
- Çiçek, S., Turhan, G. D., & Özkar, M. (2023). Reconsidering Design Pedagogy through Diffusion Models. Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 31–40. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.031>
- Croitoru, F. A., Hondru, V., Ionescu, R. T., & Shah, M. (2023). Diffusion Models in Vision: A Survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 45(9), 10850–10869. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2023.3261988>
- Dorta, T., Kinayoglu, G., Boudhraâ, S. (2016). A new representational ecosystem for design teaching in the studio. Design Studies, 47, 164–186. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.003>
- Figoli, F. A., Mattioli, F., & Rampino, L. (2022). AI in The Design Process: Training the Human-AI Collaboration. International Conference on Engineering and Product Design Education, September, 8–13.
- Goel, V. (1992). Ill-structured Representations for Ill-structured Problems. Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Goldschmidt, G., & Sever, A. L. (2011). Inspiring design ideas with texts. Design Studies, 32(2), 139–155. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.09.006>
- Jaruga-Rozdolska, A. (2022). Artificial intelligence as a part of future practices in the architect's work: midjourney generative tool as part of a process of creating an architectural form. Architectus, 3(71), 95–104. <https://doi.org/10.37190/arc220310>
- Leach, N. (2022). Architecture in the Age of Artificial Intelligence, an introduction to AI for Architects. In bloomsbury., Li, C., Qi, Y., Zeng, Q., & Lu, L. (2023). Comparison of Image Generation methods based on Diffusion Models. 4th International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning, CVIDL 2023, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CVIDL58838.2023.10167336>
- Müezzinoğlu, C., Lekesiz, G. (2024). Mimarlık Eğitiminde Yapay Zekâ Araçlarının Entegrasyonu ve Kullanım Potansiyeli: Öğrenci Deneyimleri, Mimari Tasarım Araştırmaları Ulusal Sempozyumu MİTA IV - 2024, 25 April 2024, İstanbul.
- Nichol, A., Dhariwal, P., Ramesh, A., Shyam, P., Mishkin, P., McGrew, B., & Chen, M. (2021). Glide: Towards photorealistic image generation and editing with text-guided diffusion models. arXiv preprint arXiv:2112.10741.
- Oxman, R. (1997). Design by re-representation: A model of visual reasoning in design. Design Studies, 18(4), 329–347.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. Design Studies, 27(3), 229–265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>

- Schön, D. A. (1992). Designing as a reflective conversation with the materials of a design situation. *Knowledge- Based systems*, 5, 3-14.
- Singh, V., & Gu, N. (2012). Towards an integrated generative design framework. *Design Studies*, 33(2), 185–207. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.06.001>
- Zhang, L., Rao, A., & Agrawala, M. (2023). Adding conditional control to text-to-image diffusion models. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 3836-3847). <https://doi.org/10.1109/iccv51070.2023.00355>



## Estetikte Yeni Katmanlar: Yapay Zeka ve Atmosfer Tartışmalarına Giriş

Serkan Can Hatipoğlu<sup>1</sup> ; Ezgi Çavuş<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi; <sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi



<sup>1</sup>serkanch@eskisehir.edu.tr; <sup>2</sup>ezgicavus@ogr.eskisehir.edu.tr

### Özet

*Yapay zekanın gelişimi, insanlık için önemli fırsatlar sunarken, aynı zamanda yeni zorluklar ve riskler de ortaya çıkarmaktadır. Ancak, doğru bir şekilde yönetildiğinde ve kullanıldığında, yapay zeka teknolojisi insan hayatını önemli ölçüde iyileştirebileceği ve birçok alanda yenilikler getirebileceği ön görülmektedir. Estetik değerler ve kültürel ifadeler, sanatçıların estetik yargılarını yeniden tarif etmekte ve izledikleri yolları belirlemektedir. Bu araştırma sanat ve tasarım dünyasındaki değişim ve dönüşümleri incelemek adına yapay zekanın estetik ve kültür alanına tesirini irdelemektedir. Konvansiyonel estetikte nesneye tamamlanmış bir çalışma olarak yorumlanacak bitmiş bir varlık olarak odaklanılmıştır. Ancak atmosferi merkeze alan yeni estetik, odak noktamızı mekandaki fiziksel bir uzantı olan nesneye yönelmektedir. Dolayısıyla nesne 'içerdiği' şeyle değil, mekana yayılma şekliyle karakterize edilmektedir. Böylelikle estetik teori mekânsal katmanlar edinmiştir. Yapay zeka bağlamında estetik tartışmalarında bir ivme kazanılmış olsa da aynı hareketlilik atmosfer ile yapay zekanın ilişkisinde henüz kurulmamıştır. Bu çalışma literatürdeki bu eksikliğe işaret etmeyi ve bir giriş yapmayı hedeflemektedir. Tartışma önermeler olarak şu başlıklar altında toplanmıştır: Teknik arkaplandaki atmosfer tecrübesinin önemi; Deneyimi fazla olan aktörlerin hiyerarşisi; Kısmi telif hakkına yönelik 'kısmi' tanımlamalarının gerekliliği; Çizim becerisinden atmosfer üretme becerisine bir yolculuk; Kültürel ve bedensel referansların yorumlanabilmesi. Yapay zekanın estetiğine dair yapı taşları ise şu başlıklar altında toplanmıştır: Estetik akıntı; Yarı-geçirgen bir estetik; Yapay zekanın ara-fenomen olarak incelenmesi; Metaforik istemler; Halüsinatif katmanlar ve alternatif değerlendirmeler. Çalışmanın sonunda odaklanılan konu yapay zekanın gücü ile imgelemin halüsinatif katmanları artırılabilme potansiye olmuştur. Halüsinasyona dair şuan gündemde olan yegane konu ChatGPT gibi yapay zeka asistanlarının halüsinasyon görmeleri ve gerçek olmayan bilgilerin gerçekmiş gibi sunulmasıdır. Bu haliyle yapay zekanın halüsinasyon ile ilişkisi negatif bir tandansta ilerlemektedir. Bu bilimsel çalışmalarda bir problem olması sebebiyle haklı bir negativiteye sahiptir. Ancak sanatsal üretim tabanında bakıldığında imgeleminde yeni kapılar açılabilir. Bu konu özellikle mekanın tasarımına geldiğinde atmosferik etmenler yeniden değerlendirilmelidir. Atmosferin yapay zeka ile yeni bir estetik katman açması yapay zekanın halüsinasyon yatkınlıklarıyla gerçekleşebilir.*

**Anahtar Kelimeler:** Yapay zeka, estetik, atmosfer, deneyim, halüsinasyon.

# New Layers in New Aesthetics: An Introduction to Artificial Intelligence and Atmosphere Discussions

Serkan Can Hatipoğlu<sup>1</sup> ; Ezgi Çavuş<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Eskisehir Technical University; <sup>2</sup>Eskisehir Technical University

<sup>1</sup>serkanch@eskisehir.edu.tr; <sup>2</sup>ezgicavus@ogr.eskisehir.edu.tr

## Abstract

*The advancement of artificial intelligence (AI) presents a duality of opportunity and risk. On the one hand, there are potential dangers inherent in the development of AI. However, on the other hand, the advent of AI also offers humanity a multitude of possibilities for improvement and advancement. The aesthetic values and cultural expressions that artists encounter in their environment serve to redefine the aesthetic judgments they form, thus determining the paths they subsequently follow. The objective of this research is to examine the impact of AI on the field of aesthetics and culture to identify the changes and transformations occurring within the world of art and design. In the conventional domain of aesthetics, emphasis is placed upon the finished object as a singular entity that will be interpreted as a completed work. In contrast, the emerging field of 'new aesthetics' prioritizes the atmosphere, directing our focus to the physical object, which is perceived as a spatial extension. Accordingly, the object is not defined by its intrinsic content, but rather its capacity to expand and occupy space. Thus, the domain of aesthetics has evolved to encompass a spatial dimension. Despite the growing interest in the aesthetic dimensions of AI, there has been little discussion to date about the relationship between atmosphere and the field of AI. This study aims to highlight the lack of attention given to this topic in academic discourse and to introduce a new approach to it. Several implications (regarding general propositions and constituents AI aesthetics) has been placed and finalized with layers of hallucination. The application of AI enables the augmentation of the hallucinatory capabilities of the imagination. However, a current challenge is the tendency of AI-powered digital assistants, such as ChatGPT, to hallucinate and present unreal information as if it were real. In this sense, the relationship between AI and hallucination is evolving in a manner that is perceived to be negative. This is justified given the problematic nature of this issue in scientific studies. However, when considered from the perspective of artistic production, there may be potential for new avenues of creativity and imaginative expression. A reappraisal of the role of atmospheric factors in space design is required. The introduction of a novel aesthetic layer to the atmosphere through the use of AI is a possibility, given the hallucinatory tendencies of AI.*

**Keywords:** Artificial intelligence, aesthetics, atmosphere, experience, hallucination.

## 1. Giriş

Yapay zekanın (YZ) gelişimi, insanlık için önemli fırsatlar sunarken, aynı zamanda yeni zorluklar ve riskler de ortaya çıkarmaktadır. Ancak, doğru bir şekilde yönetildiğinde ve kullanıldığında, YZ teknolojisi insan hayatını önemli ölçüde iyileştirebileceği ve birçok alanda yenilikler getirebileceği ön görülmektedir. Bu yeni ortamın üretken pratiklerdeki insanlar üzerindeki etkileri dört tema üzerinden değerlendirilebilir (Epstein, 2023): (1) Estetik ve kültür; sanatçıların, sanat eserlerini dijital platformlarda ve YZ üzerinden nasıl sunacaklarına ve kültürel ifadelerinin nasıl şekilleneceğine odaklanmaktadır. (2) Mülkiyet ve telif ilişkisi hukuki sorunlar; sanatçıların eserlerinin haklarını korumak ve adil bir şekilde telif haklarından yararlanmak için YZ dünyasının yasal yapılarını kapsamaktadır (3) Yaratıcı çalışmanın geleceği; sanatçıların iş akışlarını, üretim süreçlerini ve gelir modelleri dijitalleşme gibi faktörlere bağlı olarak yeniden şekillendirmeyi ele almaktadır. Sanatçıların, dijital araçlar ve platformlar vasıtasıyla daha geniş bir kitleye ulaşma ve potansiyellerini artırma fırsatlarını da içermektedir. (4) Son olarak, çağdaş medya ekosistemi üzerindeki etkiler; sanatçıların dijital dünyada nasıl varlık göstereceklerini, kitlelere nasıl ulaşacaklarını ve bu ortamda nasıl bir etkiye sahip oldukları hakkında yol göstermektedir. Epstein'in (2023) belirttiği gibi, bu dört tema sanatçıların bu değişen ortama uyum sağlamasını ve potansiyelini en üst düzeye çıkarmasını sağlayacak kritik odak noktalarını temsil etmektedir.

Dört temadan ilki olan estetik ve kültür, sanatçıların dijital dünyada nasıl bir kimlik oluşturduklarını belirlemektedir. Bu tema altında incelenen estetik değerler ve kültürel ifadeler, sanatçıların estetik yargılarını yeniden tarif etmekte ve izledikleri yolları belirlemektedir. Bu çalışma sanat ve tasarım dünyasındaki değişim ve dönüşümleri incelemek adına estetik ve kültür alanını irdelemektedir.

## 2. Yapay Zeka ile Sanat Ve Tasarım İnisiyatiflerindeki Dönüşümler

### 2.1. Sanat Eserlerine ve Tasarıma Dair Veriler

YZ içerisinde bir üretim mekanizmasının gelişmesi için öncelikle verilerle beslenmeye ihtiyaç vardır. Gittikçe artan dijitalleşme inisiyatifleri ile çevrimiçi ulaşılabilen sanat koleksiyonlarında ciddi bir artış yaşanmıştır. Fiziksel bir eser ile onun dijital karşılığı bambaşka malzeme modları içerse de benzer bir bilgi yapısı ile kodlanmaktadır. Dijitalleşmiş koleksiyonların varlığı, ileri hesaplamalı yöntemlerin uygulanması açısından gerekli ön koşulu sağlayan bir alan olmuştur.

Dijitalleşen eserin analizine dair hesaplamalı yöntemlerde genellikle uzaktan izleme veya yakın okuma yaklaşımını kullanılmaktadır (Lecoutre ve diğerleri, 2017). Yakın okuma (görsel stilometri ve hesaplamalı sanatçı kimlik doğrulaması gibi işlemler ile) bir çalışmanın belirli yönlerine odaklanmayı gerektirmektedir

(Abry ve diğerleri, 2013; Graham ve diğerleri, 2012). Bu okumada fırça darbeleri ve doku gibi özelliklere yakından bakılır. Uzaktan izlemede ise belirli özelliklere veya benzerlik ilişkilerine odaklanılmaktadır. Veri setleri oluşturulurken çoğunlukla sanat uzmanları tarafından sanatçı, stil, tür, teknik, dönem gibi bilgiler oluşturulmaktadır. Duygu analizi ve estetik kalite değerlendirmesi içinse genellikle belirli anketler veya kitle kaynak platformları aracılığıyla toplanan çeşitli veriler gözden geçirilmektedir.

## 2.2. Teknolojideki Dönüm Noktaları

Bilgisayar tabanlı görme ve görselleştirme araştırmalarında son yıllarda birçok işleme ve doku sentezi algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmalar girdilere ressam, tasarımcı veya eskiz biçemi gibi koşulların tanımlanmasıyla görüntüyü çeşitli şekillerde değiştirmeyi hedeflemiştir. Bu çalışmalar 2000'lerin başına dayansa da (Efros ve Freeman, 2001; Hertzmann ve diğerleri, 2001), fotoğrafların düzenlenmesi ve görsellerin üretilmesi için derin nöral ağ sistemlerinin kullanılması son beş yılda hız kazanmıştır. Yaygın etki gösteren ilk kaynaklardan biri 2015'te çıkan DeepDream'stir. DeepDream ile beraber saykodelik ve halüsinatif görseller oluşturulmaya başlanmış ve bu biçem dijital sanat üretimlerinde popülerlik kazanmıştır. Devamında 2016 yılında NST (Neural Style Transfer) ile YZ'nın dijital sanat ve tasarım üretimlerinde kullanılması yaygınlık kazanmıştır (Jing ve diğerleri, 2020). Bu araç ile görünün içeriği ve stili ayrıştırılıp yorumlanabilir hale gelmiştir. Burada içerik, bir görüntüde tasvir edilen tanınabilir nesnelere ve şekillere karşılık gelirken; stil, içeriğin fotogerçekçi tasvirinden (estetik açıdan) ne tür bir görsel sapma yaşadığını ifade etmektedir. Fakat NST ile üretilen görüntüler özgün bir sanatsal yaratımdan ziyade mevcut görsel girdilerin bir kombinasyonunu oluşturmaktaydı. 2014 yılında çıkan GAN (Generative Adversarial Network) sistemi, gerçekçi görüntülerin ikna edici sahte varyasyonlarının oluşturulmasında etkili sonuçlar vermesiyle epey ilgi görmüştür. Bu durum GAN tabanlı birçok aracın çıkmasına neden olmuştur. 2017 yılında GAN modelinin halihazırda var olan sanat eserlerine benzeyen görüntülerin üretim yöntemlerini öğrenebileceği; ancak sanatsal bir üretim yapamayacağı savı ortaya atılmıştır. Bu sav ile AICAN (Artificial Intelligence Creative Adversarial Network) gündeme getirilmiştir. AICAN üretimleri ile yapılan denemelerde bir sanatçı tarafından üretilen işler ile YZ'nın ürettiği işlerin ayırt edilememeye başladığı görülmüştür. 2021'de OpenAI, metinlerden görüntüler oluşturan DALL-E uygulaması ile YZ'nın sanat üretiminde kullanılmasına yönelik bir çığır açmıştır. Bu inisiyatifi takiben 2022 yılında da benzer bir etki yaratan Midjourney platformu kurulmuştur. Bu aşamalar YZ aracılığıyla sanatın gidişatına dair önemli bir trendin izleğini oluşturmaktadır.

## 2.3. Sanatın ve Tasarımın Yapay Zekadaki Yenilikçi Yanı

Üretken Sanat (Generative Art) (McCormack ve diğerleri, 2014; Galanter, 2003) kavramı ile sanatın ve tasarımın teknolojiyle kesişiminde çeşitli adımlar atılmış ve yenilikçi yanları üzerine düşünülmüştür. Ancak YZ ile sanat alanında açılan yenilikler yeni bir boyut kazanmıştır. Hertzmann ve diğerleri (2001), bilgisayarın

sanat icra edip edemeyeceğini sorguladığı çalışmasında YZ sanatı ile fotoğrafın icadı arasında paralellikler kurmuş; sanat ve teknoloji arasındaki iş birliğinin evrimini incelemiştir. Bu bilgisayar-sanat etkileşimlerine dair tartışmaları takiben, YZ'nın yenilikçi yanının kodlar içeren görsellerin bir tür soyutlama ile çok katmanlı hale getirilmesi olduğu söylenebilir. Burada bir "örtük alan" (latent space) gündeme gelmektedir. Örtük alan, bilinen ve bilinmeyenin çok boyutlu etkileşimiyle oluşan sonsuz öneriler alanına işaret eder. YZ ile sanatçının ayırt edici yanı bu alanın tasarımı ve nasıl organize edileceğinde vücut bulmaktadır (Cetinic ve She, 2022). Bu bakış açısında makine ile sanatçının iş birliği kurması esas alınmaktadır. Fakat YZ ile bu tür bir iş birliğinden daha farklı ilişkiler de kurulabilmektedir.

#### 2.4. Yapay Zeka ile Etkileşimler

YZ ile sanat üretiminde üç temel perspektif yer almaktadır: (1) Kendi yaratıcı pratiğini genişletmek ve geliştirmek isteyen sanatçılar; (2) sanat pratiğinin anlaşılması ve geliştirilmesine yönelik sistemler ile ilgilenen araştırmacılar; (3) sanatı deneyimlemeye odaklanan izleyiciler. d'Inverno & McCormack (2015), bu üç perspektifi de kapsayacak şekilde, YZ ve sanat arasındaki ilişkinin doğasını iki karşıt konsept ile ele alır: (1) Kahraman YZ (Heroic AI) yazılımın tek yaratıcı kahraman rolünü üstlendiği durumu tanımlarken, (2) İşbirlikçi YZ (Collaborative AI) sistemin insanların yaratıcı faaliyetlerini desteklediği, kışkırttığı veya bu türden faaliyetlere zorladığı durumu tarif etmektedir. Kahraman YZ, sanatçının veya programcının doğrudan müdahalesi olmadan, sanatın özerk bir şekilde ürettiği sistemlerdir. Yazılım araştırmacı veya programcı tarafından geliştirilirken, sanatçı bu sürecin bir parçası değildir. Daha ziyade nihai sistemi kullanır. Burada özgünlük ve değer üretme konusunda zorluklar yaşanabilmektedir. İşbirlikçi YZ, sanatçıların bireysel veya kolektif çalışmalarını artırmak için tasarlanan sistemlerdir. Bu modelin daha iyi anlaşılması için "Aksedimsel\* Döngü Üreticisi" isimli uygulama örnek verilebilir (Pachet ve diğerleri, 2013). Bu uygulamada bir piyanist veya gitarist farklı kalıplarda akor dizileri çalar iken bir yerden sonra sistem müzisyene yanıt olarak performans (jam session) sergiler, sanatçıyla iş birliğine girerler ve bir arada üretmeye başlarlar. Bu durum müzisyenin yaratıcılığını tetikler. Paralel örnekler görsel sanatlar ve tasarım alanları için de kurulabilir. İşbirlikçi YZ'da yaşanabilecek olası sorunlar teknolojiyle çalışma süreçlerinde etkileşim, akış ve geri bildirim gibi konularını anlamakta çekilen güçlükler olabilir. Bu noktada çalışmaların farklı özgünlük katmanları kazanabilmesi için etkileşimli (ve reaksiyonel) bir teknik desteğe sahip olması ve dirsek temasının sürdürülebilir bir biçimde kurulması gerekebilir.

#### 2.5. Yapay Zekaya Dair İzlenimler ve Deneyimler

YZ üretimlerine verilen reaksiyonlara ve izlenimlere gelindiğinde, Elgammal ve diğerleri (2017), 2016'da Basel sanat fuarında AICAN sistemi ile üretilmiş eserleri insanların ürettiği eserlerle bir arada sergilemiş ve işlerin insan yapımı olup olmadığını sorgulatmıştır. Katılımcıların %75'i YZ ile üretilen çalışmaların insanlar

tarafından üretildiğini düşünmüştür. Ancak Hong ve Curran (2019) 288 katılımcıyla yürüttükleri araştırmada daha farklı sonuçlar bulmuştur. Yapılan anket çalışmalarının sonucu insan-YZ üretimlerinin değerlendirilmesinde farklılıklar olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada insan üretimleri; kompozisyon, ifade derecesi ve estetik değer açısından çok daha yüksek puanlanmıştır. Bir önceki çalışmanın aksine bu güncel çalışma YZ üretimlerinin Turing testini henüz geçemediğini tespit etmiştir. Wu ve diğerleri (2020), YZ ve insan üretimi şiir ve resimlerin algılanışı ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Sonuçlara göre ABD katılımcıları hem açık hem de örtülü olarak, YZ üretimlerine insan üretimlerinden daha eleştirel yaklaşmıştır. Ek olarak, Çinli katılımcıların insan içeriklerine YZ içeriklerinden daha fazla değer verdiği görülmüştür. Ragot ve diğerleri (2020), YZ içeriklerinin insan içeriklerine göre algılanmasında olumsuz bir ön yargı olduğunu gözlemlemiştir. Başka bir deyişle, YZ sanat eserleri, insanların ürettiği eserlere göre önemli ölçüde daha az beğenilmiş, daha az özgün, güzel ve anlamlı bulunmuştur. Önceki çalışmalara kıyasla 565 katılımcı gibi yüksek bir katılım ile gerçekleştirilmiş olması bu çalışmanın güvenilirliğinin daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Spesifik bir bulgu olarak katılımcıların portre görsellerinin sahibini manzara görsellerinin sahibinden daha başarılı bir şekilde tahmin edebildiği görülmüştür. Buradan YZ üretimindeki teknik özelliklerin şu anda manzara üretimi için portrelerden daha gelişmiş olduğu çıkarımı yapılabilir. YZ üretimlerine geliştirilen olumsuz önyargıda teknofobi (Oh ve diğerleri, 2017), makinelere duyulan kaygı ve tepkisel değersizleştirme (Ross, 1995) eğilimlerinin payı olabilir.

Lyu ve diğerleri (2022), sanatçı olanlar ve olmayanları bir arada incelediği bir araştırma yapmıştır. Yaptıkları kapsamlı çalışmada sanatçıların YZ'nin kontrol etkisinden memnun olmadıklarını, hatta kontrolü gereğinden fazla sisteme verdiklerini düşünmektedirler. YZ üretiminin rastlantısallığı ve çeşitliliği nedeniyle sanatçılar, araçları eskisi gibi kontrol etme becerisine yönelik bir güvensizlik yaşamaktadırlar. Görsel deneyimi fazla olan sanatçılar YZ resimlerindeki benzerlikleri tanımlayabildiklerini ve yeteri kadar özgün olmamakla ilgili bir sorunun olduğu düşünürken, görsel deneyimi az olan üreticiler aksini düşünmeye daha eğilimli çıkmıştır. YZ araçlarını kullanırken sanatçıların çoğunlukla gündelik hayatın sahnelerine dair doğrudan tasvirler yerine (bir sevgi limanı olarak ev gibi) metaforlara başvurduğu görülmüştür. Fakat, deneyim ve beceri farkından olması muhtemeldir ki, sanatçı olmayanların tutumu daha farklı olmuştur. Sanatçı olmayanların (sanatçılara kıyasla) çoğunlukla yaratıcı süreçleri basit ve doğrudan olmuştur. Genellikle aldıkları etkileyici sonuçlarda sanatçılara kıyasla çok daha fazla heyecan duymuşlardır. Bu kıstas üzerinden bir okuma yapmak gerekir ise, sanatçı olmayanlar teknolojik gelişmeler aracılığıyla çizim becerisinin yarattığı sınırlamaları aşip kendilerini yaratıcı yollarla ifade edebilmeye başlamıştır. Sanatçıların sanat arka planı olmayan insanlarla arasındaki teknik beceri farkı giderek daralmaktadır. Bu durum sanatçıların sanat üretimini ve iletişim kurma biçimlerini, teknik becerilerin ötesinde, farklı yönlerde açılımlandırmaya itecek gibi görünmektedir.

## 2.6. Yapay Zeka ile Üretilen Eserin/Tasarımın Sahibi Kimdir?

Bu da diğer başlıklar gibi başlı başına makalesi yazılacak kapsamda bir konudur. Ancak çok tartışmalı olan bu konuya da görmezden gelmemek adına kısaca değinilecektir. 2018 yılında Obvious kolektifi tarafından üretilen "Edmond Belamy'nin Portresi" adlı YZ sanat eseri, 432.500 dolara açık artırma ile satılmıştır. Christie's Belamy müzayedesi vakası sanatçılık ve telif hakkıyla ilgili birçok sorunu tartışmaya açmıştır. Bu durum bir YZ eserin üretilmesi, tanıtılması ve satışı sırasında dikkate alınması gereken etik konuları gündeme getirmiştir. YZ eseri beklenmedik fiyatlara satıldığında satıştan elde edilen kârın sahibinin kim olacağı sorgulanmaya başlanmıştır.

Mevcut durumda satışı yapılan YZ tabanlı eserlerin sahipliği YZ tekniklerini kullanarak üreten sanatçıya atfedilmektedir. Bir fotoğrafta atırın fotoğraf makinesine verilmesi anlamlı bulunmasa da YZ süreçlerinde durum fotoğraf makinesinin salt araç olmasına kıyasla daha karmaşıktır. YZ eserin eğitildiği verilerin bir kısmı telif hakkıyla korunan görselleri içeriyor olabilir. Böyle bir durumda sonuç üründe başka birilerinin sanatsal katkıları söz konusu olmaktadır. Bu türden referanslar sonuç üründe net bir şekilde okunamasa bile süreci besleyen girdiler olması nedeniyle konuyu etik açıdan tartışmalı hale getirmektedir (Cetinic & She, 2022). Dolayısıyla sanatın icra edilme sürecindeki tüm katkıların bir çeşit dökümünün yapılmasına ihtiyaç vardır. Ne var ki sanatçının yaratıcı süreçlerinin her aşamasını açık bir şekilde sunması, ortaya çıkan eserin sanat eserinden ziyade teknik bir ürün olarak algılanmasını tetikleyeceği için pek de istenilen bir durum olmayabilir.

## 3. Estetik Teorinin Süreçleri

Estetik teori 1990'lı yıllara kadar tekil nesnenin kendisine ve içeriğine odaklanmıştır. Ancak bu durum süreç içerisinde de yavaş yavaş değişiklikler göstermekteydi. Arthur Danto (1964) sanat dünyasını tarif etmeye giriştiği makalesinde herhangi bir şeyin belirli bir zamanda sanat dünyasının onun sanat olarak anlaşılmasını sağlaması ile sanat olarak işlev görebileceğini öne sürmüştür. Andy Warhol'un East Seventy Fourth Street'teki Stables Gallery'de açtığı bir sergide Brillo sabunluklarının kutuları (**Şekil 1**) ile ilk kez karşılaşıldığında ticari kültürün çıktılarının nasıl olup da sanat olarak kabul edilebildiği sorusu keskinleşir. Danto (1964), bir şeyin sadece ticari kültürün ya da eğlencenin bir ürünü olmaktan ziyade 'sanat' olarak anlaşılabilmesi için; nesnenin, eserin ya da performansın meşrulaştırıcı bir sanat teorisine ve 'sanat dünyasını oluşturan diğerleriyle paylaşılan kavramsal bir atmosfer'e ihtiyacı olduğunu savunur. Sanatın ne olduğunu konusu ancak bir sanat dünyasına gömülü olması yoluyla anlaşılabilir hale gelir. Başka bir deyişle; çoğu argüman, sanatsal üretim ve tasarım süreci bir atmosferi imler. Böyle bakıldığında, kavramlar dahi oluşturdukları bulutlar ile bir atmosferde asılı kaldığı müddetçe sanat eserini inşa edebilir. Bu tür örneklerin 'yeni estetik' söyleminin inşası için uygun ortamın hazırlayan bir izleğin parçaları olduğu söylenebilir.



Şekil 1. Andy Warhol'un 1964 yılında sergilenen Brillo kutuları (Url-1).

Böhme (1993, 1995) "yeni estetik" önerisi ile eserin kendisine değil deneyime odaklanan bir estetiği ortaya koymuştur. Böhme tekil nesneyle ya da bir 'iş'le değil, atmosferle ilgilenmiştir. Atmosferler, belirsiz hallerinden dolayı bu estetiğin merkezinde yer alır; ne bir insan öznesine ne de maddi bir nesneye aittirler. Daha ziyade insanın durumları ile onu çevreleyen nitelikler arasındaki ilişkiye işaret ederler. Konvansiyonel estetikte nesneye tamamlanmış bir çalışma olarak yorumlanacak bitmiş bir varlık olarak odaklanılmıştır.



Ancak atmosferi merkeze alan yeni estetik, odak noktamızı mekandaki fiziksel bir uzantı olan nesneye yöneltmektedir. Dolayısıyla nesne 'içerdiği' şeyle değil, mekana yayılma şekliyle karakterize edilmektedir. Böylelikle estetik teori mekânsal katmanlar edinmiştir.

Yeni estetikte gerçeklik, bir mekana girdiğimizde hissettiğimiz şeydir. Bu, gerçekten deşifre edemediğimiz, ancak basitçe bir şeyin varlığı olarak tanıyabildiğimiz bir şeyin mevcudiyeti anlamına gelmektedir. Bu mevcudiyet; nesnelere renkleri, malzemeleri gibi maddi referanslarla tanımlanmasının ötesine geçilmesini sağlamaktadır. Atmosferin merkeze alınmasıyla duyarlar hiyerarşisine bağlı olmayan bir estetik anlayışı oluşmuş; duyuşsal deneyimin çok-katmanlı bir yapı oluşturmasına imkan verilmiştir. Böhme'ye göre (1993) nesnelere atmosfer ile olan bağları nedeniyle mekânsal uzantılarıyla beraber doğrudan ve hemen algılanır. Kantçı geleneğin göz merkezliliğinin ardından atmosfer temelli bir estetik, mekânın algısını ve önemini değiştirmiştir.

Dahası, 'ara' fenomenler olarak atmosferler, özne ve nesnenin bir buluşma noktasını somutlaştırmaktadır. Özne-nesne ikiliği atmosferde algılayan ve algılananın ortak gerçekliği olarak çözünmektedir.

Batı sanatının yerleşik gidişatının sonlandığına ve sanatın yapıma, algılanma ve sergilenme biçimini değiştiren bir çoğulculuğa doğru yol alındığını açıklayan Danto (1998), sanatın estetikten kopuşunu teorize etmiştir. Bunu yaparken sanat eserlerinin bir tür görünüme sahip olduğunu inkar etmemiş, ancak sanatın "sanatsal teori atmosferi" tarafından aktarılan bir fikir veya anlamla ilgili olması bakımından sanat olmayandan farklı olduğunu vurgulamıştır. Bu açıdan "yeni estetik" söylemine benzer bir tandansa sahiptir. Sanat üretiminde YZ ve makine öğrenimi uygulamaları, bu noktadan tamamen uzaklaşarak, sanat eseri üretimine ilişkin biçimci estetik görüş ile sadece biçimsel ve üslupsal kalıpların taklit edilmesine değil, derin kültürel referanslara ihtiyaç duyan "anlam estetiği" arasındaki uçurumu daha da derinleştirmektedir (Arielli, 2021). Bu nedendir ki pasifize edilmiş olan sanatsal teori atmosferinin YZ ile gelen yeni üretim biçimlerinde nasıl yeniden aktive edilebileceğine yönelik çalışmalar yapmak önem arz etmektedir.

Özetle, görünen o ki dünyayı algılama biçimlerinde bu iki önemli adımdan sonra üçüncü bir aşamaya geçilmektedir. 2022 yılının Kasım ayında OpenAI tarafından ChatGPT'nin açık kaynak olarak sunulmasıyla YZ'nin eşliğinde yeni estetik tartışmalar gündeme gelmiştir. Bu çalışma YZ ve estetik kesişimindeki tartışmaları incelemeyi ve atmosferin nerede yer alabileceğine dair öngörülerde bulunmayı hedeflemektedir.

#### 4. Atmosfer ve Yapay Zeka

Atmosfer bir estetik deneyim teorisi olarak YZ gelişmeleri ile beraber önemini yitirmemiştir. Aksine atmosferin önemi daha da belirgin bir hale gelmiştir. YZ bağlamında estetik tartışmalarında bir ivme

kazanılmış olsa da aynı hareketlilik atmosfer ile YZ'nin ilişkisinde henüz kurulmamıştır. Bu bölüm literatürdeki bu eksikliğe işaret etmeyi ve bir giriş yapmayı hedeflemektedir.

#### 4.1. Dolaylı Yorumlar - Atmosfer İpuçuları

Erken dönem erkek hominidlerinden biri güneşli bir günde tapir kemiklerinin üstünde oturmaktadır. Çekiç ebatlarında bir kemiği alıp rastlantısal bir şekilde kaldırıp indirirken diğer kemiklere vurmaya başlar. Önce hafifçe vursa da gittikçe şiddeti artar. Kemik parçaları her yere uçuşur. Kemik parçası bir alete dönüşmesiyle beraber elde edilen gücün hiddetini de hominide nakşeder. Sonraki sahnede iki grup ilk hominid bir su birikintisi için gürütülü bir biçimde atışmaktadır. Daha önce kemiği keşfeden hominid yerden bir kemik alır ve akibine şiddetle savurarak kafasına ve gövdesine defalarca vurur; sonuç olarak rakibini öldürür. Kazanan alfa erkeği kemiği havaya fırlatırken çığlık atar ve ortam güneşli bir manzaradan Dünya'nın dış atmosferine geçerken kemik bir uzay gemisine dönüşür (**Şekil 2**). Bu anlatı teknolojinin araçlardan mekanlara doğru ölçekler arası atlayışının tesirini göstermektedir. Aynı estetik teoride olduğu gibi nesnenin kendisinden mekana, uzamsal bir bağlayıcı olan, atmosfer ile geçildiğini gösterir. Öyle ki, dünya dışında bir atmosferde iç atmosferlerin tasarlandığı noktaya gelinmiştir. Keza kemiğin bir hava katmanına fırlatılması da meteorolojik kökenlerden gelen atmosferin de başından beri bu işin içinde olduğunu göstermesi açısından tesadüfi bir anlatı olarak görünmemektedir.



Şekil 2. Teknolojinin nesneden mekana nüfuz edişi (2001: A Space Odyssey filminden kareler).

#### 4.2. Dolaylı Yorumlar - Dijital teknolojiler ve atmosfer

Atmosfer literatüründe teknolojik araçlara ve gelişmelere yer veren araştırmalar bulunmaktadır. Ash (2013) teknik nesnelerin cansız mekanizmalar olmadığını, aktif olarak mekan-zamansal atmosferler ürettiğini ve bu atmosferlere gömülen insanları şekillendirdiğini savunmaktadır. Teknik nesnelere tarafından oluşturulabilecek

farklı atmosfer türlerini düşünmek için iPhone 4'ü bir düşünce deneyi olarak kullanan makale, coğrafyacıların kendilerini bu atmosferlere uyum sağlamaları ve mekan-zamanın organizasyonu ve deneyiminde oynadıkları rolün farkına varmaları gerektiğini öne sürmektedir. Hernan & Dade-Robertson (2016) yapılı çevredeki görünmez teknolojilerin atmosferlerini incelemiştir. Wi-Fi ağları üzerinden yapılan çalışma, kablosuz ağların kültürel olarak okunmasına yönelik bir örnek sunmaktadır (**Şekil 3**). Maddi-olmayanın (immaterial) estetiği ile ilgili argüman geliştirmektedir.



**Şekil 3.** Wi-Fi Ağlarındaki eşik durumunu gösteren, Newcastle Üniversitesi Mimarlık Okulu girişinde üretilmiş görüntü (Hernan & Dade-Robertson, 2016).

Kent ölçeğinde bir örnekten devam etmek gerekirse, kamuoyunun sanatçıların uzun yıllardır birlikte çalıştığı bilgisayar tabanlı medyaya dair memnuniyeti sosyal medyayı dikkate alındığında görülür hale gelmektedir. Boden & Edmonds (2019) bir atmosfer kıstası ile ortaya koymak adına 2013 yılında Sidney’de düzenlenen Vivid Festivali’ni örnek vermektedir (**Şekil 4**). Bu festivalde interaktif deneyim ve etkileşimli sanat tüm merkezi liman kıyı şeridinde daha önce sunulandan çok daha büyük bir programla sergilenmiştir. İnsanların kalabalıktan toplu taşımalara binemediği, sokaklara taşıdığı festival Sidney’in sıkça şahit olunan yılbaşı atmosferi ile yarışır yeni bir atmosfer yarattı. Bilgisayar tabanlı sanat üretimlerinin kente taşması ve kent atmosferinde yeni katmanlar oluşturması kent estetiğinin yeniden düşünülmesi için önemli bir veri sunmaktadır.



**Şekil 4.** Sidney’de düzenlenen Vivid Festivali’nden bir kare (Nelson, 2013).

Verilebilecek çokça örnek bulunmasına karşın, bu çalışmanın konuya dair farklı perspektifleri bir araya getirme hedefinden ötürü sosyokültürel bir yaklaşıma geçilebilir: Donnarumma (2022) YZ estetiğini ötekileştirme üzerinden incelerken medya sanatının kapitalist çarklar arasında kalma durumunu ortaya koymuş ve bunu bir atmosfer referansı ile ele almıştır. Fischer’a göre (2009), kapitalizm kendisini siyaset ve finansın düzenlenmesiyle sınırlamaz. Bundan ziyade hayal gücünü kültürden, işten ve eğitimden koparan,

(kapitalist gerçekçilik olarak da adlandırılabilen) kimi zaman maddesel, kimi zaman maddeye dayanmayan (immaterial) yaygın bir atmosferdir. Kapitalist gerçekçilik doktrini, kendi dayanıklılığını sağlamaya yönelik bir strateji olarak, kapitalizmin ötesinde var olan olası geleceklerin ufkuna “gri bir perde” (Fischer, 2009; s81) dikmiştir. Bu perde temelde dirençli bir atmosfer üretimi ile gerçekleşir ve doğrudan okunması güçtür. Medya sanatları ve tasarım pratikleri de bu atmosferden nasibini almaktadır. Donnarumma’ya göre (2022) medya sanatında ve diğer alanlarda ihtiyaç duyulan şey, YZ teknolojilerinin gri perdenin ardındaki mevcut rotasını değiştirmenin alternatif yollarını hayal etmeye yönelik sıkı bir çalışmadır. Bu tür çalışmalar ile YZ estetiğini yeniden anlamak ve dönüştürmek için kurucu unsur atmosfer olmak durumundadır.

### 4.3. Doğrudan Yorumlar - Yapay Zeka ve Atmosfer

Yakın zamanlı çalışmalara bakılacak olursa, Rappe (2020) dijitalleşme ve YZ ile atmosferlerin gücündeki dönüşümünü incelemiştir. Teknolojinin kimin elinde olduğuna bağlı oluşabilecek etik sorunlara ve atmosfer konusuna yer vermiştir. Stodolsky (2023) YZ çağında Walter Benjamin'in "aura"sına bir bakış atmaktadır. YZ destekli platformlar ve algoritmalar, sanatın yaygın dağıtımına ve tüketimine katkıda bulunarak onu küresel bir izleyici kitlesi için erişilebilir hale getirmektedir. Stodolsky'ye göre Benjamin'in kavramlarını göz önünde bulundurarak, YZ'nin dijital çağda sanatın yaratılması, yayılması ve yorumlanması üzerindeki etkilerine dair içgörü elde edebiliriz. Benjamin (1969) montajın etkilerini tartışıyor ve bunu, aynı malzeme üzerinde sayısız düzenleme olanağına izin vererek "aura"nın yayılmasının bir yolu olarak görüyor. Ancak sinema üzerine düşüncelerine bakıldığında Benjamin, yakalanan ve temsil edilen içeriğin sınırlılığı nedeniyle sinemada auranın kaybolmasına işaret etmektedir. Çıktının yalnızca olası bir sonucun temsili olması nedeniyle bu okuma, metin üreten programlarla (text generative programmes) da ilişkilendirilebilir.

Benjamin'in aura olarak tanımladığı şeyin aslında her insan etkileşiminde var olma potansiyeline sahiptir. Gerçek özgünlük (otantisite), sanat eserine ya da bir nesneye bağlı bir kavramdan ziyade, ancak saf insan deneyimiyle mümkün olabilir. Zamansal ve anlık değeri nedeniyle kaydedilmesi mümkün olmayan, her birey için yalnızca burada ve şimdi var olan bir değerdir. Bu değerın mekanik reproduksiyon veya teknolojik gelişmelerle bağlantılı olarak azalan doğasının asıl nedeni, insan etkileşiminin sıklığının azalmasıyla ilgili görülüyordu. Yakın zamana kadar teknolojik gelişmelerin kendi başlarına içerik üretmemesi veya geliştirememesi, makineyi insanın aurasına bağımlı tutuyordu. Fakat bu durum YZ ile birlikte değişmiştir. YZ'nin giderek daha geniş bir yaratıcı ve izleyici yelpazesine erişilebilirliği de auranın yayılımına bir adım daha yaklaştırmaktadır. Benjamin'in aura kavramı teknolojik çağda yeni bir anlam kazanmaktadır.

Stodolsky'ye göre (2023), sinir ağlarının sundukları sonuçları nasıl ürettiğini görememek veya anlayamamak, özgünlüğün kaybolmasına neden olmaktadır. Ancak ilginç bir şekilde, her bilgi istemi gönderildiğinde

benzersiz bir sonuç üretilmektedir. Dolayısıyla henüz özgünlüğü olmamasına rağmen Benjamin'in aurasının niteliklerine benzeyen, dijital aura (digi-aura) veya teknolojik aura (tech-aura) olarak adlandırılabilir bir olgu ortaya çıkmaktadır. Bu “örtük alan” tartışmasındaki sonsuz öneriler ağından beslenen bir önermedir.

Konuya dair çeşitli girişler yapılmış olsa da atmosferin YZ ile ilişkisi üzerine henüz bir teori inşa edilmemiştir. Bu noktada Hem Rappé'de (2020) hem de Stodolsky'de (2023) (epey farklı biçimlerde de olsa) bulunan halüsinasyon kavramı üzerinden bir açılım yapmak mümkün olabilir. Böylelikle estetik teorinin YZ ile dönüşümünün bir okuması yapılabilir.

#### 4.4. Bir Kesişim Noktası Olarak Halüsinasyon

Atmosferin imgesi, konvansiyonel imge kavrayışının ötesinde, bireyin aniden kendini bir atmosferin içinde bulması ve ona hızla adapte olma süreciyle ilişkilidir. Bu sürecin geçişini sağlayan unsur, atmosferin belirsizliği ve değişkenliği ile ilişkilendirilen 'halüsinatif imge'de kendine karşılık bulur (Hatipoğlu & Tatlı, 2022). Türkçede 'sanrı' olarak ifade edilen halüsinasyon, gerçekte var olmayan nesnelere varmış gibi algılama durumunu ifade eder. Sanrı, kişinin kesin olarak inandığı, nesnelere bir algıdır. Bu durum, şu özelliklerle tanımlanabilir: “... [Sanrı] gerçekte karşılığı bulunmayan bir algı içeriği edinme halini, olmayanı algılama durumunu, uyanıklık halinde, gerçek olduğunu sanarak düş görme halini ifade eder” (Cevizci, 2005, s. 70). Bu hali ile referanslarını fiziki dünya ile sınırlamayan bir yapısı vardır.

Halüsinatif deneyim, mitlerin bedenle olan ilişkisini inceleyen Merleau-Ponty aracılığıyla da açıklanabilir. Merleau-Ponty (2002), mitlerin kökenlerinin bedende olmasından dolayı uzamsal deneyimi küçülterek nesnelere yaklaştırdığını ve böylece insanları dünyalarıyla bütünleştirdiğini belirtir. Mitolojik bilinç, nesnelere bir 'şey' veya gerçeklikten önce var olur (ss. 338-339). Çevresini mitolojik bilinçle deneyimleyen bireyler, salt geometrik uzayda gerçekleşen nesnelere önceleyen eleştirel düşünmenin ötesine geçebilirler. Halüsinatif deneyim ve mitlere yol açan durum; mekanda bir daralma, şeylerin bedenimizde kök salması, nesnenin yakınlığı ve insanın dünya ile kurduğu birliktir. Ancak bu tür bir deneyim, gündelik yaşam algısı ve objektif düşünme pratikleri nedeniyle arka planda itilme eğilimi ile karşı karşıya kalmaktadır.

Sanatsal etkileşimlerde, özellikle sinema deneyiminde, Pallasmaa (2001) halüsinatif bir etkinin varlığını vurgular. Ona göre, gerçek mimarlık halüsinatif bir hava taşır. Bu havanın etkisiyle; insanın yönelimleri, duyguları ve düşünceleri şekillenir. Dolayısıyla, atmosferin bileşenlerinden birinin halüsinatif tonlar olduğu söylenebilir. Bireylerin atmosferle olan bu etkileşimi, sadece fiziksel değil, aynı zamanda duygusal ve psikolojik boyutlarda da gerçekleşir. Halüsinatif imgeler, bireyin zihninde yer ederek, çevresel algısını ve

duygusal tepkilerini yeniden şekillendirir. Bu durum, bireyin mekansal deneyimini zenginleştirir ve muğlak anlam katmanları ekler.

## 5. Tartışma

YZ'nın potansiyel estetik zeminleri üzerine olan bu çalışmanın tartışması önermeler ve YZ estetiğine dair yapı taşları olarak iki bölümde ele alınabilir.

### 5.1. Önermeler

*Teknik arkaplandaki atmosfer tecrübesinin önemi* - Çalışmaların farklı özgünlük katmanları kazanabilmesi için etkileşimli bir teknik desteğe sahip olması ve dirsek temasının sürdürülebilir bir biçimde kurulması gerekebilir. Teknolojik altyapının manipülasyonları ve etkileşimli olarak süreç boyunca yeni katmanlar oluşturması YZ estetiğini farklı bir noktaya taşıyabilir. Çünkü estetik imgenin üretimindeki aktörlerin sayısı ve niteliği konvansiyonel estetik ve yeni estetik teorilerinden epey farklılaşmaktadır. Sürdürülebilir teknik desteğin sağlayıcısı olan aktörlerin atmosfer ilişkileri konusunda ihtisası olmaması ve atmosferi göz ardı etmesi olası bir eğilimdir. Bunun göz ardı edilmemesi için atmosfer ve AI çalışmalarına devam etmek, derinleştirmek ve YZ süreçlerinin farklı aktörleriyle paylaşmak önem arz eder.

*Deneyimi fazla olan aktörlerin hiyerarşisi* - Görsel deneyimi fazla olan sanatçıların ve tasarımcıların YZ resimlerindeki benzerlikleri tanımlayabilmeleri ve özgün bulmamaları YZ araçlarının geliştirilmesine ve kendi çizgilerini oluşturmasına katkı sağlayabilir. Bunun için deneyimli sanatçılar ve tasarımcılardan hiyerarşik olarak daha öncelikli beslenen bir veri havuzu olması, YZ'nın kendi özgün estetik zeminini oluşturmasına aracı olabilir. Benzer bir şekilde gündelik hayatta ve tasarımlarda atmosfer deneyimi fazla tasarımcılar YZ'nın üretimlerinden tatmin olmayarak daha uzamsal ve içkin deneyimlerin YZ ile geliştirilebilmesine katkı sunabilirler. Bu nedenle YZ-Mimarlık ve tasarım araştırmalarında atmosferleri idrak etme ve/veya üretme becerisi yüksek olan kişileri ön değerlendirmelerle tespit edip onlarla çalışmak önemlidir.

*Kısmi telif hakkına yönelik 'kısmi' tanımlamalarının gerekliliği* - Bir fotoğraf çekerken yalnızca teknik bir araç olmasından ziyade fotoğraf makinesine atıf verilmesi tuhaf görülebilirdi. Ancak YZ da bir araç olarak görülse de bu aracın beslendiği veriler sürekli güncellenmektedir. Bunun çoğunlukla kapalı bir sistem olması, YZ çıktısının nelerden ne kadar ilham alarak oluşturulduğunu anlamaya imkan vermez. Tamamı ile şeffaf bir süreçten geçmeyecek olsa bile 'kısmi telif hakkı' üzerine bir yöntem geliştirilmesi elzemdir. Telif hakkının kısmiliği de YZ estetiğinin karakteristik yanlarından birini oluşturacaktır.

*Çizim becerisiden atmosfer üretme becerisine bir yolculuk* - YZ ile sanatçı olmayanlar, teknolojik gelişmeler aracılığıyla, çizim becerisinin yarattığı sınırlamaları aşip kendilerini yaratıcı yollarla ifade edebilmeye başlamıştır. Sanatçıların sanat arka planı olmayan insanlarla arasındaki teknik beceri farkı giderek daralmaktadır. Bu durum sanatçıların üretimini ve iletişim kurma biçimlerini, teknik becerilerin ötesinde, farklı yönlerde açılımlandırmaya itecek gibi görünmektedir. Buradaki yeni ayrışma atmosfer üretme becerisiyle ortaya çıkabilir. YZ'nın meydana getirdiği yaratıcı rekabet, YZ estetiğinin atmosfer üzerinden gelişmesine aracı olabilir.

*Kültürel ve bedensel referansların yorumlanabilmesi* - Bahsi geçmiş olan 'sanatsal teori atmosferi' ile aktarılan bir anlamın sanatsal üretimler ve tasarım süreçleri için önemi göz ardı edilmemelidir. YZ üretimlerinin bu noktadan uzaklaşması ile doğan sadece biçimsel ve üslupsal kalıpların taklit edilmesi YZ'nın kendine ait bir estetiğinin oluşmasının önünde bir engeldir. Biçimi aşip kültürel ve bedensel referansları da içerebilen ve yorumlayabilen bir anlam estetiğine ihtiyaç vardır. Şu haliyle YZ yeni bir estetik teorinin kapılarını aralasa da kapıdan tam anlamıyla geçebilmesi için bu tür sorunların çözülmesi elzemdir.

## 5.2. Yapay Zeka Estetiğine Dair Yapı Taşları

*Estetik akıntı* - 'Örtük alan' ile bilinen ve bilinmeyen çok boyutlu etkileşimiyle oluşan sonsuz öneriler alanı ortaya çıkmaktadır. Böylelikle durmadan akan bir veri akışı içerisinde tekrarlanması güç üretimler anlık olarak belirir. Durmaksızın başka önerilerin gelmesi ve gitmesi; bir an için sabitlenen fenomenin herhangi bir kalıcılığı imlememesi nedeniyle bu zemine 'estetik akıntı' (aesthetic stream) adı verilebilir. YZ'nın kendine özgü estetiği bu zemin üzerine inşa edilebilir.

Her bilgi istemi gönderildiğinde benzersiz bir sonuç üretilmesinden referans ile Benjamin'in aurasının dönüşümü ile önerilen, dijital aura veya teknolojik aura "örtük alan" tartışmasındaki sonsuz öneriler ağından beslenen bir önermedir. Tartışmalara aura kapsamında başlamanın kısıtlayıcı yanları olabilir. Bunun yerine 'estetik akıntı' zemininden atmosfere doğru giden bir süreç izlenebilir.

*Yarı-geçirgen bir estetik* - Kısmi telif hakkı konusunun değinildiği gibi gelinen noktada analize kapalı bir süreç olduğu görülmektedir. Ancak konvansiyonel sanat üretimlerinde de genellikle sanatçı yaptığı çalışmayı hangi tekniklerle yaptığını ve ne gibi süreçlerden geçtiğini detaylı bir şekilde açıklamaz. Zaten bunları sözel olarak ifade edebileceğine inansaydı, sanatsal bir üretim yerine doğrudan yazabilirdi. Dolayısıyla bu durum tamamı ile negatif bir reaksiyona tabi tutulmamaktadır. Sanat eserini incelerken kullanılan malzeme vb referanslarla bazı tahminlerde bulunulabilse de YZ üretimlerinde bu türden izlenimlere de imkan verilmemektedir. Rahatsızlık duyulan nokta genellikle burasıdır. Dolayısıyla süreçler katı bir şekilde açıklanmak yerine



atmosferin yapısına benzer bir şekilde bulutsu bir anlatıya dönüştürebilir. Sanatçı veya tasarımcı arka plandaki sürecin denetimi için üretim aşamaları tek tek tutulabilir. Ancak üretimlerin ön yüzündeki "yarı-geçirgenlik" YZ estetiğinin tarif edilmesinde de önemli bir nokta olabilir.

*Yapay zekanın ara-fenomen olarak incelenmesi* - YZ aktörleri (1) kendi yaratıcı pratiğini genişletmek ve geliştirmek isteyen sanatçılar ve tasarımcılar; (2) sanat veya tasarım pratiğinin anlaşılması ve geliştirilmesine yönelik sistemler ile ilgilenen araştırmacılar; (3) sanatı ve tasarımı deneyimlemeye odaklanan izleyiciler olarak üç gruba dağılıyor gibi görünmektedir. Ancak asıl kurucu öge, bu öznelere birinden ziyade bu öznelere ve üretim pratiklerinin arasında asılı kalan durumdur. Bu konuya yaklaşırken atmosferin hem özne-benzeri hem de nesne-benzeri olarak tarif edilebilen karakterine başvurulabilir (detaylı değerlendirme için: Hatipoğlu & Tokman, 2021). YZ üretimini salt bir çıktı olarak değil, 'yeni estetik' teorisinin birikimlerini esas alarak ara-fenomen olarak bir değerlendirmek anlamlı olacaktır.

*Metaforik istemler* - Daha önce bahsedildiği gibi, sanat geçmişi olan kullanıcıların gündelik kullanıcılara kıyasla daha çok metafor istemleri ile girişler yaptığı görülmüştür. Dolayısıyla atmosferleri de üretmek için YZ araçlarında metaforlara başvurmak kritik bir öneme sahiptir. YZ estetiğinin öncülü estetik teorilerden farkını ortaya koyan noktalardan biri de metaforik istem tabanlı olması ve metaforları bir araya getirişindeki yenilikçi yaklaşımlar olabilir.

*Halüsinatif katmanlar ve alternatif değerlendirmeler* - YZ'nin gücü ile imgelemin halüsinatif katmanları artırılabilir. Ancak şuan gündemde olan konu ChatGPT gibi YZ asistanlarının halüsinasyon görmeleri ve gerçek olmayan bilgilerin gerçekmiş gibi sunulmasıdır. Bu haliyle YZ'nin halüsinasyon ile ilişkisi negatif bir tandansta ilerlemektedir. Bu bilimsel çalışmalarda bir problem olması sebebiyle haklı bir negativiteye sahiptir. Ancak sanatsal üretim tabanında bakıldığında imgeleminde yeni kapılar açılabilir. Sonuç ürün yerine sürecin bir parçası olarak görülürse sanatçıyı başka olasılıkları görerek inşa etmeye itebilir. Yaratıcılığa dair farklı yorumlar ortaya konabilir. Bu konu özellikle mekanın tasarımına gelindiğinde atmosferik etmenler yeniden değerlendirilmelidir. Atmosferin YZ ile yeni bir estetik katman açması YZ'nin halüsinasyon yatkınlıklarıyla gerçekleşebilir.

## Notlar

\* Burada "Reflexive Looper"ın çevirisi yapılmıştır. Reflexive kelimesi, reflection kelimesinden gelmektedir. Reflection kelimesi "akış, yankı veya yansıma" gibi kelimelerle çevrilmesine karşın entelektüel düzlemde "tefekkür, derinlemesine düşünme"ye karşılık gelmektedir. Ancak bağımsız bir düşünmeye (thinking) kıyasla bizi düşünme konusunda harekete geçirdiği için bir edim de söz konusudur. Yazar, düşünsel bir yansımanın (akışın) edimi olduğu için Türkçe'ye "aksedim"

olarak çevrilmesini önermektedir. Aksedim, yansıma ve düşünmeyi bir edim ile birleştirmektedir. Bu konu detaylı bir biçimde yazarın "Oluklu Mukavva" isimli podcast programında tartışılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abry, P., Wendt, H., & Jaffard, S. (2013). When Van Gogh meets Mandelbrot: Multifractal classification of painting's texture. *Signal Processing*, 93(3), 554-572. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2012.01.016>
- Arielli, E. (2021). *Extended aesthetics: art and artificial intelligence* Proceedings of the European Society for Aesthetics,
- Ash, J. (2013). Rethinking affective atmospheres: Technology, perturbation and space times of the non-human. *Geoforum*, 49, 20-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.05.006>
- Benjamin, W. (1969 [1935]). The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction. In *Illuminations* (pp. 11-37). Schocken Books.
- Boden, M. A., & Edmonds, E. A. (2019). *From fingers to digits: an artificial aesthetic*. MIT Press.
- Böhme, G. (1993). Atmosphere as the Fundamental Concept of a New Aesthetics. *Thesis Eleven*, 36(1), 113-126. <https://doi.org/10.1177/072551369303600107>
- Böhme, G. (1995). *Atmosphäre: Essays zur neuen Ästhetik [Atmosphere: Essays on the new aesthetics]*. Suhrkamp Verlag.
- Cetinic, E., & She, J. (2022). Understanding and creating art with AI: Review and outlook. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 18(2), 1-22.
- Cevizci, A. (2005). *Felsefe Sözlüğü*. Paradigma Yayıncılık.
- Danto, A. (1964). The artworld. *The journal of philosophy*, 61(19), 571-584.
- Danto, A. C. (1998). *Beyond the Brillo box: The visual arts in post-historical perspective*. Univ of California Press.
- d'Inverno, M., & McCormack, J. (2015). *Heroic versus collaborative AI for the arts* IJCAI'15: Proceedings of the 24th International Conference on Artificial Intelligence,
- Donnarumma, M. (2022). Against the norm: othering and otherness in AI aesthetics. *Digital Culture & Society*, 8(2), 39-66.
- Efros, A. A., & Freeman, W. T. (2001). *Image quilting for texture synthesis and transfer* Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, <https://doi.org/10.1145/383259.383296>
- Elgammal, A., Liu, B., Elhoseiny, M., & Mazzone, M. (2017). Can: Creative adversarial networks, generating "art" by learning about styles and deviating from style norms. *arXiv preprint arXiv:1706.07068*.
- Epstein, Z., Hertzmann, A., Creativity, I. o. H., Akten, M., Farid, H., Fjeld, J., Frank, M. R., Groh, M., Herman, L., & Leach, N. (2023). Art and the science of generative AI. *Science*, 380(6650), 1110-1111.
- Fisher, M. (2009). *Capitalist realism: Is there no alternative?* Repeater Books.
- Galanter, P. (2003). What is generative art? Complexity theory as a context for art theory. In GA2003–6th Generative Art Conference.
- Graham, D. J., Hughes, J. M., Leder, H., & Rockmore, D. N. (2012). Statistics, vision, and the analysis of artistic style. *WIREs Computational Statistics*, 4(2), 115-123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wics.197>

- Hatipoğlu, S. C., & Tatlı, C. (2022). Digital possibilities of the atmosphere: Metaverse and hallucinatory image. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 23, 119-130. <https://doi.org/https://doi.org/10.18038/estubtda.1170931>
- Hatipoğlu, S. C., & Tokman, L. Y. (2021). *Atmospheric perception in digital space* ARCHDESIGN '21 / VIII. International Architectural Design Conference, Istanbul.
- Hernan, L., & Dade-Robertson, M. (2016). Atmospheres of digital technology: wireless spectres and ghosts outside the machine. *Digital Creativity*, 27(3), 214-233. <https://doi.org/10.1080/14626268.2016.1210647>
- Hertzmann, A., Jacobs, C. E., Oliver, N., Curless, B., & Salesin, D. H. (2001). *Image analogies* Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, <https://doi.org/10.1145/383259.383295>
- Hertzmann, A., Jacobs, C. E., Oliver, N., Curless, B., & Salesin, D. H. (2001). *Image analogies* Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, <https://doi.org/10.1145/383259.383295>
- Hong, J.-W., & Curran, N. M. (2019). Artificial intelligence, artists, and art: attitudes toward artwork produced by humans vs. artificial intelligence. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 15(2s), 1-16.
- Jing, Y., Yang, Y., Feng, Z., Ye, J., Yu, Y., & Song, M. (2020). Neural Style Transfer: A Review. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(11), 3365-3385. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2921336>
- Lecoutre, A., Negrevergne, B., & Yger, F. (2017). *Recognizing Art Style Automatically in Painting with Deep Learning* Proceedings of the Ninth Asian Conference on Machine Learning, Proceedings of Machine Learning Research. <https://proceedings.mlr.press/v77/lecoutre17a.html>
- Lyu, Y., Wang, X., Lin, R., & Wu, J. (2022). Communication in human–AI co-creation: Perceptual analysis of paintings generated by text-to-image system. *Applied Sciences*, 12(22), 11312.
- McCormack, J., Bown, O., Dorin, A., McCabe, J., Monro, G., & Whitelaw, M. (2014). Ten questions concerning generative computer art. *Leonardo*, 47(2), 135-141.
- Merleau-Ponty, M. (2002 [1945]). *Phenomenology of perception*. Routledge.
- Nelson, A. (2013). *A spectacular canvas: The 2013 Vivid Sydney Festival kicks off with "play"*. <https://www.knstrct.com/art-blog/2013/05/23/a-spectacular-canvas-the-2013-vivid-sydney-festival-kicks-off> (Erişim tarihi: 05.02.2024)
- Oh, C., Lee, T., Kim, Y., Park, S., Kwon, S., & Suh, B. (2017). Us vs. them: Understanding artificial intelligence technophobia over the google deepmind challenge match. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems,
- Pachet, F., Roy, P., Moreira, J., & d'Inverno, M. (2013). Reflexive loopers for solo musical improvisation. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- Pallasmaa, J. (2001). *The architecture of image: Existential space in cinema*. Building Information Ltd.
- Ragot, M., Martin, N., & Cojean, S. (2020). Ai-generated vs. human artworks. a perception bias towards artificial intelligence? Extended abstracts of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems.

- Rappe, G. (2020). Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und die Macht der Atmosphären [Digitalization, artificial intelligence and the power of atmospheres] [Digitalization, artificial intelligence and the power of atmospheres]. In C. Julmi & B. Wolf (Eds.), *Die Macht der Atmosphären* (ss. 41-59). Karl Alber.
- Ross, L. (1995). Reactive Devaluation in Negotiation and Conflict Resolution. In K. Arrow, R. Mnookin, L. Ross, A. Tversky, & R. B. Wilson (Eds.), *Barriers to Conflict Resolution*.
- Stodolsky, A. (2023). *Walter Benjamin's "aura" in the Age of AI*. The Academy of Performing Arts in Prague.
- Url-1. *Brillo Box (Soap Pads) (Andy Warhol, 1964)*. <https://www.artchive.com/artwork/brillo-box-soap-pads-andy-warhol-1964/> (Erişim tarihi: 08.02.2024)
- Wu, Y., Mou, Y., Li, Z., & Xu, K. (2020). Investigating American and Chinese subjects' explicit and implicit perceptions of AI-generated artistic work. *Computers in Human Behavior*, 104, 106186.

# Tek Katlı Yapılar için Çekişmeli Üretici Ağlarda Ölçeklendirme ve Kontrol Yöntemleri

Mertcan Güldilek<sup>1</sup> ; Berk Ekici<sup>2</sup>  Mustafa Emre İlal<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü


<sup>1</sup>mertcanguldilek@gmail.com; <sup>2</sup>emreilal@iyte.edu.tr; <sup>3</sup>berkekici@iyte.edu.tr

## Özet

Yapay zeka (YZ) teknolojilerinin, birçok alanda insanlardan daha hızlı ve etkili çözümler sunabilme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Mimarlıkta ise, YZ'nin daha işlevsel ve daha yüksek başarılı yapılar oluşturması beklenmektedir. YZ ile mimari plan tasarımı üretme çalışmalarında Çekişmeli Üretici Ağlar (ÇÜA - Generative Adversarial Networks - GAN) kullanımı literatürde tercih edilmektedir. Sunulan bu çalışma kapsamında, literatürde var olan tek katlı bina plan çözüm kütüphanelerinden öğrenip yeni planlar oluşturabilen bir model geliştirilmiştir. U-Net Mimarisi ve Uygulamalı Evrimsel Mesaj Aktarımı (UEMA) ÇÜA modeline entegre edilmiş ve modelin odalar arası ilişkileri daha iyi öğrenmesi ve kenar algısını güçlendirmesi sağlanmıştır. Eğitimi tamamlanmış model için pikselleri gerçek alanlara çevirmek üzere bir ölçeklendirme yöntemi geliştirildikten sonra kullanıcının üretilen planlar üzerinde kontrolün sağlanması için iki ayrı yaklaşım araştırılmıştır. İlk yaklaşım model üretirken oda boyutlarını kısıtlamaya, ikinci yöntem ise üretilen planların kısıtlara uymayanlarını kabul etmemeye dayalıdır. İki yaklaşım da başarılı sonuçlar verirken, ilk yaklaşımda odalar arası ilişkilerde sorunlar gözlemlenmiş, ikinci yaklaşımda ise plan üretim süreci uzamıştır. Kullanıcılar, geliştiren sistemde odaların boyutlarını ve planın toplam metrekaresini belirleyerek tek katlı plan tasarımları üretebilmektedirler. Bu araştırma, tasarım süreçlerinde kullanıcı merkezli tasarım süreçlerinin geliştirilmesinin önemini ve mimari planlamada veriye dayalı yaklaşımların kullanım potansiyelini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Üretken çekişmeli ağlar, kullanıcı entegrasyonu, plan üretimi.

# Scale and Control Methods in Generative Adversarial Networks for Single-Story Houses

Mertcan Güldilek<sup>1</sup> ; Berk Ekici<sup>2</sup>  Mustafa Emre İlal<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup>Izmir Institute of Technology

<sup>1</sup>mertcanguldilek@gmail.com; <sup>2</sup>emreilal@iyte.edu.tr; <sup>3</sup>berkekici@iyte.edu.tr

## Abstract

Artificial intelligence (AI) technologies can provide faster and more effective solutions than humans in many fields. In architecture, AI is expected to create more functional and better performing buildings. Generative Adversarial Networks (GAN) are preferred in the literature for generating architectural plan designs with AI. This study developed a model that can learn from existing single-story building plan solution libraries in the literature and generate new plans. U-Net Architecture and Convolutional Message Passing Algorithm (Conv-MPN) were integrated into the GAN model, enabling the model to learn the relationships between rooms better and enhance edge perception. After developing a scaling method to convert pixels to real-world areas for the trained model, two different approaches were investigated to provide user control over generated plans. The first approach is based on restricting the room dimensions while generating the model, while the second method is based based on rejecting generated plans that do not comply with the constraints. While both approaches yielded successful results, the first approach resulted in problems in the relationships between rooms, and the second prolonged the plan generation process. In the developed system, users can control the generation of single-story plan designs by determining the rooms' dimensions and the plan's total square meters. This research emphasizes the importance of developing user-centered design processes and the potential of using data-driven approaches in architectural planning.

**Keywords:** Generative adversarial networks, user interaction, floor plan generation.

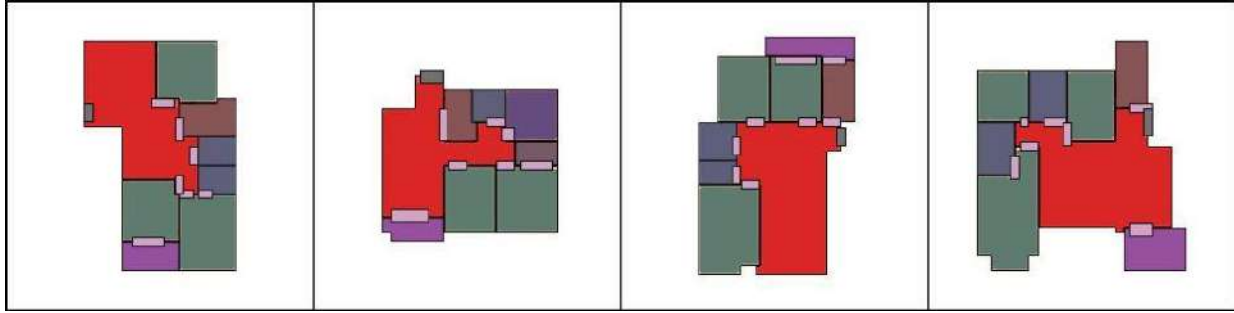
## 1. Giriş

Yapay zeka teknolojilerinin farklı disiplinlere olan entegrasyonu son birkaç yılda giderek hızlanmış ve pek çok sektörde büyük değişimlere yol açmıştır. Bu teknolojiler, insan gibi düşünüp karar verebilme yetenekleriyle bazı alanlarda insanlardan daha hızlı ve daha etkili çözümler sunma kapasitesine sahiptir. Geleneksel olarak, mimari tasarım süreçleri uzun zaman alır ve karmaşık kararları içerir. Yapay zekanın bu alana entegrasyonu ile tasarım süreçlerini hızlandırmak, proje maliyetlerini azaltmak ve daha işlevsel yapılar ortaya çıkarmak olası görünmektedir (Baduge vd., 2022).

Mimarlık alanında, tek katlı yapı tasarımlarını geliştirmek için Çekişmeli Üretici Ağlar (ÇÜA – “Generative Adversarial Networks - GAN”) kullanan bir dizi araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalar arasında, Aalaei v.d. (2023), Nauata v.d. (2020) ve Chaillou (2020) tarafından yürütülen çalışmalar öne çıkmaktadır. Chaillou (2020), ÇÜA'ların kullanım potansiyelini somut bir şekilde ortaya koyarak, mimari planların adeta fotoğraf çekilir gibi üretilebildiği bir yöntem geliştirdiğini belirtmiş ve bu yöntemi bir web sitesi aracılığıyla kullanıcıların deneyimine sunmuştur. Nauata ve ekibinin 2020'de gerçekleştirdiği çalışma, House-Gan adını taşıyan ve çizgeler ile ÇÜA tabanlı yaklaşımların birleştirildiği bir tasarım sistemini tanıtmıştır. Sistem, kullanıcıların istedikleri mekanlar arasındaki ilişkileri çizge olarak modellemesinden sonra bu ilişkilere sahip planlar üretmektedir. Aalaei ve ekibinin çalışması ise, üç farklı ÇÜA'yı kapsayan bir ekosistem sunmaktadır. Kullanıcılar, tasarım sürecine başlamak için bu ekosisteme balon diyagramları ve alan sınırları gibi girdiler sağlamaktadır. Aalaei ve ekibinin çalışması, üç ÇÜA'nın kullanımı sayesinde elde edilen iş bölümünün avantajlarını ön plana çıkararak, farklı prensipteki ÇÜA'ların kullanımında iş bölümünün önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmalar, mimari tasarım süreçlerinde ÇÜA'ların kullanılmasının alternatif tasarım çözümleri sağlama potansiyeline vurgu yapmaktadır.

Tek katlı yapı tasarımlarının üretim sürecine kullanıcıların dahil olmalarının önemi literatürde vurgulanmıştır. Kullanıcı katkısının potansiyelini ve bu katkının sınırlarını keşfetmeye yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Kullanıcı merkezli tasarım süreçlerinin geliştirilmesi, mimari tasarım alanında önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Örneğin (Bahrehand vd.,2017), kullanıcı tercihlerine dayalı olarak sezgisel optimizasyon ile üretilen tek katlı yapı planlarının üretimini yönlendirmek için kural tabanlı bir dizi kısıtlayıcı parametre geliştirmiştir. Bu çalışma, mimari tasarım süreçlerinin matematiksel ve kural tabanlı yaklaşımlarla açıklanabileceğini göstermiştir. Ancak, sezgisel optimizasyon algoritmalarının çalışma prensiplerinden farklılık gösteren ÇÜA kullanımı, kullanıcı katılımını daha etkin bir şekilde entegre etmek amacıyla ek metodolojik geliştirmelerin yapılmasını gerektirmektedir.

Bu araştırma, tek katlı binalar için otomatik plan tasarımı üzerine yoğunlaşmaktadır. Yapay zekanın bir alt dalı olan Çekişmeli Üretici Ağlar, gerçeğe yakın görüntüler oluşturabilme yetenekleriyle ön plana çıkmaktadır. Çalışma kapsamında, var olan plan çözümlerinden öğrenip yeni planlar oluşturabilen bir model geliştirilmektedir. Bu model, örneklerinin **Şekil 1** de verildiği RPLAN veri setiyle (Wu vd., 2019) eğitilmiştir. Uygulamalı Evrişimli Sinir Ağları (UESA - Conv-MPN) (Zhang vd., 2021) ve U-Net mimarisi (Ronneberger vd., 2015) kullanarak geliştirilen bu sistem, kullanıcıların girdilerine göre özelleştirilebilen, odaların düzeni ve planın genel yapısını içeren tasarımlar üretebilmektedir.



**Şekil 1.** Mimarlar tarafından oluşturulmuş planların toplandığı RPLAN veri setinden örnekler (Wu vd., 2019).

Sunulan bu çalışmanın amacı, yapay zeka teknolojileri ile mimari plan çözerken kullanıcıların kendi ihtiyaç ve tercihlerine göre odaların boyutlarını ve düzenlerini özelleştirebilmelerine olanak tanıyarak, kullanıcılara süreç üzerinde daha fazla kontrol sunmaktır. Böylece, yapay zeka kullanımı ile mimarlıkta tasarım süreçleri daha etkin ve verimli olabilir. Bu çaba, yapay zekanın mimarlıkta kullanılabilirliğini ve potansiyelini göstermekle kalmayacak, aynı zamanda kullanıcıları tasarım sürecinde daha fazla alternatif değerlendirmeye de teşvik edecektir.

## 2. Model Oluşumu

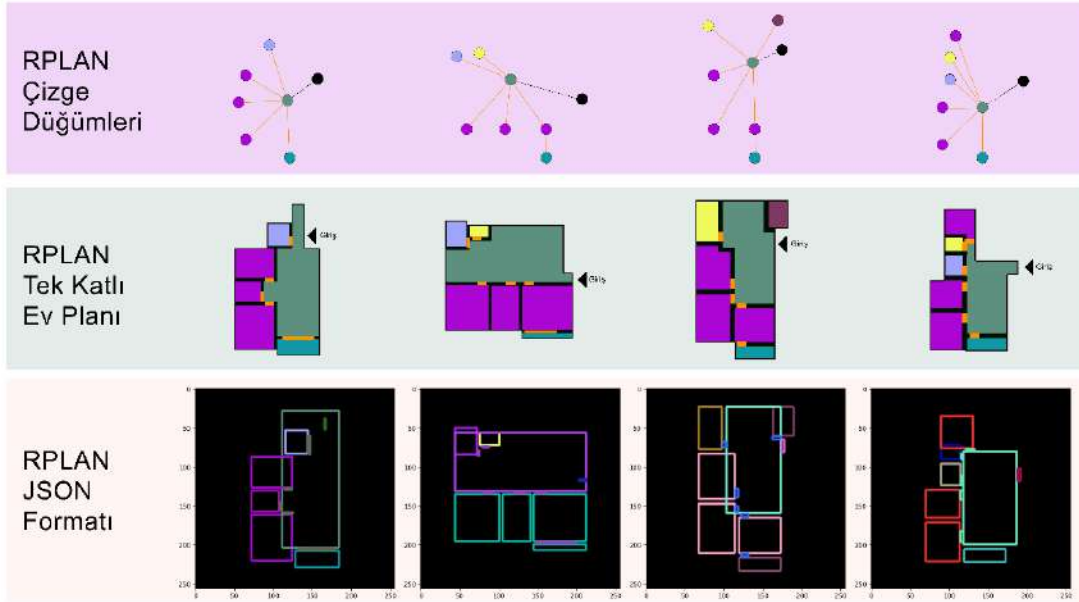
Çalışma, var olan plan çözümlerinden öğrenip kullanıcı talep ve tercihleri ile belirlenen çerçevede otomatik olarak tek katlı yapılar için alternatif planlar üretebilen bir yapay zeka modelinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Kullanılan ÇÜA modeli Nauata vd. tarafından geliştirilmiş olan “HouseGAN++” modelidir (Nauata vd., 2021). Kullanılan ÇÜA’nın yapısı olan U-Net mimarisi, bu hedefe ulaşmak için özel olarak oluşturulmuş ve kurgulanmıştır. Çalışma Nauata v.d. (2021) tarafından geliştirilen kodlama ve model üzerine inşa edilmiştir. Model oluşturulduktan sonra kullanıcı etkileşimi için yöntemler araştırılmıştır. Modelin



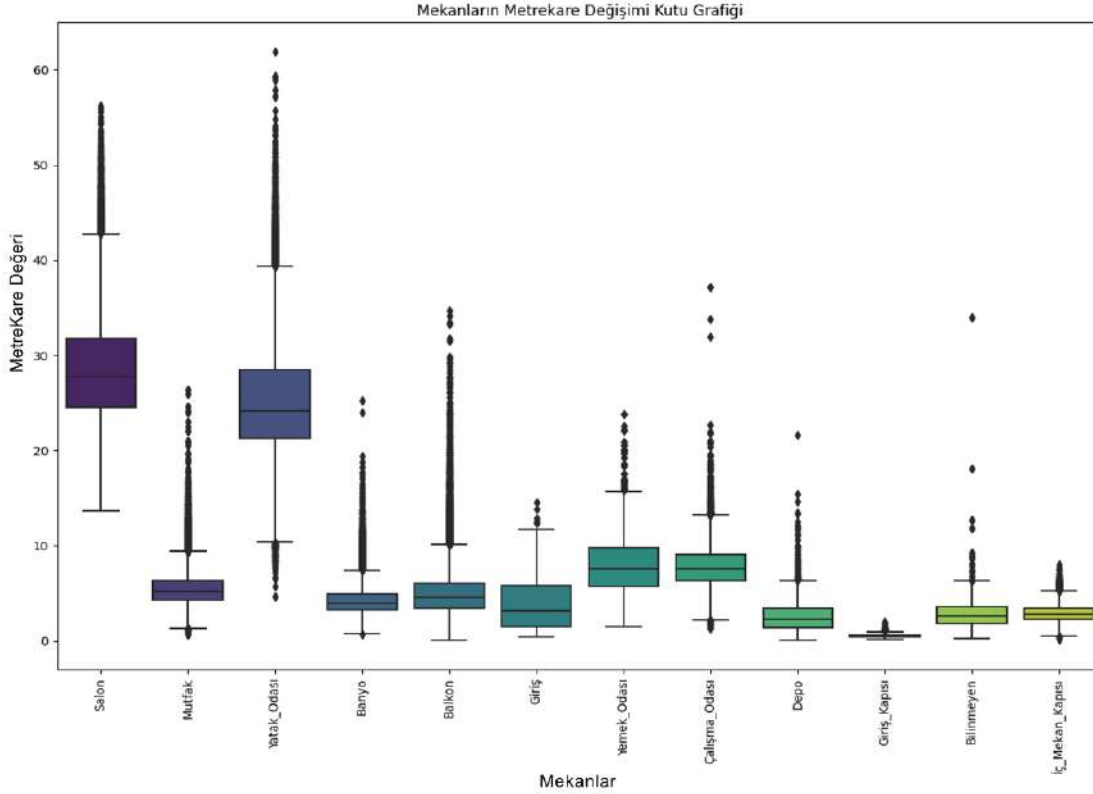
kullanıcı odaklı üretim yapması asıl amaçtır. Bu bölümde modelin geliştirilme süreci ve geliştirilme sürecinde izlenen yöntemler ve tercihler açıklanacaktır.

## 2.1. Veri Hazırlığı ve Ön İşleme

Üretken ÇÜA'nın oluşturulması için öncelikle bir veri seti gerekir. Bu veri setini kullanan model, her bir tekrarda öğrenerek kendisini problem için eğitir. Kat planı veri setleri incelendiğinde RPLAN (Wu vd., 2019), CubiCasa5k (Kalervo vd., 2019), Rent 3D Dataset (Chenxi Liu vd., 2015) tek katlı plan üretimi için uygun veri setleridir. Bu çalışma kapsamında modelin oluşturulması için tek katlı ev planlarını barındıran ve çeşitli tasarım seçenekleri sunan RPLAN veri seti model eğitimi için tercih edilmiştir. Tanımlanan problem için daha sade olması nedeniyle tercih edilen RPLAN, 80 bin adet tek katlı planı içermektedir. RPLAN veri setindeki PNG görüntüleri, model eğitimi için JSON formatına dönüştürülmüştür. Dönüştürülme süreci, veri setinde bulunan görüntülerdeki her odanın konumunu, boyutunu ve odalar arası ilişkilerin eklenmesini içermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. RPLAN veri setinde bulunan verilerin mekansal ilişkiler ve formasyonu.



Şekil 3. ÇUA modelinin eğitim verisinde bulunan mekanların yüzey alanlarındaki değişkenlik.

JSON formatındaki planlara örnekler Şekil 2’de görülmektedir. Bu görsellerdeki mekanlar rastgele belirlenen farklı renk kodları kullanarak birbirinden ayrılmıştır. Her bir görselde tekrardan belirlenen bu renkler, aynı renge sahip olan mekanlar için eşlenmiştir. Kapılar, çizilen dikdörtgen boyutunun farklı olmasından dolayı mekanların arasına yerleştirilmiştir (Wu vd., 2019). Bu sayede, mekanların birbirleriyle olan ilişkileri belirlenmiş olur.

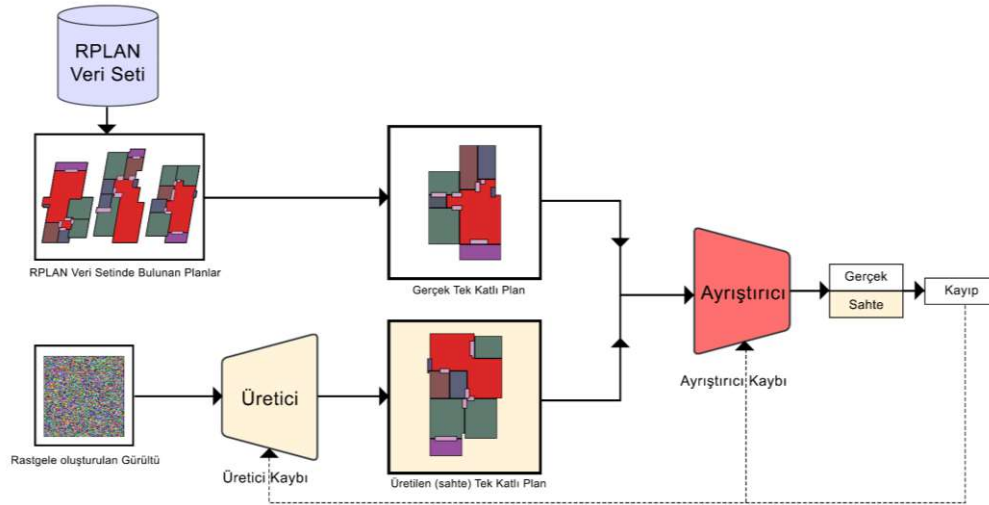
## 2.2. Modelin Oluşturulması

ÇUA’lar, gerçekçi plan şemaları üretmeye çalışan bir üretici ve üretilen planları gerçek planlardan ayırt etmeye çalışan bir ayrıştırıcı olmak üzere iki ağıdan oluşmaktadır. Model eğitiminde ayrıştırıcı, üreticinin

oluşturduğu görüntüleri değerlendirerek öğrenme sürecinde birbirlerini geliştirirler. Üretici ve ayrıştırıcı U-Net Mimarisi (Ronneberger vd., 2015) kullanılarak oluşturulmuştur. U-Net mimarisi gereği, girdi olan görüntü boyutu derin öğrenme katmanları sayesinde küçültülerek, girdi görüntülerde bulunan “özellikler” ve “ilişkiler” öğrenilir. U-Net Mimarisine ek olarak, Uygulamalı Evrişimsel Mesaj Aktarımı (UEMA) (Zhang vd., 2021) modele entegre edilmiş ve modelin odalar arası ilişkileri daha iyi öğrenmesi ve kenar algısını güçlendirmesi sağlanmıştır. Ayrıca modelin oluşturulmasında ve geliştirilmesinde kullanılan kütüphaneler sırasıyla Pytorch (Paszke vd., 2019) ve OpenCV (Bradski, G., 2000) kütüphaneleridir.

### 2.3. Model Eğitimi

Eğitim döngüsü, belirli bir süre boyunca devam eder ve her bir zaman dilimi, veri setinden gelen bilgi yığınlarını işler. Bu bilgileri işlerken, farklı bileşenlere ayrılmaktadır: maskeler, çizge düğümler ve kenarlar. Bu bileşenler, gerçek ve sahte planlar arasındaki ayrımı yapmak için ÇÜA eğitimi için temel doğruluklar oluşturmak üzere kullanılır. Eğitim döngüsü, gerçek ve üretilmiş örnekler arasındaki ayrımı yapmak için ayrıştırıcının parametrelerini ayarlayarak ayrıştırıcının eğitilmesiyle başlar. Bu süreç, eğitimin stabilitesini sağlamak için hataların(kayıp) hesaplanmasını ve ayrıştırıcı hatasının en aza düşürülmesini içermektedir (Şekil 4).

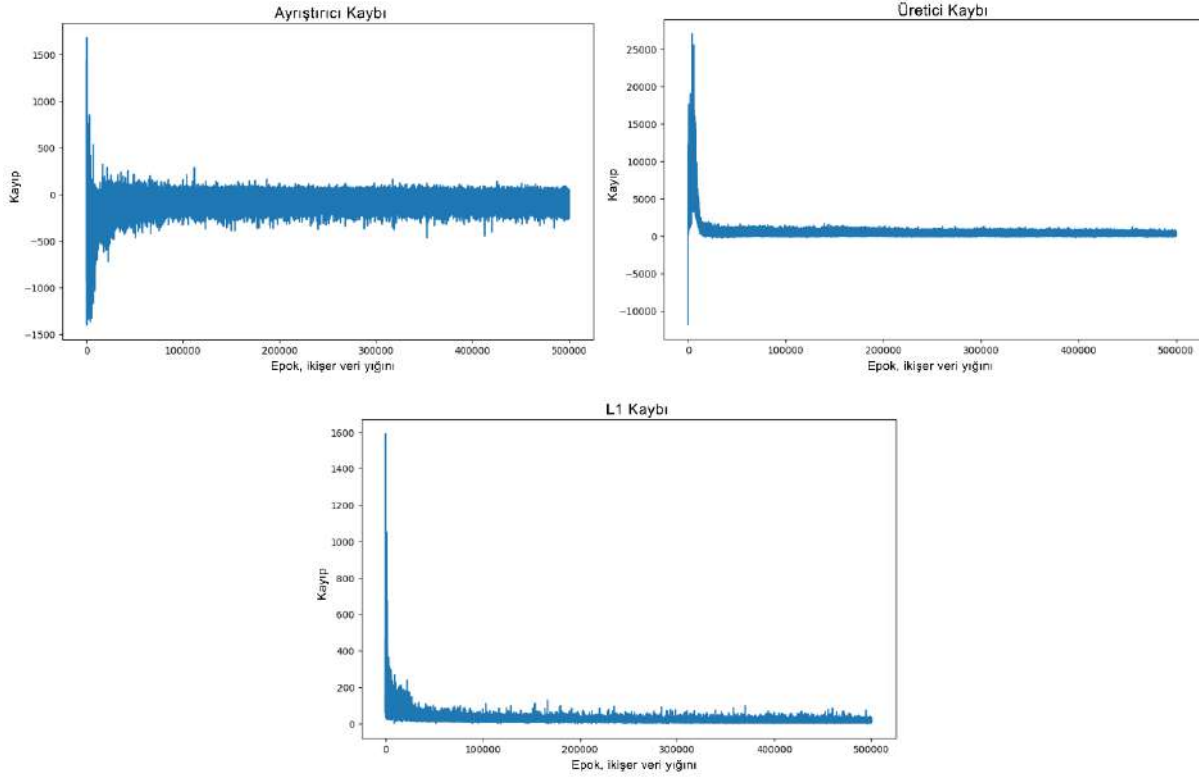


Şekil 4. ÇÜA Modelinin Eğitim Döngü Akış Şeması.

Ayrıştırıcı güncellendikten sonra, üretici eğitilir ve üretici, ayrıştırıcıyı kandıracak kadar gerçekçi plan örnekleri üretmeyi amaçlar. Bu süreçte, hata, ayrıştırıcıyı kandırma yeteneği ve bir mesafe kaybından oluşur. Üretici, belirli bir tekrar sayısından sonra güncellenir ve bu, güncellemelerin sıklığını kontrol eder. Döngü, zaman dilimi, yığın ve hem ayrıştırıcı hem de üreticiyle ilgili hataları belirterek ilerlemeyi kaydeder.

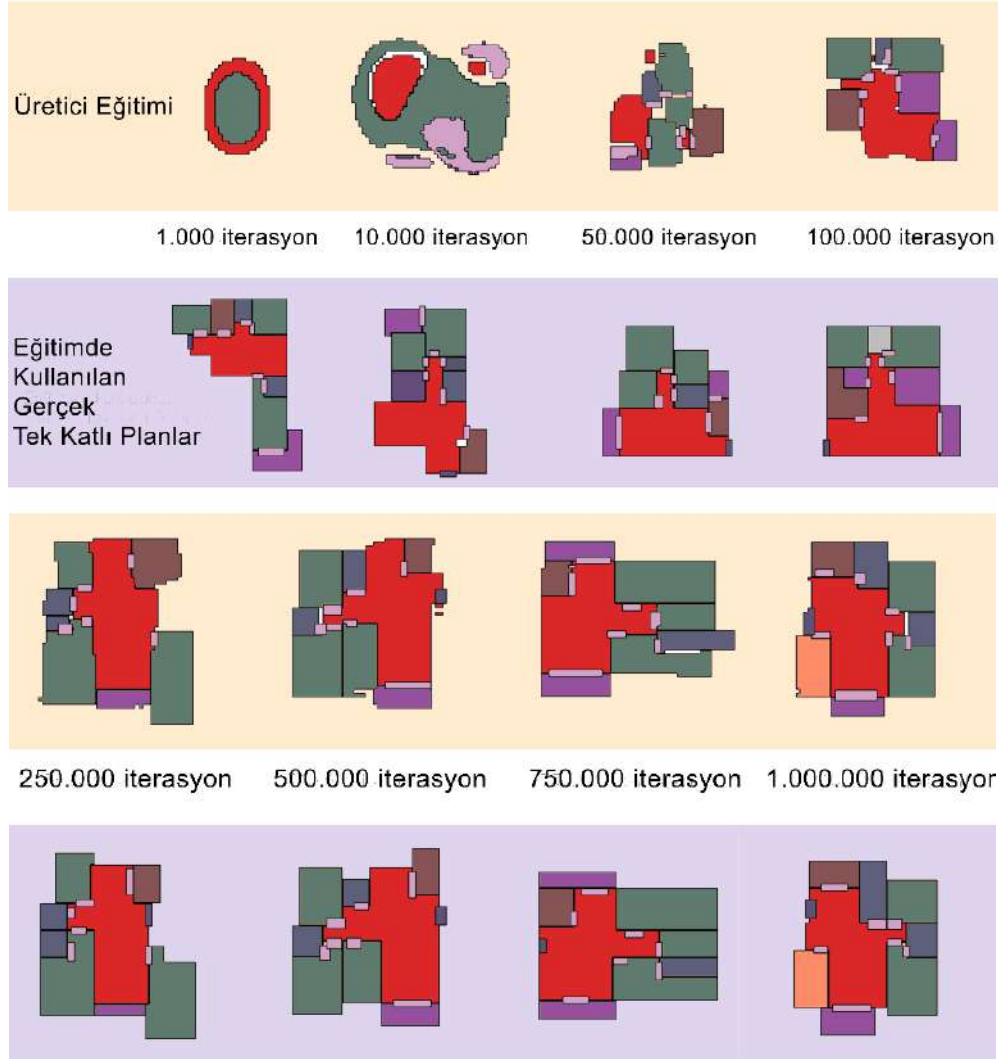
Ayrıca, model kontrol noktaları ve görselleştirmeler belirli aralıklarla kaydedilir ve bu, modelin performansını değerlendirme ve eğitimi boyunca ilerlemesini takip etme olanağı sağlar. Tüm zaman dilimleri tamamlanana kadar süreç devam eder ve bu da eğitim döngüsünün sonunu işaret eder. Eğitim döngüsü boyunca üretici ve ayrıştırıcı arasında üç adet hata takip edilir: ayrıştırıcı kaybı, üretici kaybı ve L1 (Mutlak Sapma) kaybı. Ayrıştırıcı kaybı, ayrıştırıcının sahte verileri doğru bir şekilde tespit edebilme yeteneğini ölçer.

Üretici kaybı, üreticinin sahte tek katlı planların ne kadar gerçekçi bir şekilde üretebildiğini gösterir. Mutlak sapma ise, üretici tarafından üretilen planların gerçek planlara olan farkını ölçmek için kullanılır ve üretilen planların gerçek planlara olan benzerliğini değerlendirir. **Şekil 5'** e göre ayrıştırıcı, üretici ve L1 hataları başlarda çok fazla olurken, ÇÜA modeli eğitiminde tekrar arttıkça hatalar azalmaktadır.



Şekil 5. ÇÜA Modelinin Eğitimde tekrara bağlı değişen hataları.

Eğitim sırasında model, çeşitli plan organizasyonları oluşturur. ÇÜA'nın eğitimi sırasında üretilen tek katlı plan organizasyonlarının gelişimi tekrar sayısı ilerledikçe artmaktadır (Şekil 6). Eğitilen modelin, ayrıştırıcı, üretici ve L1 hataları azaldıkça üretilen tek katlı planların mantıklı olduğu gözlenmektedir. Üretilen planların, RPLAN veri setinde bulunan örneklere görsel olarak benzedikleri söylenebilmektedir.

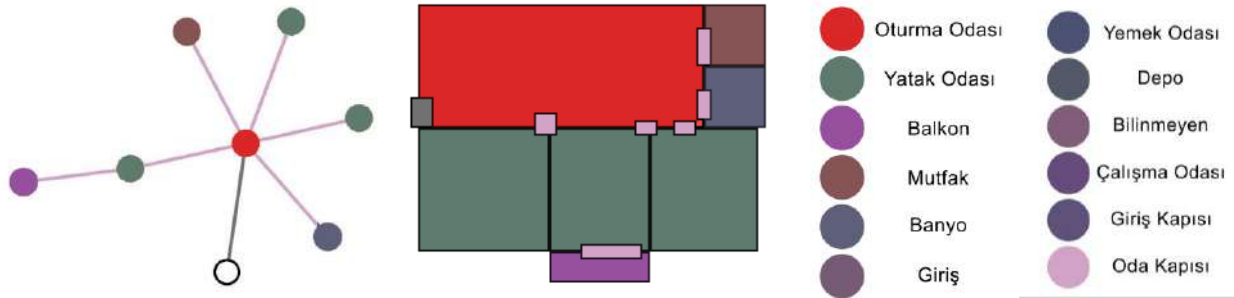


Şekil 6. Eğitim döngüsü boyunca gelişen ÇÜA'nın her tekrarda ürettiği plan şemaları.

### 3. Plan Üretimi, Ölçeklendirme ve Kullanıcı Etkileşim Yöntemleri

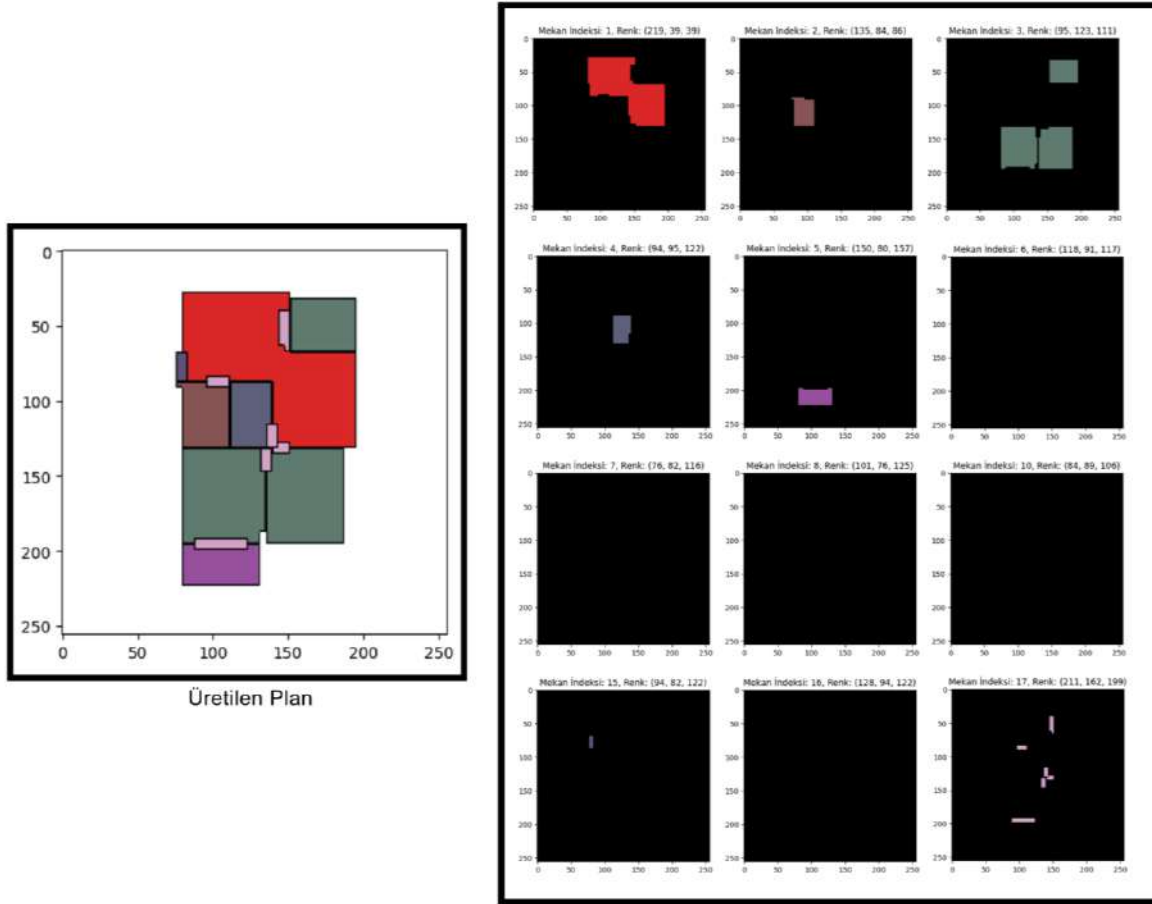
#### 3.1. Plan Üretim Yöntemi

Üretici model, kullanıcı tarafından sağlanan JSON formatındaki bilgileri kullanarak çalışmaktadır. Bu sayede üretici model, eğitildiği şekilde davranarak yeni ürünler ortaya koymaktadır. ÇÜA modeline girdi olarak kullanıcılar, odaları temsil eden çizge düğümleri ve kapıları temsil eden kenarlardan oluşan bir çizge oluştururlar. Üretilen tek katlı planın organizasyonu, çizgeyi yansıtmaktadır (**Şekil 7**). Bu sayede, oluşan tek katlı plan organizasyonu, üretimi, kullanıcının aradığı mekan ilişkileri doğrultusunda gelişmektedir.



Şekil 7. Sol- Oluşturulan Çizge düğümleri (Balon Diyagram), Orta- Üretici tarafından üretilen tek katlı ev planı.

Üretim sürecinin başarıyla tamamlanmasının ardından, kullanıcı etkileşimlerini iyileştirmeyi amaçlayan tasarım aşamasına entegre edilmek üzere, çeşitli dijital yöntemler tasarlanmıştır. İlk adım olarak, üretim sürecinde kullanılan ve farklı mekanları temsil etmek için renk kodları ataması yapılmıştır. Bu renk kodlarının her biri, farklı bir mekanı ifade etmektedir (**Şekil 8**).



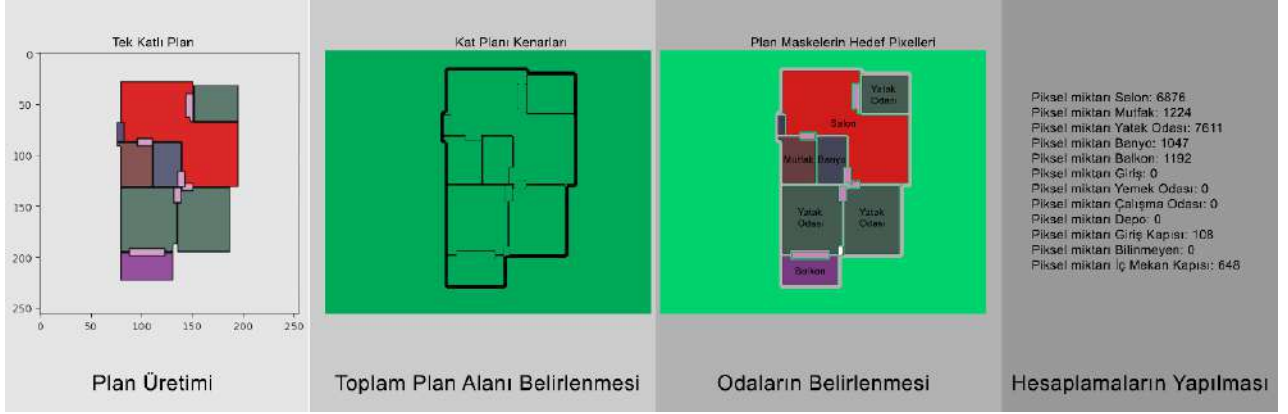
Şekil 8. Sol görsel- Üretilen tek katlı plan, Sağ görsel- mekanlar ve plandaki piksel dağılımları.

### 3.2. Ölçeklendirme Katsayısı (ÖK)

Planların gerçek dünya ölçülerine uygun olarak ölçeklendirilmesi için piksellere boyut tanımlamak gerekmektedir. Geliştirilen ölçeklendirme yöntemi, kullanıcılara plan üzerinde daha fazla kontrol sağlamaktadır. Kullanıcılar, odaların boyutlarını ayarlayarak kendi ihtiyaç ve tercihlerine uygun planları oluşturabilirler. Üretilen tek katlı planları girdi olarak alan bir yöntem geliştirilmiştir (Şekil 9). Önce planda beyaz arka fon çıkarılarak dış duvarlar belirlenir. İkinci aşamada, odaların belirlenmesiyle piksel dağılımı ve

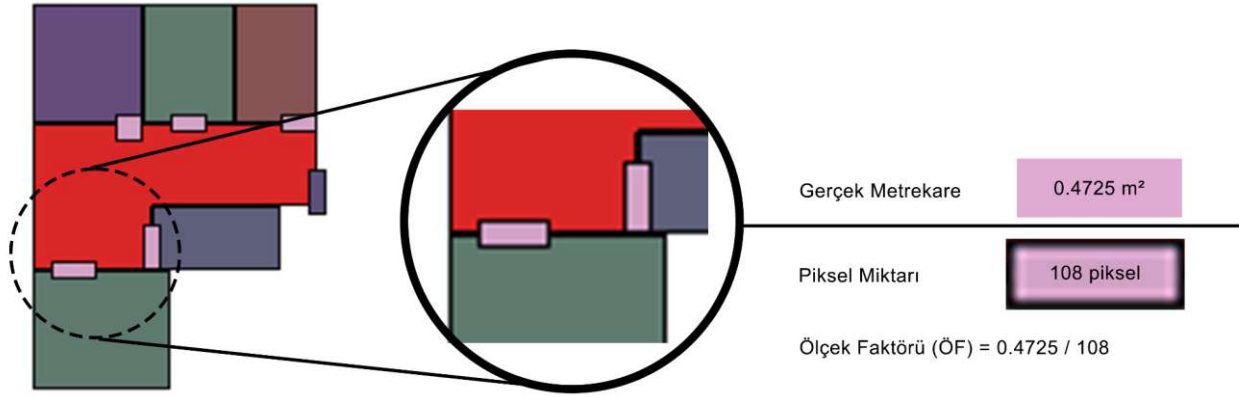


büyüklikleri toplanır. İleride analizlerde kullanılmak üzere kaydedilir. Üçüncü ve son aşamada her bir oda için kaydedilen piksel değerlerinin bir raporu kullanıcıya sunulur.



Şekil 9. Geliştirilen ölçeklendirme yöntemi öncesi veri toplama aşamaları.

ÇÜA'lar, tek katlı plan organizasyonlarını piksel tabanlı olarak üretir. Bu nedenle, piksel tabanlı (raster) formatın işlenmesi gerekmektedir. Bir dış kapının piksel sayısını mimari ölçütlerle ilişkilendirerek, gerçek dünya boyutlarına çevirebilmek için bir ölçeklendirme katsayısı belirlenir (**Şekil 10**). Bu katsayı, planların ölçülmesi ve ölçümlerin gerçek dünya alan değerlerine çevrilmesi için kullanılmaktadır. Üretilmiş planlarda, sadece kapı ve duvar gibi tasarım elemanlarının piksel miktarına bakıldığı takdirde gerçek dünya hesaplarına ölçeklenebilmektedir. Bu çalışmada, kapılar referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 10. Ölçeklendirme Katsayısı Oluşturulması.

Kapıların gerçekteki standart ölçüleri düşünüldüğünde 90 cm x 5.25cm olarak referans alınmıştır. Planlarda bulunan piksel miktarı düşünüldüğünde 0.475 metrekareye karşılık gelmektedir. Kapı alanı, 108 piksel olarak ölçülmüştür. Bu referans ile ölçeklendirme katsayısı (ÖK) belirlenmiştir. ÖK sayesinde üretilen planların oda başına denk gelen piksel sayısını metrekare birimine çevirmek mümkün olmuştur.

ÖK kullanılarak eğitim veri setindeki planların metrekare araştırılması yapılmıştır (**Tablo 1**). Bu sayede, ÇÜA'ların öğrendiği verilerin metrekare değerleri ortaya çıkmaktadır. Amaç, ÇÜA'nın hangi değer aralıklarında plan üretebildiğini göstermektir. ÇÜA'nın eğitimde öğrendiği metrekare değerleri mekan bazlı ve adet bazlı olduğundan ÇÜA'ya girdi verildiğinde kendisi nasıl tasarım yapacağına karar vermesi gerekmektedir. Bazı mekanların metrekare değerlerinin fazla olmasının sebebi ise birden fazla bulunmasıdır. Her planda bulunan mekanlar aynı sayıda ve aynı boyutta olmadığı için aralıklar belirlenmiştir.

**Tablo 1.** RPLAN eğitim veri setinde bulunan planların metrekare değerleri ve sayısı.

Mekan İsimleri	Metrekare Değeri	# adet bulunur
Salon	13-56 m <sup>2</sup>	1
Mutfak	4-26 m <sup>2</sup>	0-1
Yatak Odaları	8-61 m <sup>2</sup>	0-3
Banyo	1.5-25 m <sup>2</sup>	1-2
Balkon	2-34 m <sup>2</sup>	1-2
Giriş Alanı	0-14 m <sup>2</sup>	0-1
Yemek Odası	0-23 m <sup>2</sup>	0-1
Çalışma Odası	0-37 m <sup>2</sup>	0-2
Depo	0-21 m <sup>2</sup>	0-1
Giriş Kapısı	0.15-2 m <sup>2</sup>	1
Bilinmeyen	0-33 m <sup>2</sup>	0-1
İç Mekan Kapısı	0.15-7 m <sup>2</sup>	1-9

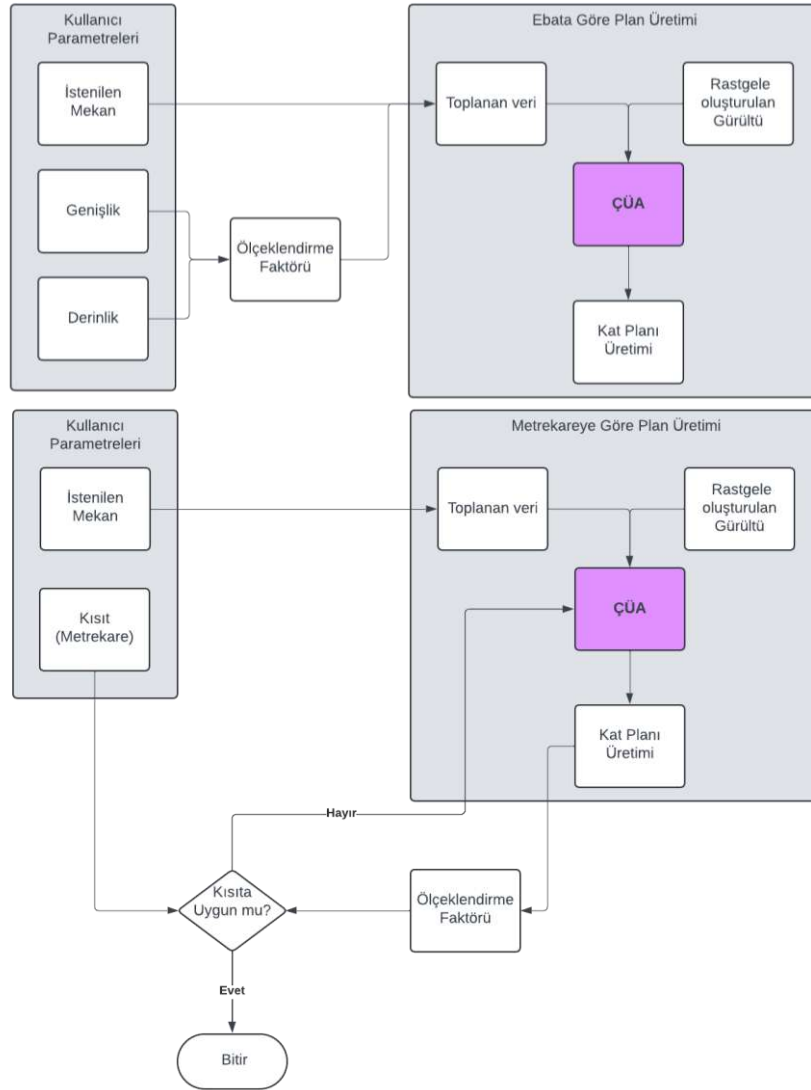
Mekanların metrekare değişim aralıklarına bakıldığında en büyük farkın salon ve yatak odasında olduğu görülmüştür. Örnek olarak salon, tablo 1'e göre veri setindeki her örnekte bulunduğu ve metrekaresi oldukça değişken olduğu için en büyük fark bundan kaynaklanmaktadır.

### 3.3. Kullanıcı Etkileşim Yöntemleri

ÇÜA kat planını ürettikten sonra ÖK yöntemi kullanılarak kat planının kenarları belirlenir ve devamında planlar renklere ayrılarak odaların metrekareleri hesaplanır. Kullanıcı tercihleri ile üretilen odaların metrekareleri arasında bir kıyaslama yapılır, eğer kullanıcı tercihleri sağlanıyorsa ise üretilen plan başarılı bulunur. Eğer üretilen plan başarılı bulunmazsa ÇÜA yeni bir plan üretir.

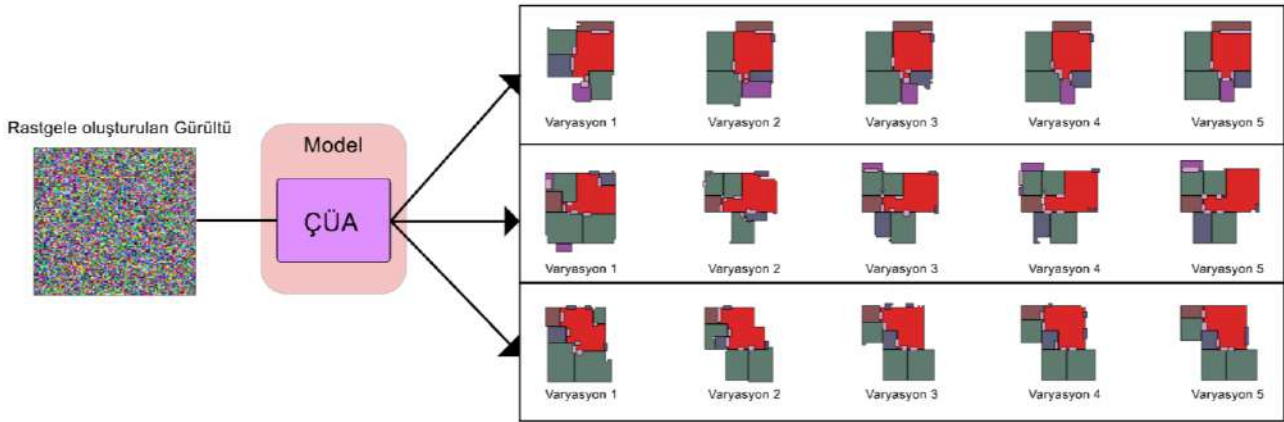
ÖK yöntemi ile ÇÜA'lar tarafından üretilen tek katlı planların gerçek dünya ölçülerine uyarlanması tamamlandıktan sonra kullanıcının istekleri doğrultusunda bir planı oluşturabilmek için iki adet yöntem sunulmuştur. Bu yöntemlerden ilkinde kullanıcı parametreleri arasında; istenilen mekanlar, mekan genişliği

ve uzunluğu bulunmaktadır. Kullanıcı istediği odanın boyutlarını belirler ve yöntem, girilen girdiyi yerleştirerek dikdörtgen çizer ve alan tanımlar (Şekil 11-Üst görsel).



Şekil 11. Üst görsel - Boyutlara göre Plan Üretim Yöntemi, Alt görsel- Metrekareye göre Plan Üretim Yöntemi.

İkinci yöntem, metrekareye göre plan üretim yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcı, istediği mekanlara uzunluk ve genişlik girmek yerine, sabit bir metrekare değeri tanımlayabilir (**Şekil 11**- Alt görsel) . Bu sayede, eğitilen ÇÜA, mekanları eğitim setinde var olan ilişkileri koruyarak, birbirinden ayrı konumlandırırken metrekare kısıtına uygun planlar oluşturur. İkinci yöntem, RPLAN veri setinin test için ayrılmış planlarının koordinatlarını kullanarak istenilen planı oluşturmaya çalışır. Yerleştirilen mekanların genişlikleri ve ilişkileri, her bir tekrarda sıfırdan oluşan rastgele gürültüler sayesinde planların metrekare boyutlarında değişiklik sağlar (**Şekil 12**). Her bir plan durumunun çeşitli varyasyonları sağlandıktan sonra, kullanıcı tarafından atanan metrekare kısıt parametresi ile oluşturulan varyasyonların metrekare büyüklükleri arasında bir kıyaslama yapılır. Eğer ÇÜA tarafından üretilen tek katlı planlar, hedef metrekare kısıtına göre belirlenen en fazla sapma değerinden küçükse, bu plan başarılı kabul edilir.

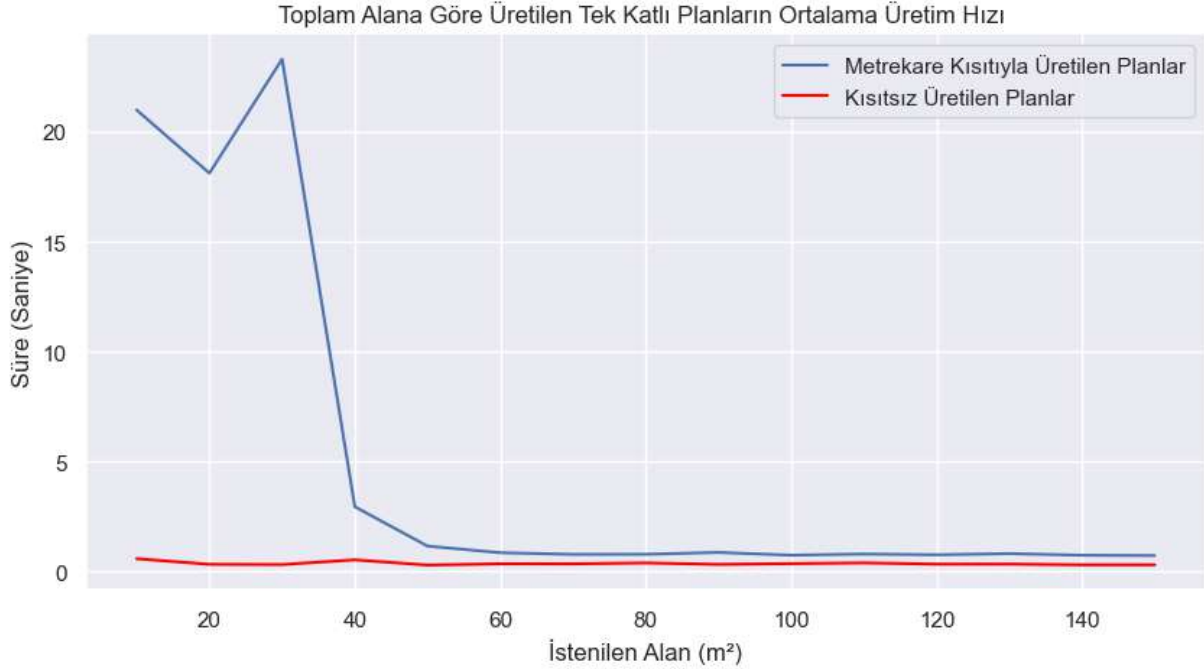


**Şekil 12.** Rastgele oluşturulan gürültünün aynı planlara olan farklılaştırma etkisi.

Her iki yöntemin de artıları ve eksileri bulunmaktadır. İlk yöntemde, kullanıcılara boyutlar konusunda daha fazla özgürlük sağlanabilirken (genişlik, derinlik), ÇÜA'nın öğrendiği görünmez ilişkileri üretim aşamasında kullanamaması söz konusudur. Bu, ÇÜA'nın beklenen ilişkilerin yaratılmamasına neden olabilmektedir (**Şekil 14**).

İkinci yöntemde ise, ÇÜA'nın eğitimde öğrendiği ilişkiler korunmaktadır. Ancak, istenilen metrekare aralığını elde edebilmek için oldukça fazla tekrar yapmak gerekebilir, bu da süreci uzatabilmektedir (**Şekil 13**).

Bunun nedeni, algoritmanın başlangıç noktası olarak kullandığı gürültünün rastgele olmasıdır. Ayrıca, kullanıcıların metrekare değerlerini oldukça büyük veya küçük sayılar vererek ÇÜA'yı kontrol etmesi mümkün değildir. Örneğin, balkon için 100 metrekare vermek, ÇÜA'yı sınırsız döngüye sokabilmektedir çünkü ÇÜA'nın eğitim gördüğü RPLAN veri setinde daha önce buna benzer bir örnek bulunmamaktadır (**Tablo 1**).



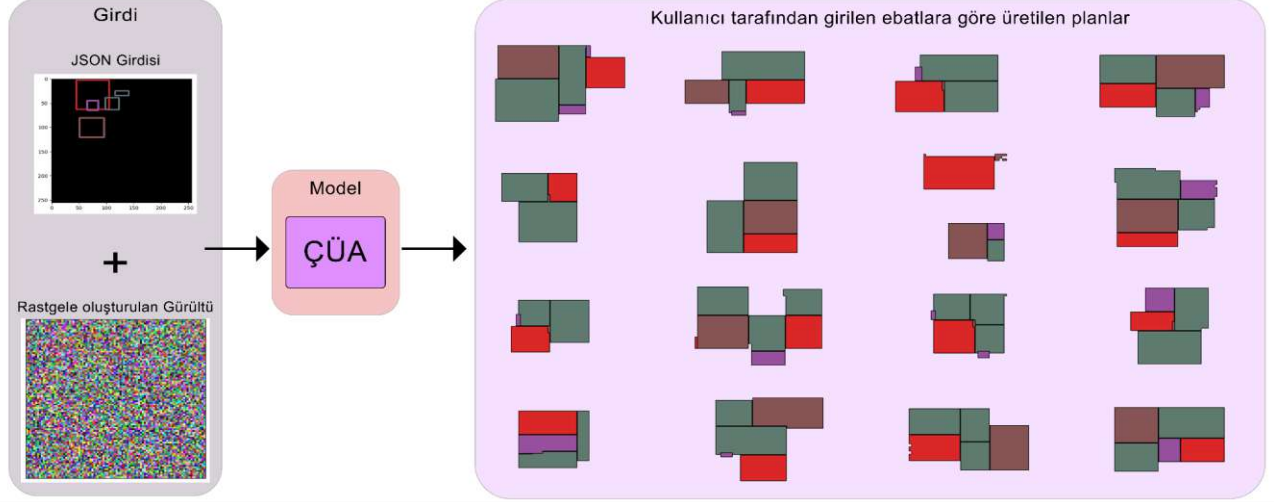
Şekil 13. En fazla toplam alan kısıtı ile üretilen tek katlı planların ortalama üretim hızı.

## 4. Bulgular

### 4.1. Boyutlara göre Üretilen Tek Katlı Planlar

Boyutlara göre üretilen plan şemalarına bakıldığında, mekanların birbirleri ile olan ilişkileri zayıf kaldığı görülmüştür (**Şekil 14**). Bazı mekanların diğerlerinden ayrık olduğu planlar üretilmektedir. Ayrıca, mekanların büyüklükleri dengeli bir hiyerarşiyi takip etmemektedir. Fakat kullanıcı, istediği mekanları istediği boyutlara yakın olacak şekilde üretebilmiştir.

Bu da kullanıcıya belirli bir özgürlük kazandırarak istediğı plan şemasını temsili olarak elde edebilmesini sağlamıştır. JSON girdisinin tıpatıp aynısını üretmek mümkün değildir çünkü rastgele oluşturulan gürültü her üretimde değişmektedir.



Şekil 14. Boyutlara göre üretilen Plan Şemaları.

#### 4.2. Toplam alana göre Üretilen Tek Katlı Planlar

Toplam alan kısıtlanarak üretilen plan şemaları girilen metrekare değerine göre oldukça çeşitlilik göstermektedir (Şekil 15).

- 10 metrekare ve altı, bir mekanı bile tam anlamıyla tanımlayamamaktadır.
- 20 metrekare ve altında bazı mekanların tamamen tanımlı oldukları görülmektedir.
- 30 metrekareden itibaren birden fazla mekanın tanımlanabildiği görülmektedir.
- İlk plan şemaları 50 metrekare ve altından itibaren başlamaktadır çünkü 2 veya 3 mekanı düzgünce aynı anda barındırabilirler.
- 120 metrekare ve altından itibaren, binaların tek katlı plan organizasyon şemaları ortaya çıkmaktadır.
- 150 metrekarede bütün bir plan oluşturulmuştur.



Şekil 15. Toplam alana göre üretilen Plan Şemaları.

## 5. Sonuç

Bu araştırmada RPLAN veri seti kullanılarak tek katlı yapı planları üreten bir ÇÜA modeli eğitilmiştir. Bu model ile üretilen kat planlarının boyutlandırılabilmesi için bir ölçeklendirme katsayısı belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Boyutları belirlenen kat planlarının kullanıcı taleplerini karşılayabilmesi için ise iki farklı







yaklaşım önerilmiştir. İlk yaklaşım modelin yeni planları boyutları kısıtlanmış odalar kullanarak üretmesine dayanırken, ikinci yaklaşım üretilen planların kısıtlara uymayanlarının elenmesine dayanmaktadır. Bulgulara bakıldığında, boyutlara göre üretilen plan yöntemi ile tek katlı planlar istenilen boyutlarda üretebilmiştir. Ancak üretilen planlarda mekanların birbirleri ile olan ilişkilerinde eğitim için kullanılmış olan veri setinde bulunmayan ilişkiler gözlemlenmiştir. Metrekareye göre üretilen plan yönteminde ise yine istenilen etki sağlanmış ve metrekare bazında kullanıcının talep ettiği boyutlarda planlar elde edilebilmiştir. Öte yandan istenilen metrekare aralıklarında bir planın üretimi görece uzun sürmektedir. Mimarların, yapay zeka tabanlı sistemlerden etkin faydalanabilmeleri için beklentilerini hızlı ve doğru tarif edebilmelerini sağlayan yeni etkileşim yöntemleri gereklidir. Geliştirilecek olan bu etkileşim yöntemleri mimarların üretken sistemleri daha etkin yönlendirebilmelerinin önünü açacaktır.

## KAYNAKLAR

- Aalaei, M., Saadi, M., Rahbar, M., & Ekhlasi, A. (2023). Architectural layout generation using a graph-constrained conditional Generative Adversarial Network (GAN). *Automation in Construction*, 155, 105053. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105053>
- Baduge, S. K., Thilakarathna, S., Perera, J. S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B., Shringi, A., & Mendis, P. (2022). Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*, 141, 104440. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>
- Bahrehand, A., Batard, T., Marques, R., Evans, A., & Blat, J. (2017). Optimizing layout using spatial quality metrics and user preferences. *Graphical Models*, 93, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2017.08.003>
- Chaillou, S. (2020). ArchiGAN: Artificial Intelligence x Architecture. In P. F. Yuan, M. Xie, N. Leach, J. Yao, & X. Wang (Eds.), *Architectural Intelligence* (pp. 117–127). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6568-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6568-7_8)
- Nauata, N., Chang, K.-H., Cheng, C.-Y., Mori, G., & Furukawa, Y. (2020). House-GAN: Relational Generative Adversarial Networks for Graph-Constrained House Layout Generation. In A. Vedaldi, H. Bischof, T. Brox, & J.-M. Frahm (Eds.), *Computer Vision – ECCV 2020* (Vol. 12346, pp. 162–177). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58452-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58452-8_10)
- Nauata, N., Hosseini, S., Chang, K.-H., Chu, H., Cheng, C.-Y., & Furukawa, Y. (2021). House-GAN++: Generative Adversarial Layout Refinement Network towards Intelligent Computational Agent for Professional Architects. *2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 13627–13636. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01342>
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation* (arXiv:1505.04597). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1505.04597>
- Wu, W., Fu, X.-M., Tang, R., Wang, Y., Qi, Y.-H., & Liu, L. (2019). Data-driven interior plan generation for residential buildings. *ACM Transactions on Graphics*, 38(6), 1–12. <https://doi.org/10.1145/3355089.3356556>

- Zhang, F., Nauata, N., & Furukawa, Y. (2021). *Conv-MPN: Convolutional Message Passing Neural Network for Structured Outdoor Architecture Reconstruction* (arXiv:1912.01756). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1912.01756>
- Kalervo, A., Ylioinas, J., Häikiö, M., Karhu, A., & Kannala, J. (2019). CubiCasa5K: A Dataset and an Improved Multi-task Model for Floorplan Image Analysis. In M. Felsberg, P.-E. Forssén, I.-M. Sintorn, & J. Unger (Eds.), *Image Analysis* (Vol. 11482, pp. 28–40). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20205-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20205-7_3)
- Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., Killeen, T., Lin, Z., Gimelshein, N., Antiga, L., Desmaison, A., Köpf, A., Yang, E., DeVito, Z., Raison, M., Tejani, A., Chilamkurthy, S., Steiner, B., Fang, L., ... Chintala, S. (2019). PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library (arXiv:1912.01703). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1912.01703>
- Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. Dr. Dobb&#x27;s Journal of Software Tools.

## Yapay Zeka, Yaratıcılığı Destekleyen bir Takım Arkadaşı Olabilir mi? Mimari Tasarım Stüdyosu Deneyiminden Öğrendiklerimiz





Leman Figen Gül <sup>1</sup> ; Burak Delikanlı <sup>2</sup> ; Oğulcan Üneşi <sup>3</sup> ; Ertuğrul Ömer Gül <sup>4</sup>   
<sup>1,2,3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi; <sup>4</sup>New South Wales Üniversitesi  
<sup>1</sup>fgul@itu.edu.tr; <sup>2</sup>burak.delikanli@itu.edu.tr; <sup>3</sup>unesi23@itu.edu.tr; <sup>4</sup>e.gul@unsw.edu.au

### Özet

Son yıllarda, derin üretken modellerin mimarlık ve tasarım alanında uygulama ve eğitimde kullanımına artan bir ilgi bulunmaktadır. Üretken Yapay Zeka (ÜYZ) modellerinin son kullanıcıya yönelik uygulamaları yaygınlaşmakta olup, bu uygulamaların tasarım ve yaratıcı süreçler arakesitindeki etkileri araştırmaya değer bir konudur. Bu etkileri keşfetmek üzere son iki senedir bir dizi tasarım stüdyosunda, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü öğrencileriyle çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ardışık ilerleyen bu süreçte her dönem bir önceki dönemden öğrendiklerimizin üzerine ekleyerek hem durum tespiti hem de öğrenci beklentisini ölçmeye yönelik olarak, stüdyo sırasında ve bitiminde anket ve odak görüşmeler yoluyla bilgi toplanmıştır. Araştırma ve gözlemlerimiz sonucunda kullanıcı dostu bir arayüz olan GAI-A (Generative Artificial Intelligence for Architecture) platformu geliştirilmiştir. Öğrencilerle yaptığımız görüşmelerdeki tespitlerimiz doğrultusunda, ÜYZ'nin tasarıma entegrasyonu ve optimum kullanım teknikleri gibi kritik yönler incelenmiş ve yaratıcılığı besleme potansiyeli araştırılmıştır. Bu bildiriye, faydalı bir tasarım arayüzü olarak GAI-A Platformunun etkinliğini değerlendirmek için anketler ve yarı-yapılandırılmış görüşmelerden yararlanarak mimari tasarım stüdyolarındaki uygulaması incelenmekte, tasarım pedagojisi ve YZ destekli yaratıcılığın mevcut durumu hakkında kayda değer bilgiler sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Üretken yapay zeka, tasarım yaratıcılığı, tasarım eğitimi, mimari tasarım stüdyosu, GAI-A.

## Employing Generative AI Models in Architectural Design Education: Our Insights from the Studio Experience

Leman Figen Gül <sup>1</sup> ; Burak Delikanlı <sup>2</sup> ; Oğulcan Üneşi <sup>3</sup> ; Ertuğrul Ömer Gül <sup>4</sup>   
<sup>1,2,3</sup> Istanbul Technical University; <sup>4</sup> University of New South Wales  
<sup>1</sup>fgul@itu.edu.tr; <sup>2</sup>burak.delikanli@itu.edu.tr; <sup>3</sup>unesi23@itu.edu.tr; <sup>4</sup>e.gul@unsw.edu.au

### Abstract

*Over the last years, deep generative models have gained increasing attention in the practice and education of architectural design. End-user applications of Generative Artificial Intelligence (GenAI) models are becoming widespread, and the impacts of these applications at the intersection of design and creative processes is a topic deserving of research. For the last two years, we have been working with students at Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture in a series of design studios to explore these effects. In this sequential process, each semester we have built on what we have learnt from the previous semester and collected information through questionnaires and focus meetings during and at the end of the studios, both to identify the status quo and to determine expectations. As a result of our research, we developed the GAI-A (Generative Artificial Intelligence for Architecture) platform, which is a user-friendly co-design interface. According to our findings in interviews, critical aspects such as the integration of GAI-A into design and optimized techniques were analyzed and its potential to foster creativity was discussed. This paper investigates its application in architectural design studios, employing questionnaires and semi-structured interviews to evaluate the usefulness of the GAI-A Platform as a beneficial co-design interface, and provides considerable insights into the current state of design pedagogy and AI-enhanced creativity.*

**Keywords:** Generative AI, design creativity, design education, architectural design studio, GAI-A.

## 1. Giriş

Isaac Asimov'un 1950'li yıllarda yazdığı ünlü kitabından (I, Robot) esinlenen 2004 yapımı "Ben, Robot" filminde ana karakter Dedektif Spooner, Sonny isimli robota bir soru yöneltir: "Bir robot senfoni besteleyebilir mi? Bir robot bir tuvali güzel bir başyapıta dönüştürebilir mi?" Sonny samimi ve içten bir ilgiyle "Sen yapabilir misin?" diye yanıt verir. Bu yanıtın altında yatan temel faktör, insanlar için de yaratıcılığın nadir bir olgu olmasında saklıdır. Son yıllarda yaratıcılık gerektiren sanat, tasarım ve mimarlık gibi disiplinlerde makine öğrenmesi tekniklerini kullanan Yapay Zeka (YZ) modellerinin kullanılmaya başladığı görülmektedir. Bu modellerin, yaratıcılık gerektiren alanlarda faydalı bir ortak haline gelmekte olduğu ve özellikle, Üretken Yapay Zeka (ÜYZ) modellerinde yaşanan gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda, yakın bir gelecekte ÜYZ modellerinin mimari tasarım uygulamalarını "dönüştürme potansiyeli" (As & Basu, 2021) olduğu görülmektedir. Genel olarak mimari tasarım alanında tekrar eden görevlerin hızlandırılmasında bilgi teknolojilerinin kullanımı yaygındır (Gürsel Dino, 2020). Bu yaygın kullanım, sadece tasarım sürecinde değil, aynı zamanda, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) uygulamalarında olduğu gibi, yapım ve inşaat süreçlerinin yönetiminde (Zabin vd., 2022) de hızla gelişmektedir. Bu gelişmelerin mümkün kıldığı, akıllı, duyarlı, etkileşimli, uyarlanabilir, parametrik, algoritmik ve üretken gibi çeşitli sayısal düşünme biçimleri, yeni bir tasarım düşüncesi, üretim ve uygulama pratiğinin de gelişmesine zemin hazırlamıştır (Frazer, 2016). Günümüzde benzer gelişmeler, ChatGPT, DALL-E, Midjourney, vb. ÜYZ modellerinin mimari tasarım süreçlerine farklı düzeylerde entegrasyonu ile devam etmektedir. Bu gelişmeler tasarımcıları üretkenliği artırma ve daha yenilikçi çözümler geliştirme konusunda güçlendirerek mimari ortamın dönüşüme katkı sağlayabilecek düzeydedir. (Carpo, 2017).

Bu bildiride, tüm bu gelişmelerin sürekli devam edeceği, hem tasarım, uygulama hem de eğitim alanında ÜYZ kullanımının artarak yeni bir paradigma değişimi yaşanmasına sebep olacağı öngörüsü ile ÜYZ modellerinin mimari tasarım eğitimini nasıl dönüştüreceğini ve nasıl kullanılabileceğini anlamaya yönelik gerçekleştirmekte olduğumuz araştırmanın ilk bulguları paylaşılmaktadır. İlk çalışmamız, öğrencilerin mimari tasarım stüdyosunda ÜYZ kullanımlarının potansiyellerini anlamak ve bu araçların bir tasarım destek aracı ve bir takım arkadaşı olabilmesi için ne gibi olanaklar sunması gerektiğinin keşfedilmesi olmuştur. Bu amaçla, son iki yıldır gerçekleştirmekte olduğumuz, ÜYZ entegre edilmiş tasarım stüdyolarında ardışık bir sistemlikle öğrencilerin ÜYZ modellerini kullanımlarına ve beklentilerine yönelik veri toplanmıştır (**Şekil 1**). Öğrencilerin, geliştirmiş olduğumuz GAI-A ismini verdiğimiz ÜYZ modelleri entegre edilmiş bir arayüzü kullanmaları teşvik edilmiştir. Bu bildiride, etnografik yöntemlerin mimarlık çalışmalarına entegrasyonunun, yeni araştırma ve tasarım odaklı soruları incelemek için faydalı olma potansiyeli taşıdığı (Yaneva, 2018) tespitiyle, öğrencilerin

tasarımda ÜYZ kullanımı ve GAI-A arayüzünü değerlendirmelerinin odak grup görüşmeleri ile desteklenmiş bir etnografik bir yorumu sunulmaktadır.

## 2. Üretken Yapay Zeka ve Mimari Tasarım

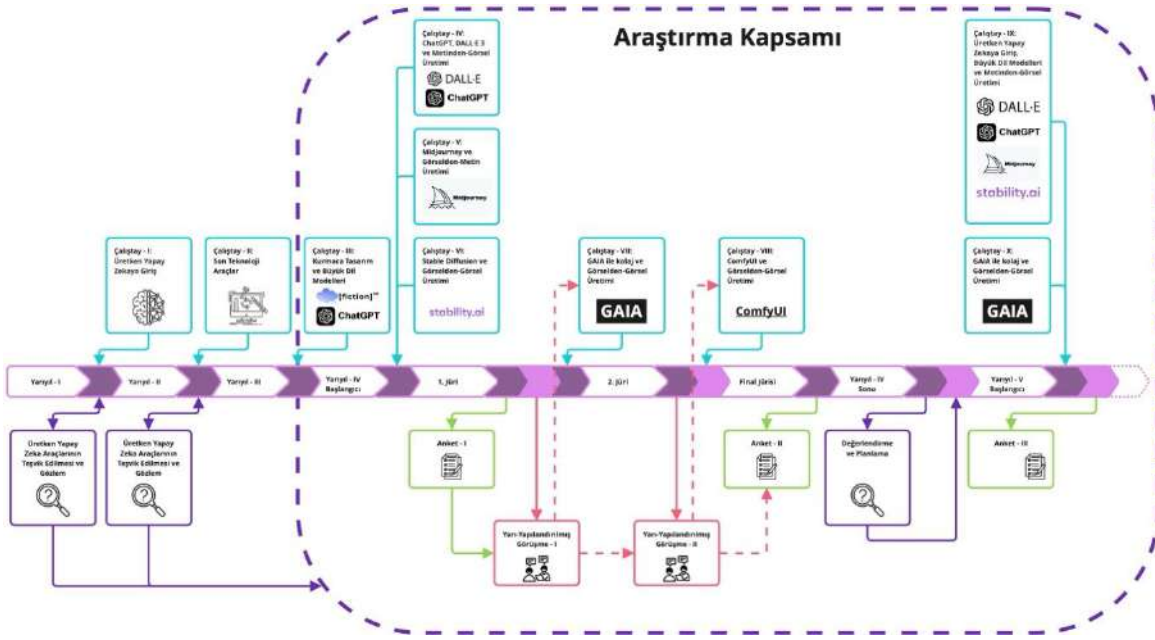
Transformatör tabanlı derin sinir ağlarındaki gelişmeler (Vaswani vd., 2017), 2020'lerin başında ÜYZ sistemlerinde hızlı bir popülerleşme yaşanmasını sağlamıştır. ÜYZ yalnızca mevcut verileri analiz etmek veya tanımak yerine yeni bağlantılarla orijinal olarak tanımlanabilecek içerikleri üretmek için tasarlanmış YZ modellerini ve tekniklerini ifade eder. ÜYZ modelleri, eğitim verilerinin kalıplarını ve yapısını öğrenerek benzer özelliklere sahip yeni veriler üretebilir. Geleneksel YZ modelleri kural tabanlı işleme ve önceden belirlenmiş sonuçlar için daha etkili iken, ÜYZ modelleri doğal dil işleme ve yeni içerik oluşturmayı içeren görevler için daha uygundur. Bu nedenle, yazılım geliştirme, sağlık, finans, eğlence, müşteri hizmetleri, satış ve pazarlama, sanat, yazı, moda ve ürün tasarımı gibi pek çok sektördeki dönüştürücü etkisi giderek artmaktadır. Bu hızlı entegrasyon süreci ve potansiyeller ise birçok disiplinin araştırma odağı haline gelmiştir.

ÜYZ ve geleneksel olarak yaratıcı olarak kabul edilen ürünler arasındaki uçurumun yerini hararetli tartışmalara bırakması nedeniyle ÜYZ bağlamında mimarlık disiplininin ve eğitiminin geleceği en önemli araştırma konularından birisi haline gelmiştir (Ploennigs ve Berger, 2023). ChatGPT (OpenAI, 2022), DALL-E (OpenAI, 2021) ve Midjourney (2022) gibi son kullanıcı uygulamaları ve Stable Diffusion (StabilityAI, 2022) gibi açık kaynaklı GenAI modellerinin başarısındaki artış, yaratıcılığın aktif bir şekilde nasıl artırabileceği ve tasarım sürecine nasıl entegre olabileceğini keşfetmeye yönelik ilgiyi motive etmektedir. YZ'nin mimari süreçlerdeki yaratıcı potansiyeli, sadece verimlilik kazanımlarının ötesine geçerek tasarımcılara inovasyonun sınırlarını zorlamak ve yapıyı çevre için daha sürdürülebilir çözümler geliştirmek için yeni yollar sunar. Mimarlık ve ÜYZ arakesitinde çalışan araştırmacılar, kavramsal tasarım (Castro vd., 2021), form keşfi (Eroğlu ve Gül, 2022), eskiz (Tong, 2023) ve fikir oluşturma (Tholander ve Jonsson, 2023) dahil olmak üzere farklı tasarım süreçlerine (Danchenko, 2020) entegrasyonu araştırmaktadır. Ayrıca ÜYZ'nin tasarım hedeflerini belirleme (Çalışkan, 2023), mimari plan oluşturma (Uzun, 2020) ve mimarlık eğitimini geliştirme (Çiçek, 2020) potansiyeli de incelenmiştir. Bu nedenle araştırmamız, ÜYZ modellerinin mimari tasarım süreçlerine entegrasyon ve yaratıcılığı artırma potansiyelini iki sene boyunca odaklanarak kritik bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

### 3. Yöntem

#### 3.1. Tasarım Stüdyosunda Üretken Yapay Zeka (ÜYZ) Kullanımı

Araştırma dört dönem boyunca mimari tasarım proje derslerinde gerçekleştirdiğimiz, birbirini besleyen çalıştay, seminer, uygulama, anket ve odak görüşmeleri ile veri topladığımız süreçlerden oluşmaktadır (**Şekil 1**). Tasarım alanındaki araştırma pratikleriyle uyumlu olarak bu çalışmada, öğrencilerin mimari tasarım sürecinde ÜYZ kullanımı incelenmiş, yaratıcı süreçlerini destekleyici bir arayüzde olması gereken unsurlar tespit edilmeye çalışılmıştır. İlk aşama Schön'ün (1987) eğitim pratiği incelemesinde kullandığı yöntemden esinlenen beklenti tespiti süreci, etnografik olarak “eylem halinde düşünmeyi” (thinking in action) nicel doğrusal araştırmalardan farklı olarak, tasarım sürecini derinlikli bir anlama ve yorumlama çabasıdır. Profesyonel mimarlara odaklı bir etnografik çalışmada Cuff (1992) “Mimarlık pratiğinin nasıl işlemesi gerektiği konusunda iddialı tavsiyelerde bulunacaksa, öncelikle halihazırda nasıl işlediği hakkında daha fazla bilgi sahibi olmalıyız” (1992, s. 6) diyerek, her türlü iyileştirme için mevcut uygulamaların derinlemesine anlaşılması gerektiğini savunmaktadır. Bu bağlamda uygulama geliştirme süreci, tasarım öğrencilerinin yaratıcılığı destekleyecek bir ÜYZ arayüzünde ne gibi özellikler olması gerektiğini düşündüklerini anlamaya çalıştığımız, stüdyolarla ilişkili anket ve görüşmelerle ilerlemektedir. Bu bildiride, ÜYZ modellerinin mimari tasarım eğitiminde yaratıcılığı destekleyen bir takım arkadaşı olarak kullanımının potansiyellerine odaklanılmıştır (**Şekil 1**).



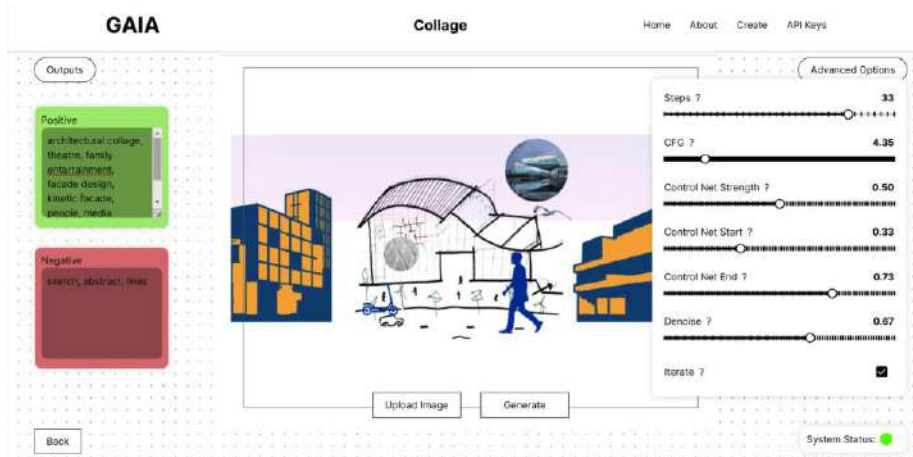
Şekil 1. Dört akademik dönem boyunca araştırma çerçevesi (GAI-A Araştırma Projesi).

### 3.2. GAI-A arayüzünün geliştirilmesi

GAI-A sistemi, ön uç arayüzü için React.js, arka uç işlemleri için Flask ve bir difüzyon modeli (Midjourney v5.2) ve bir Büyük Dil Modeli (LLM) (ChatGPT-4) kullanarak imge-istem ile (image-to-prompt) ve istem -imge (prompt-to-image) üretim sentezini içeren YZ modellerinin bir birleşimini kullanır. Sisteme girişte herhangi bir üyelik veya kayıt istenmemekte, basit bir URL ile arayüze erişilebilmektedir. Sistemin temel amacı, görüntü kolajlarını kullanıcının amaçladığı mesaj veya temayla uyumlu, tekil temsillere dönüştürmektir. Ön ucun tekil bir web sunucusu uygulamasıyla iletişim kurduğu temel bir istemci-sunucu mimarisi kullanılmaktadır. Bu imgeler daha sonra Flask tabanlı bir web uygulaması olan sunucuya iletilir, bu uygulama kullanıcından gelen komutları ele alarak, gerekli YZ modeli ile etkileşime girmektedir. Kullanıcılar, kullanacakları başlangıç resimlerini bir Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) aracılığıyla sisteme yüklerler, olması veya olmamasını istedikleri (positive-negative) özellikleri sol tarafta görünen yazı alanlarına istem olarak girerler ve üretim butonu ile imge üretimi başlatılmaktadır. Görüntü verileri işlenmek üzere, girdiler arka uca gönderilir ve arka planda işlenen çıktı görüntüsünü GKA'ye (Şekil 2) döndürerek kullanıcının bunu



gözlemlenmesine ve kaydetmesine olanak tanınmaktadır. Ayrıca sağ tarafta görünen 'ileri seçenekler' adımları ile elde edilen görüntüde iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılabilmektedir (Sistemin bu ilk prototipi v1.0 alınan dönütlere göre iyileştirilmekte olup, v2.01 son hali için bkz. Gül et al 2024).



Şekil 2. GAIA platformu arayüzü v1.0.

### 3.3. Araştırmanın nitel verisi

Tasarım sürecinde öğrencilerle yapılan görüşmeler, anketler ve gözlemler araştırmanın verisini oluşturmaktadır. Bu bildiri de araştırmanın son döneminde öğrencilerle (N=6) yapılan odak grup çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Yarı-yapılandırılmış bu görüşmelerde öğrencilerin ÜYZ modellerinden beklentileri ve mevcut eğilimleri hakkında bilgi edinmek için Düşümsel Tematik Analiz (Braun ve Clarke, 2019) yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz konuşma metin içeriklerinin araştırma odağında tasarlanan bir kodlama şeması esas alınarak incelenmesini içerir (**Tablo 1**).

**Tablo 1.** Görüşülen kişilerin tasarım süreci ifadelerinin kodlama kategorileri.

Kod	Tanım	ÜYZ Kullanım Örneği
Arazi Analizi ve Araştırma	Çalışma alanı ile ilgili yapılan tüm ön çalışmalar.	Katılımcılar arasında mevcut kullanımına rastlanmamıştır. Analizleri bir YZ asistanının üretebilmesine yönelik talep vardır.
Hedeflerin Belirlenmesi	Mimari program ve kullanıcı senaryolarının oluşturulması gibi çalışmalar.	Büyük Dil Modelleri ile diyalog vasıtasıyla kullanıcı senaryosu ve mimari program üretimi.
Tasarım Araştırması	Mimari stil ve malzemelerin belirlenmesi, var olan tasarımların incelenmesi.	İlham almak üzere ve hayal etmekte zorlanılan koşulların görselleştirilmesine yönelik istem-imge yöntemlerinin kullanımı.
Konsept Tasarımı	Temel tasarım kriterlerinin ifade edildiği eskiz ve kütüphane çalışmaları.	Katılımcılar bu aşamada ÜYZ modellerini kullanmayı tercih etmediklerini ifade etmiştir.
Tasarım Geliştirme	Döngüsel tasarım geliştirme ve ileletme aşaması.	Katılımcılar bu aşamada ÜYZ modellerini kullanmamaktadır. Plan ve 3B model üretebilen ÜYZ modellerine talep vardır.
Tasarım Sonuçlandırma	Tasarımın bitirilip detaylarının geliştirilmesi, teslim edilecek çizimlerin hazırlanması.	Katılımcılar bu aşamada ÜYZ modellerini kullanmamaktadır. Detaylı 3B model ve teknik çizim üretebilen ÜYZ modellerine talep vardır.
Sunum	Sunum materyallerinin hazırlanması, görsel iyileştirme ve rötuş çalışmaları.	Önceki aşamalarda ÜYZ üretimlerine yer verilmiştir. Görsel iyileştirme ve rötuş çalışmalarına yardım edebilecek ÜYZ modellerine talep vardır.

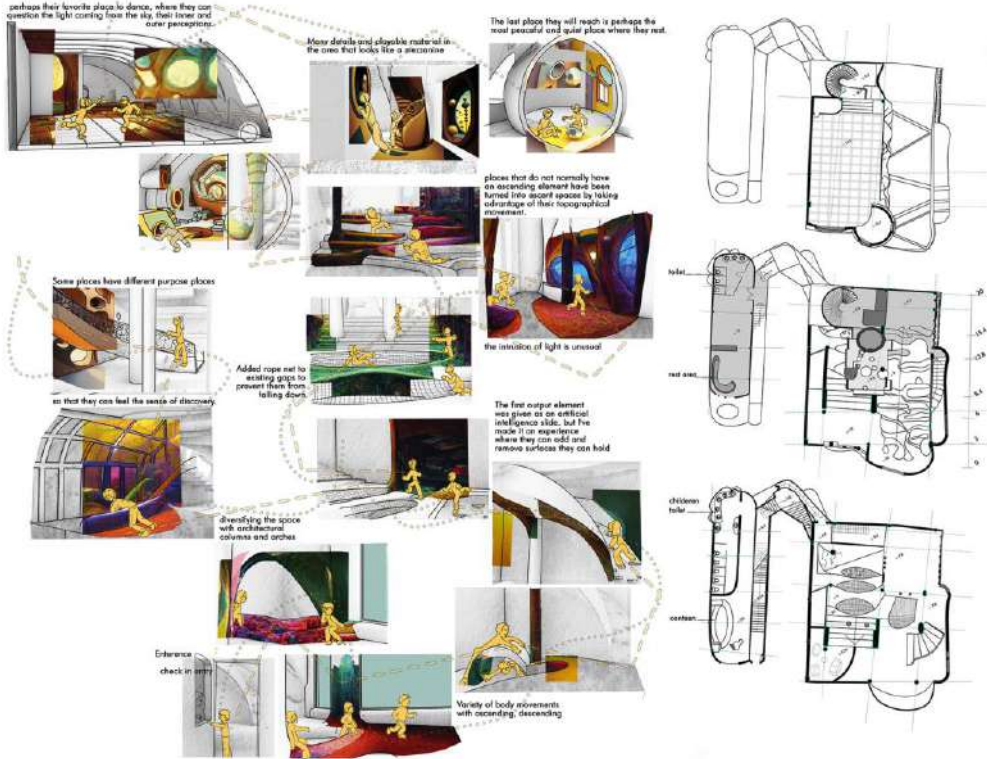
## 4. Üretken Yapay Zeka ile Birlikte Tasarlamak

### 4.1. Mimari Tasarım Stüdyosunun Çıktıları

Bu bölümde, ÜYZ'nin mimari tasarım stüdyosunda kullanımı, İTÜ Mimarlık Bölümü beşinci ve altıncı yarıyıl mimari tasarım projesi düzeyinde, düşey olarak yapılandırılmış stüdyo derslerinde ele aldığımız konular ve öğrenci çıktılarından örneklerle kısaca açıklanmaktadır. Mimari Tasarım Proje dersi haftada 8 saat boyunca 14 haftalık bir süreye yayılmıştır. Stüdyoda ilk haftalar, atölye çalışmaları ve bilgilendirici seminerlere ayrılmış, daha sonra tasarım problemi üzerinde çalışılmış tüm süreç boyunca gözlemler, anketler ve yarı-yapılandırılmış görüşmeleri kapsayan araştırma yöntemleri izlenmiş, tasarım sürecinde ÜYZ modellerinin kullanımı teşvik edilmiştir (**Şekil 1**).

Birinci dönem (2022 Güz) öğrenciler Cibali, İstanbul'da "*Designing the Black Box: Creating the Intimate Space of Arts*" başlıklı projeyi ele aldılar. Stüdyo yenilikçi, etkileşimli, duyarlı esnek ve uyarlanabilir tasarım alternatifleri aracılığıyla sosyo-ekonomik büyümeyi tetikleyen sosyal çekim alanları oluşmayı amaçlıyordu. Yaratıcı endüstriler ve tekno-kültürel ilerlemenin kesişme noktasında konumlandırılan kavramsal arka plan ÜYZ araçlarının deneyimlenmesi için ideal bir teorik zemin sağlamıştır. Bu dönem ve tüm takip eden stüdyolarda dönemin ilk haftalarında, ÜYZ araçlarını öğrencilere tanıtabilmek ve farkındalık arttırmak amacıyla bir dizi çalıştay düzenlenmiş, öğrenciler bu araçların potansiyelini araştırmaya teşvik edilmiştir. Özellikle bazı öğrenciler, tasarım hedeflerini yaratıcı sürecin hemen başında analiz etmek için ChatGPT'den (OpenAI, 2022) yararlanmış, tasarım sürecinin ilk aşamalarında DALL-E 2 (OpenAI, 2021) ve Midjourney'den (Midjourney, 2022) ilham almışlardır. **Şekil 3**'teki öğrencinin çalışması, tasarım sürecinde benimsenen

yenilikçi yaklaşımı yansıtmaktadır. Buradaki yaklaşımda, önce mekanlarla ilgili fikirler istemler olarak ifade edilmiş (prompting), ÜYZ ile yürütülen diyalogla imgeler oluşturulmuş ve bu 2B'li kavramsallaştırmalara dayalı olarak öğrenci 3B mekanların tasarımını yapmıştır (**Şekil 3**).



**Şekil 3.** Midjourney ile entegre bir mimari tasarım yöntemi (Öğrenci Çalışması, 2022).

İkinci dönem (2023 Bahar) öğrenciler Germencik, Aydın'da "Neo-Education: Designing the Future Education Spaces" başlıklı projeyi ele aldılar. Stüdyo, eğitim alanlarını geliştirmeyi, öğrenme ortamlarının geleceğini yönlendirmeyi, kültürel değerler bağlamında mekanların ilişkilerini keşfetmeyi amaçlamaktaydı. Öğrenme deneyimini zenginleştirmek için, bir önceki dönemden elde edilen deneyimlerin üzerine inşa edilen kapsamlı bir atölye modülü tasarlandı. Beş ders boyunca öğrenciler, ChatGPT (OpenAI, 2022), DALL-E (OpenAI, 2021)

ve Midjourney (2022) dahil olmak üzere AR-VR araçlarını ve ÜYZ modellerini kullanarak geleceğin eğitim alanlarını tasarladılar. Öğrenciler bu araçların sadece hayal güçlerini desteklemekle kalmayıp aynı zamanda bilinmeyenin dünyasını keşfetmeyi de kolaylaştırdığını ifade etmişlerdir (Şekil 4). Bu yarıyıl boyunca edindiğimiz gözlemler sonucunda atölye eğitiminde dinamik, değişikliklerin yapılabilmesine uygun esnek bir formatın izlenmesi gerektiğini vurgulamakta fayda bulunmaktadır. Atölye çıktıları sürekli olarak ölçülmediğinde veya dönem boyunca öğrencilerin değişen ihtiyaçlarına göre uyarlanmadığında, teknolojik araçların entegrasyonu yeter düzeyde olamamaktadır. Özellikle bu dönem öğrencilerimiz, ÜYZ modellerinin öğrencilerin özelleşmiş gereksinimlerine yanıt olamadığı tespiti ile kullanıcı dostu bir arayüz geliştirme süreci başlamıştır, GAI-A ismini verdiğimiz ÜYZ platformunun ilk bileşenleri oluşturulmuştur.



Şekil 4. Çalıştay sırasında geleceğın eğitim mekanlarını tasvir eden öğrenci çalışmaları (Öğrenci Çalışması, 2023).

GAI-A arayüzü geliştirme süreci paralel ilerlerken, üçüncü dönem (2023 Güz) öğrenciler İzmir ili Kemeraltı bölgesinde “Envisioning Future Urban Life: Infill Design in a Historical Urban Setting” başlıklı projede çalıştılar. Stüdyo kültürel miras yoğun kentsel bir dokuda geleceğın her türlü yaşam mekanlarını, ‘tasarım kurgu’ kavramı (bkz. Begüm ve Gül, 2024) bağlamında tasarlamaya odaklanmıştır. Temel amaç, kolektif düşünme ve tartışmalar için bir alan yaratırken gelecekteki insanların yaşamlarını tasavvur etmektir. Dönem boyunca öğrenciler, tasarım süreçlerinde istemden isteme, istemden imgeye, imgeden isteme ve imgeden imgeye süreçleriyle etkileşerek, ÜYZ modelleriyle aktif bir şekilde işbirliği yaptılar. Proje teması kapsamında, öğrenciler stüdyo kritikleri, tasarım alıştırmaları ve bunları tamamlayan bir dizi seminer ve altı adet atölye

çalışmasına (Şekil 1) katıldılar. Bu çalışmaların değerlendirmeleri, dönemin hem ilk hem de son aşamalarında yapılan anketler ve yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla sistematik olarak ölçülmüştür (bkz. Gül, et al 2024). GAI-A arayüzünün olanaklı kıldığı “Blend” aracı ile üretimler gerçekleştirmişlerdir (Şekil 5).

Dördüncü ve son dönemde (2024 Bahar), öğrenciler Bağdat Caddesi, İstanbul’da “Theatrum Deus Ex: Orchestrating the Symphony of City Life” başlıklı projeyi ele almaktadırlar. İlk 4 hafta boyunca öğrenciler kavramsallaştırma aşamasında geniş dil modellerinin ve difüzyon tabanlı üretken modellerin kullanımına dair seminerler ve üç atölye çalışmasıyla gerekli bilgi ve deneyimi kazanmışlar, ardından projelerini geliştirmeye başlamışlardır. Bu sürecin sonucu olarak 5. haftada üretimlerini projeleri için anlamlı bir anlatıyı oluşturacak şekilde bir akış diyagramı içerisinde birleştirmişlerdir. Öğrencilerle yapılan görüşmeler ve anketler yoluyla erken tasarım aşamasında üretken modellerin katkısı olumlu bulunmuştur. Kavramsallaştırma gibi öncül süreçlerde bu modellerin bilinmeyeni keşfetmeye olan faydasının tasarımcıyı olumlu yönde beslediği tespiti yapılabilir.



Şekil 5. GAI-A Platformu “Blend” aracı çıktıları (Çalıştay VII - Öğrenci Çalışması, 2023).

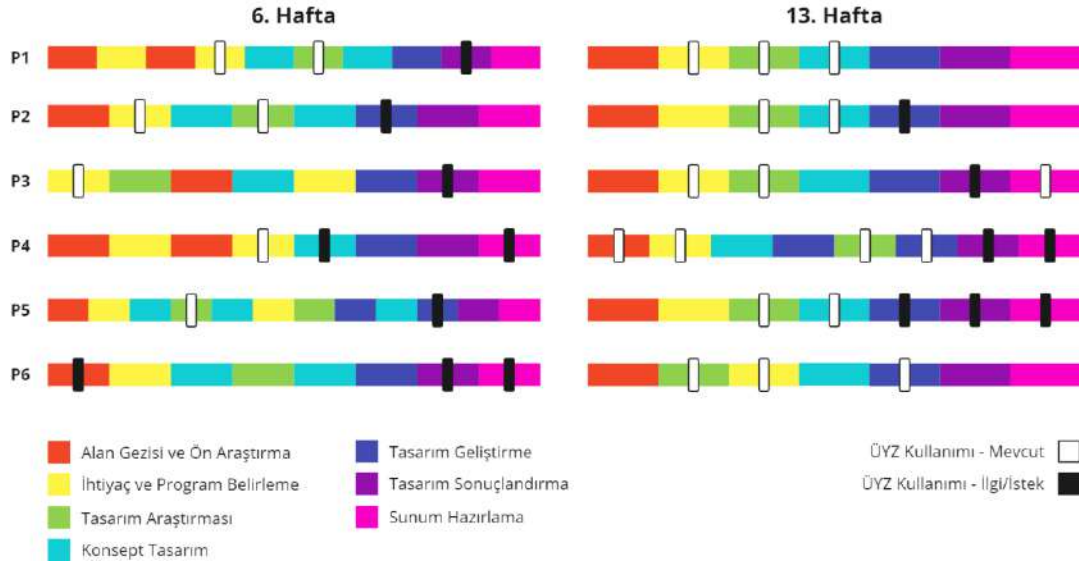
#### 4.2. Öğrencilerin Üretken Yapay Zekadan Beklentileri

Gönüllü öğrencilerle (2023 Güz) (N=6) yapılan odak görüşmeler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Dönemin 6. haftasında stüdyo oturumu sırasında gerçekleştirilen ilk görüşmelerde, erken evre araştırmadan konsept tasarım süreçlerine kadar öğrencilerin izledikleri süreç ele alınmıştır. Aynı katılımcılarla bir sonraki görüşme, dönemin 13. haftasında, tasarımlarının son halini alması ve final sunumuna hazırlanırken gerçekleşmiştir. Her oturum yaklaşık 30 dakika sürmüştür. Bu odak görüşmelere aşağıdaki yarı-yapılandırılmış sorularla başlanmış, görüşmenin ilerleyişine göre konuları açıcı sorular araştırmacı tarafından irticalen sorulmuştur (**Tablo 2**). Sohbet başlatıcı olarak tasarlanan bu sorular, tasarım sürecinin tipik olarak zorlayıcı, tekrarlayıcı ve zaman alıcı yönlerine vurgu yaparak, görüşülen kişilerin ÜYZ tabanlı modellerin bu görevleri nasıl hızlandırabileceğini ve tasarım iş akışlarına nasıl entegre edilebileceğini düşünmeye sevk etmeyi amaçlamıştır.

**Tablo 2.** Odak grup çalışması ile yarı-yapılandırılmış soruları.

- |   |
|---|
| 1. Tasarım sürecinizi baştan sona nasıl tanımlarsınız; sıralı mıdır? ardışık mıdır?   |
| 2. Tasarımla ilgili aşamalardan en çok ve en az varyasyon (veya yinelemeli görevler için iterasyon) ürettiğiniz adımlar hangileridir?   |
| 3. Tasarım sürecinizdeki adımlardan hangileri en zor, en sıkıcı veya zaman alıcıdır? Yukarıda belirtilen nitelikler nedeniyle atlamayı tercih ettiğiniz adımlar var mı?                 |
| 4. Şu anda projenizde herhangi bir YK aracı veya asistanı kullanıyor musunuz? Eğer kullanıyorsanız, bunları tasarım sürecinizin hangi adımlarında, nasıl ve ne şekilde kullanıyorsunuz? |
| 5. Mevcut olsun ya da olmasın, tasarım sürecinizde ne tür ÜYZ araçları kullanmayı tercih ederdiniz?   |

Görüşmelerin farklı zamanlarda yapılmış olmasının sebebi, atölye çalışmalarında ÜYZ modelleriyle pratik uygulamalar ve deneyler yaparak deneyim kazanmaları için zaman vermek ve ÜYZ modellerini kullanımda tecrübelenmenin olası etkilerini anlamaktır. Ön gördüğümüz gibi, öğrenciler çeşitli ÜYZ modellerini keşfetmiş ve bunları daha iyi kullanır olmuşlardır. Bu modelleri keşfettikçe, aşinalıkları ve deneyimleri arttıkça daha derinlemesine iç görüler kazandıkları, son görüşmeye verdikleri yanıtlardan anlaşılmaktadır. Bu iki görüşme arasında tasarım süreçlerine ilişkin açıklamalarında küçük tutarsızlıklar ortaya çıksa da bu araştırma kapsamında bu farklılıklar göz ardı edilmiştir. Genel konuşma içerikleri temaları ortaya çıkarmaya odaklandığımız kodlama şeması (**Tablo 1**) ile etiketlenmiş, öğrencilerin tasarım süreci ve ÜYZ kullanımları her iki görüşme sürecindeki ifadelerine göre zaman çizelgesi oluşturulmuştur (**Şekil 6**).



Şekil 6. Odak grupla yapılan yarı-yapılandırılmış görüşmelerden kodlanmış tasarım süreci, (P: Katılımcı).

Öğrenciler ÜYZ modellerinin yaratıcı süreçleri üzerindeki olumlu etkisini sürekli olarak vurgulamışlardır. Bu modellerin soyut kavramların görselleştirilmesini kolaylaştırarak ve düşünceleri somut imgelere dönüştürerek yaratıcılığı artırdığı ifade edilmiştir. Genellikle “ilham alma” veya “fikirleri hayata geçirme” olarak tanımlanan bu dönüştürücü kabiliyet, unsurları tasavvur etme ve karmaşık kavramları entegre etme ile ilgili zorlukların üstesinden gelmede, yenilikçi fikirlerin üretilmesini teşvik etmede ve aşına olunmayan kavramların daha net bir şekilde anlaşılmasında etkili olduğu yorumları yapılmıştır. Bu olumlu etkinin yanı sıra, tüm tasarım sürecinde ÜYZ modellerini kullanma konusunda bazı çekinceler de dile getirilmiştir. Bu durum özellikle, sonuç imgelerdeki hatalı, eksik ve beklenen mükemmeliyette olmaması gibi sebeplere dayanmaktadır. Dikkat çekici olarak ÜYZ araçlarının ihtiyaç programı belirleme, tasarım araştırmaları, konsept tasarımı vb. erken evre tasarım sürecinde kullanılmasına yönelik bir ilgi bulunmaktadır (Tablo 2, 13.hafta).

## 5. Tartışma ve Sonuç

Üretken yapay zeka (ÜYZ) modellerinin yaygınlaşması ile dünya genelinde birçok tasarım okulu, ÜYZ modellerinin müfredatlarına nasıl uyarlayabileceklerini tartışmaktadır. Son otuz yılda, tasarım eğitimi ve

pedagojisi ile ilgili olarak, hesaplamalı tasarım ve dijital tasarımın teorik, hesaplamalı ve bilişsel yaklaşımları araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Knight, 1999, Oxman 2006, Cuff 2001). ÜYZ'nin yaygın ve erişilebilir olmasıyla, bu yeni tasarım kavramlarıyla bağlantılı olarak, tasarım pedagojisinin de daha fazla araştırılması gerekecektir. Genel olarak, dijital tasarım öğretimine ilişkin iki görüş vardır; tasarım stüdyosuna ek bir ders (Oxman, 2008) ya da tasarım stüdyosundan bağımsız olarak sunulan bir ders (Marx, 2000) olarak kurgulanması önerilir. Bizim ÜYZ entegre edilmiş mimari tasarım öğretimi yaklaşımımız, bu iki görüşü birleştiren bir yapıya dayanmaktadır. Mimari tasarım stüdyosunda, yapılandırmacı bir yaklaşımla problem odaklı öğrenme esas alınarak, düzenlediğimiz çalıştay ve kısa kuramsal modüller ile ÜYZ modellerini kavramaları, kullanma becerilerini geliştirmeleri ve aynı zamanda bu bilgi ve becerileri bir tasarım problemi üzerinde uygulayarak, onları ilham veren yaratıcı süreçleri destekleyen bir takım arkadaşı gibi kullanmaları teşvik edilmiştir. Elde edilen bulgular, kullanılan tasarım aracına hakimiyetin tasarım sürecinde ve çıktılarında belirgin bir etkisi olduğunu teyit etmektedir. Özellikle kullanılan tasarım aracındaki yetkinlik öğrencilerin süreçlerindeki başarılarıyla ilişkilendirilmiş ve bu eğilim, her dönem boyunca yaptığımız atölye çalışmalarımızda en belirgin bulgu olarak öne çıkmıştır. Bu bağlamda, öğrencilerin tasarım sürecinde ÜYZ kullanım yetkinliğinin, Ninio ve Bruner'in (1978) önerdiği gibi, öğretimde dikkatli bir yapı iskelesi kurma yaklaşımını ile geliştirilebileceği söylenebilir. Dolayısıyla, ÜYZ modeliyle ilişkilendirilen işbirlikli bir süreçte, kademeli artan teknik bilgi yükünün, öğrencilerin tasarım sürecinde, daha zahmetsizce yaratıcı çözümler önermesini sağladığını söyleyebiliriz.

Tasarım stüdyolarında yaptığımız gözlemler sonucunda, öğrencilerin ÜYZ modellerini kullanarak mimari tasarım süreçlerini geliştirdikleri aşağıdaki dört yaklaşımı belirledik. İlk yaklaşım, erken tasarım aşamasında konsept geliştirme ve ilham almak için ÜYZ modellerinin kullanılmasında gözlediğimiz, "**Bilinmeyeni Keşfetme**" sürecidir. Özellikle tasarımın erken evrelerinde görsel uyaranların önemi, tasarımda biliş alanında çokça çalışılmış bir konudur. Goldschmidt ve Sever (2011) çeşitli uyaranlara maruz kalmanın konsept oluşumuna katkıda bulunduğu tespitini yapar. Benzer tespiti ÜYZ kullanan öğrencilerimizin bu araçları ilham almak için ve özellikle detayları net olmayan tasarım senaryolarında veya mimari programların geliştirilmesinde kullanmaları sürecinde biz de not edebiliriz. ÜYZ araçlarının tutarsızlığının yaratıcı süreçlere ne ölçüde etki ettiği daha fazla araştırma gerektirmekle birlikte, tasarım stüdyolarındaki gözlemlerimiz, ÜYZ ile geliştirilmiş görsel uyarıcıların ilham kaynağı olabilecek kütüphaneler oluşturmada ve tasarım sürecinin ilk aşamalarında bilinmeyeni keşfetmede etkili olduğunu göstermektedir.

İkinci yaklaşım, tasarım ve geliştirme aşamasında çeşitli alternatiflerin test edilmesini içeren "**Seçeneklerin Genişletilmesi**" sürecidir. Bu aşamada ÜYZ modellerinin başarılı bir şekilde kullanılması, dijital araçlara



hakimiyet, sağlam tasarım becerileri ve farkındalık gerektirmektedir. Görüşmelerde bu konu vurgulanmış, model deneyimi arttıkça, tasarım süreci daha akışkan devam edebilmiştir. Farklı tasarım araçları arasında geçiş yapabilen ve faydalı kısımları birleştirerek melez kullanımları tasarım döngüsüne geri dahil etmekte usta olan öğrenciler, daha verimli çalışmış ve başarılı çıktılar elde etmişlerdir.

Üçüncü yaklaşım ise öğrencilerin tasarıma yönelik kararlarını verdikten sonra, tasarımlarını görselleştirmek için ÜYZ modellerini kullandıkları "**Bilineni Temsil Etme**" yaklaşımıdır. ÜYZ modellerinin bir temsil aracı olarak kullanımının önemli ölçüde zaman kazandırabileceği söylenebilir. Ancak, ÜYZ modellerinin görsel üretiminde, belirli veri setlerini kullanıyor olması sebebiyle adeta sosyal medya kullanıcısının yankı odasında karşılaştığı içeriklerin tekrarlanarak güçlenmesi gibi (Sunstein, 2007), ÜYZ ortamında da yaygın ve popüler imgelerin sürekli tekrarlanarak önerilmesi yaratıcı süreçler açısından bir kısıt yaratmaktadır. Bu bağlamda ÜYZ modellerinin mevcut veri setlerini kullanmalarının getirdiği kısıtlılığın, kendi bağlamında 'popüler imge' seti oluşturduğu söylenebilir. Bu noktada özgünlük ve fikri mülkiyet hakları gibi güncel sorunlar da ayrıca araştırmaya değer açılımlar yapmaktadır.

Dördüncü yaklaşım ise "**Yöntem Geliştirme**" olup Geniş Dil Modelleri'nin (GDM) ve imge istemlerinin (prompting) sadece birer araç olarak kullanılmasının ötesine geçerek bunları tasarım sürecinin merkezine yerleştirmektedir. Çalışmamızda bazı öğrenciler fikirlerini kelimelerle ifade ederek ilerlemeyi daha faydalı bulduklarını belirtmişlerdir. Mekana yönelik fikirlerin metin aracılığıyla deneyimlenmesi, görsel uyarılara maruz kalmaktan önemli ölçüde farklılık gösterir. Vygotsky (1962) yetişkinlerin kelimeleri kavramlar olarak kavrayabildiğini, özlerini veya daha geniş anlamlarını çıkarabildiğini açıklamıştır. Iser (1978), okuyucuların yorumlama eylemi yoluyla, okudukları metinlere yanıt olarak hikayeler inşa ettiklerini, özünde orijinal metni önemli ölçüde dönüştürdüklerini öne sürmektedir. En erken aşamada, tasarım fikirleri sözel olarak ifade edilebilir, ancak bu fikirler hemen görsel bir imge olarak aktarılamaz. Yine, daha önceki çalışmalarda (Purcell vd., 1993; Perttula, 2006) önerildiği üzere, görsel imgelere erken dönemde maruz kalmak bazen kişinin yeni imgeler aramasını kısıtlayabilir. Bu noktada GDM ve Difüzyon modellerinin kullanımı ile bir tasarım fikrinin görsel imgelere dönüştürülmesi sürecinin nasıl işlediği ve ÜYZ ile etkileşim konusu araştırılmaya değerdir.

## Teşekkür

Bu araştırma, İTÜ-BAP Proje No: MGA-2023-44787 uyarınca İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- As, I., & Basu, P. (2021). *The Routledge companion to artificial intelligence in architecture*. Routledge.
- Braun, V., & Clarke, V. (2019). Reflecting on reflexive thematic analysis. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 11(4), 589–597. <https://doi.org/10.1080/2159676x.2019.1628806>
- Çalışkan, E. B. (2023). Interview with Chat GPT to Define Architectural Design Studio Work: Possibilities, Conflicts and Limits. *Journal of Design Studio*, 5(1), 57–71. <https://doi.org/10.46474/jds.1267485>
- Carmo, M. (2017). *The second digital turn: design beyond intelligence*. The MIT Press.
- Castro, L., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I., & Romero, J. (2021). Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. *Automation in Construction*, 124, 103550. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103550>
- Çiçek, S., Turhan, G. D., & Özkar, M. (2023). Reconsidering Design Pedagogy through Diffusion Models. *eCAADe Proceedings*. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.031>
- Cuff, D. (1992). *Architecture: The Story of Practice*. MIT Press.
- Cuff, D. (2001). Digital pedagogy: an essay. *Architectural Record* (9), 200–206.
- Danchenko, E. (2020). The AI-iteration method and the role of AI in architectural design. In *Advances in intelligent systems and computing* (pp. 525–538). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63128-4\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63128-4_40)
- Eroğlu, R., & Gül, L. F. (2022). Architectural Form Explorations through Generative Adversarial Networks - Predicting the potentials of StyleGAN. *eCAADe 2022 Proceedings*. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2022.2.575>
- Frazer, J. (2016). Parametric Computation: history and future. *Architectural Design*, 86(2), 18–23. <https://doi.org/10.1002/ad.2019>
- Goldschmidt, G., & Sever, A. L. (2011). Inspiring design ideas with texts. *Design Studies*, 32(2), 139–155. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.09.006>
- Gül, L. F., Üneşi, O., Delikanlı, B., & Gül, E. Ö. (Eds.). (2024). *Exploring co-design with an AI partner: the GAI-A interface in architectural education*[The 21st International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering (CDVE) Proceedings].
- Gürsel Dino, İ. (2020). Future, Technology and Architecture (In Turkish). *Dosya*, 45.
- Iser, W. (1980). *The act of reading: A Theory of Aesthetic Response*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Knight, T. (2000). *Shape Grammars in Education and Practice: History and Prospects*. *International Journal of Design Computing* (vol 2). MIT Press.
- Marx, J. (2000). A proposal for alternative methods for teaching digital design. *Automation in Construction*, 9(1), 19–35. [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(99\)00049-7](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(99)00049-7)
- Midjourney. (2022, July 12). *Midjourney*. <https://www.midjourney.com>
- Ninio, A., & Bruner, J. S. (1978). The achievement and antecedents of labelling. *Journal of Child Language*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1017/s0305000900001896>
- OpenAI. (2021, January 5). *DALL·E: Creating images from text*. <https://openai.com/research/dall-e>
- OpenAI. (2022, November 30). *Introducing ChatGPT*. <https://openai.com/blog/chatgpt>

- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 29(2), 99–120. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>
- Perttula, M. K., & Koneensuunnittelu, T. K. K. (2006). *Idea generation in engineering design: Application of a Memory Search Perspective and Some Experimental Studies : Doctoral Dissertation*.
- Ploennigs, J., & Berger, M. (2023). AI art in architecture. *AI In Civil Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s43503-023-00018-y>
- Purcell, A., Williams, P. T., Gero, J. S., & Colbron, B. (1993). Fixation effects: do they exist in design problem solving? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 20(3), 333–345. <https://doi.org/10.1068/b200333>
- Schön, D. A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions*. Jossey-Bass.
- StabilityAI. (2022, November 24). *Stability AI Image Models — Stability AI*. <https://stability.ai/stable-image>
- Sunstein, C. R. (2007). *Republic.com 2.0*. Princeton University Press.
- Tholander, J., & Jonsson, M. (2023). Design Ideation with AI - Sketching, Thinking and Talking with Generative Machine Learning Models. *DIS '23: Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference*. <https://doi.org/10.1145/3563657.3596014>
- Tong, H., Türel, A., Şenkal, H., Ergun, S., Güzelci, O. Z., & Alaçam, S. (2023). Can AI Function As A New Mode of Sketching. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Ijet)*, 18(18), 234–248. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i18.42603>
- Uzun, C., Çolakoğlu, M. B., & İnceoğlu, A. (2020). GAN as a generative architectural plan layout tool: A case study for training DCGAN with Palladian Plans and evaluation of DCGAN outputs. *İTÜ Dergisi A*, 17(2), 185–198. <https://doi.org/10.5505/ituja.2020.54037>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1706.03762>
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. The MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262220033/thought-and-language/>
- Yaneva, A. (2018). Editorial. New Voices in Architectural Ethnography – Nuove voci nell’etnografia dell’architettura. *Ardeth*, 2, 17. <https://doi.org/10.17454/ardeth02.03>
- Zabin, A., González, V. A., Zou, Y., & Amor, R. (2022). Applications of machine learning to BIM: A systematic literature review. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101474. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101474>

## Mimari Tasarımın Erken Aşamalarında Yapay Zekâ ve Tasarımcı Etkileşiminin Kurgulanması: Deneysel bir Atölye Çalışması

Can Müezzinoğlu<sup>1</sup> ; Gülbin Lekesiz<sup>2</sup> ; Güliz Özorhon<sup>3</sup> ; Dilara Nitelik Gelirli<sup>4</sup> 

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Özyeğin Üniversitesi

<sup>1</sup>can.muezzinoglu@ozyegin.edu.tr; <sup>2</sup>gulbin.lekesiz@ozyegin.edu.tr; <sup>3</sup>guliz.ozorhon@ozyegin.edu.tr;

<sup>4</sup>dilara.nitelik@ozyegin.edu.tr

### Özet

Mimarlık disiplini, teknolojinin etkisi ile sürekli bir dönüşüm ve yenilenme sürecindedir. Bu dönüşüm sadece nihai tasarım ürünlerini (fiziksel mekânları) değil, aynı zamanda tasarım süreçlerini ve yaklaşımları da etkilemektedir. Günümüzde, bu dönüşümün en önemli tetikleyicilerinden biri yapay zekâ (YZ) teknolojileridir. Yapay zekâ, mimari tasarım sürecini zenginleştirerek tasarımcıya yeni olanaklar sunan bir araç haline gelmektedir. Bu bildiride, yeni olanakların keşfi, mimari tasarım stüdyosunda gerçekleştirilen deneysel bir atölye ile ele alınmaktadır. Atölye, YZ üretimlerinin tasarımın erken aşamalarında nasıl kullanılabilceğini ve yapay zekanın tasarımcı ile diyalog kuran bir tasarım ortağı olma potansiyelini incelemektedir. Atölye, üç temel aşamada yapılanmıştır: verilerin hazırlanması, girdilerin tasarlanması ve çıktıların sentezlenmesi. İlk aşama, öğrencilerin stüdyo çalışmalarında gerçekleştirdikleri çeşitli üretimlerini görsel üreten bir yapay zekâ aracı olan Midjourney'de kullanabilecekleri girdilere dönüştürmelerini içermektedir. Bu aşama, öğrencilerin üretkenliklerini ve hayal güçlerini YZ teknolojileriyle buluşturarak yeni yaratıcı süreçlere olanak tanımıştır. İkinci aşamada, öğrenciler YZ'nin sunduğu olanakları kullanarak kendi tasarım girdilerini oluşturmuşlardır. Bu aşamada; YZ aracılığıyla üretilen görseller, öğrencilerin tasarım sürecine ilham vermiş ve onları yeni yaratıcı yollar aramaya teşvik etmiştir. Son aşamada ise, öğrenciler tasarım fikirlerini sentezlemek ve geliştirmek için YZ'nin sağladığı çıktıları kullanmışlardır. Bu süreç, öğrencilerin tasarım düşüncelerini somutlaştırmalarına ve kavramsal fikirleri mekânsal olarak ifade etmelerine olanak tanımıştır. Bildiride, atölye odağında stüdyo süreci hazırlık (atölye öncesi), diyalog (atölye sırası) ve sentez (atölye sonrası) olmak üzere üç faza ayrılarak anket ve gözlemler yoluyla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, YZ aracının katılımcıların yaratıcılığını artırdığını ve tasarım sürecini zenginleştirdiğini göstermektedir. Ancak, süreçte kullanılan araca hâkim olmanın zorluğu ve istenilen girdilerin iyi ifade edilememesi zorlukları da yaşanmıştır. Sonuç olarak, yapay zekânın mimari tasarım sürecine entegrasyonu, tasarımcıların yaratıcılığını teşvik etmek ve yeni tasarım fikirleri geliştirmek için önemli bir araç olabilir. Ancak, bu entegrasyon sürecinde dikkatli bir planlama ve eğitim gerekmektedir. Bildiri, yapay zekânın mimarlık eğitiminde ve tasarım süreçlerinde nasıl kullanılabilceği konusunda bir model sunmaktadır. Bu model, atölye deneyimi ve değerlendirmesinin gelecekte yapılacak çalışmalara ve YZ kullanımı için alternatif stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Midjourney, mimari tasarım stüdyosu, mimarlık eğitimi, tasarımın erken aşamaları, yapay zekâ.

## Artificial Intelligence and Designer Interaction in the Early Stages of Architectural Design: An Experimental Workshop

Can Müezzinoğlu<sup>1</sup> ; Gülbin Lekesiz<sup>2</sup> ; Güliz Özorhon<sup>3</sup> ; Dilara Nitelik Gelirli<sup>4</sup> 

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Özyeğin University

<sup>1</sup>can.muezzinoglu@ozyegin.edu.tr; <sup>2</sup>gulbin.lekesiz@ozyegin.edu.tr; <sup>3</sup>guliz.ozorhon@ozyegin.edu.tr;

<sup>4</sup>dilara.nitelik@ozyegin.edu.tr

### Abstract

*The discipline of architecture is in a continuous process of transformation and renewal with the influence of technology. This transformation affects not only the final design products (physical spaces) but also the design processes and approaches. Today, one of the most important triggers of this transformation is artificial intelligence (AI) technologies. Artificial intelligence is becoming a tool that enriches the architectural design process and offers new possibilities to the designer. In this paper, the exploration of new possibilities is addressed through an experimental workshop in an architectural design studio. The workshop explores how AI productions can be used in the early stages of design and the potential of AI as a design partner in dialog with the designer. The workshop is structured in three main phases: preparing data, designing inputs and synthesizing outputs. The first phase involves students transforming their various studio productions into inputs that they can use in Midjourney, a visual generative artificial intelligence tool. This phase enabled new creative processes by bringing together students' productivity and imagination with AI technologies. In the second stage, students created their own design inputs using the possibilities offered by AI. In this phase, the visuals generated through AI inspired the students' design process and encouraged them to search for new creative ways. In the final stage, students used the outputs provided by the AI to synthesize and develop their design ideas. This process allowed the students to concretize their design ideas and express conceptual ideas architecturally. In the paper, the studio process was divided into three phases: preparation (pre-workshop), dialogue (during the workshop) and synthesis (post-workshop) and evaluated through questionnaires and observations. The evaluation show that the AI tool increased the creativity of the participants and enriched the design process. However, there were also difficulties in mastering the tool used in the process and not being able to express the desired inputs well. In conclusion, the integration of artificial intelligence into the architectural design process can be an important tool to stimulate the creativity of designers and develop new design ideas. However, this integration process requires careful planning and training. The paper presents a model for how AI can be used in architectural education and design processes. It is thought that this model, workshop experience and evaluation can contribute to future studies and the development of alternative strategies for the use of AI.*

**Keywords:** Architectural design studio, architectural education, artificial intelligence, early design stages, Midjourney.

## 1. Giriş

Teknolojik ilerlemelerin mimarlık alanındaki etkisi, sadece yaşadığımız mekanları değil, aynı zamanda tasarım süreçlerini ve mimari yaklaşımları da dönüştürmektedir. Mimarlık disiplini, bu dönüşümlere karşı epistemik sınırlarının sürekli olarak değişmeye zorlandığı bir döneme ve kendini yeniden tanımlama çabası içerisine girmiştir. Yapay zekâ (YZ) teknolojileri ise günümüzde bu çabayı tetikleyen, epistemik sınırların dönüşümünü gerekli kılan en önemli aktörlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Mimarlık eğitiminde, özellikle de stüdyoda, YZ teknolojilerinin nasıl kullanılabileceği ve nasıl adapte edilebileceği konusunda araştırmaların ve denemelerin çoğaltılması mimarlık disiplininin geleceği bakımından kritiktir. Bu aynı zamanda mimarlık eğitimindeki sınırları, imkanları ve dönüşümü tartışmanın en önemli adreslerinden biri olabilir. Bu bildiri, söz edilen denemelerden birini, bir mimari tasarım stüdyosu kapsamında yapılan deneysel bir atölyeyi konu etmektedir. Tasarım sürecinin erken aşamalarında gerçekleştirilen atölyede YZ'nin tasarımcıyla birlikte düşünebilen bir tasarım ortağı haline getirebilmek (Akçay Kavakoğlu vd., 2022; Çelik vd., 2023) için muğlak görseller üretilmesi hedeflenmiş, böylece tasarımcı ve YZ arasında alternatif bir etkileşim kurgusu planlanmıştır. Bu sayede, tasarımın erken aşamalarında, tasarımcıyla diyalog içerisinde olan yapay zekâ aracının kullanılmasıyla yaratıcı fikirler verebilme konusunda sürece destek sağlayan bir kullanımı söz konusu olmaktadır. Böylece, mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında YZ'nin yaratıcılığı tetikleyen ve destekleyen bir araç olarak kullanılmasının yöntemlerini araştırmak, geliştirmek ve tartışmak için bir zemin sunmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda bildiride öncelikle mimarlık eğitiminde difüzyon modelleri odağında yapay zekâ kullanımı hakkında literatür incelemesi sunulmaktadır. Daha sonra bu inceleme temel alınarak, tasarımın erken aşamaları için geliştirilen atölye yöntemi, özgün yapısı ile ortaya koyulmaktadır. Bildiri kapsamında atölyenin yöntemi ve atölye deneyimi olarak açıklanmakta, dönem sonu öğrencilerle yapılan anket ve yürütücülerin gözlemleri ile atölyenin değerlendirilmesi sunulmaktadır.

## 2. Yapay Zekanın Mimarlık Eğitimindeki Güncel Konumu

YZ, 'makine öğrenimi' ve 'derin öğrenme' terimlerini içeren şemsiye bir kavramdır. Derin öğrenme, makine öğrenimi alanında oldukça yeni bir gelişme olup YZ'yi büyük ölçüde ilerletmiştir (Leach, 2022). YZ, derin öğrenme ile birlikte üretken bir sistem hale gelmiştir. Üretken YZ, yazılı istemlere yanıt olarak metin, görüntü veya diğer içerikleri sentezleyebilen çeşitli teknolojileri ifade eder (Oppenlaender vd., 2023). Difüzyon Modelleri (DM), yaygın olarak kullanılan derin üretken modellerden biridir. Bu modeller, görüntüleri aşamalı olarak bozmak ve öğrenme alanlarından örnekler oluşturmak üzerine odaklanır (Zhang vd., 2023). Bu algoritmalar çeşitli görüntü veri ve parametreler üzerinde eğitilmiştir (Vilgia Putri Beyan vd., 2023). Bu araçlar, mimarlara ve tasarımcılara metinden görsel veya görselden görsel yoluyla temsil etme imkânı sunarak mimari görseller oluşturma sürecini demokratikleştirerek hem profesyonellerin hem de amatörlerin

tasarım niyetlerini etkili bir şekilde iletmelerine olanak tanımaktadır. Bu araçlarının mimari tasarım sürecine dahil olmaya başlaması, eğitimciler için mevcut müfredatı sorgulama ve gözden geçirme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Örneğin, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde "Yaratıcı Tasarım için Makine Öğrenimi", Katalonya İleri Mimarlık Enstitüsü'nde "Mimarlıkta Yapay Zekâ", Harvard Graduate School of Design'da ise "Yapay Zekâ, Makine Öğrenimi ve Yapılı Çevre" gibi derslerin sunulması, dünya çapındaki çeşitli mimarlık eğitimlerindeki dönüşümü göstermektedir (Sorguç vd., 2022).

Mimarlık eğitiminde stüdyoya ve çeşitli atölye çalışmalarına yapay zeka araçlarının dahil edildiği güncel literatür incelendiğinde farklı odak noktaları ortaya çıkmaktadır. Örneğin Jaruga-Rozdolska (2022), Paananen vd. (2023), Tong vd. (2023), Werker ve Beneich (2023), Dortheimer vd. (2023), Çiçek vd. (2023), Moisi ve Rasoulzadeh (2024) YZ araçlarının tasarımın erken aşamalarda kullanımına odaklanarak araçların tasarım sürecini besleyici özelliğini ele almışlardır. Örneğin Çiçek vd., tasarım problemlerinin ilk aşamalarında net başlangıç koşulları olmayan, tam olarak belirlenmiş hedefleri olmayan problemler tanımlamalarında (ill defined problems) öğrenciye tasarım opsiyonları sunduğundan; Tong vd., öğrencilerin parça bütün ilişkisini güçlendirdiğinden ve üç boyutlu düşünmesine yardımcı olmasından; Paananen vd., Dortheimer vd. ile Moisi ve Rasoulzadeh ise öğrencilerin fikir geliştirmesini desteklediğinden bahsetmişlerdir. Bilgisayar destekli tasarım alanındaki ilerlemelerin, tasarımcının rolünü sorgulamaya yönlendirdiği gibi (Oxman, 2006), yapay zeka (YZ) teknolojisinin mimarlık alanındaki kullanımıyla birlikte tasarımcının rolünün sorgulanması ve değişmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla, yeni tasarımcı rollerinin deneysel bir yaklaşımla keşfedilmesi önemlidir ve gereklidir. YZ araçlarının tasarım sürecinde bir katılımcı olarak ele alınması, tasarımcının rolünü zayıflatmadan tasarımcıyla etkileşimini desteklemek önemlidir (Figoli vd., 2022; Akçay Kavakoglu vd., 2022). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu etkileşimin farklı biçimlerde kurgulanabileceği görülmektedir. YZ girdilerinde farklı mecraların denendiği çalışmalara rastlanmaktadır. Örneğin Akçay Kavakoglu vd. (2022) eskiz ile; Yıldırım (2022) ve Dortheimer vd. (2023) çeşitli yazınsal aktiviteler ile; Çelik vd. (2023) ise maket fotoğrafları ile girdi verisini beslemişlerdir. Araştırmalar, metinden görsel üreten yapay zeka araçlarının mimari tasarım stüdyosu sürecine nasıl entegre edilebileceğini ele alarak çeşitli yaklaşımlar sunmakta, potansiyellerine vurgu yapmaktadırlar. Örneğin belirsizlik barındıran ve yaratıcı çözümler gerektiren erken tasarım aşamalarına yapay zeka entegrasyonu, süreci besleyebilir. Yapay zeka ve öğrenci etkileşimi, üretim kalitesini artırabilir. Bu noktada, öğrencilerin yapay zeka araçlarıyla etkileşimlerinde, diyalog kurulmasını sağlamak önemlidir.

### 3. Deneysel Bir Atölye Çalışması: Yaratıcı Bir Aktör Olarak Stüdyoda Yapay Zekâ

Mimarlık eğitiminde geleneksel yöntemlerin hala değerini koruduğu bir gerçektir; diğer yandan eğitim, değişen koşullara ayak uydurmayı, sürekli olarak yeni araç ve yöntemlere açık olmayı gerektirir. Farklı bakış açılarına ve alternatif fırsatlara izin veren, yeniliklere açık bir ortam, öğrencilerin yaratıcılıklarını en üst düzeye çıkarmalarını sağlar (Özorhon ve Sarman, 2023). Bu nedenle, stüdyo ortamlarının çok katmanlı deneyim alanları olarak tasarlanması ve sürekli olarak yeni teknolojileri ve araçları takip ederek, onlarla iş birliği olanaklarını artırarak, öğrencilerin yeteneklerini geliştirmek için fırsatlar yaratılması önemlidir. Bu motivasyon ile Özyeğin Üniversitesi, Mimarlık Bölümü'ndeki bir ikinci sınıf mimari tasarım stüdyosu kapsamında yapay zekâ destekli deneysel atölye çalışması gerçekleştirilmiştir. Atölye, dahil olduğu stüdyonun öğrencisi olan on katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcı sayısının kısıtlılığı, çalışmada elde edilen sonucun genelleştirmesini zorlaştırmakla birlikte, çalışma kapsamında sunulan kullanım potansiyeline bir örnek oluşturmaktadır. Atölye stüdyonun, henüz mekansal üretimlerin başlamadığı, araştırma ve fikir/konsept geliştirme fazlarını içeren ilk aşamalarıyla; mekansal üretimlerin gerçekleştirildiği ve mimari tasarımın geliştirildiği ileri aşamaları arasında kurgulanmıştır. YZ'nin süreç içerisindeki konumu mimari tasarım stüdyosu üretim sürecinin sürekliliği gözetilerek belirlenmiştir. Bu yönüyle atölye, formel mimarlık eğitimiyle bütünleşik, mimari tasarım stüdyosunun çeşitli üretimlerini kullanan ve sentezleyen bir konumdadır.

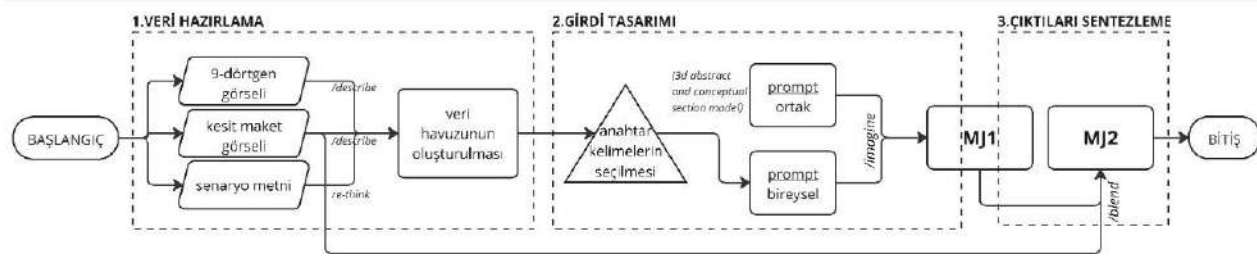
### 4. Atölyenin Yöntemi ve Süreci

Atölyede öğrenciler, stüdyoda atölye öncesi sürecinde yaptıkları araştırmalara ve çalışmalara dayanarak hayal ettikleri mekanları yapay zeka ile bir tür heterojen diyalog kurgulayarak imgeleştirmeye çalışmışlardır. Öğrencilerin erken tasarım ürünleri (metin, eskiz ve kesit maketi) bu atölyenin girdileri olarak kullanılmış, atölye sonucu elde ettikleri görsellerin mimari projelerinin somutlaştığı çizim modülüne altlık oluşturması amaçlanmıştır. Atölye sürecinde soyut üretimler gerçekleştirerek öğrencileri kısıtlamamak ve fikirlerin gelişimini desteklemek hedeflenmiştir. Atölye, verilerin hazırlanması, girdilerin tasarlanması ve çıktıların sentezlenmesi olmak üzere üç aşamalı olarak kurgulanmıştır (**Şekil 1**). Atölyede muğlak çıktılar elde etmek amacıyla Midjourney<sup>1</sup> kullanılmasına karar verilmiştir. Midjourney, Adobe Firefly, Stable Diffusion ve Dall-E gibi diğer popüler araçlara göre kullanıcılara daha etkileşimli bir deneyim sunmakta, (Jaruga-Rozdolska, 2022) kullanıcının alternatif görseller oluşturmasına, imaj boyutlarını değiştirebilmesine ve kullanıcı dostu

<sup>1</sup>Midjourney, metin temelli parametrelerle çeşitli görseller üreten bir araçtır. Bu özellikleriyle, DALL-E, NightCafe, Wombo Dream ve Latent Majesty Diffusion gibi diğer metin veya web bağlantılarına dayalı görsel üretim araçlarına benzer işlevsellikler sunar (Jaruga-Rozdolska, 2022). Midjourney, Şubat 2022'de tanıtılmış ve Mart sonuna kadar yalnızca beta sürümünde erişilebilir olmuştur; ancak kullanıcı geri bildirimlerinin de katkısıyla sürekli gelişim göstererek popülerlik kazanmıştır.



bir arayüzle çalışabilmesine olanak tanımaktadır (Sadek & Gelil Mohamed, 2023). Ayrıca, Dortheimer ve diğerleri tarafından belirtildiği üzere, Midjourney, daha soyut görsel çıktılar üretme konusunda diğer araçlardan daha üstün kabiliyetlere sahiptir (Dortheimer vd., 2023).



Şekil 1. Atölyenin yöntemi.

Atölye üç aşamalı bir yöntem (Şekil 1) izlemiştir:









- 1. Verilerin hazırlanma aşaması:** İlk aşama, öğrencilerin stüdyo üretimlerini Midjourney’de kullanabilecekleri suflere (prompt) dönüştürmelerini içermektedir. Bu aşamada öğrenciler, stüdyosunun ilk haftalarında üretmiş oldukları üç tip malzemeyi (atmosfer eskizi, kesit maketi ve senaryo) kullanmışlardır. Bu kullanım, önceki üretimlerin hem üzerinde tekrar düşünmeyi (re-thinking) hem de Midjourney’deki “/describe” komutundan yararlanmayı içermektedir. Üç tip stüdyo üretimi içerisinde, metin aracılığıyla geliştirilen senaryo üretiminde yer alan bazı kavramlar prompt yazımında doğrudan kullanılmıştır. Öte yandan, atmosfer eskizi ve kesit maketi gibi görsel üretimler metin verisine Midjourney’nin “/describe” komutunu kullanarak dönüştürülmüştür. Buradan çıkan tanımlamalar ve anahtar kelimeler öğrencinin tercihleri ve yürütücülerin yönlendirmeleri (*mekânsal üretimi destekleyebilecek, mekâna doğrudan referans vermeyen kavramlar*) doğrultusunda seçilmiştir. Böylece her bir öğrenci kendi sufle (prompt) havuzunu oluşturmuştur.
- 2. Girdilerin tasarlanma aşaması:** İkinci aşamada öğrenciler sufle (prompt) havuzundan kendi öne çıkardıkları kelimeleri seçerek çeşitli üretimler yapmışlardır. Burada her bir öğrenci “3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit model (3d abstract and conceptual section model)” ifadesini suflerinin ilk kısmı olarak kullanmışlardır. Bu ifadenin temel alınmasının amacı, mekânsal ilişkiler konusunda öğrencilere referans oluşturabilecek bir altlık sağlamak ve onların hayal gücünü kısıtlamayan soyut bir görsel üretmelerini desteklemektir. İmaj üretiminde sufle havuzundan seçilen kelimeler bu ifadeye eklenmiş, suflenin

kullanılması ile Midjourney’de alternatif imajlar üretilmiştir. Bu alternatifler arasından öğrencinin kendi kararıyla seçtiği görsel bir sonraki aşamanın da ilk girdisini oluşturmuştur (MJ1).

















**3. Çıktıların sentezlenme aşaması:** Atölye sürecinin son aşamasında katılımcılar, ikinci aşamada üretmiş oldukları görseller arasından tasarım fikirlerine ve hayal ettikleri atmosfere en yakın bulduklarını seçmişlerdir. İkinci aşamada üretmiş oldukları MJ1 görselini, ilk aşamada veri olarak kullandıkları kesit-maket görseliyle MJ arayüzünde “/blend” komutunu kullanarak bir araya getirmişlerdir. Bu aşamada her bir deneme için MJ dört alternatif sunmuştur. Katılımcılar, tatmin eden bir sonuca (MJ2) ulaşana kadar bu aşamadaki üretimi tekrarlamışlardır.

Atölye öncesinde gerçekleştirilen çalışmalar ile atölyenin üç aşaması boyunca her öğrencinin üretimleri **Tablo 1**’de sunulmaktadır.










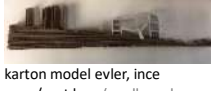






**Tablo 1.** Atölye katılımcılarının süreçte gerçekleştirdiği üretimler.

	<b>A1: Senaryodan seçilen anahtar kelimeler</b>	<b>A2: Atmosfer eskizleri ve anahtar kelimeler</b>	<b>A3: Kesit maketleri ve anahtar kelimeler</b>	<b>A aşamalarından elde edilen sufle</b>	<b>Sufle ile oluşturulan görsel (MJ1)</b>	<b>MJ1 ile kesit maketinin birleştirildiği görsel (MJ2)</b>
<b>Ö1</b>	süreklilik, organik, esnek, karakterli, farklı, geçirgen (continuity, organic, flexible, character, different, permeable)	 girişi gösteren, basit tasarımlar, şeffaf/yarı saydam ortam (showing an entrance, simple designs, transparent/translucent medium)	 kağıt şehir silueti, dalgali katmanlar tarzında, cad (bilgisayar destekli tasarım), detaylı gravür, tasarım mimarisi (paper city skyline, in the style of wavy sheets, cad (computer-aided design), detailed engraving, design architecture study)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, organik, süreklilik, esnek, geçirgen (3d abstract and conceptual section model, organic, continuity, flexible, permeable)		
<b>Ö2</b>	parçalı, şeffaflık, akıcı, keskin biçim, farklılık, brütalizm (fragmentary, transparency, fluid, sharp form, dissimilarity, brutalism)	 monolitik yapılar, post-minimalist yapılar, minimalist kavramsalcılık (monolithic structures, post-minimalist structures, minimalist conceptualism)	 katmanların derinliği, açık konsept (depth of layers, open concept)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, farklılık, şeffaflık, açık konsept, bağlantılılık, keskinlik, iletişim, parçalanma, brütalizm, minimalizm (3d abstract and conceptual section model, dissimilarity, transparency, open concept, connectedness, sharpness, communication, fragmentation, brutalism, minimalism)		

Tablo 1. (Devam).

	A1: Senaryodan seçilen anahtar kelimeler	A2: Atmosfer eskizleri ve anahtar kelimeler	A3: Kesit maketleri ve anahtar kelimeler	A aşamalarından elde edilen sufle	Sufle ile oluşturulan görsel (MJ1)	MJ1 ile kesit maketinin birleştirildiği görsel (MJ2)
Ö3	karmaşıklık, dinamik, aksiyon, yumuşak çizgiler (complexity, dynamic, action, soft lines)	 dinamik aksiyon sekansları, dinamik açılar, dış mekan sahneleri, basit tasarımlar (dynamic action sequences, dynamic angles, outdoor scenes, simple designs)	 Avlu, zıt denge, resif dalgası stili (courtyard, contrasting balance, style of reef wave)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, avlu, süreklilik, karmaşıklık, dinamik aksiyon sekansları, yarı saydam örtüşme, yumuşak çizgiler (3d abstract and conceptual section model, Courtyard, continuity, complexity, dynamic action sequences, translucent overlapping, soft lines)		
Ö4	kavşak, şeffaflık, geçirgenlik, sanat, yaratıcılık, dış mekan, paylaşım, etkileşim, iç içe geçmiş (crossroads, transparency, permeability, art, creativity, outdoor, sharing, interaction, interbedded)	 minimalizm, atmosfer yaratma, hareket, sanat, odaklanma, çoklu bakış açıları (minimalism, setting atmosphere, movement, art, focus, multiple perspectives)	 fütürizm, bir araya getirilmiş, ışık, soyutlama, formlar, derin mesafe, ara katmanlar (futurism, assembled, light, abstraction, forms, deep distance, interbedded)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, kavşak, şeffaflık, geçirgenlik, sanat, yaratıcılık, paylaşım, etkileşim, ara katmanlar (3d abstract and conceptual section model, crossroads, transparency, permeability, art, creativity, sharing, interaction, interbedded)		
Ö5	esnek, şeffaf, sosyal, ortak (flexible, transparent, social, common)	 dinamik, basit, minimalist, atmosferik (dynamic, simple, minimalist, atmospheric)	 detaylı, çok katmanlı, yumuşak, kinetik, havadar (detailed, multilayered, soft, kinetic, airy)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, esnek, şeffaf, sosyal, ortak (3d abstract and conceptual section model, flexible, transparent, social, common)		
Ö6	süreklilik, geçirgenlik, bağlantılar (continuity, permeability, connections)	 minimalist sahne tasarımları tarzında, eklemlere/bağlantılara odaklanma, toplanma (in the style of minimalist stage designs, focus on joints/connections, gathering)	 geçiş, bağlantılar, sürükleyici ortamlar, merkezilik (passage, connections, immersive environments, centrality)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, geçirgenlik, süreklilik, merkezilik, toplanma, geçiş, bağlantılar, sürükleyici ortamlar (3d abstract and conceptual section model, permeability, continuity, centrality, gathering, passage, connections, immersive environments)		

Tablo 1. (Devam).

	A1: Senaryodan seçilen anahtar kelimeler	A2: Atmosfer eskizleri ve anahtar kelimeler	A3: Kesit maketleri ve anahtar kelimeler	A aşamalarından elde edilen sufle	Sufle ile oluşturulan görsel (MJ1)	MJ1 ile kesit maketinin oluşturduğu görsel (MJ2)
Ö7	karşıtlık, esneklik, hareket, kendiliğindenlik, farklılık, dolaşım, kalabalık, iletişim, etkileşim (opposition, flexibility, movement, spontaneity, difference, circulation, crowd, communication, interaction)	 hareket, kendiliğindenlik, kararlılık, an, yumuşak çizgiler (movement, spontaneity, decisive, moment, soft lines)	 patlamaya hazır, hareketli aksiyon pozları, dinamik (explosive, lively action poses, dynamic)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, hareket, canlı aksiyon pozları, dinamik, karşıtlık, esneklik, farklılık, etkileşim (3d abstract and conceptual section model, movement, lively action poses, dynamic, opposition, flexibility, difference, interaction)		
Ö8	etkileşim, açık alan, bağlantı, yeşil alan, iç içe geçmiş, şeffaflık, gizlilik, iletişim, bağlantılar (interaction, open space, connection, green space, nested, transparency, privacy, communication, links)	 esneklik, elverişli (flexibility, convenient)	 modernlik, dinamik (modernity, dynamic)	3 boyutlu soyut ve kavramsal bölüm modeli, etkileşim, açık alan, yeşil alan, bağlantı, dinamik, bağlantılar (3d abstract and conceptual section model, interaction, open space, green space, connection, dynamic, links)		
Ö9	sosyal alanlar, sakin ortam, ağaçlar (social areas, calm environment, trees)	 minimal, net kenar, kıyı ve liman manzarası (minimal, clear edge, coastal and harbor views)	 karton model evler, ince uzun/uzatılmış (cardboard model houses, elongated)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, karton model evler, ağaçlar, sakin ortam, kıyı ve liman manzarası, uzatılmış, net kenar, (3d abstract and conceptual section model, cardboard model houses, trees, calm environment, coastal and harbor views, elongated, clear edge)		
Ö10	esnek geometri, modern, mekansal akış, şeffaflık, iletişim (flexible geometry, modern, spatial flow, transparency, communication)	 Üçgensel (trianglary)	 bina modeli (building model)	3 boyutlu soyut ve kavramsal kesit modeli, iletişim, modern, mekansal akış, esnek geometri, üçgensel, şeffaflık, bina modeli (3d abstract and conceptual section model, communication, modern, spatial flow, flexible geometry, trianglary, transparency, building model)		

Öğrenciler atölye sonucunda ürettikleri MJ2'yi mimari tasarım stüdyosunun ilerleyen aşamalarında zaman zaman tasarım fikirleri ile ilişkilendirmişlerdir. MJ2, öğrencilerin hem soyut kavramlar (çeşitlilik, geçirgenlik, etkileşim, iletişim gibi) ile hayallerini kesit üzerinde düşünmek hem de mekansallaştırmak için aracı olmuştur.

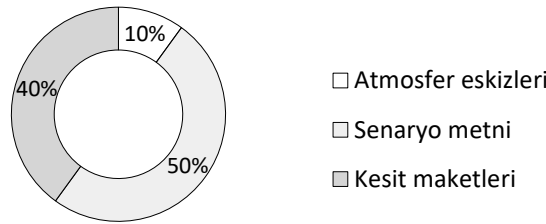
## 5. Değerlendirme

Atölyeyi değerlendirmek yöntemin problem ve potansiyellerini görmek için önemlidir. Bu doğrultuda hem öğrencilerin hem de yürütücülerin görüşlerini içeren bir değerlendirme yapılmıştır. Öğrencilerin yorumlarını alabilmek için bir anket çalışması gerçekleştirilmiş, yürütücülerin görüşleri bunlara eklenmiştir. Atölye süreci, yapay zekanın sürece katılımını ve tasarımcıyla olan etkileşimini değerlendirebilmek amacıyla (1) hazırlık (atölye öncesi), (2) diyalog (atölye sırasında) ve (3) sentez (atölye sonrası) olmak üzere üç faza ayrılarak incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Atölye odağında 3 fazdan oluşan stüdyo süreci.

**Hazırlık (Atölye öncesinde):** Bu aşamada, atölyenin amaçları doğrultusunda hazırlıklar yapılmış ve stüdyonun erken aşamalarda ürettiği üretimleri gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler, bu üretimleri Midjourney (MJ) girdisi olarak kullanmışlar. Öğrenciler girdi üretiminde en etkili buldukları aktivitenin senaryo yazımı olduğunu belirtmişlerdir. Kesit-maket ve atmosfer eskizlerinin sonraki aşamalar için daha az veri sağladığı ortaya çıkmıştır (Şekil 3). Ayrıca öğrenciler, erken evre üretimlerinin etkinliğinin daha fazla olduğu MJ2 üretimlerini, MJ1'e göre hayal ettiklerine daha yakın bulduklarını ifade etmişlerdir (Şekil 5).



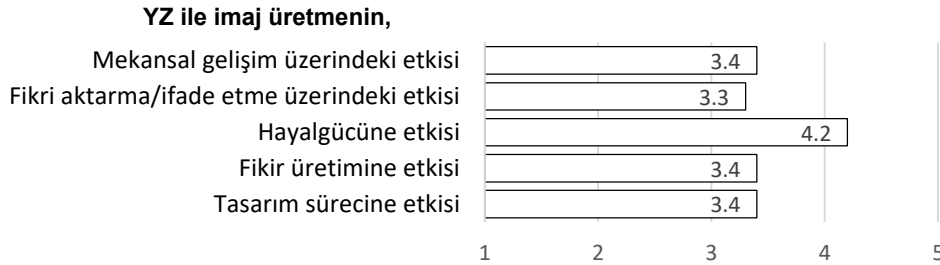
Şekil 3. Çalışmada kullanılan hangi stüdyo üretiminin sufle (prompt) yazımında en fazla veriyi oluşturduğuna dair verilen yanıtların dağılımı.

**Diyalog (Atölye sırasında):** Öğrenciler bu süreçte Midjourney ile tanışarak ilk deneyimlerini edinmişlerdir. Anket sonuçlarına göre öğrenciler yenilikçi tasarım araçlarının sürece katılımını olumlu bulurken; bu araçların, tasarım süreci için yeni fikirler verme, fikirlerini somutlaştırma, soyut kavramların mekansallaşabilme imkanlarını keşfedebilme gibi alanlarda sürece katkı sağladığını belirtmişlerdir. Örneğin bir katılımcı, MJ kullanımı için, *“Yapay zekada belirli kesit tasarım önerileri hazırlayıp projenin ana hatlarına dair bir yardımcı araç olarak kullandık...”* ifadesiyle yapay zeka ve tasarımcı rollerini hakkında, *“...bazı fikir gelişimleri açısından yararlı olduğunu düşünüyorum”* diyerek aracın potansiyeli hakkında görüşlerini paylaşmıştır. Midjourney aracının kullanımıyla ilgili öğrenciler tarafından yapılan değerlendirmeler incelendiğinde, aracın bazı kullanıcılar için beklentileri karşılamadığı görülmüştür. Toplam on katılımcıdan altısı, sufle yazma aşamasında istedikleri kavramları seçmekte zorlandıklarını, bu nedenle ilk aşama sonucunda elde edilen görsellerin (MJ1) beklentileriyle örtüşmediğini belirtmişlerdir. Katılımcılar, anahtar kelimeleri seçerken yaşadıkları zorlukları *“anlaşılır ve düzgün kelimeler seçmek zor”* ve *“tam olarak düşündüğümü ifade edecek kelimeleri bulmada güçlük çektim”* şeklinde ifade etmişlerdir. Diğer yandan, bazı katılımcılar aracın kullanımının yaratıcı süreçlerini beslediğini, hayal güçlerini genişlettiğini ve farklı düşüncelerini sağladığını vurgulamışlardır. On katılımcıdan üçü, Midjourney'nin düşüncelerini somutlaştırmalarına yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir. Katılımcıların yarısı, stüdyo sonrası çalışmalarında da bu aracı tekrar kullanacağını belirtirken diğer yarısı bu konuda kararsız kalmıştır.

Yapay zekâ araçları, tasarım sürecinde sadece öğrencilere ilham kaynağı olarak değil, aynı zamanda stüdyo yürütücülerinin de öğrenci projeleri için yeni fikirler geliştirmelerini tetikleyen araçlar olarak işlev görebilir. Midjourney gibi araçların, tasarımcıların çözüm alanlarını genişletmekte etkili olduğu göz önünde bulundurulduğunda, fazla görsel denemesi yapmak önerilmektedir. Bu çalışmada, katılımcılar MJ1 ve MJ2 üretimlerinde ortalama iki deneme yapmışlardır. Ancak, deneme sayısını artırmak tasarımcı ile YZ etkileşimini artırarak yeni fikirlerin ortaya çıkmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca, arzu edilen görselleri başarıyla üretebilmek için doğru sufle kullanımı da kritik önem taşır. Bunun için kullanılan platforma hâkim olmak ve sufle yazım tekniklerini öğrenmek gereklidir. Katılımcılar, düşündükleri imajları oluşturma konusunda zorlandıkları belirtmişlerdir. Gelecekteki çalışmalarda, sufle yazımı üzerine verilen eğitimlerin süresinin artırılması ve öğrencilerin bu konuda daha fazla araştırma yapmalarının teşvik edilmesi faydalı olacaktır. Aracın işleyişini daha iyi anlamaları için öğrencilere aracı bağımsız olarak keşfetmeleri için zaman tanınmalıdır. Bu öğrenme, proje konusuyla doğrudan ilişkili olmaksızın, kullanıcıların hayal ettikleri görsellere ulaşmalarını kolaylaştıracak şekilde desteklenmelidir.

Atölye sırasında tasarımcıyla Midjourney arasında diyalogun kurulabilmesi, tasarımcı ve araç arasındaki etkileşim bağlamında güncel paradigmanın değiştiğini göstermektedir. Örneğin, Oxman'a göre (2006), kâğıt tabanlı etkileşimde (paper based interaction) tasarımcı kağıda çizdiği şekillerle doğrudan etkileşir. Hesaplamalı tasarım ortamlarında (computational design media) etkileşim, tasarımcıdan farklı bir girdi türü ve biçimlendirme talep ettiği için araçla tasarımcı arasındaki etkileşim de daha farklıdır. Öte yandan, yapay zekanın tasarım sürecine katılımı, tasarımcı ile araç arasındaki etkileşimi değiştirmektedir. Bu durum, kâğıt tabanlı tasarım sürecindeki gibi araçla doğrudan etkileşim sağlamayan, ancak hesaplamalı tasarım sürecinde olduğu gibi analitik bir araç (Lukovich, 2023) olmaktan ziyade, üretken bir tasarım ortağı haline gelen bir etkileşim oluşturmaktadır.

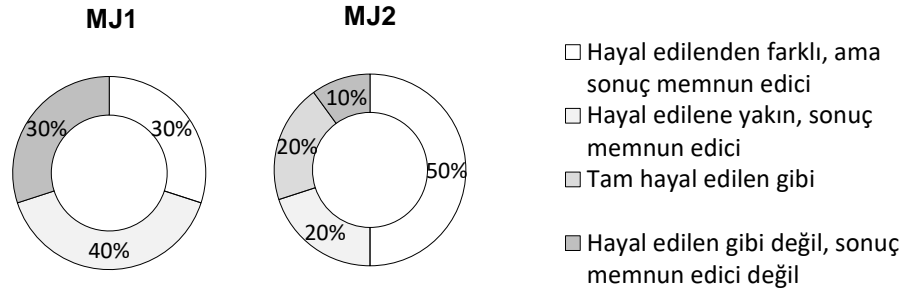
**Sentez (Atölye sonrasında)** : Atölye çıktıları, öğrencilerin tasarımlarını geliştirmede yardımcı bir bileşen olarak sürece dahil edilmiştir. Katılımcıların beşli likert ölçeği ile sorulan ifadelerine verdikleri yanıtlara göre, aracın projelerini mekansal olarak geliştirmeye ve atmosfer yaratmada fikir vermesi (ortalama puan 3.4/5), projelerinde fikir üretimine ve biçimsel olarak fikir vermesi (ortalama puan 3.4/5) ve projelerinde fikirlerini ifade etmelerine yardımcı olması (ortalama puan 3.3/5) alanlarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tasarım süreçlerinin genel verimliliğini artırıp artırmadığına dair soruya verilen ortalama puan 3.4/5 olup, bu, önceki değerlendirmelerdeki genel ortalamayla tutarlı bir sonuçtur. MJ ile üretilen son görsellerin (MJ2) katılımcıların hayallerini kısıtlama durumu değerlendirmelerinde, kısıtlamadığı yönündeki görüşler en yüksek ortalama olan 4.2/5'e ulaşmıştır (**Şekil 4**).



**Şekil 4.** Sonuç ürünlerin Likert ölçekli soru ifadelerine verilen yanıt ortalamaları.

Ayrıca katılımcılardan MJ1 ve MJ2 üretimlerini değerlendirmeleri istenmiştir. MJ1 üretimlerinin %70'i katılımcıların hayal ettiklerinden farklı olurken, %30'u hayal ettiklerine yakın olduğu belirtilmiştir. MJ2 üretimlerine ilişkin olarak ise, %60'ı hayal edilenden farklı, %20'si hayal edilene yakın ve %20'si tam olarak hayal edilen gibi olduğu bildirilmiştir. Ayrıca hem MJ1 hem de MJ2 üretimleri için, katılımcıların %70'i elde

edilen son görsellerden memnun kaldıklarını ifade etmiştir. (Şekil 5) Bu sonuçlar, MJ2 yönteminin, MJ1'e kıyasla katılımcıların hayal ettikleri sonuçlara daha yakın görsel üretimler yapabildiğini göstermektedir. Ek olarak, kesit maket görselleri MJ2'nin doğrudan girdisi olduğu için, bu aşamanın çıktılarında yerle ilişki kuran görseller elde edilebilmiştir. Bu da MJ2'nin öğrencilere bağlamla ilişkili görseller üzerinden fikir vermesini sağlamıştır. Öğrencilerin çoğu ürettikleri görsellerden ilham aldıklarını ve bu etkileşimleri fiziksel ve kavramsal olarak tasarımlarına yansıttıklarını belirtmiştir.



Şekil 5. Sonuç ürünlerin beklentileri ne oranda karşıladığına dair verilen yanıtlar.

## 6. Sonuçlar

Yeni, korkutucu; bilinmeyenle karşılaşmak, alışılmadık bir durumla başa çıkmak endişe verici olabilir. Ancak, yeni olan aynı zamanda keşif ve gelişme fırsatı sunar. Yeni deneyimler sınırları zorlamaya ve potansiyeli gerçekleştirmeye teşvik eder. Çoğu zaman yeni olanın getirdiği heyecanı ve öğrenme fırsatlarını keşfetmek daha güçlü ve yetkin olma imkanı sunar. Bu bağlamda pek çok disiplin açısından olduğu gibi mimarlık ve mimarlık eğitimi için de YZ konusu ilgi çekicidir.

Güncel mimarlık eğitiminde YZ araçlarının kullanımına yönelik pek çok araştırma ve uygulama yapılmaktadır. Bu hali ile literatür gittikçe zenginleşmekte, bu da gelecekte yapılacak nitelikli ve kapsayıcı uygulamaları hazırlamaktadır.

Tasarımın erken aşamalarında gerçekleştirilen atölyede YZ'nin tasarımcıyla birlikte düşünebilen bir tasarım ortağı haline getirebilmek için muğlak görseller üretilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, tasarım sürecinde YZ'yi, stüdyonun önceki aşamalarında gerçekleştirilen üretimlerle bir araya getiren yöntemiyle, tasarım sürecine entegrasyonunu sağlayarak YZ uygulamalarını konu eden pek çok araştırmadan ayrılmaktadır. Böylece tasarımcı ve YZ arasında alternatif bir etkileşim kurgusu planlanmıştır. Atölye değerlendirmelerine göre;



atölyede kullanılan YZ aracı katılımcılara kendi özgün üretimleri üzerinden alternatif görsel temsiller oluşturma imkânı sunmuş, tasarım sürecini besleyerek katılımcıların yaratıcı çözümler üretmelerine katkı sağlamış ve bağlamı tasarıma dahil etmelerinde etkili olmuştur. Ayrıca katılımcıların çoğunluğunun, atölye çıktılarını mimari projelerindeki bazı mekânsal çözümlere altlık oluşturmakta kullandıkları gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, atölye çalışmasında YZ'nin tasarım sürecine dahil olmasının, araç ve süreç üzerinden potansiyel ve kısıtları sıralanmıştır. Buna göre potansiyeller şunlardır: (I) Öğrencilerin yeni bir araçla karşılaşması stüdyo sürecindeki motivasyonlarını olumlu etkilemiş; öğrenciler, aracın ilgilerini çektiklerini belirtmişlerdir. (II) Tasarımın erken aşamalarında Midjourney'nin tasarımcının çözüm uzayını genişletmesi yönünden olumlu bulunmuştur. (III) Bu üretimler öğrencinin yanı sıra stüdyo yürütücüsünün de öğrenci projesi üzerinde yeni düşünceler üretmesini tetikleme potansiyeli sunmaktadırlar. Bu da tasarım sürecindeki çözüm kümesini genişletebilir. Bu ve benzeri uygulamalarda dikkat edilmesi gereken önemli bir husus kullanılan arayüzün öğrenciler tarafından tanınırlığıdır. Kullanıcıların arayüze hâkim olamaması bir tehdit olarak değerlendirilebilir ve tasarım sürecini olumsuz etkileyebilir. Örneğin bu çalışmada katılımcıların bazıları YZ aracı kullanımlarında hayal ettikleri imajları üretmekte zorluk yaşadıklarını belirtmişlerdir. Bu durum da aracın süreçteki yerinin ve rolünün iyi tanımlanmasının önemini vurgulamaktadır. Aksi takdirde, aracın süreci ele geçirmesi tehlikesinden söz edilebilir. Mimari tasarım sürecinde yapay zekâ (YZ) uygulamalarının entegrasyonu, tasarım bağlamına ilişkin ipuçlarını sağlayacak materyallerin üretilmesini ve öğrencilere YZ'nin kullanımıyla ilgili gerekli verilerin önceden tanımlanmasını gerektirir. YZ araçları ile tasarımcının etkileşimini kurgularken görsel üretimlerin soyut ve doğrudan bir çıkarıma dayanamayacak şekilde olması hayal gücünü desteklemede kritik öneme sahiptir. Bu sayede, yenilikçi fikirlerin geliştirilmesi için sağlam bir temel oluşturulabilir. Ayrıca, soyut çıktılarının yorumlanabilir doğası, üretimler üzerinde yapılan tartışmaların zenginleşmesine ve stüdyo ortamında farklı katılımcılarla yeni potansiyellerin keşfedilmesini sağlayabilir.

Bu bildiri, mimari tasarım stüdyosuna yapay zekâ entegrasyonunun potansiyellerini ve karşılaşılan problemleri, atölye deneyimi, yöntemi, süreci ve çıktılarıyla birlikte açıklayarak tartışmaktadır. Araştırma, yenilikçi teknolojik mecraların eğitim yöntemleri ve içeriğinin değiştirilmesinde önemli bir rol oynayabileceğini ve geleneksel sınırlara meydan okuyan yeni imkanlar sağlayabileceğini göstermektedir. Bu bildiri mütevazı bir uygulama örneği sunsa da yapılan değerlendirmelerin gelecekteki çalışmalara ve alternatif stratejilerin oluşturulmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

### Teşekkür

Çalışmamızda, atölyeye katılım sağlayan ve atölye sürecindeki üretimlerini bizimle paylaşan tüm katılımcılara teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Akçay Kavakoglu, A., Almag, B., Eser, B., & Sema, A. (2022). AI Driven Creativity in Early Design Education: A pedagogical approach in the age of Industry 5.0. Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 1(January), 133–142. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2022.1.133>
- Çelik, A. T., Kurtuluş, Ş., Karabay, E., & Özdemir, S. (2023). Integrating Ai Image Generation To First-Year Design Studio: “ Invisible Cities ” Reimagined With Ai Subtitle ASCAAD 2023 Conference: C++: Computation, Culture, and Context, 976–995.
- Çiçek, S., Turhan, G. D., & Özkar, M. (2023). Reconsidering Design Pedagogy through Diffusion Models. *International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 1(Dm), 31–40. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.031>
- Dortheimer, J., Schubert, G., Dalach, A., Brenner, L., & Martelaro, N. (2023). Think AI-side the Box!. *41st International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (ECAADe) [Volume 2]*, 2, 567–576.
- Figoli, F. A., Mattioli, F., & Rampino, L. (2022). AI in The Design Process: Training the Human-AI Collaboration. *International Conference on Engineering and Product Design Education*, September, 8–13.
- Jaruga-Rozdolska, A. (2022). Artificial intelligence as a part of future practices in the architect’s work: midjourney generative tool as part of a process of creating an architectural form. *Architectus*, 3(71), 95–104. <https://doi.org/10.37190/arc220310>
- Leach, N. (2022). *Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects*. London: Bloomsbury Publishing.
- Lukovich, T. (2023). Artificial Intelligence and Architecture Towards a New Paradigm. *YBL Journal of Built Environment*, 8(1), 30-45.
- Moisi, A., & Rasoulzadeh, S. (2024). AI Diffusion as Design Vocabulary - Investigating the use of AI image generation in early architectural design and education. *AI Diffusion as Design Vocabulary*. February. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.2.587>
- Oppenlaender, J., Silvennoinen, J., Paananen, V., & Visuri, A. (2023). *Perceptions and Realities of Text-to-Image Generation*. 279–288. <https://doi.org/10.1145/3616961.3616978>
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Özorhon, G., & Sarman, G. (2023). The Architectural Design Studio: A Case in the Intersection of the Conventional and the New. *Journal of Design Studio*, 5(2), 295-312. <https://doi.org/10.46474/jds.1394851>
- Paananen, V., Oppenlaender, J., & Visuri, A. (2023). Using Text-to-Image Generation for Architectural Design Ideation. *International Journal of Architectural Computing*, 1–14.

- Sadek, M., & Gelil Mohamed, N. A. (2023). Artificial Intelligence as a pedagogical tool for architectural education: What does the empirical evidence tell us?. *MSA Engineering Journal*, 2(2), 133–148. <https://doi.org/10.21608/msaeng.2023.291867>
- Sorguç, A., Kruşa Yemişçiöğlü, M., & Yetkin, O. (2022). Demystifying Machine Learning for Architecture Students. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 23, 60–67. <https://doi.org/10.18038/estubtda.1169816>
- Tong, H., Ülken, G., Türel, A., Şenkal, H., Yağcı Ergun, S. F., Güzelci, O. Z., & Alaçam, S. (2023). An attempt to integrate AI-based techniques into first year design representation course. *Cumulus Antwerp 2023 - Connectivity and Creativity in Times of Conflict*, April, 1–5.
- Vilgia Putri Beyan, E., Gisela Cinintya Rossy, A., & Vilgia Princess Beyan, E. (2023). A Review of AI Image Generator: Influences, Challenges, and Future Prospects for Architectural Field. *JARINA-Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 2(1), 53–65.
- Werker, I., & Beneich, K. (2023). Open AI in the Design Process: To what extent can text-to-image software support future architects in the early design process?. *Proceedings of the 41st International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (ECAADe)* [Volume 2], 2(January 2021), 577–586.
- Yıldırım, E. (2022). Text To Image Artificial Intelligence In A Basic Design Studio: Spatialization From Novel. *4th ISARC International Science And Art Research*, December, 453–462.
- Zhang, L., Rao, A., & Agrawala, M. (2023). Adding conditional control to text-to-image diffusion models. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 3836–3847). <https://doi.org/10.1109/iccv51070.2023.00355>

# Yürünebilirlik Algısının Derin Öğrenme ve Mekân Dizimi Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Adana Merkez Park Örneği

Özlem Büyüктаş<sup>1</sup> ; Samet Oran<sup>2</sup> ; Hatice Günseli Demirkol<sup>3</sup>   
<sup>1,2</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi; <sup>3</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi  
<sup>1</sup>obuyuktas@atu.edu.tr, <sup>2</sup>soran@atu.edu.tr, <sup>3</sup>hgdemirkol@eskisehir.edu.tr

## Özet

*Bu çalışma, Adana Merkez Park ve çevresinin yürünebilirlik algısını, derin öğrenme ve mekân dizimi yöntemleri kullanarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, yürünebilirliğin fiziksel ve algısal boyutlarını incelemektedir. Fiziksel boyutta, mekân dizimi yöntemiyle bağlantısallık ve bütünlüşme değerleri hesaplanarak yürünebilirlik analiz edilmiştir. Algısal boyutta ise, belirlenen caddelerden düzenli aralıklarla alınan görseller, katılımcı anketleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, Fuzuli Caddesi gibi yüksek bağlantısallık değerine sahip caddeler ile Seyhan Nehri kıyısındaki düşük bağlantısallığa sahip yaya yolları gibi farklı kentsel özelliklere sahip alanlar mekân dizimi yöntemi ile seçilmiştir. Seçilen caddelerden alınan görseller, yürünebilirlik algısının detaylı bir şekilde incelenmesini sağlamıştır. Görseller, derin öğrenme algoritmaları kullanılarak işlenecek ve çevresel faktörlerin yürünebilirlik algısına etkisi değerlendirilmiştir.*

*Bu çalışma, derin öğrenme ve mekân dizimi yöntemlerinin etkinliğini göstermeyi ve bu yöntemlerin kentsel planlama ve tasarım süreçlerinde nasıl kullanılabileceğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Araştırma, yürünebilirlik değerlendirmelerinde yeni ve bütüncül bir yaklaşım sunarak, kentsel alanların yürünebilir hale getirilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Bu araştırma, artan kentsel araştırma eğilimleri doğrultusunda, kentlerde sayısal tasarıma uygun olarak kentsel yürünebilirlik analizleri için yeni yöntemlerin uygulanabilirliğini ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu çalışma, derin öğrenme ve mekân dizimi yöntemlerinin, kentsel yürünebilirlik algısının değerlendirilmesinde sağladığı avantajlar, gelecekteki araştırmalar için de yol gösterici olacaktır.*

**Anahtar Kelimeler:** Yürünebilirlik, yürünebilirlik algısı, derin öğrenme, Adana, Merkez Park.

# Evaluation of Walkability Perception Using Deep Learning and Space Syntax Methods: The Case of Adana Central Park

Özlem Büyüктаş<sup>1</sup> ; Samet Oran<sup>2</sup> ; Hatice Günseli Demirkol<sup>3</sup> 

<sup>1,2</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University; <sup>3</sup>Eskişehir Technical University  
<sup>1</sup>obuyuktas@atu.edu.tr, <sup>2</sup>soran@atu.edu.tr, <sup>3</sup>hgdemirkol@eskisehir.edu.tr

## Abstract

*This study aims to evaluate the perception of walkability in and around Adana Merkez Park using deep learning and space syntax methods. The research examines both the physical and perceptual dimensions of walkability. In the physical dimension, walkability was analyzed by calculating connectivity and integration values using the space syntax method. In the perceptual dimension, images taken at regular intervals from selected streets were evaluated through participant surveys. The study selected areas with different urban characteristics, such as Fuzuli Street, which has high connectivity values, and pedestrian paths along the Seyhan River, which have low connectivity values, using the space syntax method. The images taken from the selected streets provided a detailed examination of the perception of walkability. These images were processed using deep learning algorithms to evaluate the impact of environmental factors on the perception of walkability.*

*This study aims to demonstrate the effectiveness of deep learning and space syntax methods and to explore how these methods can be utilized in urban planning and design processes. By providing a new and holistic approach to walkability assessments, the research seeks to contribute to the development of strategies aimed at making urban areas more pedestrian-friendly. In line with increasing urban research trends, this study aims to reveal the applicability of new methods for urban walkability analysis, suitable for numerical design in cities. The advantages of deep learning and space syntax methods in assessing the perception of urban walkability will also provide guidance for future research.*

**Keywords:** Walkability, perception of walkability, deep learning, Adana, Merkez Park.

## 1. Giriş

Yaya dostu olarak inşa edilmiş çevrenin bir göstergesi olarak kabul edilen yürünebilirlik, kentin kalitesini arttırmaya yardımcı olmaktadır. Yürünebilir kent, kentsel alanların ve kamu hizmetlerinin dengeli gelişimini teşvik etmekte ve bireylere daha iyi yaşam alanları sunmaktadır (Wang ve Yang, 2019). Yürünebilirlik, yapı çevrenin, bireylerin güvenli ve konforlu bir şekilde belirli noktalara ulaşmasını sağlayarak, görsel anlamda ilgi çekici, nitelikli, yürümeyi destekleyen bir ortam sunması olarak da tanımlanmaktadır (Akçam ve Karaçor, 2018; Tekel ve Özalp, 2016). Yürüme eylemi, bireyin çevresi ile bütünleşmesini, çevreyi tanımlaması, başkalarıyla ilişki kurmasını ve amaçlarını gerçekleştirmesine olanak sağlar; bu durum algının sürekliliği çerçevesinde mekânda yer değiştirme ve hareket olanağı sunmaktadır (Halu, 2010). Özetle, yürünebilirlik hem fiziksel hem de psikolojik açıdan birey ve kent için oldukça önemli bir kavramdır. Yürünebilirlik ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, kent planları, kentsel tasarımcılara ve karar vericilere, yaya ve bisikletlilerin erişimini sağlamak ve fiziksel aktiviteyi arttırmak amacıyla yerel, bölgesel ve devlet düzeylerinde fiziksel çevrenin planlaması ve tasarımını yeniden düşünmeleri konusunda yardımcı olmaktadır. Yürünebilir ve yaşanabilir topluluklar oluşturarak, bireylerin fiziksel aktivitelere katılmalarını teşvik eden yaya dostu ve yaya güvenli bir çevre sağlamak, birçok federal ve yerel hükümet için giderek daha önemli bir hale gelmiştir (Yin, 2013).

Yürünebilirliğin değerlendirilebilmesi için araştırmacılar, çeşitli parametreler geliştirmiştir. Soutworth (2005), yürünebilirliği, yapı çevrenin yürüyüşü detekleme ve teşvik etme derecesi olarak tanımlamıştır. Ona göre, başarılı yaya ağı tasarımı için altı adet kriteri bulunmaktadır. Bu kriterler: **bağlantılık, diğer taşıma araç ve/veya duraklarına bağlantı, arazi kullanımı desenleri, güvenlik, yol kalitesi, yol bağlamıdır**. Soutworth'a göre, bu altı kriterin, kentsel yürünebilirlik için etkili bir şekilde planlanması ve tasarlanabilmesi için işlevsel ve uygulanabilir olması gereklidir. Yin (2013) ise, yapmış olduğu çalışmada yürünebilirliği; yürüme amaçlı yolculukların başlangıç-bitiş noktası ile bu iki noktayı birbirine bağlayan güzergahların özelliği olarak tanımlanmıştır. Bu tanımdan yola çıkarak, Yin (2013) yürünebilirliği iki bileşen üzerinden ele almıştır. Bu bileşenler, **başlangıç- bitiş ve yol bileşenleri'dir**. Başlangıç ve bitiş bileşenleri, **aktivite ve kullanımlar**; yol bileşenleri, **erişilebilirlik, güvenlik ve imge, sosyalleşme** ile ilişkilendirilmiştir. Yin (2013), bu parametreler sayesinde bireylerin fiziksel çevresel ve sosyal özellikleri ile nasıl etkileşimde bulunduğunu ifade etmektedir. Yürünebilirlik ile ilgili literatürde çeşitli ajansların, belediyelerin rapor ve çalışmaları da yer almaktadır. Bu rapor ve çalışmalarda yürünebilir bir çevreyi tanımlayan, yürünebilirliğin kriterleri, yürünebilirliğin değerlendirilmesi ile ilgili çeşitli parametreler yer almaktadır. Örneği, Yeni Zelanda Ulaşım Ajansı- NZ Transport Agency (2009), tarafından yapılan çalışmada yürünebilir bir fiziksel çevreyi tanımlayan unsurlar

**bağlantı, okunabilirlik, konfor, uygun, keyifli, güvenli, emniyetli, kapsayıcı, erişilebilir** olarak gruplandırılmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında yürünebilirliği etkileyen bileşenleri mekânın fiziksel ve algısal niteliği olarak tanımlamak mümkündür. Fiziksel nitelikler, kaldırım- sokak genişliği, tasarım, trafik yoğunluğu, peyzaj düzenlemesi, bina yüksekliği, yaya yoğunluğu; algısal nitelikler, saydamlık, güvenlik, konfor, kişisel tercihler, okunabilirlik, kapalılık gibi parametrelerle çeşitlenebilmektedir.

Yürünebilirliğin, fiziksel boyutta ele alınan bir parametresi kentsel biçim olarak karşımıza çıkmaktadır. Handy (1996), kentsel biçim/formun önemini “yaya gördüğü, duyduğu, kokularını aldığı ve hissettiğinden dolayı, kent formu yürüme tercihi açısından oldukça önemlidir.” şeklinde ifade etmektedir. Literatürde kentsel biçim ile yürünebilirlik ilişkisini ele alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, mekân dizimi, yaya sayımı gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır (McMillan, 2005; Scorza vd, 2021; Özer, 2014; Genç, 2022; Sharipov ve Demirkol, 2018; Gündoğdu ve Dinçer, 2020). Kentin biçim yapısı, yürüme eylemi için önemlidir. Bunun sebebi kentsel biçimlenmedeki sokak bağlantılarıdır. Sokak bağlantısallığının yürünebilirliği etkilediği gözlenmektedir (Frank vd. 2006; Saelens ve Handy, 2008; Azmi ve Ahmad, 2015). Birbirine bağlanan sokaklar fazla olması, yürüyüş için daha fazla rota sağlamaktadır (Fonseca vd. 2022). Aynı zamanda, yürünen yolun geometrisi, yüzey koşulları ve çevresel faktörler, yürüyüş deneyiminin rahat ve keyifli hale getirebileceği gibi yorucu ve sıkıcı da yapabilir (Halu, 2010). Bağlantılar, kamusal mekânda hareket seçeneği ve kolaylığı sağlaması nedeniyle yürünebilirliği etkilemektedir (Tekel ve Özalp, 2016). Bu durum, aynı zamanda Genç (2022)'in ifade ettiği gibi kentsel mekandaki yürünebilirlik ve yakın çevresinin fiziksel biçimlenişi arasında önemli bir bağ bulunduğunun göstergesidir. Sokakların birbirine bağlantısallığının önemine bağlı olarak, giderek daha fazla kent, bu bağlantısallığı arttırmak amacıyla tasarlanmış yönetmelikleri benimsemektedir (Saelens ve Handy, 2008).

Çalışmalara göre, algılanan yürünebilirlik; güvenlik, estetik, sosyo-demografik yapı ve çevrenin canlılığı ya da sıkıcılığı gibi çeşitli faktörleri kapsamaktadır. Çalışmalarda algılanan yürünebilirliğin, bireylerin refahını etkileyebileceğini ortaya çıkmaktadır. Yürüyüş memnuniyeti, yürüme sırasında hissedilen duygular ve gezilerin değerlendirilmesi ile şekillenmektedir (Vos vd, 2023). Yürünebilirlik algısı, bireylerin çevresel algılarına dayanmakta ve yürüyüş sırasında hissettiklerini ifade etmektedir. Kentsel tasarımın algılanışı, yürüyüş memnuniyetini belirlemekte; memnun olan bireyler, aynı güzergahı tekrar tercih etmektedirler (Akçam ve Karaçor, 2018). Literatürde yer alan çalışmalarda yürünebilirliğin algısal boyutu güzel, canlı, kasvetli, zengin, sıkıcı ve güvenli olarak belirlenen altı parametre kapsamında değerlendirildiği

görülmektedir. Bu parametreler, MIT Medya Laboratuvarı tarafından yürütölen Place Pulse adlı proje sonucunda belirlenmiştir. 2013 yılında başlatılan Place Pulse, gönüllölerin katılımıyla kentsel alanların algılanışını derecelendirmelerine olanak tanıyan bir veri toplama platformudur. 2016 sonuna kadar 81,630 çevrimiçi katılımcıdan elde edilen 1,170,000 ikili karşılaştırma içeren 110,988 şehir manzarası görüntüsünden oluşan bir veri seti toplanmıştır. Bu veri seti, kentsel görünömlerin insan algılamaları üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla yapılan, makine öğrenme tekniklerindeki son gelişmelerle desteklenen çalışmalara ilham kaynağı olmuştur (Wang vd, 2022; Zhang vd, 2018; Kang vd, 2023; Tang ve Long, 2019; Dubey, 2016; Yao vd, 2019; Min, 2019).

Literatürde yürünelirlik algısını değerlendirmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri derin öğrenme yöntemleridir. Derin öğrenme yöntemlerinin kullanılmasının sebebi, röportaj ve anket gibi geleneksel yöntemlerin zaman ve maliyet yoğunluğu nedeniyle araştırmaları daha küçük ölçeklere sınırlandırmasıdır. Bilgisayar teknolojileri ve derin öğrenme sayesinde, kentler ve sokaklar hakkında daha geniş ölçekte ve kapsamlı bilgiler elde edilmektedir (Zhang vd, 2018). Sokak görünümü büyük verisi ve derin öğrenme, sokak mekânının insan algılarını tespit etmek için kullanılmakta ve geniş çapta etkili bir şekilde kentsel planlama için rehberlik sağlamaktadır (Wang vd., 2022). Bu çalışmada amaç, derin öğrenme ve mekân dizimi yöntemini kullanarak Merkez Park ve yakın çevresinin yürünelirliğini ele almaktır.

## 2. Materyal

Yürünelirlik kavramı, ABD ve Avrupa ölkelerindeki güncel yayınlarında önemi vurgulanan kavramlardan biridir. Bu kavram, ulusal düzeyde tam anlamıyla yerleşmemiş olsada kentlerimiz için üzerinde durulması gereklidir (Yazıcıoğlu ve Halu, 2011). Plansız, yoğun yapılaşmanın hızla büyüyen yerleşimlerde yaşam kalitesi ve ulaşılabilirlik gibi konularda ulusal ve uluslararası standartlardan sapmasına neden olduğu bilinmektedir. Bu durum, özellikle Adana gibi hızla kentleşen şehirlerde önemli bir sorundur. Adana'daki sokak ve caddeler, kent yaşamında kritik bir rol oynamakta ve bunların herkes için erişilebilir, sürdürülebilir ve güvenli olması gerekmektedir (Çilek, 2020). Buradan hareketle, çalışmanın özgün yönünün belirlenebilmesi için '**Adana ve Yürünelirlik**' ve '**Adana, Merkez Park**' anahtar kelimeleri ile literatür taraması yapılmıştır. Bu çalışma, doktora tezine yönelik bir çalışma olmasından kaynaklı öncelikle yüksek lisans ve doktora tezleri üzerinden bu araştırma yapılmıştır. Adana özelinde mimarlık, iç mimarlık, şehir ve bölge planlama gibi alanlarda yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Elde edilen tezlerden 3 tanesi yaya erişimini ele alan yüksek lisans çalışmasıdır. Bu çalışmalar, **Tablo 1**'de yer aldığı gibi yöntem, materyal şeklinde ayrılan başlıklar kapsamında ele alınmıştır.



**Tablo 1.** Adana özelinde yapılan çalışmalar.

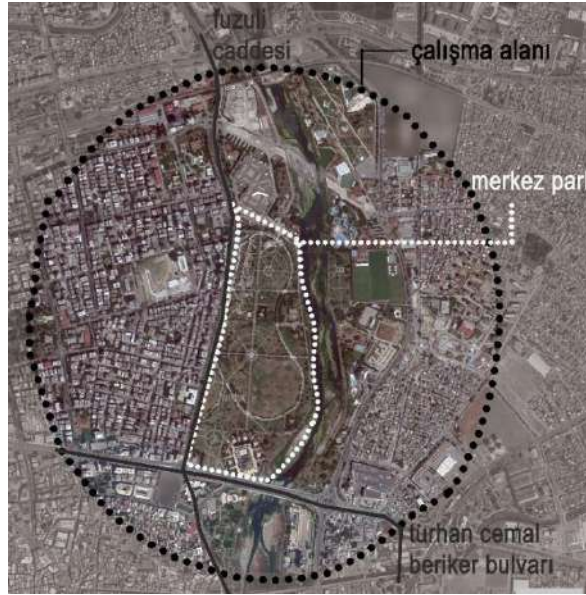
	Yazar (Yıl)	Tez Türü	Amaç	Yöntem	Materyal
YAYA ULAŞIMI/ERİŞİMİ	Payaslı (1992)	Yüksek Lisans	Büyük kentlerimizde giderek artan yapılaşma, gürültü ve kirlilik, gibi koşullarla içice yaşayan insanlarımıza, kendi yaşam çevrelerinde olumsuz koşulların kaldırıldığı konforlu bir yaya bölgesi sunulmasını amaçlayan bir çalışma yapılmıştır.	-	Adana Çakmak Caddesi ile yeni kent merkezi 126 no'lu sokak
	Akman (2002)	Yüksek Lisans	Yaya geçitleri-yaya mekanları ile ilişkilendirilmesi		D-400 karayolunun Adana kent geçişi üzerinde yaya geçişleri
	Karakuzu (2018)	Yüksek Lisans	Yaya erişiminde süreklilik sorunu ve çözüm olanaklarının Adana-Seyhan kent merkezi örneğinde araştırılması	Yaya sayımı, yaya yoğunluğuna bağlı olarak yeterliliğin belirlenmesi, kaldırımların fiziksel yapısının değerlendirilmesi	Seyhan Kent Merkezi

**Tablo 1**'de de görüldüğü üzere yüksek lisans tezlerinden oluşan bu çalışmalarda kapsamlı bir şekilde 'yürünebilirlik' ve 'Seyhan Nehri' kapsamında ele alınmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu da çalışmanın özgün yönünün belirlenmesinde yardımcı olacak bir veri sağlamaktadır. İkinci aşamada ise Merkez Park özelinde yapılan çalışmalar ele alınmıştır (**Tablo 2**).

**Tablo 2.** Adana ve Merkez Parkı ele alan çalışmalar.

Yazar (Yıl)	Çalışma Alanı	Kavramsal İlişki ve(veya) Yöntem
Çilek (2020)	Hayal Park	Erişim kavramı üzerinden yürünebilirlik
Menderes (2009)	Merkez Park	Kullanım Yeteneği
Karaca vd (2015)	Merkez Park	Kullanım Sonrası Değerlendirme
Çorbacı (2020)	Merkez Park	Yeşil alan sistemi içerisindeki fonksiyonların değerlendirilmesi
Bertiz (2022)	Merkez Park	Ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi

Tablo 2’de de görüldüğü üzere, Adana Merkez Park’ın yürünebilirliği üzerine kapsamlı bir çalışma olmadığı görülmektedir. Bu çalışmada yürünebilirlik kapsamında Merkez Park ve çevresinin algısal ve fiziksel boyutu ele alınarak çalışmada kapsamında belirlenen güzergahtan alınan görsellerle yürünebilirliğin algısal boyutu değerlendirilecektir. Merkez Park, Adana’nın Yüreğir bölgesinde, Fuzuli Caddesi, Mustafa Kemal Paşa Bulvarı, Turhan Cemal Beriker Bulvarı ve Seyhan Nehri tarafından sınırlanan bir alanda yer almaktadır. Güneyde Sabancı Merkez Camii, kuzeyde Galleria Alışveriş Merkezi ve doğuda Sheraton Grand Adana Oteli ile çevrilidir. Tarih boyunca narenciye bahçesi olarak kullanılan bu yeşil alan, Adana Yüreğir Kıyı Park Projesi kapsamında Merkez Park’a dönüştürülmüş ve Seyhan Nehri boyunca uzanan bir yürüyüş yolu içermektedir (Çorbacı, 2020). Merkez Park, Adana Lezzet Festivali ve Portakal Çiçeği Festivali gibi etkinliklere ev sahipliği yapmaktadır. Parkta yaya yolları, amfi tiyatro, çocuk parkı, festival alanı, piknik alanı, heykeller ve otopark gibi çeşitli kentsel donatılar bulunmaktadır (**Şekil 1**).

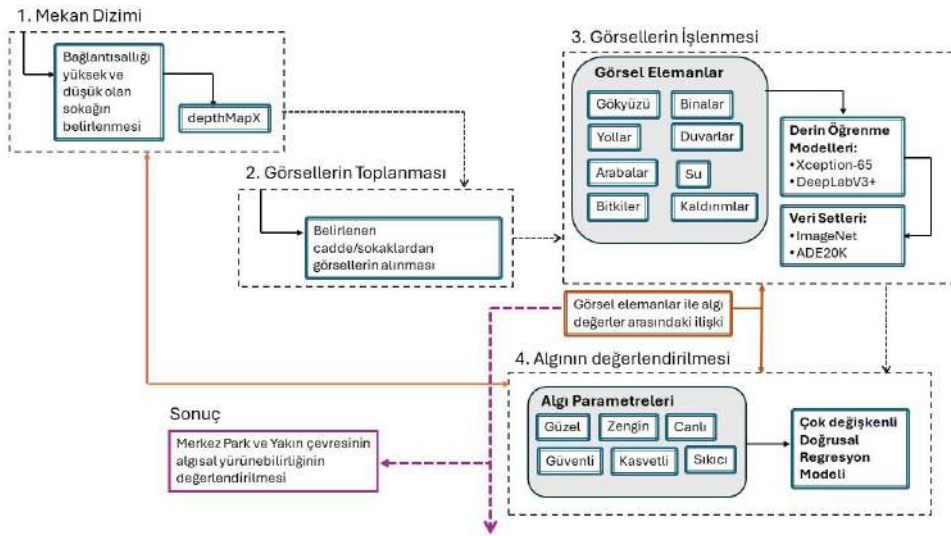


Şekil 1. Çalışma Alanı Sınırları.

Çalışmanın bir diğer metaryali ise, mekân dizimi analizleri sonucu elde edilecek olan cadde/ sokakların görselleridir. Bu görsellerin elde edilmesi için öncelikle ideal yürüme mesafesi belirlenmeye çalışılmıştır. Genel olarak, ideal yürüme mesafesi 400-500 metre arasında değişmektedir (Halu, 2010). Southworth'a (2005) göre ise bir mahallenin veya kentin yürünebilir olması için, günlük ihtiyaçları karşılayabilecek zengin bir aktivite dokusuna sahip olması şarttır. Bu, kişilerin yürüyerek 10-20 dakika içinde veya maksimum 800 metre mesafedeki hizmet ve olanaklara ulaşabilmeleriyle mümkündür. APA (2007) yayaların yürüyebileceği 400-800 metre yarıçapındaki daireyi "yaya bölgesi" olarak tanımlamaktadır. Gehl (2019)'e göre yaklaşık 500 metrelik mesafenin makul bir yürüyüş olması için kent merkezlerinin de 1 km çapta olması demektir (Deniz, 2022). İncelenen çalışmalara göre, çalışmada ideal yürüme mesafesi, Merkez Park'ın merkeze alınarak 1000 metre (1 km) yarıçaplı çizilen dairesel alan olarak belirlenmiştir. Belirlenen 1000 metrelik yarıçaplı alan (Şekil 1) DepthmapX programına aktarılarak çalışmanın amacına uygun bir şekilde analiz edilerek, belirlenen cadde/sokaklardan görseller elde edilecektir.

### 3. Yöntem

Yöntemin belirlenebilmesi için öncelikle yürünebilirlik kapsamında ele alınan çalışmalar incelenmiştir. Yürünebilirliğin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarda, yürünebilirlik kavramı çeşitli parametreler ele alınarak değerlendirildiği görülmüştür. Çalışmalarda kullanılan yöntemler; anket, röportaj, gözlem, makine öğrenme, mekân dizimi vb. olarak sıralanabilir. Bu yöntemler, yürünebilirliğin ölçülebilmesinde belirlenecek olan kriterler kapsamında çeşitlenebildiği görülmüştür. Yürünebilirliğin ele alınış yöntemlerine bakıldığında hem fiziksel hem de psikolojik boyutta kent için önemli olmasından dolayı, fiziksel boyut ve algısal boyut olarak üzere iki başlık altında ele alındığını söylemek mümkündür (Akçam ve Karaçor, 2018; Karımı, 2022; Tekel ve Özalp, 2016). Fiziksel boyutta kentsel biçim, cadde veya sokağın fiziksel özellikleri (kaldırım genişliği vb.), trafik yoğunluğu, insan sayısı gibi özelliklere bakılırken; algısal boyutta ise güvenlik, kullanıcının mekan algısı, konfor gibi parametreler ele alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve yürünebilirliğin hem algısal hem de fiziksel boyutunu ele alabilmek için geliştirilen yöntem, **Şekil 2** 'de özetlenmiş ve açıklanmıştır.



Şekil 2. Çalışmanın aşamaları.

Bu çalışmada, yürünebilirliği algısal ve fiziksel boyutta ele alarak bütüncül yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, çalışmanın aşamaları (Şekil 2) sırasıyla **Mekan Dizimi**, **Görsellerin Toplanması**, **Görsellerin İşlenmesi** ve **Algının Değerlendirilmesi** olarak belirlenmiştir. Mekan dizimi aşaması

yürünebilirliğin fiziksel boyutu; görsellerin toplanması, görsellerin işlenmesi ve algının değerlendirilmesi ise yürünebilirliğin algısal boyutunu ele almaktadır.

### 3.1. Mekan Dizimi

Space Syntax (Mekan Dizimi), mekansal sistemlerdeki ifadesi aracılığıyla toplumun mantığını tanımlamaktadır: mekanların nasıl bir araya geldiğini, nasıl yapıldığını, bireylerin mekanı nasıl algıladıkları, nasıl hareket ettikleri, nasıl kullandıkları gibi (Hillier, 1996; Hillier ve Hanson, 1984; Hanson ve Hillier, 1987). Mekan dizimi, yaya hareketi ve kentsel doku arasındaki ilişkiyi anlamada ve buna bağlı olarak yeni tasarımlarda alternatifleri karşılaştırmada; yön bulma gibi konularda kullanılmaktadır (Hayta, 2011). Bu konularda, çalışmanın amacına göre bütünleşme, bağlantısallık, kavranabilirlik, segment analizi gibi çeşitli analizler yapılmaktadır. Bu çalışmada, mekan diziminde eksenel harita ve bağlantısallık analizi (connectivity) kullanılmıştır. Harita ve analiz için Space Syntax depthMapX programı kullanılmıştır. Eksenel harita, alanı doğrusal olarak geçen aksların tümünün işlenmesiyle oluşturulmaktadır. Eksenel harita, yerleşme içinde hareket etmekte olan bireyin, bir mesafeden farklı yönlere baktığında en uzun görüş mesafesinin ne kadar uzunlukta olduğunu bulmamıza yardımcı olmaktadır. Bu harita, mekan ve işlev arasındaki ilişkiyi analiz etmek için oldukça önemlidir. Hareket ve form arasındaki etkileşimi net bir şekilde gösteren grafiksel anlatım şekli olan bu haritalar, yapıların ve dış çevrenin erişilebilirliği sağlanarak hatlar doğrultusundaki ilişkileri görülebilmektedir (Gündoğdu, 2014). Aksiyal harita, bir bölgenin; bir plandaki açık alan yapısına dayanarak çizilmektedir. Bir kentsel alandaki tüm açık alanlardan geçen ve herhangi iki hat çifti arasındaki yön değişikliklerini en aza indiren, en az ve en uzun görüş ve erişim hattı setinden oluşmaktadır. Bir aksiyal harita elde ettikten sonra, çevrenin geometrisinin çeşitli ilişkisel özelliklerinin hesaplanması için temel olarak kullanabilmektedir (Choi vd. 2006). Sokak bağlantılılığı, kentsel form ile ilgili olarak yürünebilirliğin bir bileşenidir. Sokak düzeniyle ilgilidir ve özellikle bir sokak ağında iki konum (örneğin, ev ve alışveriş mekanları) arasındaki güzergahların doğruluğunu ifade etmektedir. Genellikle, yerel yönetimlerden, yollar ve su dağıtımıyla ilgilenen kamu sektörlerinden veya açık kaynaklardan (örneğin, OpenStreetMap, Google) kolayca temin edilebilen sokak orta çizgisi verileri kullanılarak kavşak yoğunluğu (yani, 3 veya daha fazla kesişen sokağa sahip kavşak sayısının alan büyüklüğüne bölünmesi) olarak ölçülmüştür. Araştırmalar, daha yüksek sokak bağlantılılığının, yürüyüş seviyelerinin artmasıyla tutarlı bir şekilde ilişkili olduğunu göstermektedir (Koohsari vd. 2019). Buradan hareketle, çalışmada depthMapX aracılığıyla belirlenen alanda en yüksek bağlantısallığa ve en düşük bağlantısallığa cadde/sokak belirlenmiştir. Farklı iki değere sahip sokak belirlenerek, farklı özelliklere sahip sokak görselleri alınması sağlanmıştır. İki farklı bağlantısal özelliğin sahip olduğu görsellerle ilerleyen aşamalarda yapılacak olan anketin daha dengeli sonuçlanmasına yardımcı olacaktır.

### 3.2. Derin Öğrenme Algoritmaları

Yürünebilirliğin algısal boyutunun değerlendirilebilmesi için derin öğrenme algoritmaları, çalışmada görsellerin işlenmesi, işlenen görsellerin analizlerinin yapılabilmesi için kullanılmıştır. Mekan dizimi yöntemi ile ele alınacak olan caddelerden elde edilen görseller ile algoritmalar test edilerek işlenmiştir. Bu aşamada kullanılan modeller ImageNet, Xception-65, DeepLabV3+, ADE20K'dır. Bu algoritma ve model hakkındaki detaylı bilgiler, çalışma kapsamında ele alınış şekline bulgular kısmında yer verilmiştir.

## 4. Bulgular ve Tartışma

Bu başlık altında çalışmada uygulanan her aşamada elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

### 4.1. Mekan Dizimi Sonuçları:

Mekan dizimi yöntemi kapsamında çalışmada değerlendirilecek olan cadde/sokakların belirlenebilmesi için çalışma alanı belirlenmiştir. Yürüme mesafesi 1000 metre yarıçap olarak belirlenen daire içerisindeki alan aksiyal haritası oluşturularak programa aktarılmıştır (**Şekil 3**). Programda bağlantısallık analizinde; İntegrasyon (bütünleşme) değeri  $R_n$  olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi ise  $R_n$  değerinin makro ölçekte ve küresel bütünleşme değerini analiz yapmaktadır.  $R_n$  olarak belirlenen değerde herhangi bir aksın; diğer tüm akslarla olan mesafesi dikkate alınarak bütün sistemde ne kadar bütünleşik olduğu hesaplanmaktadır.



Fuzuli caddesi, 19 adet bağlantı noktası bulunmaktadır. Bu değer, caddenin diğer sokaklarla oldukça iyi bir şekilde bağlantılı olduğu ifade etmektedir. Yüksek bağlantısallığı olan caddelerin hareketliliği, erişilebilirliği ve yürünebilirliğini yüksek olduğunu göstermektedir. Bütünleşme (integration-hh) değerine bakıldığında, bu değer oldukça yüksek olduğunu ve kentin genel yapısıyla iyi deerecede entegre olduğunu ve ulaşım ağının merkezinde yer aldığını söylemek mümkündür. Yoğunluk değerine bakıldığında ise, caddenin yüksek derece de yaya ve araç trafiğine sahip olduğunu; cadde üzerindeki aktivite ve etkileşimin fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum, aynı zamanda bu aks üzerinde yürünebilirliğin yüksek olduğunu gösterdiğini söylemek mümkündür.

Yaya yolu aksına bakıldığında, 1 adet bağlantı noktası bulunmaktadır. Bu sayının düşük olması, diğer sokaklarla bağlantısının olmadığını/ neredeyse hiç olmadığını göstermektedir. Bu oranın düşük olması hareketliliğin, erişilebilirliğin ve yürünebilirliğin yüksek olduğunu göstermektedir. Bütünleme oranı ise Fuzuli Caddesi'ne göre daha az düşük olduğunu göstermektedir. Bu durumda kent geneline entegre olma konusunda zayıf kaldığını, ulaşım ağında önemli bir yere sahip olmadığını göstermektedir. Yoğunluk derecesinin düşük olması ise, bu aksın düşük bir yaya ve araç trafiğine sahip olduğunu buna bağlı olarak bu aks üzerinde aktivite ve etkileşimlerin az olduğunu göstermektedir. Bu durum, aynı zamanda bu aks üzerinde yürünebilirliğin düşük olduğunu gösterdiğini söylemek mümkündür.

Görüldüğü üzere, mekân dizimi ile Merkez Park ve çevresi içerisindeki fiziksel boyutta yürünebilirliğinin en yüksek değerinde Fuzuli Caddesi, en düşük değerinde ise yaya yolunda olduğunu göstermektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında bu iki aks üzerinde yürünebilirliğin algısal boyutu ele alınmıştır.

#### **4.2. Görsellerin Toplanması**

Bu aşamada, mekân dizimi sonucu belirlenen Fuzuli Caddesi ve yaya yoluna ait görseller toplanmıştır. Bu görseller belirlenen aks üzerinde 50 metrede bir alınmıştır. 50 metrede bir görsel alınmasının nedeni, literatürdeki çalışmalara dayanmaktadır (Wang vd., 2022; Kang vd., 2021; Chen vd., 2019). Örneğin, Chen vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada, Baidu panoramik sokak görünümü görüntülerinin mevcut olmasını sağlamak ve bu çözünürlüğün bir yayanın perspektifinden görülen kentsel yeşillikle tutarlı olacağını düşünerek her 50 metrede bir görsel alınmıştır. 50 metrede bir alınan görseller, çevresel faktörlerin doğru ve detaylı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, 50 metrede bir toplamda 77 görsel elde edilmiştir. Bu görsellerin algısal değerini belirlemek amacıyla, belirlenen 6 parametre (güzel, sıkıcı, zengin, kasvetli, güvenli, canlı) bağlamında Anket çalışması 10 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilmiştir.



Bu anket çalışması, ileride yapılacak olan tez araştırmanın ön denemesi olarak ele alınmıştır. Ankete katılan katılımcıların demografik özellikleri **Tablo 4**'te yer aldığı gibidir.

**Tablo 4.** Ankete katılanların demografik yapısı.

Değişkenler	Oranlar
Cinsiyet (%):	
Erkek	60
Kadın	40
Yaş:	26.4
Eğitim (%):	
Doktora Öğrencisi	30
Lisans Mezunlu	40
Lisans Öğrencisi	30
İkametgah(%)	
Yerel	70
Yerel Olmayan	30

Gönüllülerin ortalama yaşı 26.4'tür ve erkek oranı daha yüksektir (%60). Eğitim geçmişleri açısından, %30'u Lisans öğrencisi, %30'ı Lisans Mezunlu ve %40'u ise Doktora öğrencisidir. İkametgah edenlerin %70'i yerel sakinlerden oluşturulmuştur. Anket çalışmasında, katılımcılardan elde edilen cadde görselleri incelemesini ve bu incele sonucunda görsele bakarak ne kadar güzel hissettiğini ne kadar canlı hissettiği soruları her parametre özelinde sorulmuştur. Katılımcılar bu değerlendirmeyi 1-100 arasında puan vererek yapmışlardır. Ayrıntı bilgileri, 4.4. Algının İnsan-Makine Karşıt Puanlaması başlığında yer almaktadır.

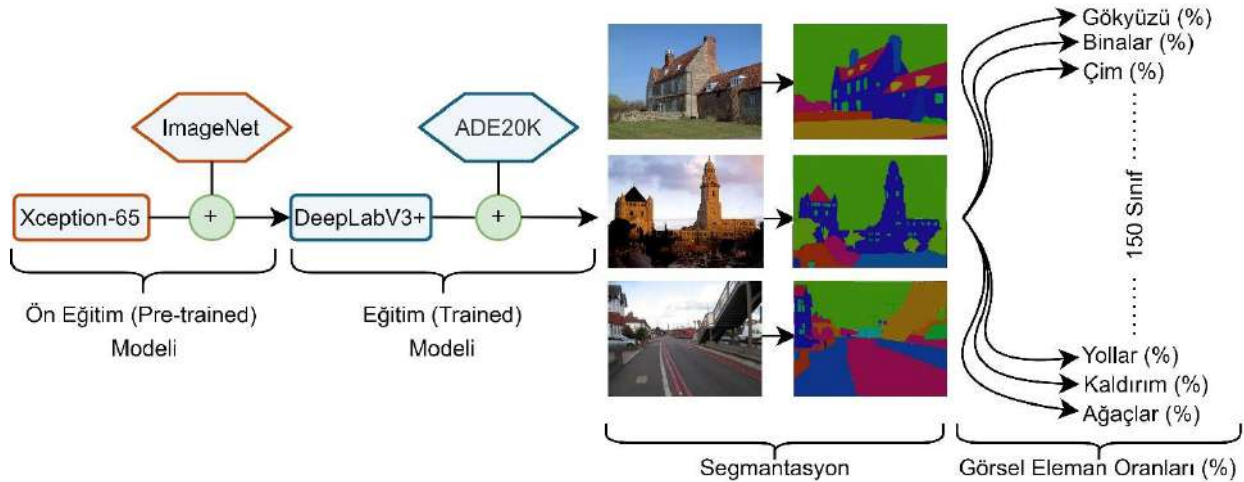
### 4.3. Görsellerin İşlenmesi

Çalışmanın bu kısmında, Adana Merkez Park çevresinin yürünebilirliğini değerlendirmek amacıyla mekan dizimi yöntemi kullanılarak elde edilen caddelerden alınan görseller test edilmiştir. Test aşamasında, derin öğrenme modelleri kullanılarak görsel elemanlar (nesnelere) ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan görsellerdeki elemanların kapladığı alanın yüzdesel değerleri kaydedilerek, bir sonraki aşama olan Algının Değerlendirmesi (Bölüm 4.4.) kısmında "İnsan-Makine Karşıt Modeli" ile istatistiksel analizler yapılmıştır.

Bu kısımda, **Şekil 2**'de gösterildiği gibi ana hatları ile modelleme, eğitim, segmentasyon ve görsel elemanların oransal değerlerinin nasıl elde edildiği gösterilmiştir. İlk aşamada, bir modelin eğitilebilmesi için çalışılan konu ile ilgili kapsamlı bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, başarılı segmentasyon yapabilmek için ön eğitimde ImageNet (Deng vd. 2009) kullanılmıştır. Imagenet, kent algısı, kentsel mekân algısı, mikro

ölçekte yürünebilirliğin değerlendirilmesi, sokak cephelerinin ele alınması gibi çeşitli kentsel konularda kullanılan bir verisetidir (Porzi vd. 2015; Santani vd. 2018; Zhang vd. 2018; Sangers vd. 2022; Adams vd. 2022; Law vd. 2020). Bu verisetinin oluşturulması Stanford Üniversitesi'nde Profesör Fei-Fei Li ve ekibi tarafından 2009 yılında başlatılmıştır. Veri setinde 20 binden fazla kategoriye sahip 14 milyondan fazla resim yer almaktadır. Bu resimler, nesne tanıma alanındaki araştırmayı desteklemek amacıyla geniş bir kategori yelpazesindeki örnekleri sağlayarak etiketlenmiştir.

ImageNet veri setinin ön eğitimi için Xception (Chollet, 2017) modeli kullanılmıştır. Xception modeli, François Chollet tarafından geliştirilen ve Google tarafından yayınlanan bir derin öğrenme modelidir. Bu model, derinliklerine ayrılmış (depthwise separable) konvolüsyonlar kullanmaktadır ve Inception modelinin gelişmiş bir versiyonudur. Xception, genel mimarisiyle büyük ve çeşitlendirilmiş veri setlerinde, özellikle görüntü sınıflandırma ve özellik çıkarma görevlerinde yüksek performans göstermektedir. Bu çalışmada, Xception-65 versiyonu kullanılmıştır. Orijinal modelde Xception mimarisi, ağır özellik çıkarma tabanını oluşturan 36 konvolüsyon katmanına sahiptir. Ancak Xception-65 modelinde, bu derinliklerine ayrılmış konvolüsyon blokları 65 katman boyunca tekrarlanmaktadır. Model, giriş görüntüsünü önce normal konvolüsyonlar ve ardından derinliklerine ayrılmış konvolüsyon blokları ile işlemektedir. Her bir blok, bir aktivasyon fonksiyonu (ReLU) ile tamamlanmaktadır. Son katmanlar, global ortalamalama havuzu (global average pooling) ve tam bağlantılı (fully-connected) katmanlardan oluşmaktadır.



**Şekil 4.** Gelişmiş görüntü segmentasyonu: Xception-65 ve DeepLabV3+ modelleri ile nesnelerin tanımlanması.

Xception-65 modeliyle ImageNet veriseti üzerinden ön eğitim tamamlandıktan sonra, yürünebilirlik kapsamında sokak görsellerindeki nesnelerin segmentasyonuna odaklanan ADE20K (Zhou vd. 2017) veriseti kullanılmıştır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından geliştirilen veriseti, anlamsal segmentasyon görevlerinde karşılaştırmalı analizler için yaygın olarak kullanılmaktadır. 150 farklı etikete sahip yaklaşık 25 bin resim içermektedir. Resimler, günlük yaşamdan geniş bir sahne yelpazesini kapsayarak; gökyüzü, yol, ağaç, araba, insan ve mobilya gibi ayırık nesnelerin etiketlemelerini içermektedir. Ayrıca ADE20K, insan algısı, görsel algı, kentsel algı, sokak kalitesi, görsel kalitesi, yürünebilirlik gibi çeşitli konularda kullanılan bir verisetidir (Wang vd, 2022; Zhang vd, 2018; Kang vd, 2023; Tang ve Long, 2019; Dubey, 2016; Yao vd, 2019; Min, 2019). ADE20K veriseti, DeepLapV3+ (Chen vd. 2017) modeli ile eğitilmiştir. DeepLabV3+, yüksek performanslı bir görüntü segmentasyonu yapısıdır ve daha önceki DeepLab modellerinin geliştirilmiş bir versiyonudur. Model, özellikle zorlu semantik segmentasyon görevleri için tasarlanmıştır ve şehir manzaraları gibi karmaşık görsel veriler üzerinde etkileyici sonuçlar sunmaktadır. DeepLabV3+ modeli, çeşitli ölçeklerdeki bilgileri yakalamak için farklı oranlarda atrous konvolüsyonları kullanılmaktadır. Atrous konvolüsyonlar, geleneksel filtreler arasına boşluklar ekleyerek alıcı alanı genişletir ve bu sayede detay kaybı olmaksızın geniş bağlamsal bilgileri toplar, modelin farklı boyuttaki objelere uyum sağlamasını ve daha kesin segmentasyon sınırları çizmesini sağlamaktadır. Atrous Spatial Pyramid Pooling (ASPP) modülü, bu konvolüsyonları farklı oranlarda birden fazla paralel katman şeklinde içermektedir. Görüntünün çeşitli ölçeklerdeki semantik bilgilerini etkin bir şekilde elde eder ve farklı çözünürlüklerdeki nesnelere tanıma kapasitesini artırmaktadır. Modelin encoder-decoder yapısı ise, Xception-65 gibi derin sinir ağları kullanarak zengin özellik haritaları çıkarmakta ve bu haritaları daha detaylı segmentasyon haritasına dönüştürmek için kullanılmaktadır. Decoder bölümü, özellikleri yukarı ölçekleyerek ve daha düşük seviyeli özellik haritalarıyla birleştirerek nesne sınırlarını netleştirmektedir. Modelimizin eğitimi tamamlandıktan sonra artık bir resim içerisindeki 150 farklı sınıfı (görsel elemanları) tanımlayacak seviyeye gelmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen performans değerleri şu şekildedir:

**Tablo 5.** Performans metrikleri.

Mean Intersection over Union (mIOU)	Pixel-wise Accuracy
45.65% (validation)	82.52% (validation)

Ortalama Kesişim Üzerinden Birleşim Oranı (Mean Intersection over Union - mIOU) metriği, modelin tahmin ettiği segmentasyonun, gerçek segmentasyonla ne kadar iyi örtüştüğünü ölçmektedir. Her bir sınıf için Kesişim Üzerinden Birleşim oranı hesaplanmakta ve bu oranların ortalaması alınarak mIOU değeri bulunmaktadır. mIOU değeri, modelin farklı sınıfları ne kadar doğru ayırt ettiğini ve sınırları ne kadar iyi çizdiğini göstermektedir. mIOU değeri %45.65 ile, modelin farklı sınıfları ayırt etme ve küçük detayları doğru bir şekilde segmente etme konusunda zorlandığını göstermektedir. Piksel Bazında Doğruluk oranı (Pixel-wise Accuracy), modelin tüm pikselleri ne kadar doğru bir şekilde sınıflandırdığını ölçmektedir. Yani, modelin tahmin ettiği sınıflar ile gerçek sınıflar arasında doğru olarak eşleşen piksel sayısının, toplam piksel sayısına oranıdır. %82.52'lik Piksel Bazında Doğruluk oranı, modelin genel olarak görüntülerin büyük bir kısmını doğru bir şekilde sınıflandırdığını göstermektedir.

#### 4.4. Algının İnsan-Makine Karşıt Puanlaması:

Sokak görüntüleri içindeki görsel elemanların, sokak kalitesi algılarını ne derece etkilediğini belirlemek için, Bölüm 4.3'de bahsedilen semantik segmentasyon yöntemi kullanılarak, her bir sokak görüntüsündeki görsel elemanların yüzdesi elde edilmiştir. Elde edilen yüzdesel oran insan-makine rekabetçi modelinin sokak görüntüsü elementlerinin (150 boyutlu bağımsız değişkenlerin) analizinde kullanılmıştır. Sokak görüntülerindeki görsel öğeler ile algılar arasındaki ilişkiyi incelemek için çok değişkenli doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır. Bu istatistiksel model, birden fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı değişken üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu yöntem, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek ve tahminler yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Bağımsız değişkenlerin her birinin bağımlı değişken üzerindeki etkisi, bu değişkenlerin katsayıları (ağırlıkları) aracılığıyla ölçülmektedir. Çok değişkenli doğrusal regresyon modelinin temel denklemi şu şekildedir:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n + \epsilon. \quad (1)$$

Burada  $y$  bağımlı değişkeni,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  bağımsız değişkenleri,  $\beta_0$  modelin sabit terimi veya kesme noktası,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  ise bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren katsayılardır.  $\epsilon$  terimi ise modelin tahmin edemediği rastgele hata komponentini ifade etmektedir. Böylece, verilen bağımsız değişkenlerin değerleriyle bağımlı değişkenin tahmini değeri hesaplanmaktadır.

Merkez Park alanındaki sokak kalitesi algılarını daha doğru bir şekilde belirlemek için, Gönüllüler, algılanan sokak kalitesi açısından güzel, sıkıcı, kasvetli, canlı, zengin ve güvenli olmak üzere altı boyutu 1'den 100'e kadar puanlanmıştır. Burada yüksek puanlar, puanlanan algı boyutuyla daha güçlü bir ilişkiyi temsil

etmektedir. İki algı arasındaki Pearson korelasyon katsayısı, kovaryans ve standart sapma kullanılarak tanımlanmıştır:

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X\sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X\sigma_Y} \quad (2)$$

Algının altı boyutunun sonuçları, Pearson korelasyon analizinde incelenmiştir (**Tablo 6**).

**Tablo 6.** Altı algı boyutu için Pearson korelasyon matrisi.

	Güzel	Canlı	Kasvetli	Zengin	Sıkıcı	Güvenli
Güzel	1	0.089	<b>-0.891</b>	<b>0.583</b>	-0.907	0.439
Canlı	0.089	1	-0.075	0.641	-0.166	0.014
Kasvetli	-0.891	-0.075	1	-0.531	0.922	-0.463
Zengin	0.583	<b>0.641</b>	-0.531	1	-0.654	0.184
Sıkıcı	<b>-0.907</b>	-0.166	<b>0.922</b>	-0.654	1	-0.524
Güvenli	0.439	0.014	-0.463	0.184	-0.524	1

Bu çalışmadaki korelasyon matrisine göre, bir sokak ne kadar güzel algılanırsa; o kadar az kasvetli (-0.891) ve az sıkıcı (-0.907) olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, güzellik algısının sokakların olumsuz olarak algılanmasını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Diğer yandan, kasvetlilik ve sıkıcılık arasındaki çok yüksek pozitif korelasyon (0.922), bu iki negatif algının birbirleriyle güçlü bir bağlantısı olduğunu ortaya koymaktadır. Sokakların canlı ve zengin olarak algılanması arasında da önemli bir pozitif ilişki (0.641) bulunmaktadır ve bu sonuç canlılık hissinin zenginlik algısıyla birlikte arttığını göstermektedir. Son olarak, Güzel ve Zengin arasındaki 0.583 değeri de sokakların estetik açıdan çekici olmasının zenginlik algısını güçlendirebileceğine işaret etmektedir.

#### 4.4.1. Algı Boyutlarının Görsel Öğelerle Analizi

**Tablo 7**, görüntüler içindeki kaplama oranlarına göre sokak kalitesi algısını en fazla etkileyen on görsel öğeyi göstermektedir.

**Tablo 7.** Segmentasyon işlemi sonrasında belirlenen ilk 10 görsel eleman.

Sıralama	Görsel Elemanlar	Ortama	En yüksek	En Düşük	Standart Sapma
1	Ağaç	0.241	0.472	0.009	0.123
2	Gökyüzü	0.228	0.508	0.029	0.121
3	Bitki	0.154	0.510	0.001	0.147
4	Yol	0.146	0.416	0.001	0.112
5	Bina	0.108	0.537	0.001	0.123
6	Taşıt	0.049	0.230	0.001	0.063
7	Kaldırım	0.040	0.186	0.001	0.046
8	Çit	0.016	0.134	0.001	0.035
9	Toprak	0.009	0.149	0.001	0.028
10	Duvar	0.003	0.048	0.001	0.008

**Tablo 7**, görsellerin segmentasyonu sonucunda belirlenen ilk 10 görsel elemanın detaylarını sunmaktadır. 10 görsel elemanın seçilme nedeni ise, görsellerde yüzdesel olarak en çok orana sahip olmalarıdır. Ağaçlar, %24.1 ortalama oran ile listede en üst sırada yer almış olup en yüksek oran %47.2'ye ulaşmaktadır, bu durum ağaçların 10 sokak görünümü arasından en belirgin olduğunu göstermektedir. Gökyüzü, %22.8 ile ikinci sırada yer almış ve bazı yerlerde %50.8 gibi yüksek bir görünüm oranına sahip olmaktadır. Bitkiler ve yollar sırasıyla %15.4 ve %14.6 ortalama oranlarla takip etmekte ve her ikisi de sokak manzaralarında önemli unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Binalar, taşıtlar, kaldırımlar, çitler, toprak ve duvarlar gibi diğer elemanlar da sokakların görsel yapısını çeşitlendiren ve zenginleştiren öğeler arasında yer almıştır.

Altı algısal boyutla güçlü bir şekilde ilişkili olan sokak görüntü elemanlarını anlamak için, yürünebilirlik altında en yüksek algısal boyut puanlarına sahip görüntülerin üst %20'sindeki görsel öğelerin oranı Tablo 7'deki mean değerlerine göre ağırlıklandırılmıştır (**Şekil 5**).

	Bina	Taşıt	Bitki	Yol	Kaldırım	Gökyüzü	Ağaç	Çit	Duvar	Toprak	Diğerleri
Güzel	0.0585	0.0026	0.3022	0.0394	0.0604	0.3024	0.2059	0.0184	0.0082	0.0004	0.0015
Canlı	0.0385	0.0252	0.2470	0.0269	0.1386	0.1593	0.3312	0.0261	0.0000	0.0000	0.0072
Kasvetli	0.1221	0.0000	0.1053	0.0011	0.1799	0.2966	0.1364	0.0137	0.0041	0.1403	0.0005
Zengin	0.0412	0.0042	0.2602	0.0282	0.0548	0.3460	0.2022	0.0570	0.0028	0.0001	0.0034
Sıkıcı	0.1221	0.0000	0.1053	0.0011	0.1799	0.2966	0.1364	0.0137	0.0041	0.1403	0.0005
Güvenli	0.0587	0.0026	0.3027	0.0396	0.0603	0.3021	0.2058	0.0185	0.0082	0.0000	0.0015

Şekil 5. Altı algısal boyut için sokak manzaralarında yüksek algı puanlarına sahip görsel elemanların analizi.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, görsellerde bulunan ilk 10 öğenin altı algıya etkisi aşağıdaki gibi yorumlanmıştır:

- **Güzel:** Bu algı boyutunda, bitkiler (%30.2) ve gökyüzü (%30.2) yüksek puanlar alarak, doğal öğelerin güzellik algısına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ağaçlar, (%20.6) güzellik algısına önemli bir katkı sağlamaktadır. Kaldırım (0.06), Bina (0.0585) ve Yol (0.04)'un her ne kadar az bir etkisi bulursa da, güzellik algısına pozitif anlamda katkı sağladığı gözlemlenmiştir.
- **Canlı:** Ağaçlar (%33.1) bu boyutta en yüksek puanı alarak, canlılık hissini artırıcı en etkili görsel öğe olarak öne çıkmaktadır. Bu oranı, Bitkiler (%24.7) ile takip etmiştir. Yeşillik genellemesi yapıldığında, bu oranın %57.8 olduğu gözlemlenmiştir. Dikkat çekici bir sonuç, kaldırımların (%13.9) da canlı bir ortam yaratmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Kaldırım değişkeni içerisinde yürüyüş yolları da dahil olduğu için bu sonucun tutarlı olduğunu söylemek mümkündür.
- **Kasvetli ve Sıkıcı:** Bu iki boyut için görsel elemanların puanları birbiriyle neredeyse aynıdır. Gökyüzü (%29.7) ve kaldırım (%18.0), bu iki boyutta yüksek puanlar almıştır. Gökyüzünün kapalı veya kısıtlı olması ve kaldırımın bakımsız veya düzensiz olması kasvetli ve sıkıcı bir ortam yaratmış olabilmektedir. Diğer yandan Toprak (%14.0), bu iki boyutta da yüksek bir puan alarak, bakımsız veya işlenmemiş toprak alanların bu negatif algılara katkıda bulunduğunu göstermektedir. Son olarak, Ağaçlar (%13.6) ve Bitkiler (%10.5), genellikle pozitif algılarla ilişkilendirilse de, bu durumda düzensiz yerleşimleri nedeniyle kasvetli ve sıkıcı algıları artırıyor olabileceğini söylemek mümkündür.
- **Zengin:** Gökyüzü (%34.6) ve bitkiler (%26.0) zenginlik algısını güçlendirirken, ağaçlar da (%20.2) bu boyutta yüksek bir etkiye sahiptir. Az da olsa farklı kültürel veya tarihi binaların da zenginlik boyutuna katkı sağladığı görülmüştür.

- **Güvenli:** Güvenlik algısı, gökyüzü ve bitkiler gibi pozitif algılanan doğal öğeler tarafından desteklenmiştir. Güvenlik algısında ağaçlarda (%20,6) önemlil bir rol oynamaktadır. Bazı görseller arasında polis karakolu olması nedeniyle güvenlik algısına (%0.06)'nin etkisi gözlemlenmiştir.

#### 4.4.2. Sokak Görüntüleri Üzerindeki Görsel Elemanların Doğrusal Regresyon Analizi:

Bu başlık altında ise sokak görüntüleri üzerindeki görsel elemanların doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Aşağıdaki **Şekil 6**'da altı algının bağımsız değişkenlerle olan Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon analizi sonucunda elde edilen p değerleri gösterilmiştir. **Tablo 8**'de ise Altı algının R2 değerleri elde edilmiştir.

	Güzel	Canlı	Kasvetli	Zengin	Sıkıcı	Güvenli
Bina	0.0185	0.0482	0.3536	0.7687	0.8824	0.7038
Taşıt	0.1040	0.2664	0.0096	0.8460	0.0085	0.0564
Bitki	0.00006	0.000058	0.1060	0.1718	0.3706	0.5348
Yol	0.1522	0.0055	0.2481	0.0148	0.5827	0.9355
Kaldırım	0.8095	0.1377	0.3323	0.3717	0.0070	0.0065
Gökyüzü	0.00056	0.0840	0.0333	0.1162	0.2881	0.2556
Ağaç	0.000018	0.0365	0.0186	0.2625	0.2853	0.5153
Çit	0.6854	0.78	0.0534	0.0555	0.0420	0.0372
Duvar	0.2522	0.2446	0.5410	0.2060	0.1117	0.0204
Toprak	0.9794	0.000006	0.2677	0.0011	0.0363	0.0484
Diğerleri	0.7025	0.7125	0.7167	0.6249	0.8397	0.8125

Beta coefficient p<0.05

**Şekil 6.** Görsel elemanlar ve algı puanları için yapılan çok değişkenli doğrusal regresyon analizinin sonuçları.

p-değeri, test edilen hipotezin doğru olup olmadığını anlamamıza yardımcı olur. Düşük p-değeri, hipotezin doğru olma olasılığının yüksek olduğunu gösterirken, yüksek p-değeri hipotezin doğru olma olasılığının düşük olduğunu göstermektedir. P-değerleri 0 ile 1 arasında değişir. Genel olarak p < 0.05 durumu gözlenen verilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



**Tablo 8.** Algı puanları ve görsel elemanlar arasındaki ilişkiyi gösteren R-Kare ( $R^2$ ) değerleri.

Algı Parametreleri	$R^2$ Değeri
Güzel	0.698
Canlı	0.792
Kasvetli	0.649
Zengin	0.528
Sıkıcı	0.664
Güvenli	0.332

R-kare ( $R^2$ ) değerleri, regresyon modelinin bağımlı değişkenin varyansını ne kadar iyi açıkladığını gösteren bir ölçüdür.  $R^2$  değeri 0 ile 1 arasında değişir; 1'e yakın bir değer, modelin bağımlı değişkenin varyansını çok iyi açıkladığını gösterir. Görsel elemanların farklı algı değişkenleri üzerindeki etkisini analiz eden modelde, R-kare değerleri ve anlamlı bağımsız değişkenler şu şekilde özetlenmiştir:

Güzel değişkeni için R-kare değeri 0.698 olup, model bu değişkenin varyansının %69.8'ini açıklamaktadır. Anlamlı bağımsız değişkenler arasında Bina, Bitki, Gökyüzü ve Ağaç bulunmaktadır. Canlı değişkeni için R-kare değeri 0.792'dir ve anlamlı bağımsız değişkenler Bina, Bitki, Yol, Ağaç ve Toprak olarak sıralanmaktadır. Kasvetli değişkeni için R-kare değeri 0.649 olup, anlamlı bağımsız değişkenler Taşıt, Gökyüzü ve Ağaç olarak belirlenmiştir. Zengin değişkeni için R-kare değeri 0.528'dir ve anlamlı bağımsız değişkenler Yol ve Toprak'tır. Sıkıcı değişkeni için R-kare değeri 0.664 olup, anlamlı bağımsız değişkenler Taşıt, Kaldırım, Çit ve Toprak olarak gözlemlenmiştir. Güvenli değişkeni için R-kare değeri 0,332'dir ve anlamlı bağımsız değişkenler Kaldırım, Çit, Duvar ve Topraktır.

## 5. Sonuçlar

Yürünebilirlik kavramı, literatürde elde edilen çalışmalar sonucunda da görüldüğü üzere kent, kent planlaması ve tasarımının önemli bir parçası haline gelmiştir. Çalışmalarda, yürünebilirlik kavramı için çeşitli yöntem ve parametreler kullanılmıştır. Bu çalışmada ise Merkez Park ve yakın çevresinin yürünebilirlik kapsamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ise yürünebilirliğin ele alınış yöntem ve parametreleri belirlenmiştir. Yürünebilirlik parametreleri, fiziksel boyutta "**bağlantısallık**"; algısal boyutta ise "**Güzel, Canlı, Zengin, Güvenli, Sıkıcı ve Kasvetli**" olarak belirlenerek ele alınmıştır. Bağlantısallık

parametresi mekân dizimi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu yöntem için depthMapX programı kullanılmıştır.

Çalışmanın mekân dizimi aşamasında, en yüksek bağlantısallığa sahip cadde Fuzuli Caddesi, en düşük bağlantısallığı olan cadde ise Seyhan Nehri'ne kıyı olan bir yaya yolu olarak belirlenmiştir. Algısal boyutu için bu iki yol aksından görüntüler alınarak bir anket çalışması yapılmıştır. Katılımcılar tarafından, parametrelerin daha dengeli ve doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için belirlenen iki caddeden de görseller alınmıştır. Anket sonucuna bağlı olarak algı parametreleri derin öğrenme yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Derin öğrenme algoritmalarından elde edilen sonuçlara göre, gökyüzü ve Bitki değişkenleri, belirli algı parametreleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. **Gökyüzü** değişkeni, Güzel, Kasvetli ve Zengin algılarında anlamlı bir etkisi varken, **Bitki** değişkeni, Güzel, Canlı, Kasvetli ve Güvenli algılarında önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. **Ağaç** değişkeni, Güzel, Canlı ve Kasvetli algıları üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir, bu da doğanın ve açık alanların insanlar üzerindeki algılarına önemli katkı sağladığını göstermektedir. **Bina** değişkeni, Güzel ve Canlı algıları üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir, bu da yapıların estetik ve algılanan değer üzerindeki önemini göstermektedir. **Taşıt** değişkeni, Kasvetli ve Sıkıcı algıları üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. Öte yandan, **Kaldırım**, **Diğerleri**, **Duvar** ve **Çit** değişkenleri, birçok algı üzerinde yüksek p-değerlerine sahip olup, bu algılar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip değildir. Bu, söz konusu değişkenlerin ilgili algı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını ve bu nedenle modelin iyileştirilmesi için dikkate alınması gereken unsurlar arasında olabileceğini göstermektedir. **Canlı** algı parametresi, 0.792'lik R<sup>2</sup> değeriyle en yüksek açıklama gücüne sahip olup, **Güzel** algısı 0.698 ile ikinci sırada yer almıştır. **Sıkıcı** ve **Kasvetli** algıları sırasıyla 0.664 ve 0.649 R<sup>2</sup> değerleriyle orta düzeyde açıklama gücüne sahiptir. **Zengin** algısı 0.528 ile daha düşük bir açıklama gücüne sahipken, **Güvenli** algısı 0.332 R<sup>2</sup> değeri ile en düşük açıklama gücüne sahiptir.

Derin öğrenme algoritmaları ile algısal değerlerin analiz edilmesi, kentsel tasarımda yapılan değişikliklerin izlenmesi ve iyileştirilmesi süreçlerini daha etkin hale getirecektir. Bu çalışma, sayısal tasarım ve kent çalışmaları kapsamında, derin öğrenme algoritmalarının mekân dizimi yöntemleri ile kentsel planlama süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir. Gelecekteki araştırmalara ve uygulamalara yol gösterici bir örnek teşkil etmeyi hedefleyen bu çalışma, kentsel alanların yürünebilir hale getirilmesi için yenilikçi stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

### Bilgilendirme:

Bu çalışma, sorumlu yazar Özlem Büyüктаş'ın, Doç. Dr. Hatice Günseli Demirkol danışmanlığında yürütülen doktora tezine yönelik bir çalışmadır.

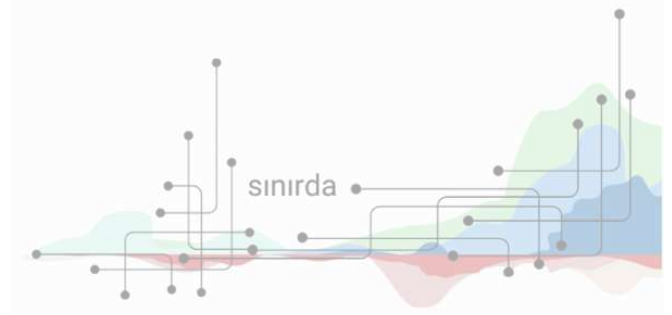
### KAYNAKLAR

- Adams, M. A., Phillips, C. B., Patel, A., & Middel, A. (2022). Training computers to see the built environment related to physical activity: detection of microscale walkability features using computer vision. *International journal of environmental research and public health*, 19(8), 4548.
- Akçam, E., Karaçor, K. E. (2018). Sosyo-demografik yapı ve fiziksel çevre özelliklerinin yürünebilirlik algısı üzerine etkisi. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 6 (4), 1364-1376.
- Akman, E. (2002). Pedestrian crosswalks-integration with pedestrian sites. [Master of Science dissertation, Izmir Institute of Technology University]. Council of High Education Thesis Center.
- APA-American Planning Association-, Steiner, F. R. Butler, K., 2007. Planning and Urban Design Standards, Wiley Graphic Standards Series, Wiley, New Jersey.
- Azmi, D. I., & Ahmad, P. (2015). A GIS approach: Determinant of neighbourhood environment indices in influencing walkability between two precincts in Putrajaya. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 170, 557-566.
- Bertiz, D. (2022). Kent parklarından sağlanan ekosistem hizmetlerine yönelik algının incelenmesi: Adana merkez park örneği. [Master's thesis, Izmir Democracy University]. Council of High Education Thesis Center.
- Chen, X., Meng, Q., Hu, D., Zhang, L., & Yang, J. (2019). Evaluating greenery around streets using baidu panoramic street view images and the panoramic green view index. *Forests*, 10(12), 1109.
- Chen, L. C., Papandreou, G., Kokkinos, I., Murphy, K., & Yuille, A. L. (2017). Deeplab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected crfs. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 40(4), 834-848.
- Choi, A. S., Kim, Y. O., Oh, E. S., & Kim, Y. S. (2006). Application of the space syntax theory to quantitative street lighting design. *Building and environment*, 41(3), 355-366.
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1251-1258).
- Çilek, Ü., M. (2020). Kamusal Alanlara Erişimde Optimum Yaya Güzergâhı Konforunu Belirlemeye Yönelik Kavramsal Bir Yaklaşım. *Megaron*, 15(3):490-507. DOI: 10.14744/MEGARON.2020.16023.
- Çorbacı, Ö. L. (2020). The Design Of The Adana Yüreğir Coastal Park And Its Role In The Planning Of Urban Recreation Areas. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(3), 717-725. <https://doi.org/10.24011/barofd.770926>
- Hayta, D. (2011). Ayvalık Kent Mekanının Mekan Dizim Yöntemiyle Analizi. [Master of Science dissertation, Yıldız Technical University.] Council of High Education Thesis Center.
- Deniz, Ş. H. (2022). Kentsel Mekanlarda Yapılı Çevrenin Yürünebilirlik Üzerine Etkisi: Tuzla İstasyon Caddesi Örneği. [Master of Science dissertation, Mimar Sinan Fine Arts University.] Council of High Education Thesis Center.

- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L. J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009, June). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. In *2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 248-255). IEEE.
- Dubey, A. Naik, N. Parikh, D. Raskar, R. Hidalgo, A. C. (2016). Deep Learning the City: Quantifying Urban Perception At A Global Scale. In *Computer Vision—ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14* (pp. 196-212). Springer International Publishing.
- Fonseca, F., Papageorgiou, G., Tondelli, S., Ribeiro, P., Conticelli, E., Jabbari, M., Ramos, R. (2022). Perceived Walkability and Respective Urban Determinants: Insights from Bologna and Porto. *Sustainability*, 14, 9089. <https://doi.org/10.3390/su14159089>
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Conway, T. L., Chapman, J. E., Saelens, B. E., & Bachman, W. (2006). Many pathways from land use to health: Associations between neighborhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality. *Journal of the American Planning Association*, 72(1), 75–87.
- Gehl, J. (2019). İnsanlar İçin Kentler. (E. Erten, Çev.) İstanbul: Koç Üniversitesi Yayınları.
- Genç, I. (2022). Tarihi Kentlerde Yürünebilirlik Olgusunun Kentleşme Süreci İçinde Değerlendirilmesi: Mardin Örneği. [Master's thesis, University of Düzce]. Council of High Education Thesis Center.
- Gündoğdu, M. (2014). Mekan Dizimi Analiz Yöntemi ve Araştırma Konuları. *Art-Sanat*. 2. 251-274.
- Gündoğdu, M. H. Dinçer, E. (2020). Tekirdağ Kent Merkezinin “Yürünebilirlik” Açısından Değerlendirilmesinde Bir Yöntem Araştırması. *Planlama*. 30(3). 478–507. doi: 10.14744/planlama.2020.50570
- Halu, Y. Z. (2010). Kentsel Mekan Olarak Caddelerin Mekansal Karakterinin Yürünebilirlik Bağlamında İrdelenmesi Bağdat Caddesi Örneği. [Doctoral dissertation, İstanbul Technical University]. Council of High Education Thesis Center.
- Handy, S., 1996. “Urban form and pedestrian choices: Study of Austin neighborhoods.” *Transportation Research Record*, 1552, Transportation Research Board, Washington, D.C., 135–144.
- Hillier, B. (1996) *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Hillier, B., Hanson, J. and Graham, H. (1987) Ideas are in things: An application of the space syntax method to discovering house genotypes. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 3(3): 14363–14385.
- Hillier, B. and Hanson, J. (1984) *The Social Logic of Space*, Reprint. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kang, B., Lee, S., & Zou, S. (2021). Developing sidewalk inventory data using street view images. *Sensors*, 21(9), 3300.
- Kang, Y., Kim, J., Park, J., LEE, J. (2023). Assessment of Perceived and Physical Walkability Using Street View Images and Deep Learning Technology. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 12, 186. <https://doi.org/10.3390/ijgi12050186>
- Karaca, G, K., Gür, H., ve Ünal, M. (2015). Parkların Kullanım Sonrası Değerlendirilmesine Analitik Bir Yaklaşım: Merkez Park, Doğal Park, Engelsiz Park Örneği. Adana Kent Sempozyumu.
- Karakuzu, G. K. (2018). Yaya erişiminde süreklilik sorunu ve çözüm olanaklarının Adana-Seyhan kent merkezi örneğinde araştırılması. [Master Science dissertation, Çukurova University]. Council of High Education Thesis Center.
- Karımı, S. (2022). Yürünebilirlik Düzeyini Etkileyen Fiziksel Özelliklerin Bulvar Ölçeğinde İncelenmesi: Bursa FSM Bulvarı Örneği. [Master's thesis, Bursa Technical University]. Council of High Education Thesis Center.

- Koohsari, M. J., Oka, K., Owen, N., & Sugiyama, T. (2019). Natural movement: A space syntax theory linking urban form and function with walking for transport. *Health & place*, 58, 102072.
- Law, S., Seresinhe, C. I., Shen, Y., & Gutierrez-Roig, M. (2020). Street-Frontage-Net: urban image classification using deep convolutional neural networks. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 681-707.
- McMillan, T. E. (2005). Urban Form and a Child's Trip to School: The Current Literature and a Framework for Future Research. *Journal of Planning Literature*, 19(4), 440-456.
- Min, W., Mei, S., Liu, L., Wang, Y., & Jiang, S. (2019). Multi-task deep relative attribute learning for visual urban perception. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 657-669.
- NZ Transport Agency. (2009). Pedestrian planning and design guide.
- Özer, Ö. (2014). Kentsel Mekanda Yaya Hareketleri: Morfoloji ve Çevresel Algının Etkisi. [Doctoral dissertation, İstanbul Technical University]. Council of High Education Thesis Center.
- Payaslı, L. (1992). Kent içi yaya bölgeleri ve Adana kenti için yaya önerileri. [Master dissertation, Çukurova University]. Council of High Education Thesis Center.
- Porzi, L., Rota Bulò, S., Lepri, B., & Ricci, E. (2015, October). Predicting and understanding urban perception with convolutional neural networks. In *Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia*. (pp. 139-148).
- Saelens, B. E., & Handy, S. L. (2008). Built environment correlates of walking: A review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7 Suppl), S550.
- Sangers, R., van Gemert, J., & van Cranenburgh, S. (2022). Explainability of Deep Learning models for Urban Space perception. *arXiv preprint arXiv:2208.13555*.
- Santani, D., Ruiz-Correa, S., & Gatica-Perez, D. (2018). Looking south: Learning urban perception in developing cities. *ACM Transactions on Social Computing*, 1(3), 1-23.
- Scorza, F., Fortunato, G., Carbone, R., Murgante, B., Pontrandolfi, P. (2021). Increasing Urban Walkability through Citizens' Participation Processes. *Sustainability*. 13, 5835. <https://doi.org/10.3390/su13115835>.
- Sharipov, S. ve Demirkol, G. H. (2018). Analysing the flow pattern in the tourism city of Eskisehir. *International Journal Of Tourism Cities*. 4(3). 342-354. doi: 10.1108/IJTC-11-2017-0070.
- Southworth, M. (2005). Designing the Walkable City. *Journal of Urban Planning and Development*.
- Tang, J., Long, Y. (2019). Measuring visual quality of street space and its temporal variation: Methodology and its application in the Hutong area in Beijing. *Landscape and Urban Planning*. 191. 103436.
- Tekel, A. ve Özalp, Y. (2016). Mekânın Fiziksel ve Algısal Niteliğinin Yürünebilirliğe ve Mekanda Duyulan Memnuniyete Etkisi: Ankara Atatürk Bulvarı Örneği. *Planlama*. 26(1). 40-50. doi: 10.5505/planlama.2016.53825.
- Vos, D., J., Lattman, K., Vlugt, A., Welsch, J., Otsuka, N. (2023). Determinants and effects of perceived walkability: a literature review, conceptual model and research agenda. *Transport Reviews*, 43:2, 303-324, DOI:10.1080/01441647.2022.2101072
- Yao, Y., Liang, Z., Yuan, Z., Liu, P., Bie, Y., ..... Guan, Q. (2019). A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images. *International Journal of Geographical Information Science*, 33:12, 2363-2384, DOI: 10.1080/13658816.2019.1643024

- Yazıcıoğlu Halu, Z., & Yürekli, F. (2011). Yürünebilirlik kavramı ve kentsel mekanlarda yürüme. *Journal of İTÜ /a*. 10 (2), 29-38.
- Yin, L. (2013). Assessing walkability in the city of Buffalo: Application of agent-based simulation. *Journal of Urban Planning and Development*. 139. 166-175.
- Zhang, F., Zhu, B., Liu, L., Liu, Y., Fung, H. H., Lin, H. (2018). Measuring human perceptions of a large-scale urban region using machine learning. *Landscape and Urban Planning*. 180. 148-160.
- Zhou, B., Zhao, H., Puig, X., Fidler, S., Barriuso, A., & Torralba, A. (2017). Scene parsing through ade20k dataset. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 633-641).
- Wang, H., Yang, Y. (2019). Neighbourhood walkability: A review and bibliometric analysis. *Cities*. 93. 43–61. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.015>
- Wang, L., Han, X., He, J., & Jung, T. (2022). Measuring residents' perceptions of city streets to inform better street planning through deep learning and space syntax. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 190, 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.06.011>



## ÇALIŞTAY |

Text2Image: Stable Diffusion & Grasshopper

**Çalıştay Yürütücüleri**  
**Doç. Dr. Sabri GÖKMEN**  
**Hüseyin Fuat ALSAN**

## Text2Image: Stable Diffusion & Grasshopper

Doç. Dr. Sabri Gökmen, Hüseyin Fuat Alsan

MSTAS 2024 kapsamında hazırlanan çalıştayda, Rhinoceros/Grasshopper parametrik modelleme eklentisi üzerinden geliştirilen yazılım sayesinde Stabil Difüzyon (Stable Diffusion) algoritmasının parametrik modelleme ve tasarım süreçlerine dahil edilmesi araştırılmıştır. Bu süreçte, Kadir Has Üniversitesi bünyesinde kurulan sunucu üzerinden katılımcılar Stabil Difüzyon (SD) algoritmasına komutlar göndererek imajlar üretmişlerdir.

Txt2Img eklentisi, Grasshopper ile uzak sunucu arasındaki iletişimi kolaylaştıran komut tabanlı bir API özelliğine sahiptir. Python kodları aracılığıyla geliştirilen eklenti sunucuya komutların iletimini yönetir ve kullanıcı tarafından belirlenen parametrelere göre görüntülerin üretilmesini sağlar. Ek olarak, eklenti Grasshopper'ın parametrik modelleme ortamına sorunsuz bir şekilde entegre olur, tasarım değişkenlerinin dinamik manipülasyonuna ve üretilen görüntüler aracılığıyla anında geri bildirim alma yanıtı olarak tanır.

Süreç boyunca katılımcılar, Grasshopper içinde çalışan kodlama paketini öncelikle metin tabanlı parametrelerle çalıştırarak 512 x 512 piksel çözünürlükte imge üretimini incelemişlerdir. Daha sonraki aşamalarda, Rhinoceros modelleme ortamında parametrik ve dijital modeller kullanılarak ekran görüntüleri sunucuya parametrelerle iletilmiş ve Img2Img iş akışları denenmiştir. Son aşamada, tüm katılımcılar yapay zeka tabanlı imaj üretebilen bu eklentiye kullanarak farklı projeler geliştirmiş ve poster hazırlayarak sunmuşlardır.

Txt2Img'in erken geliştirme aşamasından elde edilen temel bulgular, mimari eğitimde üretici tasarım iş akışlarını devrim niteliğinde değiştirme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır. Kullanıcı dostu bir arayüz sağlayarak stabil difüzyon entegrasyonunu kolaylaştıran eklenti, öğrencilere tasarım kavramlarını hızlı bir şekilde yinelenmeleri için olanak tanır. Sunucudan alınan görüntüler yerel olarak saklanabilir ve yeni Grasshopper parametrik modelleme uygulamalarına dahil edilebilir. Ayrıca, Txt2Img, mevcut yöntemlere kıyasla verimlilik ve erişilebilirlikte önemli iyileşmeler gösterir, uzaktan erişilebilir donanım kullanarak eğitim ortamlarına entegrasyonu mümkündür.

Txt2Img'in katkısı sadece araç geliştirmenin ötesine geçmekte; mimarlık eğitimi ve pedagojisinde bir paradigma değişikliği temsil etmektedir. Bu eklenti sayesinde öğrenciler üretici tasarım algoritmalarına erişmekte, keşifsel tasarım uygulamalarına katılmakta, AI ile parametrik uygulamalar geliştirmektedir. Ayrıca, halihazırda var olan hesaplamalı yöntemlerin yapay zeka odağında ileriye taşınması, akademik ortamlarda bilgi paylaşımını teşvik etmekte, mimari eğitimde yapay zeka tabanlı üretim, modelleme ve araştırmaları desteklemektedir.



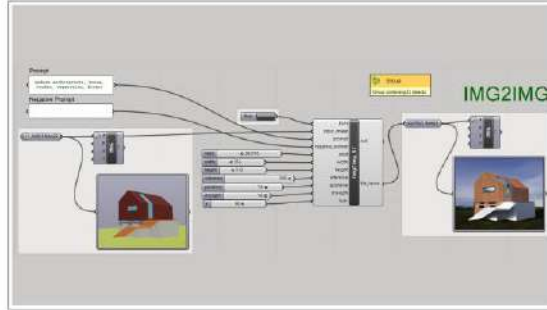
## Grasshopper&Stable Diffusion Mimari Animasyon Denemesi

**Çalışma** Stable Diffusion eklentisinin çok benzer inputlar üzerindeki tutarlılığını ölçmektedir. Blender programında yapılmış 60 frame'lik animasyonun frame'lerinin tek tek input alınması, prompt metninin ve seed değerinin sabit tutulması ile kısa bir mimari animasyon oluşturulmuştur.

**Sonuç:** Eklenti, girdi görsellerindeki perspektif ve kontrast farklılıklarından dolayı kaynak kütleyi kamera açıları benzer olsa dahi aynı algılayamamakta ve çıktılarda bariz farklar görmektedir



QR Kodu okutarak oluşturulan Mimari animasyona ulaşabilirsiniz



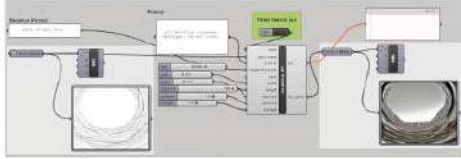
Text2Image: Stable Diffusion & Grasshopper

**Katılımcı Ömer Cengiz Üstünel**

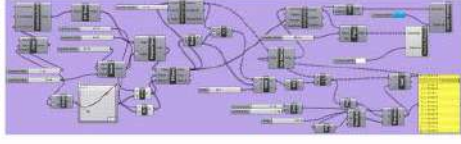
2024balıkesir | sınırd  
**MSTAS**  
Kültür, Miras ve Sanatın Toplumla Buluştuğu

### FORM AND STABLE DIFFUSION

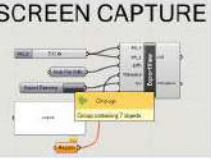
**Stable Diffusion**



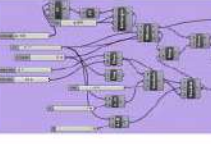
**Structure Model**

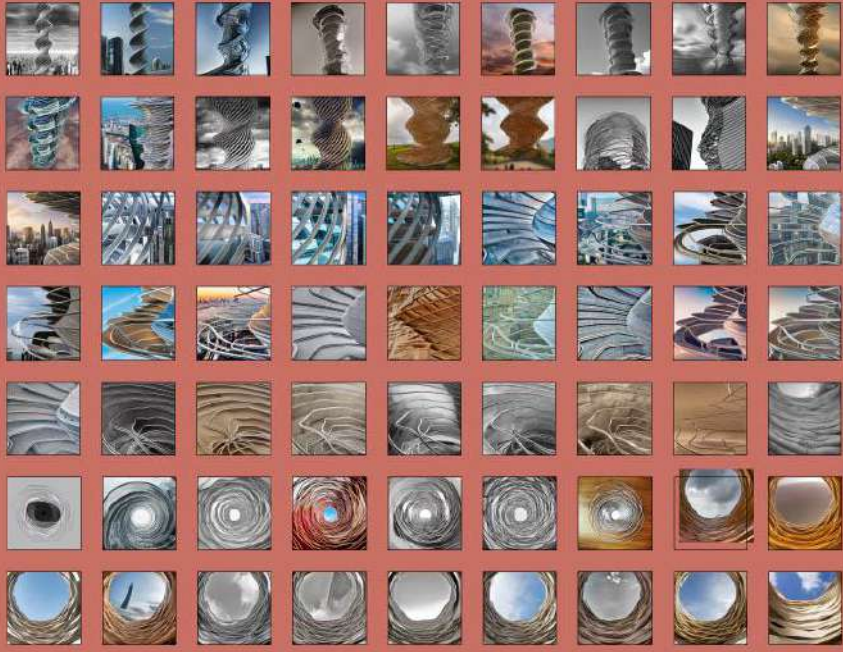


**SCREEN CAPTURE**



**Structure Model**





Text2Image: Stable Diffusion & Grasshopper  
**İLAYDA KESMEN**

2024 **balıkesir** | **şırda**  
**MSTAS**  
XIII. Mimarlık Sorular Tasarım Uygulama Sempozyumu

## Doğanın Düzensizliği - Dijital Damlar

**Verimsiz** diyagramlar, mimari tasarımda konsept oluşturmak için kullanışlı olacak gibi görünebilir, bu diyagramlar, bir alanı sınırlayan bir bölgeyi ve bu bölgedeki alanın kullanılabilir alanı gösteren bir diyagramı geometrik yapıya dönüştürür. Verimsiz kullanımları bir parametrik modelin tasarlanması için uygundur.

**Alanın Bölünmesi:** Bir alanı sınırlayan yapıların alanını sınırlayan bölgeyi, bu alanın Verimsiz diyagramları ile sınırlayan bölgeyi.

**Nöbetlerin Verimsizliği:** Alanın kullanılabilir alanı sınırlayan bölgeyi.

**Verimsiz Diyagramın Oluşturulması:** Grasshopper veya başka bir parametrik tasarım aracı kullanılarak, belirli koşullar tanımlanarak Verimsiz diyagram oluşturulabilir. Bu alan her noktası diğer noktalardan farklı bir yüksekliğe sahip olarak oluşturulabilir.

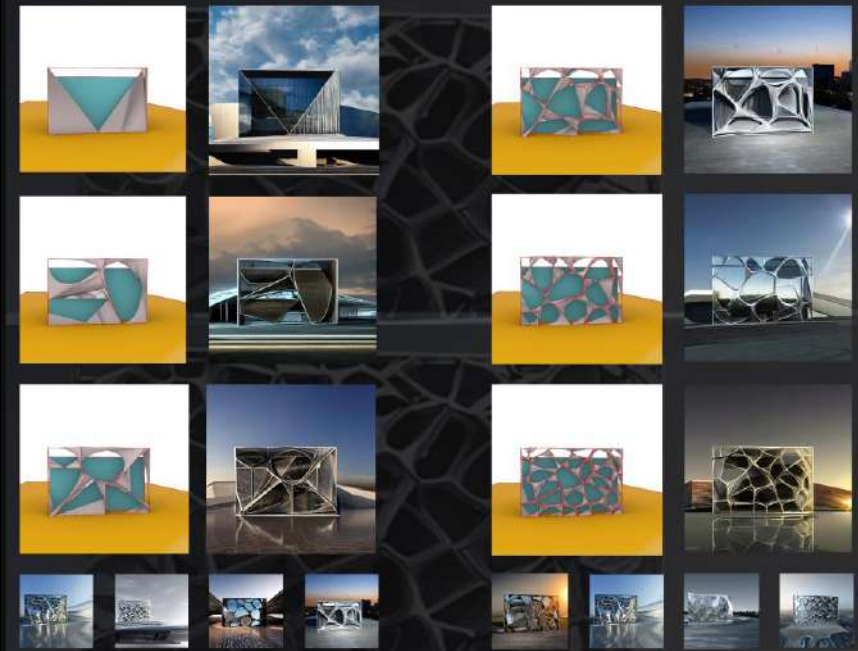
**Hizmetlerin Analizi ve Optimizasyonu:** Bu aşamada hizmetlerin boyutları, sıklığı ve dağılımı gibi verilerle yapıyı tanımlayan parametrik modeller oluşturulabilir.

**Buna Katkıda Bulunan Entegrasyonu:** Verimsiz diyagramlar, alanın kullanılabilir alanını tanımlayabilir ve tasarımı etkin ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilir. Her bir noktası farklı yüksekliğe sahiptir.

**Aşama 1: Parametrik modelin tasarlanması**

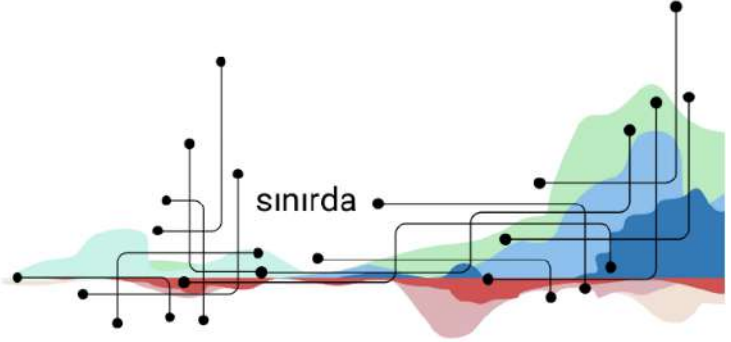
**Aşama 2: Ekran görüntüsünün alınması**

**Aşama 3: Yapay zeka ile parametrik modelin görselleştirilmesi**



**Text2Image: Stable Diffusion & Grasshopper**  
**Arş. Gör. Resul ÖZLÜK**

2024 Balıkesir | Sınırdaki  
**MSTAS**  
Mimarlık | Mimarlık | Mimarlık



Sınır kavramı, çok yönlü olarak ele alınıp tanımlanabilecek bir kavram olmakla birlikte en geniş anlamıyla “bir şeyin yayılıp, genişleyebileceği son çizgidir”. Sınırların kritik noktalar olması ve bir şeyi, bir alanı farklılaştırması, sınırlara çok yönlü olasılık ve potansiyeller barındıran dinamik bir arayüz özelliği kazandırmaktadır. Teknolojik gelişmeler paralelinde, mimarlıkta “sınır” kavramı, alandaki olasılıkları genişleten kilometre taşlarının damgasını vurduğu dönüştürücü bir yolculuğu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda mimarlıktaki değişimler mercek altına alındığında, mimarlıktaki teknolojik gelişmelerin, sadece tasarım sürecini değil, aynı zamanda yapım yöntemlerini, iş birliğini ve sürdürülebilirliği de etkileyerek başarılabilir sınırları sürekli olarak zorlandığı görülür. Bu çerçevede, Balıkesir Üniversitesinde düzenlenecek olan Mimarlıkta Sayısal Tasarım 18. Ulusal Sempozyumu’nun teması “Sınırdı” olarak belirlenmiş, günümüze dek toplumsal değişim ve gelişmelere adapte olup sınırlarını genişletebilmiş mimarlık disiplininin yeni teknolojik gelişmeler karşısında zorlanan sınırlarını, bu sınırları genişletme olanaklarını ve hatta sınırın ötesini tartışmaya odaklanmıştır.

**Balıkesir, 2024**



balıkesir  
mimarlık

