

Cilt 2 Sayı 2

Vol 2 No 2

Eylül

September

2021

2021

ISSN 2687-4318

**J**

journal of

**CO**

computational

**DE**

design

Tasarımda Belirme

Emergence in Design



Cilt 2 Sayı 2

Eylül

2021

Vol 2 No 2

September

2021

ISSN 2687-4318

**J**

journal of

**CO**

computational

**DE**

design

Tasarımda Belirme

Emergence in Design

**Cilt 2 Sayı 2 | Eylül 2021**

Vol 2 No 2 | September 2021

**İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi**

Istanbul Technical University Faculty of Architecture E-Journal

**Yılda iki kez yayınlanır.** | Published two issues in one year.

**Yayıncı** | Publisher

İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü | Istanbul Technical University Rectorate

**Editör** | Editor

Gülen Çağdaş

Sema Alaçam

Ethem Gürer

**Yayın Kurulu** | Editorial Board

Hakan Yaman (İTÜ)

Jose Pinto Duarte (Pennsylvania State Univ., ABD)

Leman Figen Gül (İTÜ)

Manolya Kavaklı Thorne (Macquarie Univ., Avustralya)

Mine Özkar (İTÜ)

Özgür Ediz (Bursa Uludağ Univ.)

Sevil Sarıyıldız (TU Delft, Hollanda)

Tuba Kocatürk (Deakin Univ., Avustralya)

Fernando García Amen (Universidad de la República, Uruguay)

Gülten Manioğlu (İTÜ)

Hasan Serdar Kaya (İTÜ)

Meltem Aksoy (İTÜ)

Rudi Stouffs (National Univ. of Singapore, Singapur)

Sevil Yazıcı (İTÜ)

Bahriye İlhan Jones (İTÜ)

Aslı Kanan (İTÜ)

Muhammed Ali Örnek (İTÜ)

Elif Sezen Yağmur Kilimci (İTÜ)

Hakan Tong (İTÜ)

**Danışma Kurulu** | Advisory Board

Fatih Terzi (İTÜ)

Rahmi Nurhan Çelik (İTÜ)

Şule Taşlı Pektaş (Başkent Univ.)

Ümit Işıklıdağ (Mimar Sinan Güzel Sanatlar Univ.)

Gülşay Öke Günel (İTÜ)

Güzden Varinlioğlu (İzmir Ekonomi Univ.)

Mehmet Tahir Sandikkaya (İTÜ)

Neşe Çakıcı Alp (Kocaeli Univ.)

Ahmet Emre Dinçer (Karabük Univ.)

Benay Gürsoy Toykoç (Pennsylvania State Univ.)

Esra Gürbüz Yıldırım (Gaziantep Univ.)

Gamze Dane (TU Eindhoven, Hollanda)

Güven Çatak (Bahçeşehir Univ.)

Ömer Halil Çavuşoğlu (Erzurum Teknik Univ.)

Özlem Atak Doğan (Erciyes Univ.)

Serdar Aydın (Mardin Artuklu Univ.)

Şehnaz Cenani Durmazoğlu (İstanbul Medipol Univ.)

Yazgı Badem Aksoy (İstanbul Medipol Univ.)

**Bölge Temsilcisi** | Regional Representative

Benay Gürsoy Toykoç (Pennsylvania State University)

**Editorial Sekreteryası** | Editorial Assistance

Gülce Kırdar

Özlem Çavuş

Begüm Hamzaoğlu

Varlık Yücel

**Dizgi** | Typesetting

Gülce Kırdar

Özlem Çavuş

Begüm Hamzaoğlu

Varlık Yücel

**Logo** | Logo

Melis Dağ

**Kapak** | Cover

İlke Yıldan

Varlık Yücel

**Web** | Web

Gülce Kırdar

Özlem Çavuş

Begüm Hamzaoğlu

Varlık Yücel



ISSN 2687-4318

**İletişim** | Contact

JCoDe: Journal of Computational Design

Yayın Sekreterliği

İstanbul Teknik Üniversitesi

Mimarlık Fakültesi

Taşkışla, Taksim, 34437

İstanbul Türkiye

email: jcode@itu.edu.tr

web: jcode.itu.edu.tr

# Tasarımda Belirme

## Editörden

JCoDe'un beşinci sayısı "Tasarımda Belirme"ye odaklanmaktadır. Çok bileşenli sistemlerde belirme, sistemin genel işleyiş kurallarından bağımsız, öngörülemeyen biçimde gelişen, farklı ölçek ve karmaşıklıkta radikal/beklenmedik yeniliklerdir. 1980'lerde sıkça kullanılmaya başlanan bir terim haline gelen belirmenin konu olarak irdelenmesi 1920'lere, kavramsal kökenleri ise Leibniz'in plenum'una kadar geri götürülebilir. Belirme oluşma, ortaya çıkma gibi terimlere karşılık gelse de, asıl bilimsel anlamı, bütünü bölünmezlik ve geriye dönüşmezliğidir. Diğer bir deyişle, çok basit parçaların, çok basit davranışlar göstererek çok kuvvetli, karmaşık, iyi organize olmuş bütünlere meydana getirmesidir (Wiscombe, 2005). Wiscombe'un sözünden de anlaşılacağı gibi, belirmenin taşıdığı bütünsellik, onu meydana getiren parçaların bireysel özelliklerinin herhangi bir matematiksel işleme uyarlanmış sonucundan çok ötedir. Sistemin alt bileşenlerini toplama, çarpma (çaprazlama), çıkarma (eksiltme) vb. işlemlerle tekrar geri döndürebilmek olası değildir. Leibniz terminolojisiyle "plenum" onu oluşturan "monad"ların aritmetik toplamının ötesinde, her bir parçanın diğerleri ile etkileşim halinde olduğu, içsel ve dışsal ilişkilerin bütünsel bir sonucu olarak ortaya çıkar. Belirmenin ürettiği sonuçlar kendi içlerinde bağımsız bir biçimde vardır.

Belirmenin daha farklı bir tanımlamasını Roncoroni (2005) yapmaktadır: bazı kaotik başlangıç oluşumlarından hareketle, doğrusal olmayan bir biçimde düzen ve güzelliği amaç edinen doğal bir çevredir. Roncoroni'nin bu tanımından yola çıkarak belirmenin, bazı yapay süreçlerin gizemli bir artışından çok, kendi içinde dinamizm yaratan bir etkileşimler zinciri olduğu yargısına ulaşılabilir. Bunun yanında, Roncoroni'nin altını çizdiği doğrusal olmayan davranış biçimi, aşağıdan yukarı tasarım anlayışının farklı bir betimlemesidir. Belirmeden bir problem çözme aracından ziyade, bir çözümler üretme ortamı olarak yararlanan uygulama alanlarının en dikkat çekici olanı yapay zeka uygulamalarıdır. Yapay zeka çalışmalarının, mekanik neden-sonuç temelli süreç geliştirme arayışından sıyrılıp, insan ürünündeki, etkileşimi önemseyen bir tavırda olması, belirmeyi bu uygulamaların merkezine oturtmaktadır. Doğada mevcut bulunan belirmenin dilini bilgisayar diline tercüme etme denemeleri, insan kaynaklı yapay ürünlere de bilinç, davranış, cevaplama yetilerini kazandırmada yardımcı olmuştur.

Bu bağlamda JCoDe'un beşinci sayısında (Cilt 2, Sayı 2), "Belirme"nin tasarım süreç ve üretimlerinde kullanımları; tasarım eğitimindeki yeri; tasarım problemlerinin ele alınmasındaki rolü; biçim araştırmalarındaki kullanımları ve yenilikçi etkileri ve hesaplamalı tasarım araştırmalarındaki farklı kullanım olanakları tartışmaya sunulmaktadır.

Etmen tabanlı sistemlere odaklanan ve çok katlı yapıların tasarımında belirlemeyi farklı açılardan ele alan çalışmaların sunulduğu ilk bölümde, Şehnaz Cenani etmen-tabanlı modelleme aracını incelemeyi, mimari tasarım, kentsel tasarım ve ulaşım tasarımı araştırma alanlarında karar destek sistemleri geliştirmelerinde araştırmacılara etmen-tabanlı modelleme araçları hakkında kaynak sağlamayı amaçlamıştır. Erenalp Saltık ise yüksek yapıların konsept tasarım aşamasında evrimsel yaklaşımlar kullanılarak, hedeflenen toplam yapı alanını çok fazla azaltmadan belirli kriterleri optimum düzeyde sağlamayı, binanın kendisi ile çevresinde enerji tüketimini azaltmayı ve yaşam kalitesini arttırmayı hedeflemiştir. Ahmet Emre Dinçer ve Gülen Çağdaş'ın çalışması üretken tasarım yaklaşımlarından biçim gramerleri ve bir türevi olan mekânsal gramerlerin zengin çeşitliliği ile özgün belirme örneklerini sergilemesi ve farklı yaklaşımlara uyulanabilir nitelikte olmasıyla, farklı kullanıcı profilleri için özelleştirilmiş konutlara sahip çok katlı konut blokları tasarımında kullanılacak parametrik bir mekânsal gramer modeli ortaya koymaktadır.

Performans tabanlı benzetime ve taşıyıcı sistem davranışlarına yönelik ikinci bölümde, Hatice Melike Özbek origami ve hücresel özdevinimin entegre bir şekilde tasarımda kullanılabilirliğinin uygunluğunu araştırmıştır. Salih Özdemir ise şematik tasarım aşamasında, mimari formun ortaya çıkmaya başlamasıyla beraber hem parametrik tasarıma hem de geleneksel tasarıma yönelik strüktürel analizler yaparak sonuçlar üretebilecek bir hesaplama aracı önermekte ve üretilen modeller üzerinden sonuçları karşılaştırmaktadır.

Karar Destek Sistemlerine ayrılan üçüncü bölümde, Begüm Moralioglu, Şehnaz Cenani ve Gülen Çağdaş, sosyal medya ağlarından konum etiketlerini gerçek zamanlı toplayarak, Google Haritalar'dan sağlanan araç ve yaya trafiği bilgilerini Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile belirlenen İstanbul'daki bölge alternatifleriyle birleştiren prototip bir sistem geliştirmiştir.

Adaptif tasarım üzerine eğilen dördüncü ve son bölümde, Sinem Kırcan ve Ayça Şentop dördüncü sınıf iç mimarlık öğrencisi 19 kişi ile birlikte bir çevrimiçi çalıştay gerçekleştirmiş ve sunduğu hareket çeşitliliği gözetilerek seçilen bir "dans" performansını form üretim aracı olarak ele almışlardır. Ayça Metin kullanıcı etkileşimi anında ortamda çalan müziğin anlık genlik verilerini çekerek bu verileri hücresel özdevinim kural setlerinin girdisi olarak kullanan, kullanıcı ve müzik etkileşimli bir duvar tasarlamıştır.

# Emergence

## Editorial

The fifth issue of JCoDe focuses on “Emergence in Design”. Emergence in multi-component systems is radical/unexpected innovations of varying scale and complexity that develop unpredictably, independent of the general operating rules of the system. The examination of emergence as a subject, which became a term that began to be used frequently in the 1980s, can be traced back to the 1920s, and its conceptual origins can be traced back to Leibniz’s “plenum”. Although emergence corresponds to terms such as occurrence emergence, its central scientific meaning is the indivisibility and irreversibility of the whole. In other words, elementary parts display elementary behaviors and form very strong, complex, well-organized wholes (Wiscombe, 2005). As can be understood from Wiscombe’s statement, the totality of appearance is far beyond the result of the individual properties of the parts that make it up, adapted to any mathematical operation—adding, multiplying (crossing), subtracting (subtracting) the sub-components of the system. It is not possible to revert it with transactions. In Leibniz’s terminology, the “plenum” emerges as a holistic result of internal and external relations, in which each part interacts with the others, beyond the arithmetic sum of the “monads” that make up it. The consequences produced by emergence exist independently of themselves.

Roncoroni (2005) defines emergence differently: it is a natural environment that aims at order and beauty in a non-linear way, starting from some initial chaotic formations. Based on this definition of Roncoroni, it can be concluded that emergence is a chain of interactions that creates dynamism in itself, rather than a mysterious plus of some artificial processes. In addition, the non-linear behavior underlined by Roncoroni is a different description of the bottom-up design approach. Artificial intelligence applications are the most striking application areas that use it as a solution-generating environment rather than a problem-solving tool. Artificial intelligence studies move away from the pursuit of mechanical cause-effect-based process development, which cares about interaction in human products puts emergence at the center of these applications. Attempts to translate the language of emergence in nature into computer language have also helped manufactured products of human origin to gain consciousness, behavior, and responsiveness.

In this context, in the fifth issue of JCoDe (Volume 2, Issue 2), the use of “Emergence” in design processes and productions; its place in design education; its role in addressing design problems; their use and innovative effects in shape research and different possibilities of use in computational design research are presented for discussion.

In the first chapter focusing on agent-based systems and offering applications at the high-rise building scale, Şehnaz Cenani reviews agent-based modeling tools, presenting state-of-the-art research conducted with these tools and provides a reference of agent-based modeling tools for researchers who are developing decision support systems in architectural, urban and transportation design research fields. Erenalp Saltik questions whether we can reduce energy consumption in the building itself and its surroundings, and increase the quality of life by using evolutionary approaches in the concept design phase of high-rise buildings. Ahmet Emre Dinçer and Gülen Çağdaş present a parametric spatial grammar model that can design high-rise housing blocks with a customized dwelling for each family.

In the second part, which focuses on performance-based simulation and structural system behaviors, Hatice Melike Özbek proposes an emerging shell design made by using origami and cellular automata in an integrated way. On the other hand, in the schematic design phase, with the emergence of the architectural form, Salih Özdemir proposes a computation tool that can make structural analysis for both parametric design and traditional design and produce results.

In the third part devoted to Decision Support Systems, Begüm Moralioglu, Şehnaz Cenani and Gülen Çağdaş suggest a decision support system for e-scooter sharing systems, which helps to place e-scooters dynamically in areas that are needed in the city.

In the fourth and final part focusing on adaptive design, Sinem Kirkan and Ayça Şentop conduct an online workshop with 19 fourth-year interior architecture students and a dance performance was used as a form finding case due to the variety of movements presented in. Ayça Metin proposes a user and music interactive wall design by taking the amplitude data of the music that is activated by the user's touch and played in the environment at the sequence of user interaction, and using this data as the input of the cellular automata rule sets.



<b>Emergence and Complexity in Agent-Based Modeling: Review of State-of-the-Art Tools</b> Etmen-Tabanlı Modellemede Belirme ve Karmaşıklık: Güncel Araştırmaların İncelenmesi Şehnaz Cenani	01
<b>Genetik Algoritmalar Kullanılarak Güneş Işınımı ve Gölgeye Göre Optimal Yüksek Yapı Form Önerileri Üretilmesi</b> Generating Optimal High-Rise Building Suggestions According to Solar Radiation and Shade Using Genetic Algorithms Erenalp Saltık	25
<b>A Spatial Grammar Model for Designing Mass Customized High-rise Housing Blocks</b> Özelleştirilmiş Kitlesele Çok Katlı Konut Blokları Tasarımı için Mekânsal Gramer Modeli Ahmet Emre Dinçer, Gülen Çağdaş	51
<b>Origami ve Hücresele Özdevinim Entegrasyonu ile Kabuk Tasarımı</b> Shell Design by Integration of Origami and Cellular Automata Hatice Melek Özbek	73
<b>Şematik Tasarım Evresinde Mimari Form Alternatiflerine Yönelik Taşıyıcı Sistem Davranışlarının Analizi</b> Analysis of Structural System Behaviors for Architectural Form Alternatives in the Schematic Design Salih Özdemir	103
<b>A Decision Support System for Placing Shared E-Scooters: A Case Study for Istanbul</b> Paylaşımli E-Scooter Yerleştirmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi: İstanbul için Vaka Çalışması Begüm Moraloğlu, Şehnaz Cenani, Gülen Çağdaş	127
<b>Hareket İncelemesine Dayalı bir Form Araştırma Süreci: 'Kinematik' Çevrimiçi Tasarım Çalıştayı Sonuçları</b> A Form Finding Process Based on Movement Analysis: "Kinematics" Online Design Workshop Results Sinem Kırkan, Ayça Şentop Dümen	149
<b>Müzik Verilerini Kullanan Kullanıcı Etkileşimli Duvar Tasarımı</b> User Interactive Wall Design Using Music Data S. Ayça Metin	173

# Emergence and Complexity in Agent-based Modeling: Review of State-of-the-art Tools

Şehnaz Cenani<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0001-8111-586X<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Medipol University, Faculty of Fine Arts Design and Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey.

Agent-based systems are an important application area of artificial intelligence and are used in decision support systems. Rather than being a problem-solving tool, agent-based system is a tool for developing and testing alternative solutions according to various scenarios. In this context, agent-based modeling is a very effective method to support decision makers in emergency situations to evaluate different risk scenarios and then make decisions quickly and effectively. Moreover, agent-based modeling is a very useful method to support decision makers in situations of high complexity and uncertainty. This paper introduces current studies performed with several agent-based modeling tools and software environments such as NetLogo, AnyLogic, MATSim and Repast. Apart from these, various agent-based modeling tools exist, but these four tools have been chosen because they are still receiving software updates and being widely used in the most current studies. The aims of this study are to review these four agent-based modeling tools, present state-of-the-art research conducted with these tools and provide a reference of agent-based modeling tools for researchers who are developing decision support systems in architectural, urban and transportation design research fields. In this paper, after giving a brief definition of an agent-based system and explaining the importance of concepts such as emergence and complexity in the field of agent-based modeling, it is explained who uses the agent-based models for what purpose, when, where, why and how to use agent-based modeling through selected examples from state-of-the-art studies carried out in different research fields. Furthermore, what current studies and agent-based modeling tools teach us and how future studies can benefit from agent-based models are briefly discussed.

**Received:** 16.08.2021

**Accepted:** 19.09.2021

**Corresponding Author:**

sdurmazoglu@medipol.edu.tr

Cenani, Ş. (2021). Emergence and complexity in agent-based modeling: Review of state-of-the-art tools. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 01-24.  
<https://doi.org/10.53710/icode.983476>

**Keywords:** Agent-based Modeling, Emergence, Complexity, Uncertainty, Simulation.

1

# Etmen-tabanlı Modellemede Belirme ve Karmaşıklık: Güncel Araçların İncelenmesi

Şehnaz Cenani<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0001-8111-586X<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Medipol Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye.

Etmen-tabanlı sistemler, yapay zekanın önemli bir uygulama alanıdır ve karar destek sistemlerinde kullanılmaktadır. Etmen-tabanlı sistem, bir problem çözme aracı olmaktan çok, çeşitli senaryolara göre çözüm alternatiflerini geliştirmek ve test etmek için kullanılan bir araçtır. Bu bağlamda etmen-tabanlı modelleme, acil durumlarda karar vericilerin farklı risk senaryolarını değerlendirip daha sonra hızlı ve etkili kararlar almalarına destek olmak için oldukça etkili bir yöntemdir. Ayrıca etmen-tabanlı modelleme, yüksek karmaşıklık ve belirsizlik durumlarında karar vericileri desteklemek için çok yararlı bir yöntemdir. Bu makale, NetLogo, AnyLogic, MATSim ve Repast gibi çeşitli etmen-tabanlı modelleme araçları ve yazılım ortamları ile gerçekleştirilen güncel çalışmaları tanıtmaktadır. Bunların dışında çeşitli etmen-tabanlı modelleme platformları mevcuttur, ancak bu makalede belirtilen dört araç hala yazılım güncellemeleri almaya devam ettikleri ve en güncel çalışmalarda kullanıldıkları için seçilmiştir. Çalışmanın amaçları, bu dört etmen-tabanlı modelleme aracını incelemek, bunlarla yürütülmüş güncel çalışmaları sunmak ve mimari tasarım, kentsel tasarım ve ulaşım tasarımı araştırma alanlarında karar destek sistemleri geliştirmelerinde araştırmacılara etmen-tabanlı modelleme araçları hakkında kaynak sağlamaktır. Bu makalede, etmen-tabanlı bir sistemin kısa bir tanımı yapıldıktan ve belirme ve karmaşıklık gibi kavramların etmen-tabanlı modelleme alanındaki önemi açıklandıktan sonra, etmen-tabanlı sistemleri kimlerin kullandığı, etmen-tabanlı modellemenin hangi amaçla, ne zaman, nerede, neden ve nasıl kullanıldığı, farklı alanlarda gerçekleştirilmiş en güncel çalışmalardan seçilmiş örnekler üzerinden açıklanmıştır. Ayrıca, mevcut çalışmaların ve etmen-tabanlı modelleme araçlarının bize neler öğrettiği ve gelecekteki çalışmaların etmen-tabanlı modellerden nasıl yararlanabileceği kısaca tartışılmıştır.

Teslim Tarihi: 16.08.2021

Kabul Tarihi: 19.09.2021

Sorumlu Yazar:

sdurmazoglu@medipol.edu.tr

Cenani, Ş. (2021). Etmen-tabanlı modellemede belirme ve karmaşıklık: Güncel araçların incelenmesi. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 01-24. <https://doi.org/10.53710/icode.983476>

**Anahtar Kelimeler:** Etmen-tabanlı Modelleme, Belirme, Karmaşıklık, Belirsizlik, Benzetim.

## 1. INTRODUCTION

Agent-based modeling (ABM) is an analysis tool that has been widely used since the 1990s in various research fields such as healthcare, transportation, urban planning, economics, sociology, e-commerce, web search algorithms, stock market prediction, flight scheduling systems, and even critical systems such as electronic voting systems.

Wooldridge (2009: p.5) defines an agent as “*a computer system that is capable of independent action on behalf of its user or owner.*” This means that an agent can decide what to do to achieve its design goals by itself without any specific instructions. In other words, an agent can be defined as a computer system that can operate autonomously in its environment and interact with other agents to achieve its goal.

In addition to the models developed for the evacuation of public buildings such as schools, hospitals, concert halls, stadiums, theaters or shopping malls in emergency situations, ABM is used to evaluate the evacuation scenarios of cities in urban-scale emergencies such as epidemics, floods, and earthquakes. In this context, ABM is a very effective tool to support decision makers in emergency situations to evaluate different risk scenarios and then make decisions quickly and effectively.

The aim of this study is to review state-of-the-art research conducted by four agent-based modeling tools and give researchers insights into how to use these agent-based modeling tools while developing decision support systems. There are several review papers focusing on ABM. For example, Berger and Mahdavi (2020) prepared a review of current trends in agent-based modeling of building occupants for energy and indoor-environmental performance analysis. There is a review of agent-based modeling for simulation of agricultural systems (Mora-Herrera et al., 2021). Zhuo and Han’s (2020) paper reviews agent-based modelling and flood risk management. Additionally, Macal’s (2016) study addresses the background and current state of the field of agent-based modelling and simulation. He discusses research challenges for ABM to improve and achieve its potential in the following years. Hawe et al.’s (2012) article reviews existing implementations of ABSs for large-scale

emergency response and presents a taxonomy classifying them by usage. On the other hand, there are many studies focusing on ABM tools/platforms and comparing their features. For instance, Allan (2010) compares several “ABMS software packages” in his study. Railsback et al. (2006) compare five software platforms. Similarly, Fan et al.’s study (2021) compares and analyzes several multi-agent modeling and simulation platforms. Furthermore, Abar et al.’s (2017) study presents comprehensive survey on comparison of the basic features of eighty-five ABM tools. However, this paper does not intend to review and compare features of different ABM tools, it rather aims to present current studies from architectural, urban and transportation design research fields that are conducted with the help of four selected ABM tools. Therefore, in this paper, after giving a brief definition of an agent-based system and explaining the importance of emergence and complexity in ABM, it will be explained who uses the agent-based models for what purpose, when, where, why and how to use ABM through selected examples from state-of-the-art studies carried out in different research fields. In the conclusion section, there will be a discussion about what current studies and ABM tools teach us and how future studies can benefit from ABM.

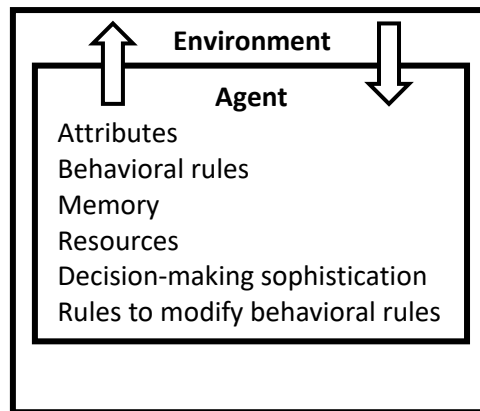
## **2. BASICS OF AGENT-BASED MODELING**

Agent-based systems are an important application area of artificial intelligence and are used in decision support systems. Rather than being a problem-solving tool, agent-based system is a tool for developing and testing alternative solutions according to various scenarios. In this context, agent-based systems support decision makers during decision-making processes.

According to Wooldridge (2002), the agent takes sensory input from its environment and generates action outputs to affect its environment. This is generally a continuous interaction (**Figure 1**). Russell and Norvig (2021) indicate that there are many types of environments such as accessible-inaccessible, deterministic - stochastic, static - dynamic, discrete - continuous, fully observable - partially observable, episodic - sequential, and so on. For example, according to Russell and Norvig (2021), characteristics of a medical diagnosis environment are partially

observable, single agent, stochastic, sequential, dynamic, and continuous. Another example they give to better explain type of environments is about the properties of a crossword puzzle environment, which is fully observable, single agent, deterministic, sequential, static, and discrete.

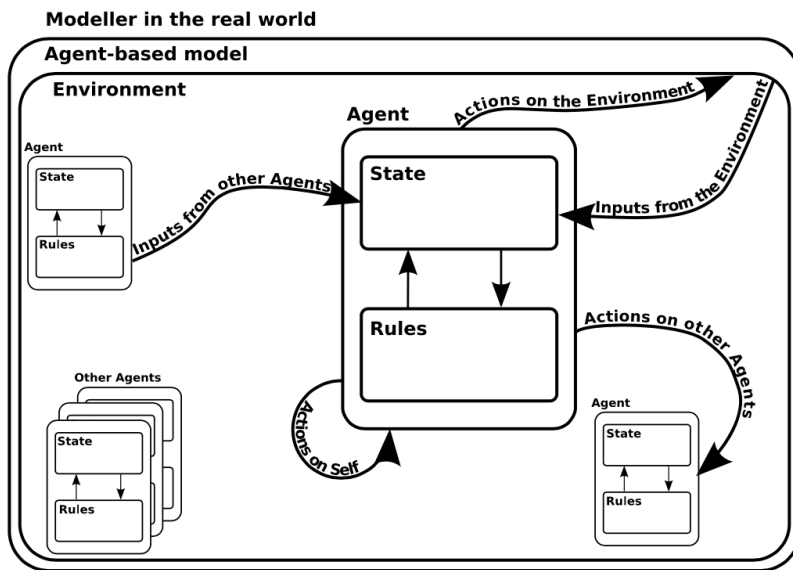
Any control system can be an agent-based system. For example, thermostats, email filtering systems, air traffic control systems, flight scheduling systems are agent-based systems. More complex environments and design tasks need relatively complex decision structures and more complex agent-based systems.



**Figure 1:** Relationship between the agent and environment (adapted from Macal & North, 2005).

Agent-based models emerge by conceptualizing a real-world system and producing a model in a computer environment using the collected data and presenting it to the evaluation of decision makers using various visualization techniques. According to the evaluations made, various adjustments and changes are made to the model and brought to the optimal version necessary for the solution of the design problem. One of the most important benefits of agent-based modeling is that, within hours or even minutes of operating the system, results related to different scenarios can be obtained. In addition, different scenarios can be tested and compared in a very short time. Thus, decision makers can evaluate different circumstances and choose the most appropriate solution according to the available possibilities and existing conditions. For example, scenarios involving 50 people or 50 million people can be analyzed easily and quickly with agent-based modeling. These features can be considered as the main strengths of ABMs. So, in what kind of

situations should ABM be used? If individual behaviors, simulation of large populations, adaptation, learning, dynamically changing relationships, spatial interactions are important, then ABM is a suitable modeling method.



**Figure 2:** Structure of an agent-based model (Dam, Nikolic and Lukszo, 2013).

In agent-based modeling, the system is built with bottom-up approach. Agents' autonomous and social qualities make modeling of complex interactions possible. Moreover, agents can interact with each other as well as the actors in the real world (Figure 2).

Agent-based models can operate at different abstraction levels. The application areas of agent-based modeling are very diverse. For example, simulations related to the spread of diseases (Hoertel et al., 2020), migration (Hébert et al., 2018), consumer behavior (Caprioli et al., 2020), economics (Glavatskiy et al., 2021), healthcare (Esposito et al., 2020), social interactions and networks (Kaligotla et al. 2018), activity-travel behavior (Cenani et al., 2013; Macal et al., 2018), user/pedestrian movements (Cenani, 2008; Vizari et al., 2020), building/city evacuations in emergency situations (Li et al., 2016), urban and transportation planning (Park et al., 2018), traffic congestions (Vo et al., 2016), terrorist attacks (Lu et al., 2020), natural disasters such as tsunami, flood, earthquake (Costa et al., 2021; Haer et al., 2020; Wang and Jia, 2021) are among the research areas where agent-based models are frequently used.

### 3. EMERGENCE AND COMPLEXITY IN AGENT-BASED MODELING

Meyers (2012) defines complex systems as *“systems that comprise many interacting parts with the ability to generate a new quality of collective behavior through self-organization, e. g. the spontaneous formation of temporal, spatial or functional structures. They are therefore adaptive as they evolve and may contain self-driving feedback loops. Thus, complex systems are much more than a sum of their parts. Complex systems are often characterized as having extreme sensitivity to initial conditions as well as emergent behavior that are not readily predictable or even completely deterministic.”* In addition, complex adaptive systems are made of interacting, adaptive, learning agents (Holland 2006), which have certain features and behaviors. These agents interact with and affect each other, learn from their experiences, and adapt their behaviors, thus making them better fitted to their environments.

ABM is a valuable tool to develop the dynamic behavior of a complex system. In fact, different methods can be integrated into an agent-based model. For example, Cheng and Gan (2013) analyzed evacuation time in different predefined scenarios integrating BIM with behavioral models. Similarly, Marzouk and Daour (2018) used BIM and ABM together for evacuation simulation of labors as an input for a Multi-Criteria Decision-Making process considering total project time, total cost, and evacuation time to achieve the optimum construction method scenario. Also, Bina and Moghadas' (2020) study incorporated BIM with ABM to simulate emergency evacuation from conference hall. Caprioli et al.'s (2020) study applies a hybrid agent-based model integrated with a Geographic Information System (GIS) to simulate a complex socio-economic-architectural adaptive system to study the willingness of inhabitants to adopt photovoltaic systems. Moreover, machine learning algorithms (Yıldız & Çağdaş, 2020), evolutionary computing algorithms (Carta et al., 2020; Guo & Li, 2017) can also be used to develop learning agent-based models. Guo and Li (2017) developed an agent-based topology detection system and used the evolutionary optimization approach with this system. They developed their system with Java programming language. According to their proposed model, plan schemes with the appropriate topology can be



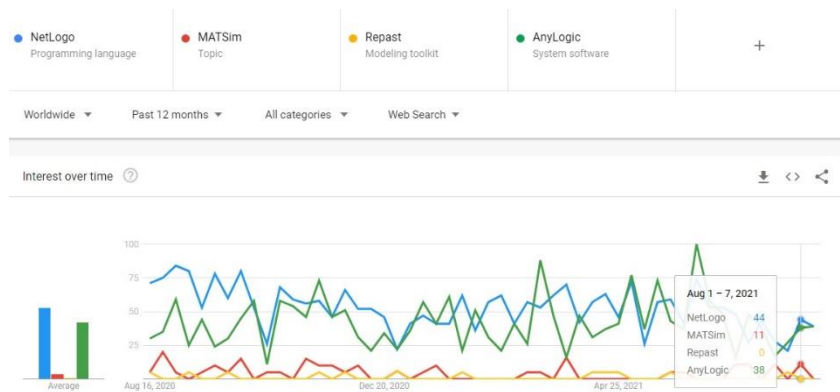
found and the most suitable ones can be selected among these schemes according to several architectural criteria. Their study can be seen as a good example of emergence in an agent-based model. Furthermore, contact transmission in hospital wards is evaluated by Esposito et al.'s (2020) study, which was validated through a simulation built in a Unity 3D environment.

Complexity (see also Batty, 2007; Bedau, 2003; Holland, 1996) and emergence (see also Bedau, 1997, 2003; Silverman et al., 2021) are very important aspects of agent-based models. Emergent behaviors can be best captured with agent-based models. As Klügl stated, agent behavior allows capturing complex, non-linear phenomena, such as emergence, and this phenomenon results in simulation results (Onggo et al., 2019). According to Macal (2020), ABM is *“a modeling and simulation approach applied to a complex system or complex adaptive system, in which the model is comprised of a large number of interacting elements (agents)”*. When a scenario is tested with an agent-based model, the result may not always be in line with what was predicted. In other words, emergent user behaviors or emergent results can be observed in agent-based simulations. ABM is a successful method for simulating a process affected by many parameters. Unexpected results may be encountered, especially in agent-based models where problems with high uncertainty exist, therefore, ABM becomes a very useful method to support decision makers in situations of high complexity and uncertainty. So how do we decide under uncertainty? A deterministic and logical approach should be used when uncertainty exists. In other words, the outcome of each action should be evaluated and then the best action should be chosen. Another important question that arises from the previous question is how do we compare possible actions without being sure what the consequences will be? While comparing the weights of possible actions, the option with the highest utility is selected by the decision theory method. Decision theory is a computational method used in decision making under uncertainty (see also Kochenderfer, 2015; Slovic et al., 1977). Decision theory doesn't tell you what your preferences should be, but it does tell you what decisions should be made in complex situations based on your preferences. In an agent-based model, the result with the highest benefit for the decision maker is preferred. For example, when

evaluating different architectural solutions for a hospital building, the most suitable solution for hospital users may not be the most suitable solution for the investor or the municipality. However, the important thing is to find a solution that will keep the benefit of all actors at an optimal level.

#### 4. TOOLS USED IN AGENT-BASED MODELING

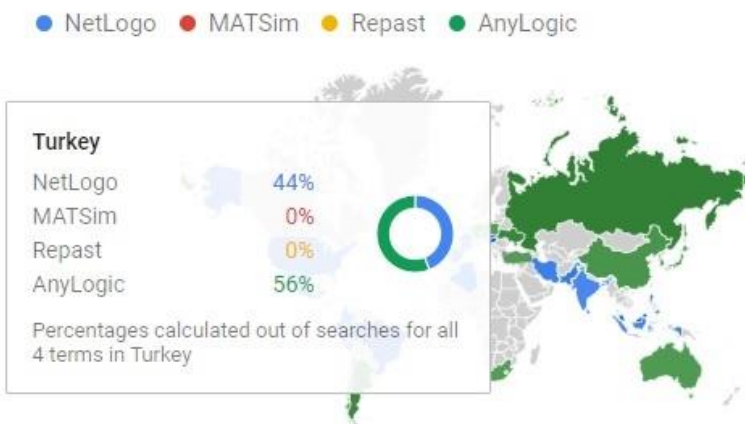
This section introduces several tools and software environments (i.e., NetLogo (Wilensky, 1999), AnyLogic (2021), MATSim (2021), Repast (North et al., 2013) used in agent-based modeling. Apart from these, various ABM platforms exist, but these four have been chosen because they are still receiving software updates and being widely used in the most current studies. For more information on other ABM tools/platforms Abar et al.'s study (2017) or Allan's technical report (2010) can be examined. However, it should be noted that this paper does not aim to review and compare features of different ABM tools, instead it presents current studies from the fields of architectural, urban and transportation design research that are conducted with certain ABM tools.





**Figure 3:** Google search trends for NetLogo, MATSim, Repast and AnyLogic (2021).

ABM is a modeling approach generally used for forecasting, optimization, policy making, and “what if” scenarios. As indicated in the previous sections, ABM is used in various research areas, ranging from healthcare to stock market predictions. **Figure 3** (top) shows the worldwide Google trends for the last 12 months of the software tools mentioned above. According to this chart, NetLogo is the most searched tool, followed by AnyLogic, MATSim, and Repast respectively. **Figure 3** (bottom) indicates compared breakdown by country. Color intensity represents percentage of searches. For instance, 96% out of searches for all 4 terms in Russia belongs to AnyLogic. Furthermore, 68% and 31% out of searches for all 4 terms in USA belongs to NetLogo and AnyLogic, respectively. As shown in **Figure 3**, NetLogo seems to be the worldwide known and searched tool on Google. **Figure 4** illustrates percentage of searches in Turkey.



**Figure 4:** Google search trends for NetLogo, MATSim, Repast and AnyLogic in Turkey (2021).

	NetLogo	AnyLogic	Repast	MATSim
Developer	Northwestern University	The AnyLogic Company	University of Chicago	ETH Zurich
License	Free, open source	Proprietary; Free Personal Learning Edition available	Free, open source	Free, open source
Programming Language	NetLogo	Java	Java	Java
Website	<a href="https://ccl.northwestern.edu/netlogo/">https://ccl.northwestern.edu/netlogo/</a>	<a href="https://www.anylogic.com">https://www.anylogic.com</a>	<a href="https://repast.github.io">https://repast.github.io</a>	<a href="https://www.matsim.org">https://www.matsim.org</a>
Documentation	Good	Limited	Limited	Good
Speed of Execution	Moderate	Fast	Fast	Fast
Ease of learning and programming	Good	Moderate	Moderate	Moderate
Ease of installation	Good	Moderate	Moderate	Moderate
GIS integration	Yes	Yes	Yes	Yes

**Table 1:** Comparison of NetLogo, AnyLogic, Repast and MATSim (adapted from Chen, 2012; Salgado & Gilbert, 2013).

**Table 1** compares four agent-based modeling platforms mentioned in this paper. According to this comparison, NetLogo appears to be a proper choice. Among other advantages, it seems to be NetLogo is easier to learn and program than other tools. AnyLogic is the only non-research group developed and private licensed ABM tool among others. The most crucial feature of the above-mentioned tools is they all have GIS integration that enable them to be used widely in geospatial simulations. Moreover, except for AnyLogic, they are free and open-source tools, which make them easy to modify and publicly accessible to support especially studies of young researchers and students. In the following sub-sections, state-of-the-art research from various research areas using these software toolkits and software environments are explained.

## 4.1 NetLogo

NetLogo (Wilensky, 1999) is an open-source multi-agent programmable modeling environment. It has GIS support and can save simulations as movies. The variety of sample models and the high number of users have made NetLogo a popular ABM platform.

One of the studies use NetLogo belong to Chennoufi et al. (2018). They proposed a collision avoidance technique for evacuation of individuals which was tested by a simulation developed in NetLogo. Another study focusing on evacuation is Liu et al.'s study (2016). The aim of their study is developing an agent-based simulation to explore the relationships between evacuation efficiency and classroom plans and to design the most appropriate plan schemes for evacuation. Two behavior rules for students have been defined in their study: self-organized and premeditated. It has been observed that the class plan with two exits reduces the evacuation time of the students. In addition, they noticed that students who follow the premeditated instructions leave the classroom faster and are more successful in ensuring their own safety during evacuation procedure. Another pedestrian micro-simulation study focusing on pedestrian evacuation process belongs to Hassanpour et al. (2021). Similarly, Wang and Jia (2021) presented a tsunami evacuation risk assessment. There are also several studies on transportation and urban planning. For example, Dogaroglu et al. (2021) proposed an intelligent parking guidance system model and they compared it with the conventional system where drivers tend to prefer the closest parking utility. They tested five scenarios in NetLogo. On a similar research topic, Vo et al. (2016) developed a micro-simulation for movements of drivers at the car park, while Z. Chen et al. (2016) proposed a model to examine search behaviors of drivers for parking. On the other hand, Lu et al. (2020) developed a model to analyze the effects of terrorist attacks combined with stampedes.

## 4.2 AnyLogic

AnyLogic is a dynamic and multimethod (i.e., discrete event, agent-based and system dynamics) simulation modeling platform developed by The AnyLogic Company (AnyLogic, 2021). However, NetLogo is developed by Northwestern University, Repast is developed by University of Chicago, and MATSim is developed by ETH Zurich. Thereby, AnyLogic is

the only non-research group developed and private licensed ABM tool explained in this paper.

The research areas using AnyLogic are very diverse such as groundwater management (Arasteh & Farjami, 2021), coffee shop barista training model (Farhan et al., 2020), or hospital layout design selection (Li et al., 2020). In fact, Kirdar et al.'s (2019) study proposes a smart bike sharing system to promote cycling for tourists as a sightseeing trip in the Historical Peninsula of Istanbul. The proposed bicycle sharing system is modeled by agent-based modeling method in AnyLogic platform. While Antonova et al. (2020) analyzed passenger traffic at an underground station to examine the points of congestion, Koskela et al. (2020) developed a simulation tool that allows the user to explore the effectiveness and impact of a local biorefinery in waste management. Additionally, Kuklowa's (2021) study proposed a highway management model in Prague, whereas Muravev et al. (2021) used AnyLogic platform for optimization of the intermodal terminals on port management.

### **4.3 MATSim**

Multi-Agent Transport Simulation (MATSim) is an activity-based, extendable, open-source multi-agent simulation framework for implementing large-scale agent-based transport simulations (MATSim, 2021). Additionally, it is designed for large-scale scenarios. MATSim currently models a single day; however, in theory, Horni et al. (2012) state that multi-day model could be implemented.

MATSim is applied in several different studies. For instance, it is used to simulate travel demand dynamics (Hörl & Balac, 2021; Llorca & Moeckel 2019; Melnikov et al., 2016), urban air mobility travel time savings (Rothfeld et al., 2021), traffic behavior in growing metropolitan areas (Hager et al., 2015), and carsharing systems (Giorgione et al., 2021). Furthermore, Grauer et al. (2021) developed a new simulation core, Hermes, for MATSim to enable efficient large-scale simulations. They state that Hermes is efficient enough to complete simulations of large-scale scenarios within reasonable time frames. Additionally, Ziemke et al. (2021), coupled FEATHERS (Bellemans et al., 2010) activity-based demand model with MATSim to include modeling the

choice of the sequence of activity participation and locations to expand MATSim's analysis capacity.

#### **4.4 Repast**

Repast is a software framework for agent-based simulation created by Social Science Research Computing at the University of Chicago (North et al., 2013). It is an open-source agent-based modeling and simulation platform that supports 2D and 3D visualizations as well as GIS.

Many current studies use Repast (Collier et al., 2020; Kono & Haneda, 2021). For example, Macal et al. (2018) developed an agent-based modeling framework to be used in Chicago. Their model simulates daily activity-travel behavior of city residents. Another study is about modeling an information-based community health intervention in Chicago (Kaligotla et al., 2018). Additionally, Manley and Cheng (2018) explored the role of spatial cognition in forecasting urban traffic flow via ABM.

### **5. CONCLUSION**

This paper has examined the state-of-the-art research on ABM, providing basic information and references to several tools and software environments. Moreover, it presents current studies from architectural, urban and transportation design research fields that are conducted with the help of specific ABM tools. In this paper, current ABM studies using tools such as NetLogo, Repast, MATSim and AnyLogic, and in which research areas these tools are used are explained.

As **Table 1** demonstrates NetLogo seems to be a good choice among other ABM tools mentioned in this paper. AnyLogic is the only non-research group developed and private licensed ABM tool. However, all four tools/platforms have GIS integration that allow them to be used widely in geospatial simulations. Additionally, except for AnyLogic, they are free and open source, which make them publicly accessible and easy to modify. Moreover, Google search trends in **Figure 3** shows that NetLogo is the most searched tool between August 2020 and August 2021, followed by AnyLogic, MATSim, and Repast respectively. These

findings support that NetLogo is a widely known ABM tool. The studies exemplified in this paper are focusing on architectural design, urban and transportation planning research fields, and in this regard, NetLogo and AnyLogic seem to be preferred by researchers from these fields, whereas MATSim and Repast have a relatively narrow usage and not widely used as the other two ABM tools.

Although ABM is a well-known and robust simulation and modelling method that presents the possibility to solve problems that are not easily solved by other modeling approaches, there are still some challenges as Macal (2016) stated in his paper. For example, he specifies the importance of developing better representations of agent behavior (behavioral modelling challenge); developing data analytics and statistical analysis tools, to extract information from simulation results (simulation analytics challenge); understanding how ABM can be efficiently used with other modelling techniques than can operate together (hybrid modeling challenge); developing efficient and effective agent-based models with better computing abilities and simulation workloads (large-scale ABM challenge). Many researchers using ABM in their studies should continue to share their developments on open access platforms, and they should also use easily accessible, open-source tools. Accessibility to both the results of these research and the tools to be used is very important in developing new ABM studies.

## References

- Abar, S., Theodoropoulos, G. K., Lemarinier, P., & O'Hare, G. M. (2017). Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, 24, 13-33. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2017.03.001>
- Allan, R. J. (2010). *Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools*. (Technical Report DL-TR-2010-007). Science and Technology Facilities Council. Retrieved from <https://epubs.stfc.ac.uk/manifestation/5601/DLTR-2010-007.pdf>
- Antonova, V. M., Grechishkina, N. A., & Kuznetsov, N. A. (2020). Analysis of the Modeling Results for Passenger Traffic at an Underground Station Using AnyLogic. *Journal of Communications Technology and*



- AnyLogic. (2021, August 12). *The AnyLogic Company*. Retrieved August 12, 2021, from <https://www.anylogic.com>.
- Arasteh, M. A., & Farjami, Y. (2021). New Hydro-economic System Dynamics and Agent-based Modeling for Sustainable Urban Groundwater Management: A Case Study of Dehno, Yazd Province, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103078>
- Batty, M. (2007). *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press, Cambridge.
- Bedau, M. A. (1997). Weak emergence. In J. Tomberlin (Ed.), *Philosophical perspectives: mind, causation, and world* (pp. 375-399). Vol. 11. Hoboken: Wiley.
- Bedau, M. A. (2003). Artificial life: organization, adaptation and complexity from the bottom up. *Trends in Cognitive Science*, 7(11), 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.012>
- Bellemans, T., Kochan, B., Janssens, D., Wets, G., Arentze, T., & Timmermans, H. (2010). Implementation framework and development trajectory of FEATHERS activity-based simulation platform. *Transportation Research Record*, 2175(1), 111-119. <https://doi.org/10.3141/2175-13>
- Berger, C., & Mahdavi, A. (2020). Review of current trends in agent-based modeling of building occupants for energy and indoor-environmental performance analysis. *Building and Environment*, 173, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106726>
- Bina, K., & Moghadas, N. (2020). BIM-ABM simulation for emergency evacuation from conference hall, considering gender segregation and architectural design. *Architectural Engineering and Design Management*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1761282>
- Caprioli, C., Bottero, M., & De Angelis, E. (2020). Supporting Policy Design for the Diffusion of Cleaner Technologies: A Spatial Empirical Agent-Based Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 581. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100581>

- Carta, S., St Loe, S., Turchi, T., & Simon, J. (2020). Self-organising floor plans in care homes. *Sustainability*, 12(11), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su12114393>
- Cenani, S., & Çagdas, G. (2008). Agent-based system for modeling user behavior in shopping malls: MallSim. In M. Muylle (Ed.), *Architecture in Computro, 26th eCAADe Conference Proceedings* (pp.635-642). Antwerp, Belgium. [http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2008\\_123.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2008_123.content.pdf)
- Cenani, S., Arentze, T. A., & Timmermans, H. J. (2013). Agent-based modeling of cognitive learning of dynamic activity-travel patterns. *Transportation Letters*, 5(4), 184-200. <https://doi.org/10.1179/1942787513Y.0000000003>
- Chen, L. (2012). Agent-based modeling in urban and architectural research: A brief literature review, *Frontiers of Architectural Research*, 1(2), 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.03.003>
- Cheng, J. C., & Gan, V. J. (2013). Integrating agent-based human behavior simulation with building information modeling for building design. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 473-477. <http://doi.org/10.7763/IJET.2013.V5.600>
- Chennoufi, M., Bendella, F., & Bouzid, M. (2018). Multi-agent simulation collision avoidance of complex system: application to evacuation crowd behavior. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI)*, 9(1), 43-59. <http://doi.org/10.4018/IJACI.2018010103>
- Collier, N. T., Ozik, J., & Tataru, E. R. (2020). Experiences in developing a distributed agent-based modeling toolkit with Python. In *2020 IEEE/ACM 9th Workshop on Python for High-Performance and Scientific Computing (PyHPC)* (pp. 1-12). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PyHPC51966.2020.00006>
- Costa, R., Haukaas, T., & Chang, S. E. (2021). Agent-based model for post-earthquake housing recovery. *Earthquake Spectra*, 37(1), 46-72. <https://doi.org/10.1177/8755293020944175>
- Dam, K., Nikolic, I., & Lukszo, Z. (2013). *Agent-based modelling of socio-technical systems*. Springer.

- Dogaroglu, B., Caliskanelli, S.P., & Tanyel, S. (2021). Comparison of intelligent parking guidance system and conventional system with regard to capacity utilisation. *Sustainable Cities and Society*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103152>
- Esposito, D., Schaumann, D., Camarda, D., & Kalay, Y. E. (2020). Multi-agent modelling and simulation of hospital acquired infection propagation dynamics by contact transmission in hospital wards. In Y. Demazeau, T. Holvoet, J. Corchado, S. Costantini (Eds.) *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Trustworthiness* (pp. 118-133). Lecture Notes in Computer Science, vol 12092. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49778-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49778-1_10)
- Fan, W., Chen, P., Shi, D., Guo, X., & Kou, L. (2021). Multi-agent modeling and simulation in the AI age. *Tsinghua Science and Technology*, 26(5), 608-624. <https://doi.org/10.26599/TST.2021.9010005>
- Farhan, M., Göhre, B., & Junprung, E. (2020). Reinforcement learning in anylogic simulation models: a guiding example using pathmind. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 3212-3223). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9383916>
- Giorgione, G., Bolzani, L., & Viti, F. (2021). Assessing two-way and one-way carsharing: an agent-based simulation approach. *Transportation Research Procedia*, 52, 541-548. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.064>
- Glavatskiy, K. S., Prokopenko, M., Carro, A., Ormerod, P., & Harre, M. (2021). Explaining herding and volatility in the cyclical price dynamics of urban housing markets using a large-scale agent-based model. *SN Business & Economics*, 1(6), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00077-2>
- Google (2021, 12 August). *Google trends*. Retrieved August 12, 2021, from <https://trends.google.com/trends/explore?q=%2Fm%2F02tfsj,%2Fm%2F0bs8jwz,%2Fm%2F0b42hj,%2Fm%2F04n3936>
- Graur, D., Bruno, R., Bischoff, J., Rieser, M., Scherr, W., Hoefler, T., & Alonso, G. (2021). Hermes: Enabling efficient large-scale simulation in MATSim. *Procedia Computer Science*, 184, 635-641. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.079>
- Guo, Z. & Li, B. (2017). Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding system. *Frontiers of Architectural Research*, 6, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.11.003>

- Haer, T., Husby, T. G., Botzen, W. W., & Aerts, J. C. (2020). The safe development paradox: An agent-based model for flood risk under climate change in the European Union. *Global Environmental Change*, 60, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102009>
- Hager, K., Rauh, J., & Rid, W. (2015). Agent-based modeling of traffic behavior in growing metropolitan areas, *Transportation Research Procedia*, 10, 306-315. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.080>
- Hassanpour, S., Rassafi, A. A., Gonzalez, V., & Liu, J. (2021). A hierarchical agent-based approach to simulate a dynamic decision-making process of evacuees using reinforcement learning. *Journal of Choice Modelling*, 39, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2021.100288>
- Hawe, G. I., Coates, G., Wilson, D. T., & Crouch, R. S. (2012). Agent-based simulation for large-scale emergency response: A survey of usage and implementation. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 45(1), 1-51. <https://doi.org/10.1145/2379776.2379784>
- Hébert, G. A., Perez, L., & Harati, S. (2018). An agent-based model to identify migration pathways of refugees: the case of Syria. In L. Perez, E. K. Kim, R. Sengupta (Eds.) *Agent-Based Models and Complexity Science in the Age of Geospatial Big Data. Advances in Geographic Information Science* (pp. 45-58). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65993-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65993-0_4)
- Holland, J. H. (2006). Studying complex adaptive systems. *Journal of Systems Science and Complexity*, 19(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11424-006-0001-z>
- Hoertel, N., Blachier, M., Blanco, C., Olfson, M., Massetti, M., Rico, M. S., Limosin, F., & Leleu, H. (2020). A stochastic agent-based model of the SARS-CoV-2 epidemic in France. *Nature medicine*, 26(9), 1417-1421. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1001-6>
- Holland, J. H. (1996). *Hidden order: how adaptation builds complexity*. Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2012). High-resolution destination choice in agent-based models, *TRB 2012 Annual Meeting Preprint*, 12-1988, *Transportation Research Board*, Washington, D.C. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000053944>
- Hörl, S., & Balac, M. (2021). Synthetic population and travel demand for Paris and Île-de-France based on open and publicly available data.

*Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 130, 1-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103291>

Kaligotla, C., Ozik, J., Collier, N., Macal, C. M., Lindau, S., Abramsohn, E., & Huang, E. (2018). Modeling an information-based community health intervention on the south side of Chicago. In *2018 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2600-2611). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/WSC.2018.8632525>

Kirdar, G., Cenani, S., & Cagdas, G. (2019). Smart bicycle-sharing system design for the historical peninsula of Istanbul. *Idealkent*, 10(27), 630-652.  
<https://doi.org/10.31198/idealkent.507208>

Kochenderfer, M. J. (2015). *Decision making under uncertainty: theory and application*. MIT press.

Kono, T., & Haneda, K. (2021). Simulation-supported maintenance design and decision-making using agent-based modeling technology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 70, 13-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.03.014>

Koskela, O., Dempers, C., Kymäläinen, M., & Nummela, J. (2021). Simulating a Biorefinery Ecosystem to Manage and Motivate Sustainable Regional Nutrient Circulation. *Technology Innovation Management Review*, 11(2), 33-43.

Kuklová, J. (2021). Highway modeling in Anylogic for multi-agent approach to smart city management. In *2021 Smart City Symposium Prague (SCSP)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SCSP52043.2021.9447402>

Li, Y., Zhang, Y., & Cao, L. (2020). Evaluation and selection of hospital layout based on an integrated simulation method. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2560-2568). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384091>

Li, Z. Y., Tang, M., Liang, D., & Zhao, Z. (2016). Numerical simulation of evacuation in a subway station. *Procedia Engineering*, 135, 616-621.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.126>

Liu, R., Jiang, D., & Shi, L. (2016). Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios, *Frontiers of Architectural Research*. 5(1), 111-125. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.12.002>

- Llorca, C., & Moeckel, R. (2019). Effects of scaling down the population for agent-based traffic simulations. *Procedia Computer Science*, 151, 782-787. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.106>
- Lu, P., Zhang, Z., Li, M., Chen, D., & Yang, H. (2020). Agent-based modeling and simulations of terrorist attacks combined with stampedes. *Knowledge-Based Systems*, 205, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106291>
- Macal, C. M., & North, M. J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*. (pp. 14-pp). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574234>
- Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10(2), 144-156. <https://doi.org/10.1057/jos.2016.7>
- Macal, C. M., Collier, N. T., Ozik, J., Tatara, E. R., & Murphy, J. T. (2018). Chisim: An agent-based simulation model of social interactions in a large urban area. In *2018 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 810-820). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2018.8632409>
- Macal, C. M. (2020). Agent-based modeling and artificial life. In M. Sotomayor, D. Pérez-Castrillo, F. Castiglione (Eds.) *Complex Social and Behavioral Systems. Encyclopedia of Complexity and Systems Science Series*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0368-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0368-0_7)
- Manley, E., & Cheng, T. (2018). Exploring the role of spatial cognition in predicting urban traffic flow through agent-based modelling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.020>
- Marzouk, M., & Daour, I. (2018). Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. *Safety Science*, 109, 174-185. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023>
- MATSim. (2021, August 12). *Multi-Agent Transportation Simulation*. Retrieved August 12, 2021, from <http://www.matsim.org>
- Melnikov, V. R., Krzhizhanovskaya, V. V., Lees, M. H., & Boukhanovsky, A. V. (2016). Data-driven travel demand modelling and agent-based traffic simulation in Amsterdam urban area, *Procedia Computer Science*, 80, 2030-2041. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.523>

- Meyers, R. A. (Ed.). (2012). *Mathematics of complexity and dynamical systems*. Springer Science & Business Media.
- Mora-Herrera, D. Y., Huerta-Barrientos, A., & Zuniga-Escobar, O. (2021). A review of agent-based modeling for simulation of agricultural systems. *DYNA*, 88(217), 103-110. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.89133>
- Muravev, D., Hu, H., Rakhmangulov, A., & Mishkurov, P. (2021). Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port. *International Journal of Information Management*, 57, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102133>
- North, M. J., Collier, N. T., Ozik, J., Tatara, E. R., Macal, C. M., Bragen, M., & Sydelko, P. (2013). Complex adaptive systems modeling with Repast Symphony. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 1(3), 1-26. <https://doi.org/10.1186/2194-3206-1-3>
- Onggo, B. S., Yilmaz, L., Klügl, F., Terano, T., & Macal, C. M. (2019). Credible agent-based simulation - An illusion or only a step away?. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 273-284). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004716>
- Park, B. H., Aziz, H. A., Morton, A., & Stewart, R. (2018). High performance data driven agent-based modeling framework for simulation of commute mode choices in metropolitan area. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 3779-3784). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569232>
- Railsback, S. F., Lytinen, S. L., & Jackson, S. K. (2006). Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations. *Simulation*, 82(9), 609-623. <https://doi.org/10.1177/0037549706073695>
- Rothfeld, R., Fu, M., Balać, M., & Antoniou, C. (2021). Potential Urban Air Mobility Travel Time Savings: An Exploratory Analysis of Munich, Paris, and San Francisco. *Sustainability*, 13(4), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su13042217>
- Russell S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: a modern approach*. (4th edition). Pearson.
- Salgado, M., & Gilbert, N. (2013). Agent based modelling. In *Handbook of quantitative methods for educational research* (pp. 247-265). Brill Sense.

- Silverman, E., Gostoli, U., Picascia, S., Almagor, J., McCann, M., Shaw, R., & Angione, C. (2021). Situating agent-based modelling in population health research. *Emerging Themes in Epidemiology*, 18(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12982-021-00102-7>
- Slovic, P., Fischhoff, B., & Lichtenstein, S. (1977). Behavioral decision theory. *Annual review of psychology*, 28(1), 1-39.
- Vizzari, G., Crociani, L., & Bandini, S. (2020). An agent-based model for plausible wayfinding in pedestrian simulation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103241>
- Vo, T. T. A., van der Waerden, P., & Wets, G. (2016). Micro-simulation of car drivers' movements at parking lots. *Procedia Engineering*, 142, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.019>
- Wang, Z., & Jia, G. (2021). Tsunami evacuation risk assessment and probabilistic sensitivity analysis using augmented sample-based approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102462>
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- Yıldız, B., & Çağdaş, G. (2020). Fuzzy logic in agent-based modeling of user movement in urban space: Definition and application to a case study of a square. *Building and Environment*, 169, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106597>
- Zhuo, L., & Han, D. (2020). Agent-based modelling and flood risk management: a compendious literature review. *Journal of Hydrology*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125600>
- Ziemke, D., Knapen, L., & Nagel, K. (2021). Expanding the analysis scope of a MATSim transport simulation by integrating the FEATHERS activity-based demand model. *Procedia Computer Science*, 184, 753-760. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.022>





# Generating Optimal High-rise Building Suggestions According to Solar Radiation and Shade Using Genetic Algorithms

Erenalp Saltık<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3109-8894 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Medipol University, School of Fine Arts, Design and Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey.

Heating and cooling costs and energy consumption in buildings constitute a great burden. In addition, because high-rise buildings create long and large shadows, they limit and sometimes completely prevent the hours of direct sunlight for the surrounding buildings. Due to these two features, high-rise buildings increase the energy consumption of the city and reduce the comfort of life. High-rise buildings also try to create as much area as possible, as they have a specific purpose of maximum rentable area. Can we reduce energy consumption in the building itself and its surroundings, and increase the quality of life by using evolutionary approaches in the concept design phase of high-rise buildings? The aim of this study is to achieve these goals at the optimum level without reducing the targeted total building area excessively. It is an important feature that the designer can see and intervene in the concept phase of different solution proposals that meet these conditions by using genetic algorithms. Numerous studies have been conducted on form and mass in architectural design using evolutionary approaches and genetic algorithms. With developments in computation, the number and level of detail of these studies have increased and the computation time has shortened. In this study, Wallacei plugin, which is an evolutionary approach plugin using NSGA-II / Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II, was used. In addition to the studies focusing on the urban texture and features with genetic algorithms, there are also studies focusing on the building design and the building envelope. This study focuses on the mass of the building and its effect on the urban fabric and can be a method for early-stage mass analysis and design. In order to test these suggestions, a sample existing high-rise building and its different alternatives produced by evolutionary algorithms were compared by fitness values. The Willis Tower (formerly Sears Tower) in Chicago was chosen as an example building. The simple but effective mass form of the structure provides advantages and diversity in analysis and calculations. The case building is located in a climatic region like Chicago where all four seasons are experienced, and its effects on its surroundings can be easily observed. In the methodology, we calculate the total floor area of the current design of Sears Tower, the solar radiation it receives in a certain period, the shadow it casts on the nearby buildings and the sky view from different parts of the building as first step. The second step is to make choices among the alternatives produced according to these four eligibility criteria. As a result of the study, forms that provide good fitness values from the original building in different criteria were produced, and results that were better than the original design in all other values were obtained by meeting the building area criterion. Rhinoceros 3D program and sub-plugins of Grasshopper plugin were used to make these analyzes. The Elk plugin was used for city data of Chicago. The Ladybug plugin was used for sun and shadow analysis. The Wallacei plugin was used for simulation and analysis with genetic algorithms. At this stage of the study, materials and structural elements are out of scope, analyzes are made over mass studies.

**Keywords:** Genetic Algorithms, High-rise Buildings, Optimization, Solar Radiation, Shade.

25

**Received:** 19.08.2021

**Accepted:** 15.09.2021

**Corresponding Author:**  
erenalpsaltik@gmail.com

Saltık, E. (2021). Generating optimal high-rise building suggestions according to solar radiation and shade using genetic algorithms. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 25-50.  
<https://doi.org/10.53710/jcode.984567>

# Genetik Algoritmalar Kullanılarak Güneş Işınımı ve Gölgeye Göre Optimal Yüksek Yapı Form Önerileri Üretilmesi

Erenalp Saltık<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3109-8894<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Medipol Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Yüksek yapılarda ağırlıklı olarak yapay iklimlendirmeden dolayı ısıtma ve soğutma giderleri ve enerji tüketimi büyük bir yük oluşturmaktadır. Bunun yanında yüksek yapılar uzun ve büyük gölgeler yarattığı için çevrelerindeki yapıların da doğrudan gün ışığı aldığı saatleri kısıtlamakta ve bazen tamamen engellemektedirler. Yüksek yapılar bu iki özellik ile şehrin enerji tüketimini arttırmakta ve yaşam konforunu azaltmaktadır. Bu çalışmanın amacı yüksek yapıların konsept tasarım aşamasında evrimsel yaklaşımlar kullanılarak, hedeflenen toplam yapı alanını çok fazla azaltmadan belirli kriterleri optimum düzeyde sağlamak, binanın kendisi ile çevresinde enerji tüketimini azaltmak ve yaşam kalitesini arttırmaktır. Tasarımcının genetik algoritmaları kullanarak bu koşulları sağlayan farklı çözüm önerilerini konsept aşamasında görebilmesi ve müdahale edebilmesi önemli bir özelliktir. Genetik algoritmalar ile kentsel doku ve özelliklerine odaklanan çalışmalar yanında yapının kendisine ve yapı kabuğuna odaklanan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışma yapının kütlesine ve kentsel dokuya etkisine odaklanmakta olup, ileride kütle tasarımı ve analizinde kullanılacak bir yöntem olabilir. Bu önerileri test edebilmek için örnek bir mevcut yüksek yapı ve onun evrimsel algoritmalarla üretilmiş farklı alternatifleri karşılaştırılmıştır. Örnek yapı olarak Chicago'daki Willis Tower (eski ve bilinen adı Sears Tower) seçilmiştir. Çalışmanın yönteminde ilk aşamada Sears Tower'ın mevcut tasarımının toplam kat alanı, 21 Haziran tarihinde gündüz saatlerinde aldığı güneş ışınımı, yakın çevredeki binalara yaptığı gölge ve binanın farklı bölgelerinden gökyüzü görünümü hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise bu dört uygunluk kriterine göre üretilen alternatifler arasından seçimler yapılmıştır. Çalışma sonucunda farklı kriterlerde orijinal yapıdan iyi değerler sağlayan formlar üretilmiş, yapı alanı kriterini karşılayarak diğer bütün değerlerde orijinal tasarımdan iyi olan sonuçlara da ulaşılmıştır. Bu analizleri yapabilmek için Rhinoceros 3B programı ve Grasshopper eklentisinin alt eklentileri kullanılmıştır. Elk eklentisi Chicago ile ilgili şehir verileri ve modelleme için, Ladybug eklentisi güneş ve gölge analizleri için, Wallacei eklentisi de genetik algoritmalar ile simülasyon ve analizler yapmak için kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında malzemeler ve yapı elemanları kapsam dışıdır, analizler kütle çalışmaları üzerinden yapılmaktadır.

**Teslim Tarihi:** 19.08.2021

**Kabul Tarihi:** 15.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

erenalpsaltik@gmail.com

Saltık, E. (2021). Genetik algoritmalar kullanılarak güneş ışınımı ve gölgeye göre optimal yüksek yapı form önerileri üretilmesi. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 25-50. <https://doi.org/10.53710/jcode.984567>

**Anahtar Kelimeler:** Genetik Algoritmalar, Yüksek Yapılar, Optimizasyon, Güneş Işınımı, Gölge.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

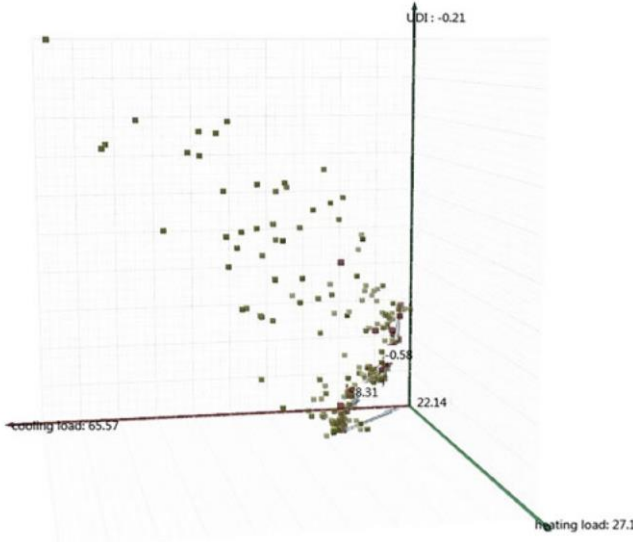
Yapılarda ısıtma ve soğutma giderleri ve enerji tüketimi büyük bir yük oluşturmaktadır (Lima ve diğ., 2019). Özellikle yazın soğutma için harcanan enerji kışın ısıtma için harcanan enerjiden de fazladır (Prieto ve diğ., 2017). Yüksek yapılarda ise ısı konforuna ulaşmak için bu harcamalar iyice artmaktadır. Çünkü yüksek yapılarda mecburen yapay iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Yapılar yüksek olduğu için iklim koşullarına da daha sert olarak maruz kalmaktadır. Bunun yanında yüksek yapılar uzun ve büyük gölgeler yarattığı için çevrelerindeki yapıların da doğrudan gün ışığı aldığı saatleri kısıtlamakta ve bazen tamamen engellemektedirler. Yüksek yapılar bu iki özellik ile şehrin enerji tüketimini arttırmakta ve yaşam konforunu azaltmaktadır. Yüksek yapılar bir yandan da belirli bir maliyeti ve amacı olduğu için mümkün olduğu kadar fazla alan yaratmaya çalışır.

Bu çalışmanın amacı yüksek yapıların konsept tasarım aşamasında evrimsel yaklaşımlar kullanılarak, hedeflenen toplam yapı alanını çok fazla azaltmadan belirli kriterleri optimum düzeyde sağlamak, binanın kendisi ile çevresinde enerji tüketimini azaltmak ve yaşam kalitesini arttırmaktır. Tasarımcının genetik algoritmaları kullanarak bu koşulları sağlayan farklı çözüm önerilerini konsept aşamasında görebilmesi ve müdahale edebilmesi önemli bir özelliktir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Holland'ın (1975) temellerini attığı genetik algoritmalar doğadaki evrimsel süreçlerden yola çıkarak yeni jenerasyonlarla en iyi çözüme ulaşmayı amaçlayan bir optimizasyon yöntemidir. Bäck (1996) evrimsel algoritmaları detaylı olarak incelemiş ve genetik algoritmalar ile diğer evrimsel algoritmaların farklarını ortaya koymuştur. Mitchell (1998) ise genetik algoritmaların detaylarına girerek farklı disiplinlerdeki uygulamalarını örneklendirmiştir. Bilgisayarların ve dolayısıyla hesaplama olanaklarının gelişmesi ile bu çalışmaların sayıları ve detay düzeyleri artmış, hesaplama süreleri kısalmıştır. Önceleri bilgisayar bilimleri ağırlıklı olan çalışmalar mimari tasarımda hesaplamalı tasarımın yaygınlaşması ile mimarların da ilgisini çekmeye başlamıştır. Genetik algoritmalar mimarlıkta farklı tasarım aşamaları ve ölçeklerde kullanılmaya başlanmıştır. İlk yıllarda bu çalışmalar iki boyutlu düzlem olan kat planlarında yoğunlaşmıştır. Rebaodengo ve Reorda (1996) gibi

araştırmacılar kat planlarındaki odaların boyutlarını ve birbirleri ile ilişkilerini dikkate alan genetik algoritmaya dayalı basit programlar geliştirmeye başlamışlardır. Miles ve diğ. (2001) gibi tasarımcılar da bu yöntemleri ticari binalar gibi farklı kullanım amaçlarına yönelik uygulamışlardır. Ouarghi ve Krarti (2006) ofis binalarının iki boyutlu düzlemde plan Őekillerini belirlemek üzere çalışmıştır. Tuhus-Dubrow ve Krarti (2010) konutların kabuk Őekilleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Jalali ve diğ. (2019) çözümlerinde ofis binalarının cephelerinde uygun açıklıkları seçmeye odaklanmışlardır (**Şekil 1**).



**Şekil 1:** Çözüm uzayındaki Pareto optimum çözümler (Pareto front solutions at solution space) (Jalali et al., 2019).

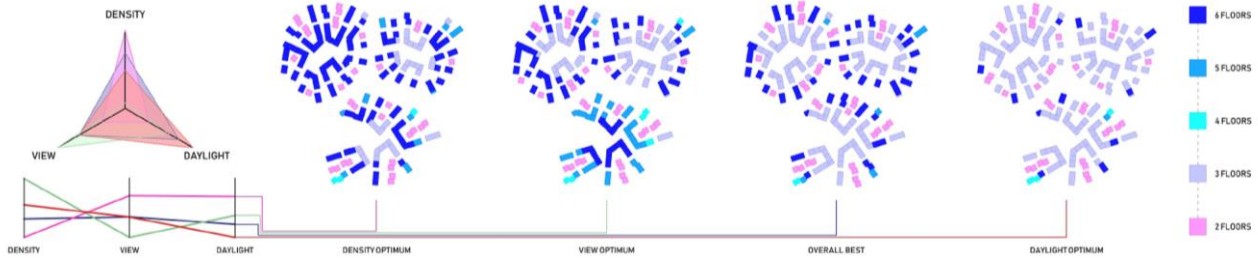
Genetik algoritmalar bir yandan da mimarlığın farklı alanlarında kullanılmaya başlanmış, Caldas ve Norford'un (2002) çalışmaları binalarda toplam enerji tüketimini optimize etmeye odaklanmıştır. Wright ve diğ. (2002) binanın enerji tüketimi ve ısıl konforun çelişen özelliklerini optimize etmek için genetik algoritmaları kullanmışlardır. Jin ve Jeong (2014) manuel olarak topladıkları ısıl verileri serbest formlu yapıların tasarımında ele almışlardır. İlbeği ve diğ. (2020) yapay zekâ ve genetik algoritmalar ile ofis binalarında enerji tüketimini optimize etmişlerdir. Genetik algoritmalar strüktürel tasarım ve yapı elemanları tasarımında da kullanılmaya başlanmış, Aldwaik ve Adeli (2014) farklı yüksek yapıların taşıyıcı elemanlarını incelemiş ve genetik algoritmalar kullanılarak boyutlarını idealize etmeye yoğunlaşmışlardır. Orhan ve Taşkın (2021) yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinde minimum malzemeyi kullanmak için uğraşmışlardır. Yapı bilgi modellemesi

sürecinin gelişmesi ile uygulama projesi aşamasına da genetik algoritmaları dahil etmek üzere Lim ve diğ. (2018) gibi tasarımcıların araştırmaları derinleşmiştir. Yüksek yapıların optimizasyonu tasarım eğitiminde de güncel bir konu olmuştur ve Pasternak ve Kwiecinski'nin (2015) çalışmalarında olduğu gibi mimari tasarım stüdyolarında dönem projesi olarak da çalışılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Deb ve diğ. (2002) tarafından geliştirilen NSGA-II / Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (Baskılanamayan Sıralı Genetik Algoritma) algoritmasını kullanan bir evrimsel yaklaşım eklentisi olan Wallacei eklentisi kullanılmıştır. Ladybug gibi güneş ve enerji analizi ile ilgili eklentiler geliştikçe bu tür veriler de çalışmalara daha çok dahil edilmeye başlamıştır.

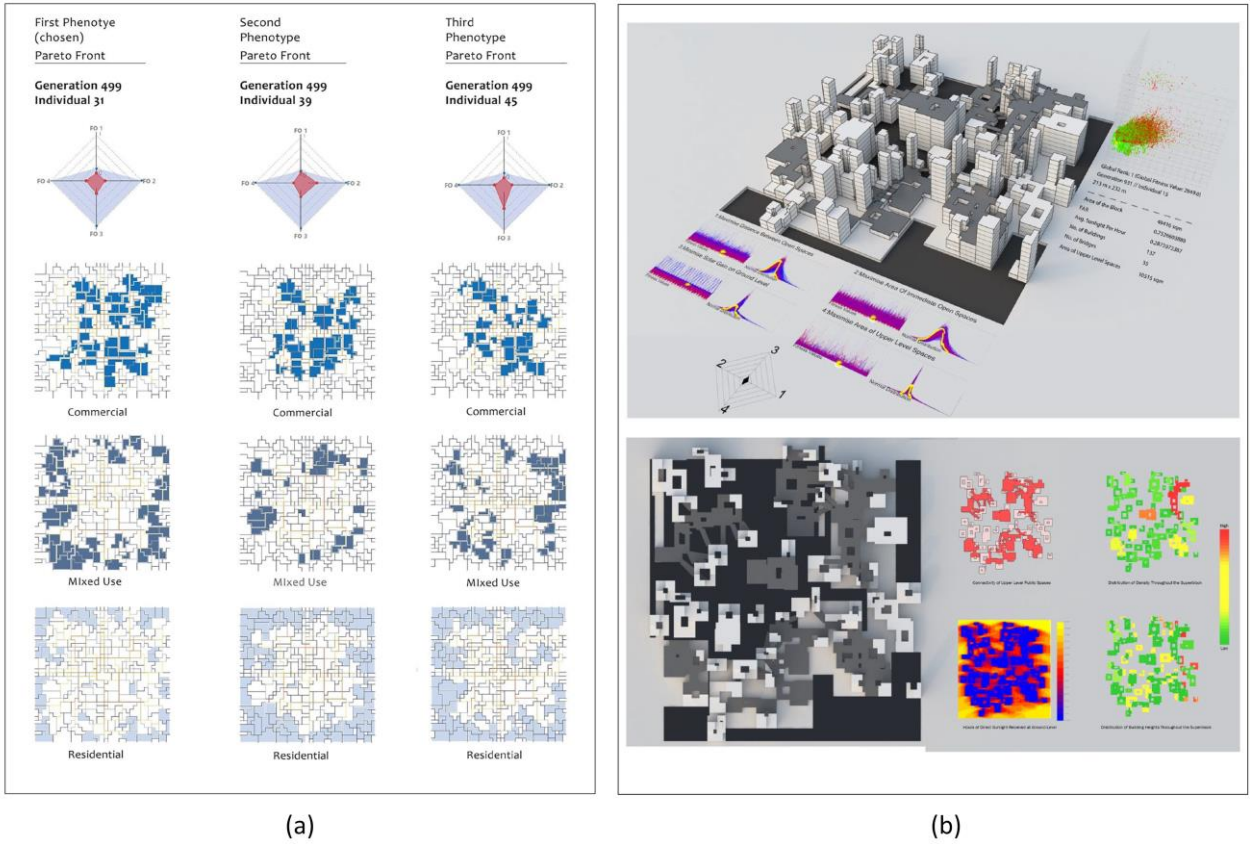
NSGA-II yöntemi ve çevre analizi kullanılarak yapılan literatürdeki örnek çalışma sayısı oldukça fazladır ve genetik algoritmalar mimari ve kentsel tasarım alanında güncel bir konudur. Navarro ve diğ. (2018) genetik algoritmaları kullanarak Barcelona şehrindeki mevcut yapı adalarının kentle ve birbirleri ile ilişkilerini bozmadan yoğunluğunu arttırmaya yönelik çalışmışlardır. Koenig ve diğ. (2020) kentsel tasarımda birbirinden kopuk çalışma alanlarını entegre etmeye yönelik bir model önermişlerdir. Petrov ve Walker (2020) kentsel tasarım yarışmalarında farklı uygunluk kriterlerini önceleyerek ulaştıkları sonuç önerilerini incelemişlerdir (Şekil 2).

**Şekil 2:** Farklı uygunluk kriterlerine göre en iyi çözümler (Best solutions for different fitness objectives) (Petrov & Walker, 2020).



Miao ve diğ. (2020) kentsel tasarımdaki genetik algoritma kullanımının tarihsel gelişimini incelemiştir. Randall ve diğ. (2020) Hong Kong'daki mevcut bir yapı bloğunun iyileştirilmesine yönelik çalışmışlardır. Makki ve Showkatbakhsh (2018) çalışmalarında nüfus öncelikli bir yapı adası tasarlamışlardır. Choi ve diğ. (2020) sosyal ve kültürel girdilere göre Kyoto şehrindeki büyümeye yönelik yeni yapı adaları önermişlerdir. Makki ve diğ. (2018) kentsel dokuda çevresel analizleri de kullanan

entegre bir sistem önermişlerdir (Şekil 3). Showkatbakhsh ve diğ. (2021) güneş ışınımına göre değişen bir yapı kabuğu geliştirmişlerdir.



Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genel eksikliğin entegre bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Mimari çalışmalar iki boyutlu çalışmaların alan büyüklüğü gibi değerlerine odaklanmıştır. Üç boyutlu çalışmalarda da çevresel veriler manuel olarak veya başka programlardan aktarılarak kullanılmaya çalışılmıştır. Yapı tasarım aşamalarına baktığımızda da uygulama aşamasındaki çalışmaların cephelerinin güneş ışınımı gibi çevresel verilere odaklandığı görülmektedir. Kentsel tasarım alanında erken tasarım aşamasında yapı adalarının tasarımında çevresel analizler kullanılan entegre yöntemler görülmeye başlanmıştır. Mimari tasarımın erken aşamalarında da yapı form önerileri geliştirebilmek için bu tür çalışmalar yapılmalıdır. Hesaplamalı tasarım ve eklentilerin gelişmesi ile buna ulaşmak kolaylaşmıştır. Bu çalışma kapsamında yüksek yapıların erken tasarım aşamasında çevresel veriler ve genetik algoritmalar kullanılarak entegre ve eş zamanlı biçimde, herhangi bir yapı formuna uygulanabilecek bir

**Şekil 3:** Yapı adaları için çözüm önerileri  
(Solutions for building blocks)  
(Choi et al., 2020; Makki et al., 2018).

yöntem ile akış önerilmiş ve mevcut bir yapı üzerinde denenerek örneklendirilmiştir.

## 2. YÖNTEM VE KAPSAM (METHODOLOGY AND SCOPE)

Bu çalışma kapsamında yüksek yapıların erken tasarım aşamasında iklim verileri ve çevredeki yapılar kullanılarak form önerileri üretecek bir yöntem önerilmiştir. Yöntemde uygun form önerilerinin seçilebilmesi için genetik algoritmalar kullanılmıştır. Yöntemin son aşamasında ise orijinal öneri ile belirlenen kriterlere göre üretilen formlar karşılaştırılmaktadır.

Genetik algoritmaların uygulanabilmesi için genler (girdiler) ve uygunluk kriterleri (çıktılar) belirlenmeli ve tanımlanmalıdır. Genler simülasyonun çalışmak için kullanacağı değişkenlerdir. Bu yöntem kapsamında erken tasarım aşamasında kullanılacak iki gen grubu önerilmiştir. Birinci gen grubu 3 boyutlu yapı kütle modelinden elde edilen toplam kat sayısıdır. Tek bir kütlede oluşan yapı formunun kat sayısı kullanılabileceği gibi, n sayıda parçadan oluşan yapı formunun her bir parçasının kat sayısı da kullanılabilir. Simülasyon sürecinde algoritma tarafından farklı kat sayıları denenerek belirlenen hedeflere ulaşılmaya çalışılmaktadır. İkinci gen grubu ise Elk eklentisinden elde edilen açık kaynaklı parsel ve yol verilerine göre yapının parsel sınırları içinde yapının X ve Y düzleminde hareket mesafesini belirleyen değişkenlerdir. Elk eklentisi verileri açık kaynaklı haritalardan elde etmektedir (OpenStreetMap, 2021). Simülasyon sürecinde algoritma tarafından yapı hedeflere ulaşmak için X ve Y düzleminde hareket ettirilmektedir. İki gen grubu birlikte çalışır ve simülasyon iki grubun değerlerini de aynı anda kullanır. Genleri belirlerken simülasyonda sıfır değerli sonuçlar yaratacak veya hata verdirecek sayılardan kaçınılmalıdır. Örneğin sıfır katlı bir yapıda hesaplamalar yapılamaz. Tasarımcının belirlediği herhangi bir yapı formu ve herhangi bir konum genler için kullanılabilir. Yöntemde diğer önemli bileşen ise uygunluk kriterleridir (çıktılar). Uygunluk kriterleri belirlenirken birbirleri ile paralel veya tamamen zıt sonuçlar verecek kriterlerden kaçınılmalıdır. Fakat seçilen kriterlerin simülasyonu farklı sonuçlara ulaştırmaya veya zıt yönlerde çekmeye çalışan kriterler olması önemlidir. Çünkü bu yöntemde genetik algoritmaların kullanılmasındaki amaç tasarımcının erken tasarım aşamasında birbirleri ile çatışan tasarım hedefleri arasından koşullara göre en optimum çözümü seçmesini sağlamaktır. Az sayıda uygunluk



kriteri çözüm uzayını daraltmakta, çok fazla sayıda uygunluk kriteri de optimum bir çözüm bulmayı oldukça zorlaştırmaktadır. Bu yüzden bu yöntem kapsamında 4 uygunluk kriteri belirlenmiştir ve bunlar F01, F02, F03 ve F04 olarak adlandırılmıştır.

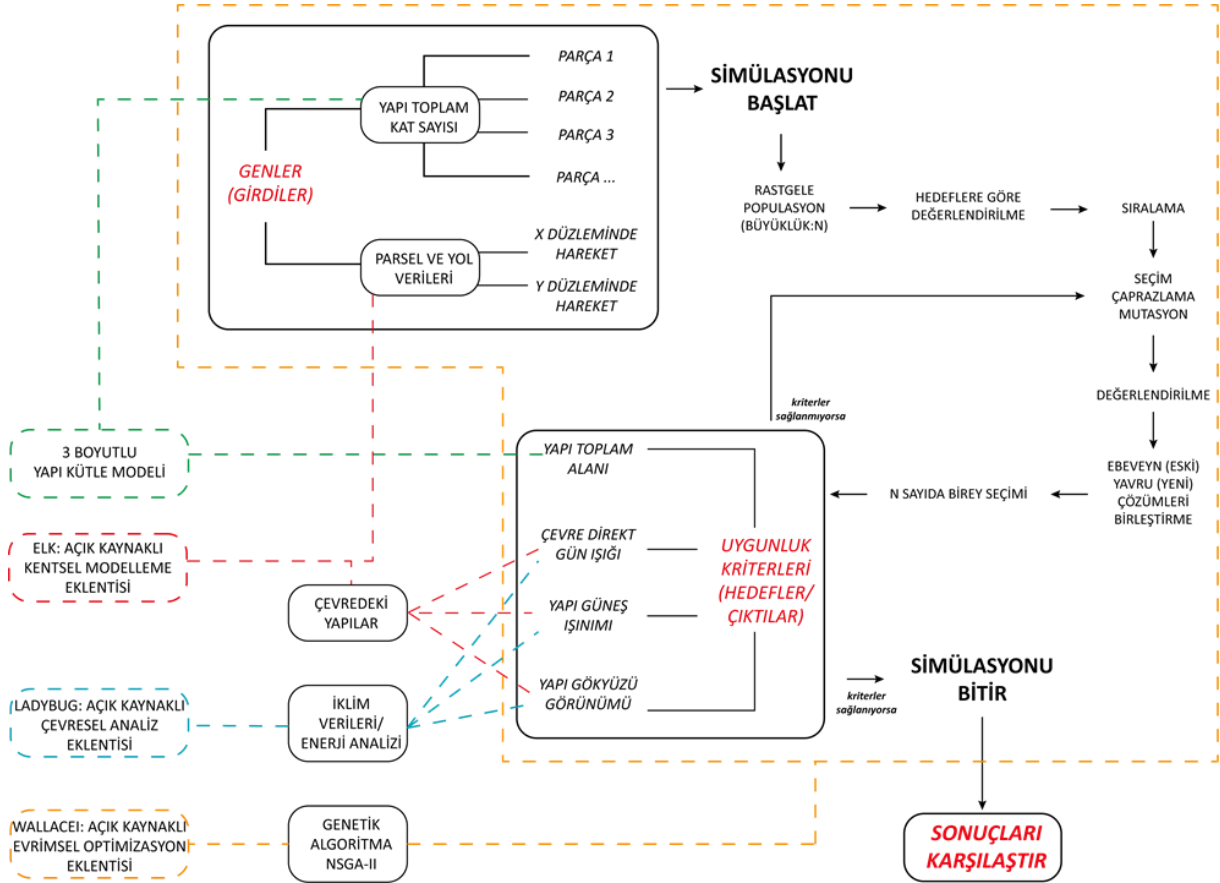
F01 yapı toplam alanını belirtmektedir ve 3 boyutlu yapı form modelinden hesaplanmaktadır. Yöntemde yapı toplam alanının en az ne kadarına inilebileceği seçilebilmektedir. Yapı toplam alanı yüksek yapılar genelde ofis veya konut yapıları olduğu için diğer kriterler uğruna çok fazla azalmaması istenen bir kriterdir. Kamusal yapılarda bu oran diğer yapı türlerine göre daha düşük alınabilir. F02 ise çevredeki seçilen yapılara veya yollara gelen doğrudan gün ışığı saatini görsel konfor amacıyla yükseltmeyi amaçlar. Özellikle kent merkezlerindeki yüksek yapılar yolların dar ve parsellerin sık olması sebebi ile çevrelerindeki yapılara uzun gölgeler oluşturur ve görsel konforlarını olumsuz etkiler. Bu çalışma kapsamında gün ışığı verileri Ladybug eklentisinden, çevredeki yapılar da Elk eklentisinden elde edilmektedir. Ladybug eklentisi iklim verilerini çeşitli ölçüm istasyonlarından elde etmektedir (EnergyPlus, 2021). Önerilen yöntemde tasarımcı analiz için çevredeki etkilenen binaları ve herhangi bir tarih aralığını seçebilmektedir. F03 kriteri de yapıya gelen güneş ışımasını kWh/m<sup>2</sup> olarak belirtmektedir. Bunun hesaplanabilmesi için ışıma verileri Ladybug eklentisinden, ışıma engel teşkil eden çevre binalar ise Elk eklentisinden gelmektedir. Tasarımcı istenilen tarih aralığını seçebilir ve yapının bulunduğu iklim bölgesine göre bu değeri azaltmaya veya arttırmaya yönelik çalışmalar yapabilir. Bu kriter yapının kendisindeki ısı konfor ile ilgilidir ve yapının bulunduğu konuma göre ısıtma veya soğutma yüklerini azaltmak için kullanılabilir. Son kriter olan F04 gökyüzü görünümüdür ve manzara ile değil ısı konfor ile ilişkilidir. Özellikle kentsel alanlarda yapılarda gökyüzü görünümü düşük yüzeyler geceleri gün boyunca biriktirdikleri ısıları verememekte ve ısı adaları oluşmasına neden olmaktadır (Dirksen ve diğ., 2019). Bu kriter için de çevredeki engel oluşturan yapılar Elk eklentisinden elde edilmekte, hesaplamalar Ladybug eklentisi ile yapılmaktadır. Bu kriter tarihten ve güneşten bağımsızdır.

Önerilen yöntemde genler ve uygunluk kriterleri belirlendikten sonra Wallacei eklentisinde evrimsel simülasyon başlatılır. Tasarımcı istenilen çözüm uzayına ulaşabilmek için jenerasyon ve her bir jenerasyondaki birey sayısını seçebilmektedir. Bunun yanında çözümleri çeşitlendirmek için çaprazlama ve mutasyon olasılıklarını da belirleyebilmektedir.

Simülasyon seçilen büyüklükte rastgele bir popülasyon ile başlar ve genleri değiştirerek her jenerasyonda hedeflenen kriterlere ulaşmaya çalışır. Uygunluk kriterlerine ulaşına kadar seçim, çaprazlama ve mutasyonlarla popülasyonda değişiklikler yaparak yeni jenerasyonlar üretir. İstenilen sonuçlar sağlanmıyorsa popülasyon büyütülebilir veya olasılıklar değiştirilebilir. İstenilen sonuçlar sağlandıysa simülasyon bitirilir ve seçilen form önerileri hem uygunluk kriterlerinin sayısal değerleri hem de yapı formu (fenotip) olarak orijinal yapı formu ve değerleri ile karşılaştırılır.

Tasarımcı tasarım problemlerinin gerekliliklerine bağlı olarak çözümler arasından belirli kriterleri sağlayan çözümleri seçebilir veya bütün kriterlerde optimum değerleri sağlayan bir seçim yapabilir. Bu sayede tasarımcı erken tasarım aşamasında seçtiği çözüm üzerinden ilerleyerek uygulama aşamasında enerji tasarrufu amacı ile yapılacak kesin hesaplar için fikir edinebilir veya ön kabuller yapabilir. Yöntem erken tasarım aşamasındaki herhangi bir konumdaki herhangi bir yapı formuna uygulanabilir (Şekil 4).

Şekil 4: Yöntem akış diyagramı  
(Workflow of proposed method).



### 3. VAKA ANALİZİ (CASE STUDY)

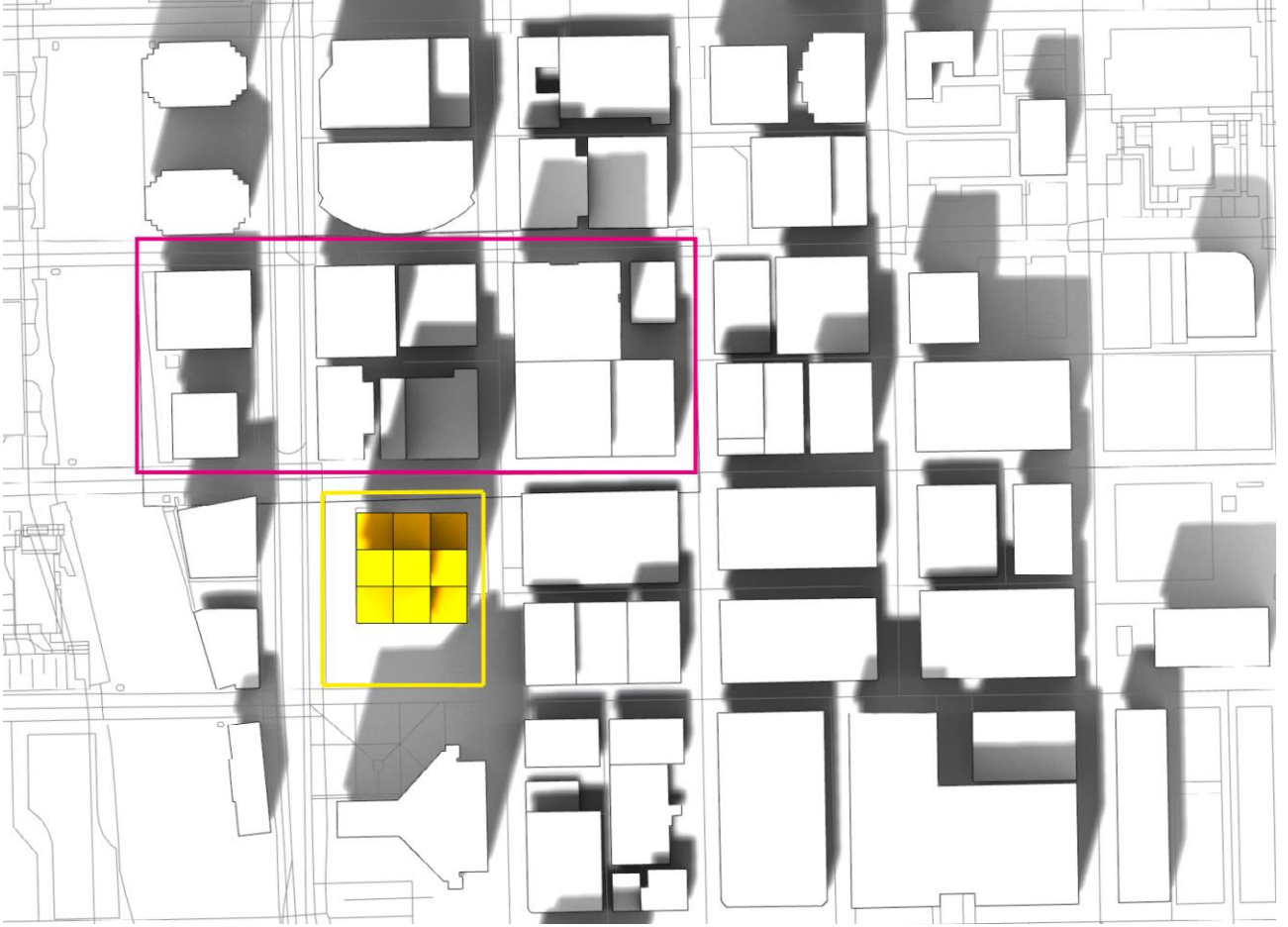
Önerilen yöntemi test edebilmek için örnek bir mevcut yüksek yapı ve onun evrimsel algoritmalarla üretilmiş farklı alternatifleri karşılaştırılmıştır. Örnek yapı olarak Chicago'daki Willis Tower (eski ve bilinen adı Sears Tower) seçilmiştir. Yapı yaklaşık 25 yıl boyunca dünyanın en yüksek binası ünvanını korumuştur. Yapının basit ama etkili formu analiz ve hesaplamaların yapılmasında avantaj ve çeşitlilik sağlamaktadır. Chicago gibi dört mevsimin birden yaşandığı bir iklim bölgesinde bulunmakta ve şehrin merkez bölgesinde olup çevresine etkileri kolayca gözlemlenebilmektedir. Ayrıca Chicago'nun kentsel ve iklimsel verilerine çoğu şehire göre daha kolay ulaşılabilir. Chicago, Köppen iklim sınıfına göre sıcak-nemli karasal iklim olan Dfa sınıfında, kışları soğuk, yazları sıcak, her mevsim yağışlı ve nemlidir ve özellikle şehir merkezinde ısı adaları mevcuttur (Hartz ve diğ., 2012).

Çalışmanın yöntemi ilk aşamada Sears Tower'ın mevcut tasarımının toplam kat alanını, güneş ışınlarının dik geldiği ve Kuzey Yarım Küre'de en uzun gündüzün yaşandığı 21 Haziran tarihindeki gündüz saatleri olan 05.00-21.00 saatlerinde aldığı güneş ışınımını, yakın çevredeki binalara yaptığı gölgeyi ve binanın farklı bölgelerinden gökyüzü görünümünü hesaplamaktır. İkinci aşamada ise bu dört uygunluk kriterine göre üretilen alternatifler arasından seçimler yapmaktır. Çalışmanın bu aşamasında malzemeler ve yapı elemanları kapsam dışıdır, analizler kütle çalışmaları üzerinden yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen Sears Tower 23x23 metre ölçülerinde 3x3 toplam 9 kareden oluşan bir grid üzerine oturtulmuştur. Grid üzerinde toplam 9 tane dikdörtgenler prizması tüp bulunmakta ve gökdeleni oluşturmaktadır. Bu tüplerden iki tanesi 50 kat yüksekliğinde, iki tanesi 66 kat yüksekliğinde, üç tanesi 90 kat yüksekliğinde ve iki tanesi 108 kat yüksekliğindedir. Tüplerden ortada bulunanı çekirdek olarak kullanılmakta ve en yüksek tüpün yüksekliğine eşit olmaktadır. Çalışma kapsamında dört tane uygunluk kriteri belirlenmiştir. Bunlardan bir tanesi (F01) orijinal gökdelen alanının yüzde sekseninin (%80) altına inmemesi istenen alan fonksiyonudur. İkinci kriter (F02) binanın kuzeyinde kalan yapı adası ve bu adada bulunan on tane binaya 21 Haziran tarihinde gelen doğrudan gün ışığı saatini en yüksek değere çıkarmaktır. Bunu sağlamak için 21 Haziran tarihinde 5 saatten az doğrudan gün ışığı alan alanın toplam alana oranı en düşük değere

**Şekil 5:** Sears Tower ve çevresindeki seçilen binalar (Sears tower and selected nearby buildings).

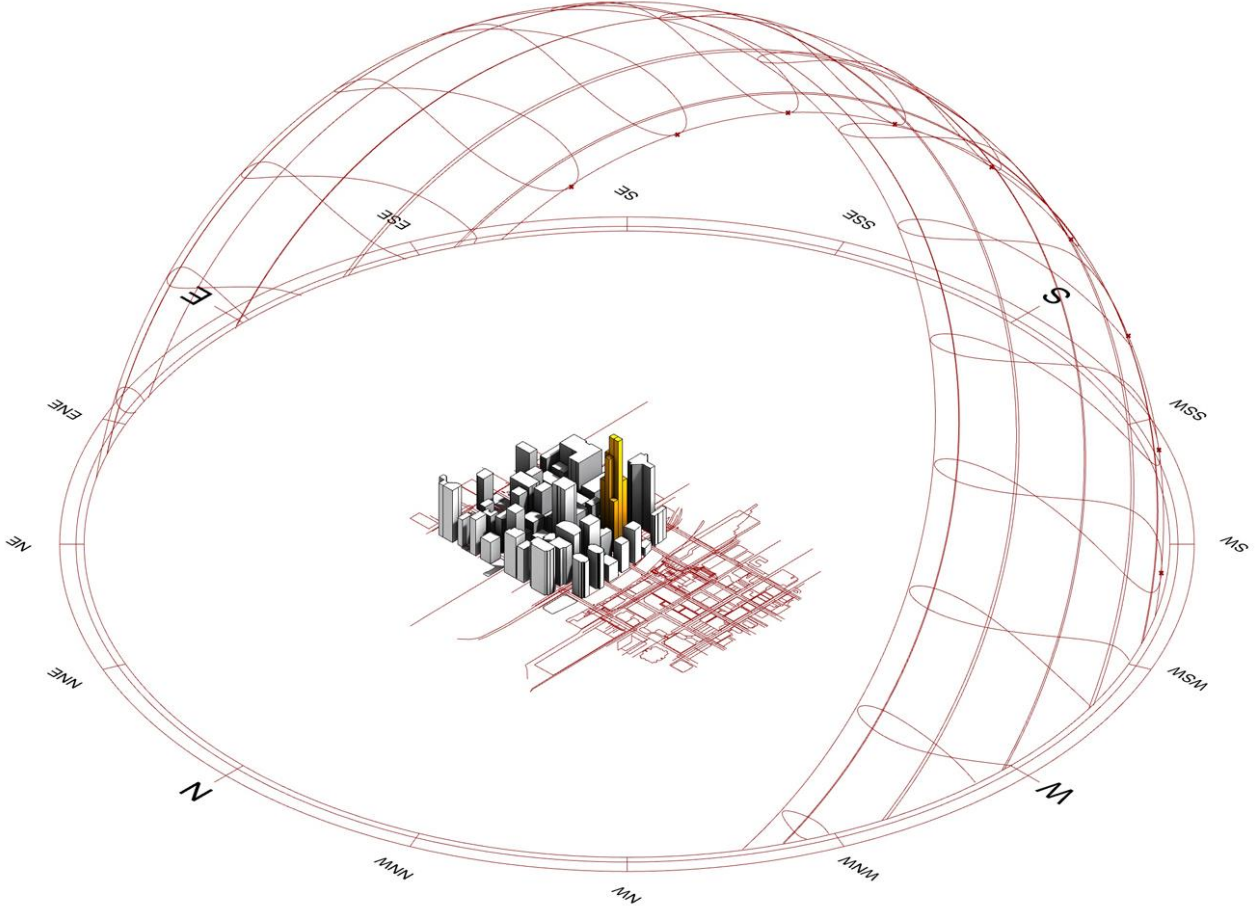
ulaştırmaya uğraşmıştır. Yapının yüksekliğinden dolayı gün içinde ön taraftaki yapılarda 4 saat tam gölge oluşmaktadır, anlamlı sonuçlar elde edebilmek ve farklılıkları görebilmek için 5 saat kabulü yapılmıştır (Şekil 5).



Üçüncü uygunluk kriteri (F03) binanın kendisine 21 Haziran tarihinde gelen güneş ışınımını minimize etmektir. Bunu sağlamak için 21 Haziran tarihinde Chicago şehrinin ortalama değeri olan  $1.5 \text{ kWh/m}^2$  değerinden fazla ışınım alan alanların toplam alana oranı minimum düzeyde tutulmaya çalışılmıştır (Global Solar Atlas, 2021). Son uygunluk kriteri (F04) ise binada gökyüzü görünümünü maksimize etmektir. Bunu sağlamak için bina yüzeyinde yüzde otuzdan (%30) az gökyüzü görünümü olan alanların toplam alana oranı minimize edilmeye çalışılmıştır.

Çevredeki binalardan dolayı gökyüzü görünümü sınırlı olup anlamlı sonuçlara ve farklılıklara yüzde otuzdan (%30) sonra ulaşılabilmektedir. Çevredeki binalar, parseller ve yollar Elk eklentisi üzerinden Open Street Map'teki gerçek veriler kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 6).

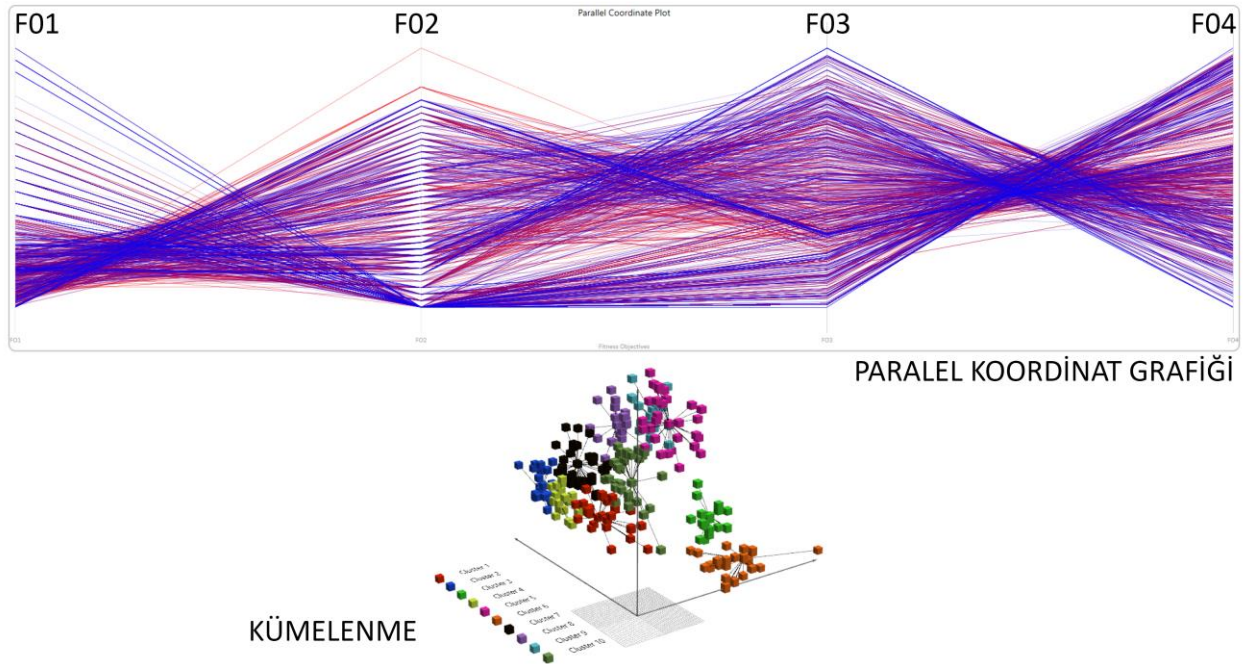
**Şekil 6:** Sears Tower, çevresindeki binalar ve güneş yolu (Sears tower, nearby buildings, and sunpath).



Orijinal tasarımda toplam alan 379822 m<sup>2</sup>'dir. Ladybug eklentisi üzerinden yapılan analizlere göre doğrudan gün ışığı alan bölgelerin oranı %68,12'dir, güneş ışınımı 1.5 kWh/m<sup>2</sup> değerinden yüksek alanların oranı %8,92'dir, gökyüzü görünümü yüzde otuzdan (%30) düşük alanların oranı %71,84'tür. Alternatif tasarımları bulmak için planlanan sistemde toplam genler on tane, bunlar sekiz tane tütün kat yüksekliği ve en yüksek tüple aynı yükseklikte olacak dokuzuncu tüp (çekirdek) ve gökdelenin parsel üzerinde hareket etmesini sağlayacak X ve Y koordinatlarıdır. Wallacei eklentisi kullanılarak genetik algoritma ile yapılacak analiz için 100 jenerasyon ve jenerasyon başına 20 bireyden oluşan toplam 2000 çözümden oluşan bir popülasyon planlanmıştır.

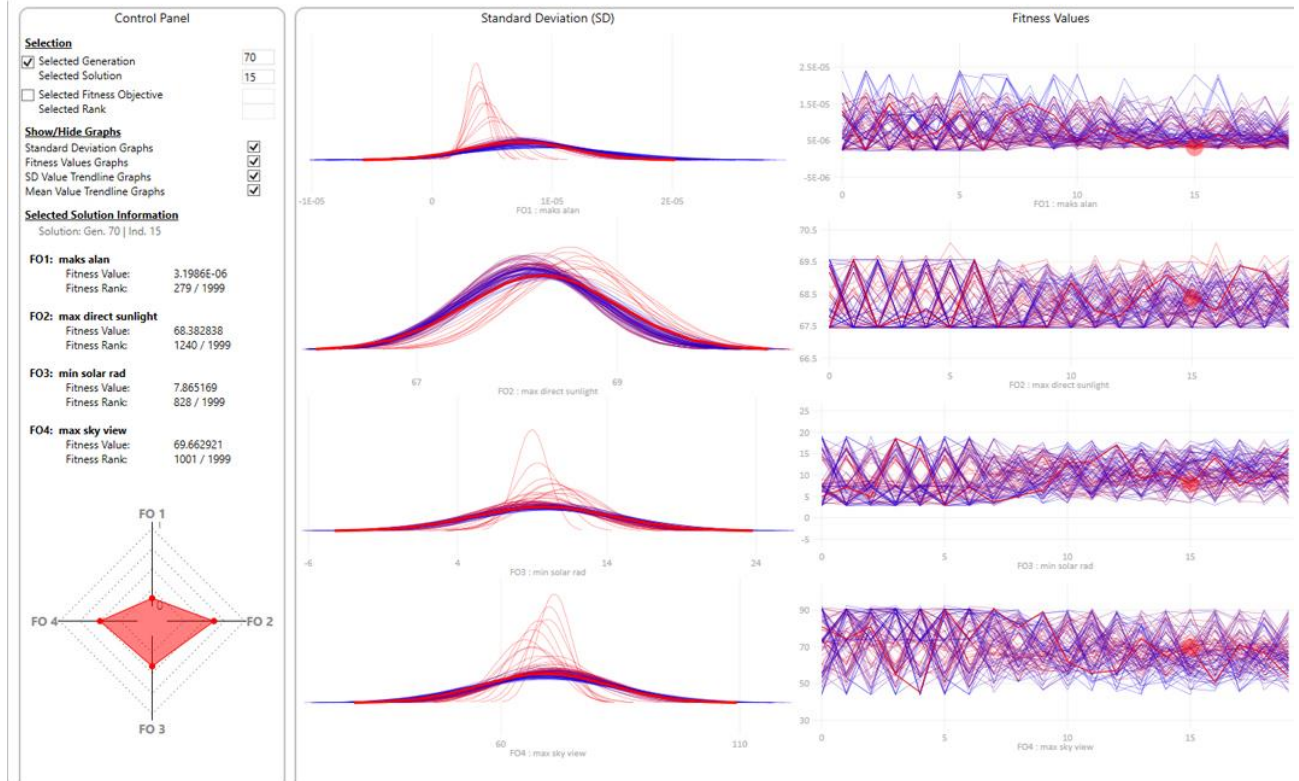
Çaprazlama olasılığı 0,9, mutasyon olasılığı  $1/n$ , çaprazlama ve mutasyon dağılım endeksleri 20, rastgelelik ise 1 seçilmiştir. Simülasyon çalıştırdıktan sonra çözüm uzayında sonuçlar incelenmeye başlanmıştır. Hedeflenen en önemli kriter yapı alanı olduğu için alanda çok büyük kayıplar verilmeyen çözümlere odaklanılmıştır. Zor olan kısım 2000 çözüm arasından en uygun çözümleri seçebilmektir. Bu seçimi yapabilmek için öncelikle eklentideki gözetimsiz makine öğrenmesi kullanılarak Pareto optimum çözümler arasında bir kümelendirme yapılmıştır. Gözetimsiz makine öğrenmesi sınıflandırılmamış verileri benzer özelliklerine göre gruplandırmayı ve kümelendirmeyi sağlayan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır (Bonnaccorso, 2017). Pareto optimum ise çok hedefli optimizasyon problemlerinde birbirleri ile çelişen hedefler arasında bir denge optimumu bulmayı sağlayan algoritmadır (Chang, 2015). Bu özellikler kullanılarak çözümler iyi değerler sağladıkları uygunluk kriterlerine göre kümelendirilmiş ve bu kümelerdeki bireylerden tasarımcı tarafından diğer uygunluk kriterleri değerleri göz önüne alınarak seçimler yapılmıştır. Paralel koordinat grafiği ise bütün çözümleri ve sağladıkları değerleri çizgisel bir şekilde görmemizi sağlayan grafikdir (Edsall, 2003). İlk jenerasyondan son jenerasyona doğru kırmızıdan maviye geçiş yapar. Bu grafikten de tasarımcı farklı sonuçları bir arada görebilir ve simülasyonun sorunsuz çalıştığını gözlemleyebilir (Şekil 7).

**Şekil 7:** Kümelenme ve paralel koordinat grafiği (Clustering and parallel coordinate plot).



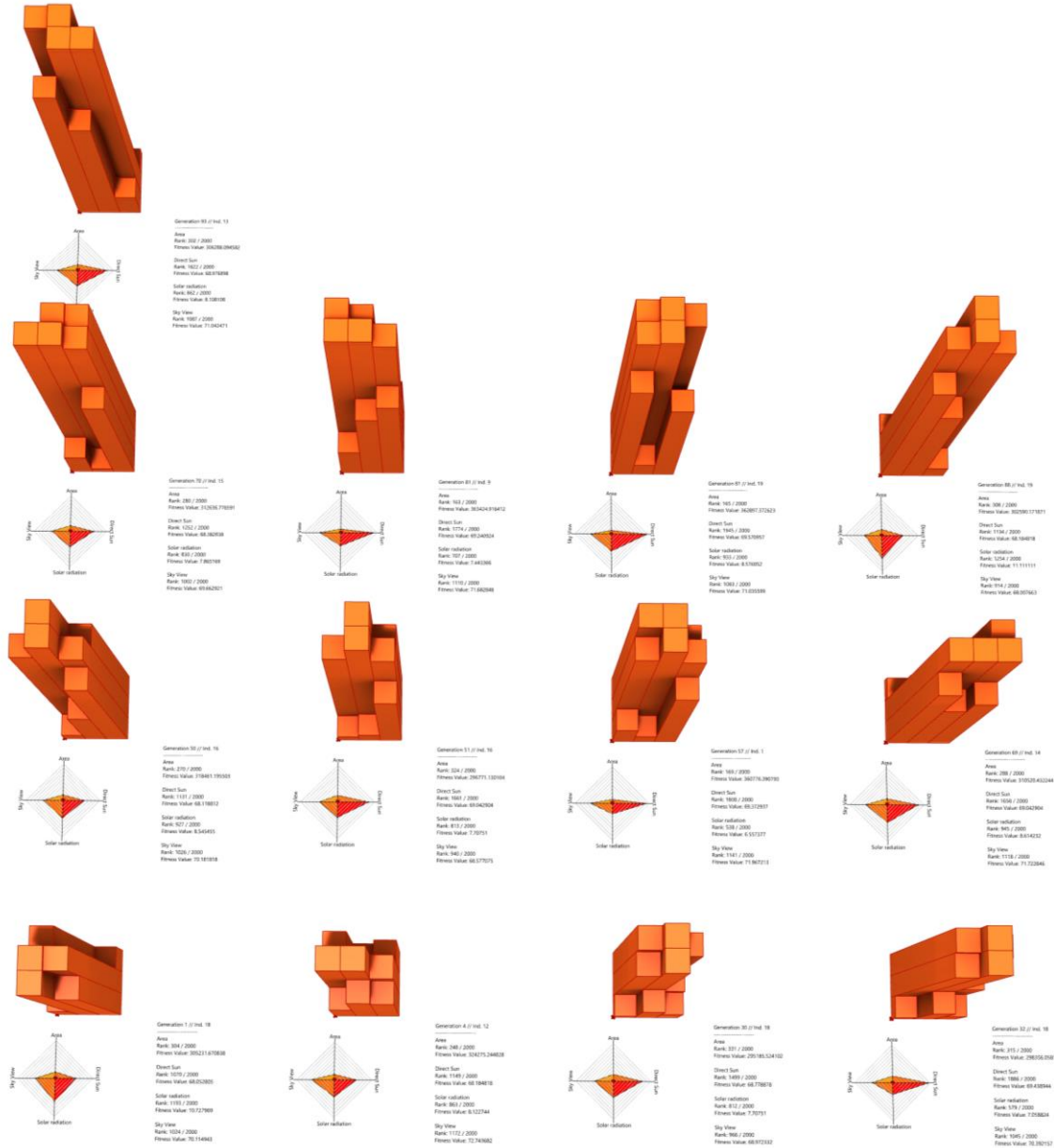
Buna ek olarak elmas grafiği ve standart sapma gibi grafikler üzerinde analizler yapılarak toplam 20 çözüm seçilmiştir. Tasarımcı arayüzden istenilen jenerasyon ve bireyi seçip sayısal değerlerini ve grafiklerini görebilmektedir. Bunun yanında istenilen uygunluk kriterindeki sıralanmış bütün çözümler arasından sırasına göre seçim yapabilmektedir. Seçimi yaptıktan sonra her bir kriterin sayısal değerini ve çözümler arasında sırasını görebilir. Elmas grafiği ise dört uygunluk kriterinin değerlerinin seçilen çözüm için aynı anda görülebildiği dikdörtgen bir grafiklerdir. Merkez noktasına yaklaştıkça o kriterlerin değerini daha iyi sağlamaktadır. Dengeli bir çözüm için grafikteki dört noktanın da merkeze mümkün olduğunca yakın olması beklenir. Tek bir kriterde iyi olan çözümlerde bir nokta merkeze yakınken diğer noktalar merkezden uzaklaşır ve dengesiz bir dörtgen şekli gözlemlenir. Standart sapma eğrilerinde ise her jenerasyonda her bir kriter için çözüm değerlerinin hangi değerde yoğunlaştığı görülebilir. İlk jenerasyondan son jenerasyona doğru kırmızıdan maviye bir geçiş vardır. Kalın kırmızı eğri ise seçilen bireyin standart sapma eğrisini vurgular. Örnek olarak 70-15 F01 uygunluk kriterinde merkeze çok yakındır ve diğer kriterlerde de merkeze yakın değerler almaktadır (Şekil 8).

**Şekil 8:** 70-15 Elmas grafiği ve standart sapma eğrileri (Diamond chart and standard deviation graphs of 70-15).



Bu 20 çözüm üç boyutlu fenotipler olarak oluşturulmuş ve çekirdeğin yüksekliği az olan gibi çözümler görsel olarak incelenmiş ve elenerek toplam 13 çözüme düşürülmüştür. Çözümlerin sayısal değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu 13 çözümün grafikleri incelendiğinde dengeli elmas grafiği olan çözümler kolayca gözlemlenebilmektedir. Bazı çözümlerin ise belirli uygunluk kriterlerinde merkeze çok yakın iken diğer kriterlerde merkezden uzaklaştıkları görülmektedir. Bu çözümler dengesiz bir dörtgen şeklinde elmas grafiği oluşturur (Şekil 9).

**Şekil 9:** Seçilen 13 fenotip  
(Selected 13 phenotypes).





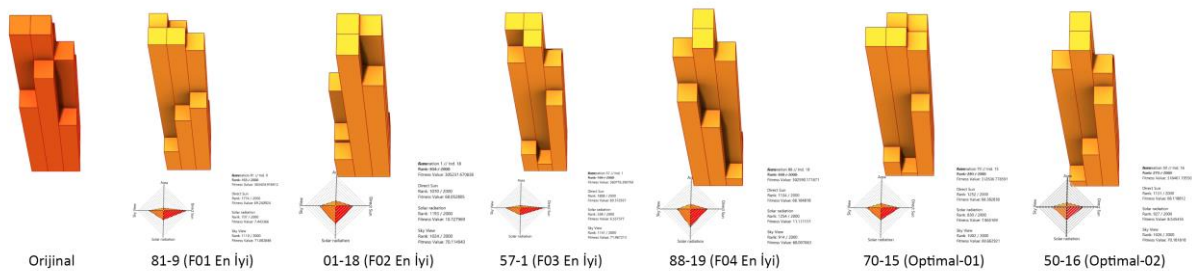
Son seçimi yapabilmek için bu çözümlerin değerlerini orijinal değerler ile karşılaştıran bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 1). Tablodaki her bir bireyin farklı uygunluk kriterleri ve Pareto optimum çözümler olup olmadıkları görülmektedir. Yeşil renkteki değerler orijinal tasarımdan daha iyi olan değerlerdir. Bu tablodaki değerlere göre farklı uygunluk kriterleri açısından uygun olan 6 çözüm son öneriler olarak seçilmiştir.

**Tablo 1:** Karşılaştırma tablosu  
(Comparison chart).

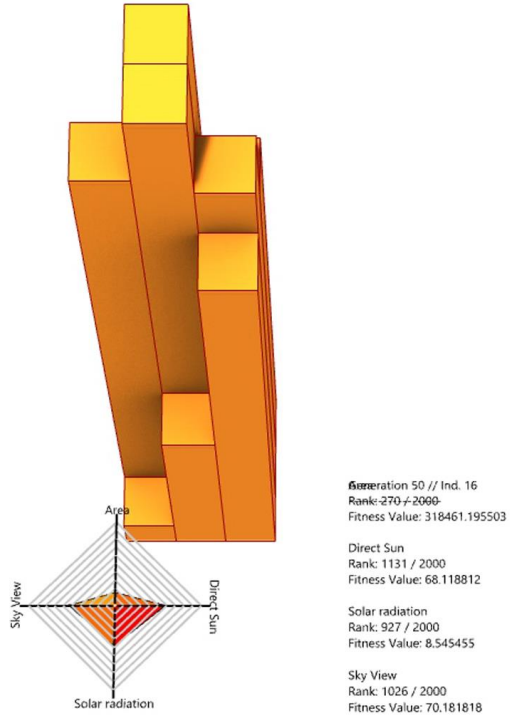
ID	JENERASYON	BİREY	F01 (ALAN)	F02 (DOĞRUDAN)	F03 (IŞINIM)	F04 (GÖKYÜZÜ)	
1	1	18	305231	68,05	10,73	70,12	Pareto
2	4	12	324275	68,18	8,12	72,74	Pareto
3	30	18	295185	68,77	7,71	68,97	Pareto
4	32	18	298356	69,43	7,06	70,39	
5	50	16	318461	68,11	8,54	70,18	Pareto
6	51	16	296771	69,04	7,71	68,58	Pareto
7	57	1	360776	69,37	6,55	71,96	
8	69	14	310520	69,04	8,61	71,72	
9	70	15	312636	68,38	7,86	69,66	Pareto
10	81	9	363424	69,24	7,44	71,68	Pareto
11	81	19	362897	69,57	8,57	71,03	
12	88	19	302590	68,18	11,11	68,01	Pareto
13	93	13	306288	68,97	8,11	71,04	
<b>Orijinal</b>			379822	68,12	8,92	71,84	

81. Jenerasyon 9. Birey (81-9) alan (F01) yönünden en uygun çözüm, 1. Jenerasyon 18. Birey (01-18) doğrudan gün ışığı (F02) yönünden en iyi çözüm, 57. Jenerasyon 1. Birey (57-01) güneş ışınımı (F03) yönünden en iyi çözüm, 88. Jenerasyon 19. Birey (88-19) ise gökyüzü görünümü (F04) yönünden en iyi çözüm olarak gözlemlenmiştir. 70. Jenerasyon 15. Birey (70-15) ile 50. Jenerasyon 16. Birey (50-16) ise birkaç farklı kriterde orijinal tasarımdan iyi değerler sağlayan optimal çözümler olarak gözlemlenmiştir (Şekil 10).

**Şekil 10:** Seçilen en iyi 6 çözüm  
(Selected top 6 solutions).



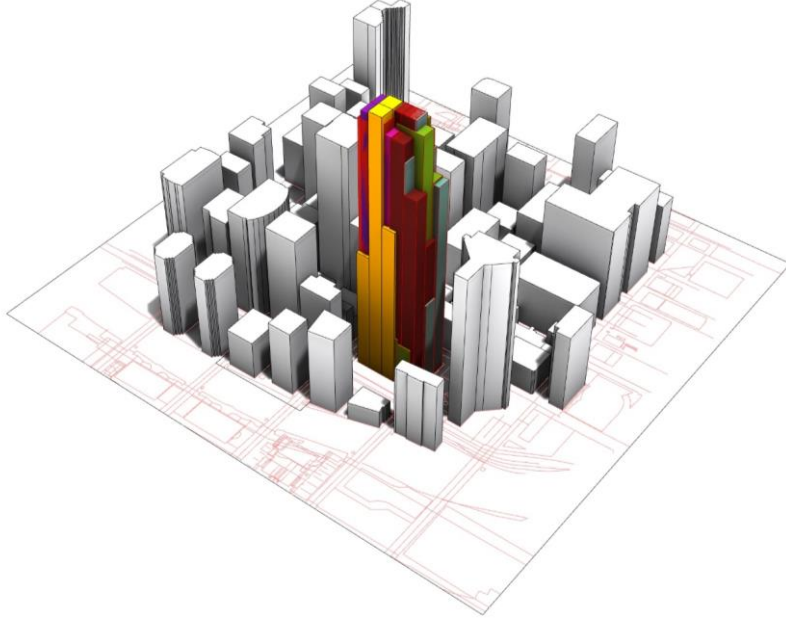
Özellikle 50. Jenerasyon 16. Birey alandan minimum feragat ederek (alanı orijinal tasarımın %85'i) diğer üç uygunluk kriterinde orijinal tasarımdan iyi değerler sağlamıştır. Farklı amaçlar kapsamında tasarımcılar bu yöntemi kullanarak farklı tasarımlar seçebilecektir ve görsel olarak da bu durum gösterilmiş ve tasarımlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında son olarak seçilen ve önerilen tasarım 50. Jenerasyon 16. Bireydir (50-16) (Şekil 11).



Şekil 11: 50-16 fenotip ve değerleri  
(Phenotypes of 50-16 and values).

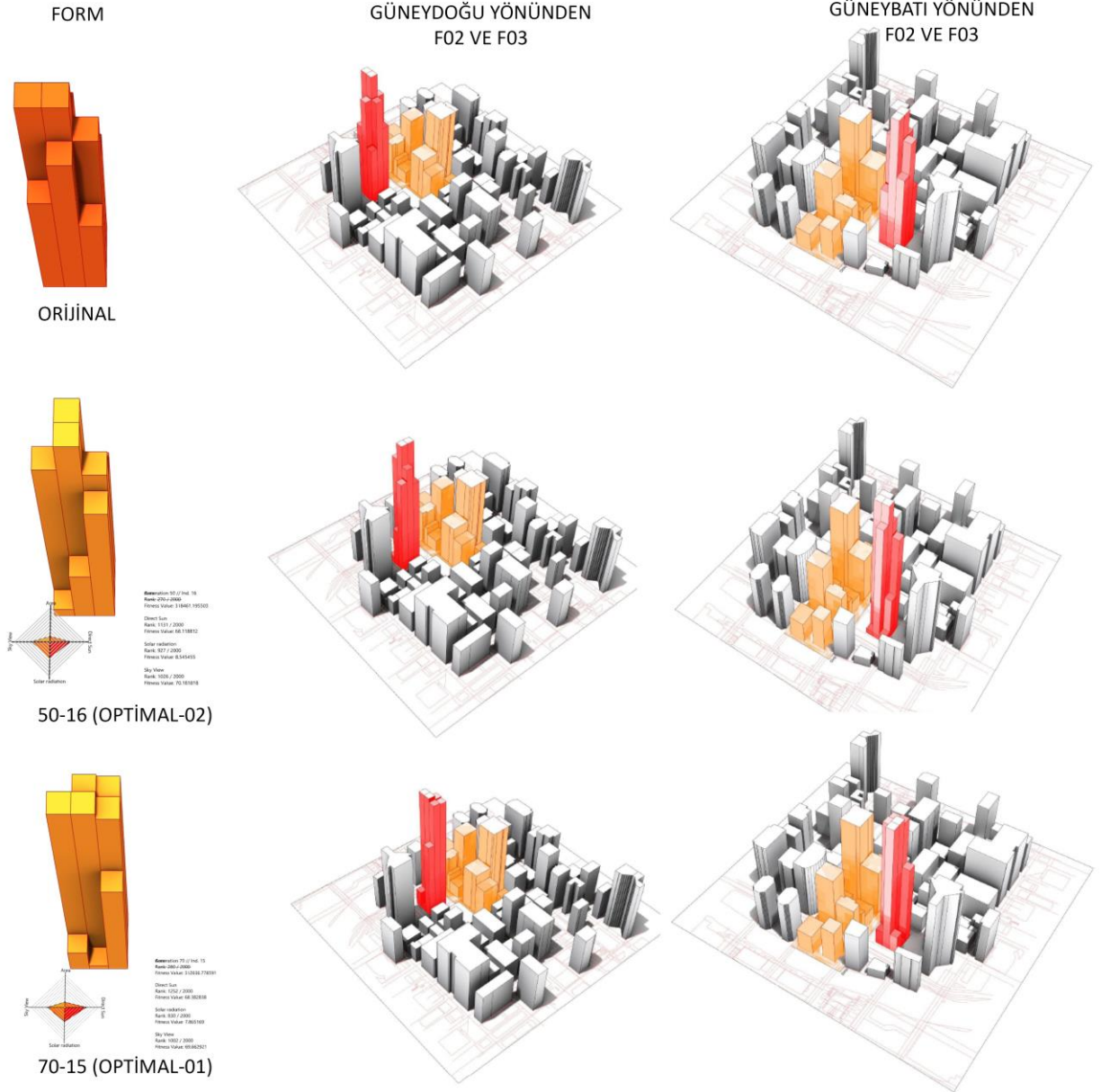
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Orijinal tasarım ve seçilen 6 çözümü süperpoze olarak koyduğumuzda birbirinden farklı kütlelerin tasarım problemini benzer şekilde çözebildiğini ve mimarın seçim yapabileceği varyasyonlar oluşturduğu gözlemlenebilir (Şekil 12). Süperpozedeki amaç tasarımcının farklı çözümleri sayısal değerler dışında görsel olarak da bir arada görebilmesidir. İstenilen sayıda çözüm süperpoze edilebilir ve çözümler arasındaki görsel benzerlik ve farklılıklar tasarımcı tarafından daha iyi kavranabilir.



**Şekil 12:** Süperpoze (Superposition).

Bu süreçte önemli kısımlar çözüm uzayını belirleyecek olan genleri ve hedefleri iyi belirlemek ve sonuçta oluşacak grafikleri iyi okuyabilmektir. Genlerin yani değişkenlerin belirlenmesi önemlidir çünkü genler hem çözüm sayısını etkilemekte hem de simülasyonun doğru noktaya evrilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Genler doğru belirlenmez ise simülasyonun süresi çok uzayabilir, sonuca etki etmeyen girdiler olabilir veya istenmeyen sonuçlara ulaşılabilir. Hedeflerin belirlenmesi ise diğer bir kritik süreçtir. Wallacei eklentisi hedefleri minimize etmeye, diğer bazı genetik algoritmalar ise maksimize etmeye odaklanmıştır, sistem buna göre kurgulanmalıdır. Genler ve hedeflerin ilişkisi doğru kurgulanmaz ise sıfır sonuçlar oluşabilmekte, bu sonuçlar eleneceğinden simülasyon tek bir bölgede sıkışabilmektedir. Ayrıca optimal çözümlerin belirlenebilmesi için hedeflerin birbirleri ile tamamen paralel veya imkânsız zıtlıkta olmaması gerekmektedir. Tasarımcının sonuçları sayısal değerler dışında görsel olarak görebilmesi de önemli bir özelliktir. Bunun için farklı uygunluk kriterlerinde üç boyutlu model üzerinde renklendirmeler yapılmış ve farklı çözümler aynı görüş açılarından karşılaştırılmıştır. Her bir uygunluk kriteri için farklı renk seçilmiştir. F02 kriteri için turuncu, F03 kriteri için kırmızı, F04 kriteri için de yeşil renk seçilmiştir. Renkler değerler arttıkça koyulaşmaktadır. Seçilen optimal tasarımların koyu kırmızı olan fazla güneş ışınımı olan bölgeleri azalttığı gözlemlenebilir (**Şekil 13**).



**Şekil 13:** Orijinal tasarım, 50-16 ve 70-15 fenotiplerinin karşılaştırması (F02 ve F03) (Comparison of original design, 50-16 and 70-15 phenotypes (F02 and F03)).

Çevredeki seçilen yapıların doğrudan gün ışığı aldığı noktalar artmıştır. Açık turuncu alanlardan bu noktalar saptanabilmektedir. Koyu turuncu, yani az gün ışığı alan noktalar azalmıştır. Gökyüzü görünümü (F04) kriterinde de seçilen çözümler orijinal çözümle görsel olarak karşılaştırıldığında iyileşmeler olduğu gözlemlenebilmektedir. Gökyüzü görünümünün az olduğu koyu yeşil alanlar azalmıştır (Şekil 14).

FORM

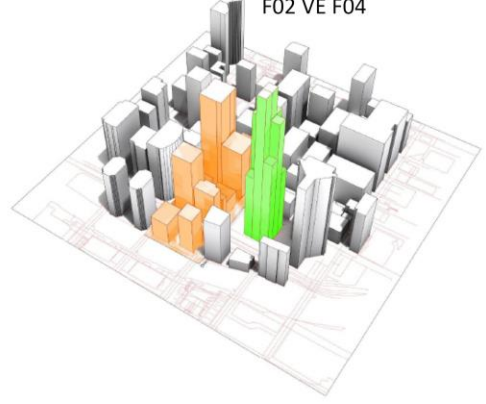


ORIJINAL

GÜNEYDOĞU YÖNÜNDEN  
F02 VE F04

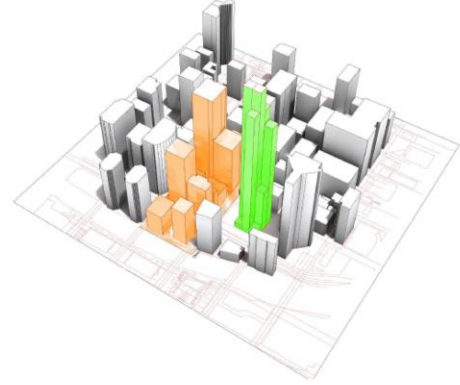


GÜNEYBATI YÖNÜNDEN  
F02 VE F04



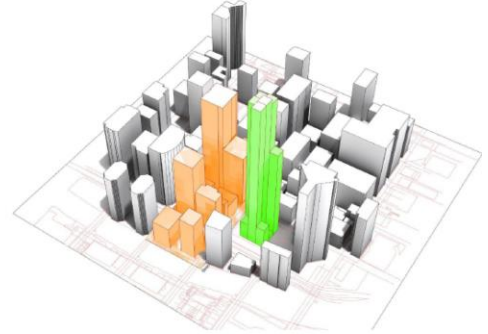
50-16 (OPTİMAL-02)

Alan: 2700 / 2000  
Forma Değeri: 0.1361 (78/59)  
Çenet Sun: 1131 / 2000  
Forma Değeri: 0.11812  
Solar radianstion: 1077 / 2000  
Forma Değeri: 0.54445  
Sky View: 1020 / 2000  
Forma Değeri: 70.181818



70-15 (OPTİMAL-01)

Alan: 2700 / 2000  
Forma Değeri: 0.1358 (78/59)  
Çenet Sun: 1020 / 2000  
Forma Değeri: 0.50018  
Solar radianstion: 1000 / 2000  
Forma Değeri: 1.000100  
Sky View: 1000 / 2000  
Forma Değeri: 0.000201



Çalışma kapsamında belirlenen hedefler yani uygunluk fonksiyonları incelendiğinde birbirleri ile doğrudan ilişkileri gözlemlenememiştir. F01, yani alan, çok küçük iken doğrudan gün ışığına (F02) pozitif etki etmektedir fakat çalışma kapsamında istenilen boyutlara gelindiğinde alandan çok tüplerin bulunduğu konum ve yükseklikleri etki etmektedir. Güneş ışınımı da (F03) bu değerler ile doğrudan ilişki halinde değildir. Güneş ışınımını güney, doğu ve batı cephelerine gelen doğrudan ışınım ve bu cephelerdeki çevredeki binaların yüksekliği etkilemektedir.

**Şekil 14:** Orijinal tasarım, 50-16 ve 70-15 fenotiplerinin karşılaştırması (F02 ve F04)  
(Comparison of original design, 50-16 and 70-15 phenotypes (F02 and F04)).

Gökyüzü görünümü (F04) ise bu değerlerin hepsinden ve güneşten bağımsız olup tamamen çevredeki yollar ve binalar ile ilişkiden etkilenmektedir. Sonuç öneriler incelendiğinde farklı tasarımlardaki bu uygunluk kriterleri arasında bir korelasyon olmadığı rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Bu durum yöntemin tasarımcının gözden kaçırabileceği veya çözüm olasılıkları arasında düşünmeyeceği çözümleri görebilmek açısından başarılı olduğunu gösterir.

Sayısal değerler incelendiğinde de seçilen optimal çözümlerin birden fazla uygunluk kriterinde orijinal yapıdan daha iyi çözümler geliştirdiği gözlemlenmektedir (**Tablo 2**). 70-15 orijinal tasarımın alanından çok fazla feragat etmeden güneş ışınımında %12, gökyüzü manzarasında da %4 daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Doğrudan gün ışığında da orijinal tasarıma yakın bir değere ulaşmıştır. En son seçilen çözüm olan 50-16 ise alandan en az feragat ederek bütün kriterlerde orijinal tasarımdan daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Işınımında %5, gökyüzü görünümünde ise %3 iyileşme sağlamıştır. Doğrudan gün ışığında da küçük bir farkla olsa da orijinal tasarımdan daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışma kapsamında dengeli bir çözüm istendiği için bütün kriterlerde iyi olan 50-16 seçilmiştir, fakat tasarım problemine göre farklı uygunluk kriterlerini öncelik alan seçimler yapılabilir.

**Tablo 2:** Orijinal tasarım, 50-16 ve 70-15 fenotiplerinin sayısal değerlerinin karşılaştırması (Comparison of original design, 50-16 and 70-15 according to numerical values).

ID	JENERASYON	BİREY	F01 (ALAN)	%	F02 (DOĞRUDAN)	%	F03 (IŞINIM)	%	F04 (GÖKYÜZÜ)	%	
5	50	16	318461	85	68,11	0,01	8,54	5	70,18	3	Pareto
9	70	15	312636	82	68,38	-0,2	7,86	12	69,66	4	Pareto
Orijinal			379822		68,12		8,92		71,84		

Mevcut bir yapı incelendiği için alan kriteri oldukça sınırlayıcı olmuş fakat yeni tasarım yapılan boş bir alanda tasarımcının çözüm uzayında daha fazla serbestliğe sahip olacağı gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında karşılaşılan zorluklar simülasyon süresinin uzun olması, uygunluk kriterleri arasında bir hiyerarşi ve aralık belirlenememesidir. Simülasyonu kısaltmak için popülasyon sınırlı tutulmuş, sadece kütle modeli ile çalışılmış ve güneş analizi için tek bir gün seçilmiştir. Her değişiklikte simülasyon baştan çalıştırılmıştır. Gelecek çalışmalarda daha fazla çözüme ulaşabilmek için popülasyon arttırılabilir. Uygunluk kriterleri arasındaki hiyerarşi ve aralık için eklentiye güncelleme yapılması planlanmaktadır fakat yapılmaz ise de yazılacak bir kod ile bu sorunun üstesinden gelinebilir. Alan aralığını, orijinal alanın yüzde sekseni (%80) ve üstü, tutturmak için minimum kat sayısı arttırılabilir. Kütle modelinin bir ileri aşaması olarak cephe elemanları ile çalışılabilir.

Ayrıca güneş analizi için tek bir gün yerine bir dönemi veya bir yılı kapsayacak aralıklar seçilebilir. Simülasyon en doğru sonuçları yüksek bir popülasyon ve tüm yıla yayılmış bir güneş analizi ile verecektir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ilk başta hedeflenen çıktılar ile paralellik göstermektedir. Önerilen yöntem ile yüksek yapıların erken tasarım aşamasındaki seçimler ile binanın kendisi ile çevresinde enerji tüketimi azaltılabilir ve yaşam konforu arttırılabilir. Tasarımcının önüne seçenekler sunulabilmesi ve müdahale imkânı olması önemli bir avantajdır. Genetik algoritmalar ile ilgili çalışmalar mimaride uzun yıllar önce yapılmaya başlanmış fakat genelde alan odaklı plan çözümlerinde yoğunlaşmıştır. Tasarımcıların verileri manuel olarak toplamaları ve algoritmayı çalıştıracak programları da tasarlamak zorunda olmaları süreci uzun ve yorucu bir hale getirmiştir. Bilgisayarların gelişmesi ile hem hesaplama süreleri kısalmış hem de yeni yazılımlar geliştirilmiştir. Tasarımcılar da bu sayede farklı tasarım girdilerini erken tasarım sürecine eklemeye başlamışlardır. Bu çalışma da kentsel ve çevresel verileri tasarım girdilerine ekleyen ve çatışma halinde olan tasarım hedefleri arasında denge noktaları bulmak amacıyla doğadaki evrim sürecinden etkilenen genetik algoritmaları kullanan entegre bir yöntem önermektedir. Sonuçlar hem sayısal biçimde hem de fenotiplerin görselleştirilmesi ile üç boyutlu olarak tasarımcının önüne gelmekte ve orijinal tasarımla karşılaştırma imkânı sunmaktadır. Bu çalışmada yöntemi denemek için örnek bir bina seçilmiştir, yöntem herhangi bir mevcut binanın analizinde veya yeni bir binanın konsept tasarım aşamasında kullanılabilir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Bölümü Doktora Programı kapsamında yürütülen MBL 601-Mimari Tasarımda Evrimsel Yaklaşımlar dersinde üretilen bu çalışma için Prof. Dr. Gülen Çağdaş ve Dr. Öğr. Üyesi Ethem Gürer'e yorumlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

## Referanslar (References)

Aldwaik, M. and Adeli, H. (2014). Advances in optimization of highrise building structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 50(6), 899-919. <https://doi.org/10.1007/s00158-014-1148-1>

- Bäck, T. (1996). *Evolutionary algorithms in theory and practice*. Oxford University Press.
- Bonnaccorso, G. (2017). *Machine learning algorithms*, Packt Publishing.
- Caldas, L. G. And Norford, L. K. (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Automation in Construction*, 11(2), 173–184. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(00\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(00)00096-0)
- Chang, K. H. (2015). Multiobjective optimization and advanced topics. *Design theory and methods using CAD/CAE*, (1st ed., pp. 325-406).
- Choi, J., Nguyen, P. C. T. and Makki, M. (2020). The design of social and cultural orientated urban tissues through evolutionary processes. *International Journal of Architectural Computing* (pp. 1–29), SAGE Publications.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197. <https://ieeexplore.ieee.org/document/996017/>
- Dirksen, M., Ronda, R. J., Theeuwes, N. E. and Pagani, G. A. (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate*, 30 (100498). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100498>
- Edsall, R. M. (2003). The parallel coordinate plot in action: design and use for geographic visualization, *Computational Statistics and Data Analysis*, 43(4), 605-619. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(02\)00295-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(02)00295-5)
- EnergyPlus. (2021). Retrieved September, 15, 2021, from <https://energyplus.net/weather>
- Global Solar Atlas. (2021). Retrieved September, 15, 2021, from <https://globalsolaratlas.info/map?c=41.389173,81.123047,7&s=41.836828,-87.703857&m=site>
- Hartz, D. A., Golden, J. S., Sister, C., Chuang, W. and Brazel A. J. (2012). Climate and heat-related emergencies in Chicago, Illinois (2003–2006). *International Journal of Biometeorology*, 56(1), 71-83. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0398-x>
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U Michigan Press.
- Ilbeigi, M., Ghomeishi, M. and Dehghanbanadaki, A. (2020). Prediction and optimization of energy consumption in an office building using artificial neural network and a genetic algorithm. *Sustainable Cities and Society*, 61(102325). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102325>
- Jalali, Z., Noorzai, E. and Heidari, S. (2019). Design and optimization of form and facade of an office building using the genetic algorithm. *Science*



*and Technology for the Built Environment*, 26(2), 128-140.  
<https://doi.org/10.1080/23744731.2019.1624095>

- Jin, J. T. and Jeong, J. W. (2014). Optimization of a free-form building shape to minimize external thermal load using genetic algorithm. *Energy and Buildings*, 85, 473-482.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.080>
- Koenig, R., Yufan, M., Knecht, K., Aichinger, A., & Konieva, K. (2020). Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(6), 997–1013.  
<https://doi.org/10.1177/2399808319894986>
- Lim, Y. W., Majid, H.A., Samah, A. A., Ahmad, M. H., Ossen, D. R., Harun, M. F. and Shahsavari, F. (2018). BIM and genetic algorithm optimisation for sustainable building envelope design. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(1), 151-159.  
<https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-151-159>
- Lima, I., Scalco, V. and Lamberts R. (2019). Estimating the impact of urban densification on high-rise office building cooling loads in a hot and humid climate. *Energy and Buildings*, 182, 30-44.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.019>
- Makki, M. and Showkatbakhsh, M. (2018). *Control of morphological variation through population based fitness criteria* [Paper presentation]. 23rd CAADRIA Conference Learning, Adapting and Prototyping, Beijing, China.
- Makki, M., Showkatbakhsh, M., Tabony, A. and Weinstock, M. (2018). Evolutionary algorithms for generating urban morphology: variations and multiple objectives. *International Journal of Architectural Computing*, 17(1), 5–35.  
<https://doi.org/10.1177/1478077118777236>
- Miao, Y., Koenig, R., & Knecht, K. (2020). The development of optimization methods in generative urban design: A review. *SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design*, 247–254.
- Miles, J. C., Sisk, G. M. and Moore, C. J. (2001). The conceptual design of commercial buildings using a genetic algorithm. *Computers and Structures*, 79(17), 1583-1592.  
[https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(01\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(01)00040-2)
- Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT Press.
- Navarro, D., Makki, M. and Bermejo, A. (2018). Urban-tissue optimization through evolutionary computation. *Mathematics*, 6(10), 1–16.  
<https://doi.org/10.3390/math6100189>
- OpenStreetMap. (2021). Retrieved September, 15, 2021, from <https://www.openstreetmap.org/#map=19/41.39688/27.35515>

- Orhan, T. and Taşkın, K. (2021). Automated topology design of high-rise diagrid buildings by genetic algorithm optimization. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 30(9). <https://doi.org/10.1002/tal.1853>
- Ouarghi, R. and Krarti, M. (2006). Building shape optimization using neural network and genetic algorithm approach. *ASHRAE Transactions*, 112(1), 484-491.
- Pasternak, A. and Kwiecinski, K. (2015). High-rise building optimization- A design studio curriculum. *Proceedings of the 33th eCAADe Conference (Vol. 1)*, 305-314. [http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015\\_268.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_268.content.pdf)
- Petrov, M. and Walker, J. (2020). Optioneering methods for optimization- Methods of exploring primary and secondary performance criteria in urban design. *Proceedings of the 38th eCAADe Conference (Vol. 1)*, 29-36. [http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2020\\_243.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2020_243.pdf)
- Prieto, A., Knaack, U., Klein, T. and Auer, T. (2017). 25 Years of cooling research in office buildings: review for the integration of cooling strategies into the building façade (1990-2014). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.012>
- Randall, M., Kordrostami, T., Makki, M. (2020). The Taikoo Shing Superblock: Addressing urban stresses through sequential evolutionary simulations. In D. Holzer, W. Nakapan, A. Globa, I. Koh (eds.), *Proceedings of the 25th CAADRIA Conference (Vol.1)*,. 415-424. [http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2020\\_270.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2020_270.pdf)
- Rebuadengo, M. and Reorda, M. S. (1996). GALLO: A genetic algorithm for floorplan area optimization. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 15(8), 943-951. <https://doi.org/10.1109/43.511573>
- Showkatbakhsh, M., Kaviani, S. and Weinstock, M. (2021). Evolutionary design processes with embedded homeostatic principles-Adaptation of architectural form and skin to excessive solar radiation. *Computer Aided Design and Applications*, 18(5), 914-953. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.914-953>
- Tuhus-Dubrow, D. And Krarti, M. (2010). Genetic algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and Environment*, 45(7), 1574-1581. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.005>
- Wright, J. A., Loosemore, H. A. and Farmani, R. (2002). Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy and Buildings*, 34(9), 959-972. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00071-3)



# A Spatial Grammar Model for Designing Mass Customized High-rise Housing Blocks

Ahmet Emre Dinçer<sup>1</sup>, Gülen Çağdaş<sup>2</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3439-3637<sup>1</sup>, 0000-0001-8853-4207<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabuk University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Karabuk, Turkey

<sup>2</sup> Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey

Emergence as a product of natural processes is a typical feature for traditional and vernacular housing settlements created by different users with their various needs. However, this feature disappears in housing production approaches for uniform and standard users due to mass production concerns. The main reason is that user needs cannot be fully transferred to design strategies due to excessive standardization. One of the main factors in this is the need for design tools and methods that effectively evaluate preferences with complex relationships. Shape grammars and spatial grammars, one of the generative design approaches, exhibit original emergence examples with their rich diversity and adaptability to different approaches. Hence, it can be seen as an alternative for solving such problems. This article presents a parametric spatial grammar model that can design high-rise housing blocks with a customized dwelling for each family. The compositions of these houses are grounded on specific spatial relationships defined by parametric rule sets. In the article, the generative design process was developed in two stages. The first stage includes the formal, syntactical, and functional relations of the spaces in a floor plan, their representation according to the rules, and generating alternative solutions. The second stage consists of the representation of the façade rules and the parametric grammar that generates the façades. In the developed spatial grammar model, user preferences are transferred to the computer through the designed interface. Dimensional properties of housing blocks are defined by a grid system, which is determined according to user preferences and used as a starting base for spatial grammar. Plan layouts are generated on this defined grid and by sequential application of rules. In conclusion, the adaptability of spatial grammar and the rich alternatives designers can use and develop are emphasized.

**Received:** 20.08.2021

**Accepted:** 07.09.2021

**Corresponding Author:**

aedincer@karabuk.edu.tr

Dinçer, A. E. & Çağdaş, G. (2021). A spatial grammar model for designing mass customized high-rise housing blocks. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 2(2), 51-72. <https://doi.org/10.53710/jcode.985063>

**Keywords:** Emergence, Spatial Grammar, Mass Customization, Housing Design, Generative Design.

51

# Özelleştirilmiş Kitlesele Çok Katlı Konut Blokları Tasarımı için Mekânsal Gramer Modeli

Ahmet Emre Dinçer<sup>1</sup>, Gülen Çağdaş<sup>2</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3439-3637<sup>1</sup>, 0000-0001-8853-4207<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Doğal süreçlerin bir ürünü olan belirme, farklı kullanıcıların farklı ihtiyaçlarla bir araya gelerek oluşturduğu geleneksel ve yöresel konut yerleşmeleri için tipik bir özelliktir. Ancak seri üretim kaygılarına bağlı, tek düze ve ortalama kullanıcılar için konut üretim yaklaşımlarında bu özellik kaybolmaktadır. Buradaki temel neden, aşırı standartlaşmaya bağlı olarak kullanıcı ihtiyaçlarının tasarım yaklaşımlarına tam anlamıyla aktarılamamasıdır. Bunda da ana etkenlerden biri, karmaşık ilişkiler içeren tercihlerin etkili bir şekilde değerlendirildiği tasarım araçları ve yöntemlerine duyulan ihtiyaçtır. Üretken tasarım yaklaşımlarından biçim gramerleri ve bir türevi olan mekânsal gramerler zengin çeşitliliği ile özgün belirme örnekleri sergiler ve farklı yaklaşımlara uyarlanabilir niteliktedir. Dolayısıyla, bu tür problemlerin çözümü için bir alternatif olarak görülebilir. Bu makale, her aile için özelleştirilmiş konutlara sahip çok katlı konut blokları tasarımında kullanılacak parametrik bir mekânsal gramer modeli sunar. Bu evlerin kompozisyonları, parametrik kural setleri ile tanımlanan belirli mekânsal ilişkilere dayalıdır. Makalede üretken tasarım süreci iki aşamada geliştirilmiştir. Birinci aşama bir kat planındaki mekanların biçimsel, sözdizimsel ve işlevsel ilişkilerinin kurallarla temsillerini ve alternatif çözümler üretmeyi içerir. İkinci aşama, cephe kurallarının temsili ve cepheleri oluşturan parametrik grameri içerir. Geliştirilen mekânsal gramer modelinde, kullanıcı tercihleri tasarlanan arayüz aracılığıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Konut bloklarının boyutsal özellikleri, kullanıcı tercihlerine göre belirlenen ve mekânsal gramer için başlangıç altlığı olarak kullanılan gridal bir sistem ile tanımlanır. Plan düzenleri tanımlanan bu ızgara üzerinde ve kuralların ardışık uygulanmasıyla türetilir. Sonuç bölümünde, mekânsal gramerin uyarlanabilir olma özelliğine ve tasarımcıların kullanabileceği ve geliştirebileceği zengin alternatiflere vurgu yapılmaktadır.

**Teslim Tarihi:** 20.08.2021

**Kabul Tarihi:** 07.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

aedincer@karabuk.edu.tr

Dinçer, A. E. & Çağdaş, G. (2021). Özelleştirilmiş kitlesele çok katlı konut blokları tasarımı için mekânsal gramer modeli. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2),51-72. <https://doi.org/10.53710/jcode.985063>

**Anahtar Kelimeler:** Belirme, Mekânsal Gramer, Kitlesele Özelleştirme, Konut Tasarımı, Üretken Tasarım.

## 1. INTRODUCTION

Architectural design development processes generally begin with a design brief used to drive a design process that starts with initial design concepts, usually in the form of hand-drawn sketches, and ends with a design definition (McKay et al., 2012). There are a few computational tools in the early design phases to support designers' ways of thinking and enhancing design creativity, for example, by offering non-obvious design alternatives that the designer did not initially recognize. This paper proposes a generative grammar for designing plan layouts and façades of high-rise housing blocks within a computational design synthesis approach.

Many researchers have studied the generative grammars in design by shape grammar theory, which can develop architectural design languages (Stiny, 1980a; Stiny & March, 1981; Stiny & Mitchell, 1978). Many studies are concerned with rule-based configurations, which consist of encoding syntactical knowledge of architectural designs. Some of these grammars have been derived from a given corpus of designs during the first three decades. Palladian villa plans (Stiny & Mitchell, 1978), Bungalows of Buffalo (Downing & Flemming, 1981), the prairie houses of Frank Lloyd Wright (Koning & Eizenberg, 1981), the architecture of Guiseppe Terragni (Flemming, 1981), Queen Anne houses (1987), traditional Turkish houses (Çağdaş, 1996), Malagueira houses (Duarte, 2005), and façades of historical Brazilian town (Godoi & Celani, 2008) exemplify these shape grammar applications. The common point in all these studies is regenerating the solutions belonging to various designs in a generative approach. These languages emerged as vernacular architecture, neoclassical architecture, and the individual designs of some well-known architects. These approaches are an analytic type of shape grammar formalism. The researchers created most of these grammars on paper, and only a minority was computationally implemented like that Duarte (2005), Grasl (2012), Granadeiro et al. (2013), and Strobbe et al. (2016).

After these studies, some researchers have studied to present new design languages as another approach in shape grammar formalism. It is original grammar based on generalized rules intended to create instances of original designs. These types of grammar have not been

prevalent as analytical grammar. There are a few kinds of research on this subject (Hoisl & Shea, 2011).

In the literature, there are also different generative design approaches that have benefited from the techniques like genetic algorithms and agent-based systems that generate plan schemes for housing apartments and other housing units (Carta et al., 2020; Gungor et al., 2011; Guo & Li, 2017). However, this paper presents a parametric spatial grammar for high-rise housing blocks with mass-customized dwellings for every floor. The plan layouts of these houses are based on certain spatial relations, which provide the basis for a parametric spatial grammar. The rules represent the formal compositional aspects of this housing grammar. In the context of this paper, it is essential to note that spatial grammar is primarily used for generating geometric forms of housing layouts and façades and is a tool for generating alternative mass-customized plan layouts for occupants. Generative novel designs are not a concern of this paper, and it aims to contribute to real design scenario applications using the proposed parametric design tool to generate design alternatives. The model presented in this paper also has a user-friendly interface that helps users make decisions about their spatial organization of dwelling. The interactivity of a computational design model is an essential subject for mass-customized design products.

Nowadays, in our country, urban transformation is an important subject. As the current old building stocks have been demolished in the construction industry, new high-rise housing blocks have been built increasingly. But the householders are not satisfied with the plan layouts of these new housing designs. For this reason, designing mass-customized housing is a vital role for architects. Unfortunately, the new housing blocks for low-income groups are similar to plan layouts and façade characteristics in every city. Also, regional and socio-cultural differences have been considered. The architectural language presented in this paper grounds on housing layouts that satisfy user requirements in Turkey.

## **2. PARAMETRIC SPATIAL GRAMMAR**

Shape grammars are proved to have all the generation and analysis capabilities of traditional production systems while representing

knowledge about a product's functionality and form (Agarwal & Cagan, 2000). It is possible to model various generation processes on shape transformations and manipulations. Shape grammars are applications in which shapes are represented as design descriptions and transformed according to a rule-based formalism (Stiny, 1980a).

Emergence appears to be a result of the holistic behaviour of complex system architectures. Besides, it is more than the sum of the parts. It has characteristic features like complexity, non-linearity, unpredictability, and self-organization (Knight, 2003). In computational systems, there is a certain degree of emergence behaviour. So, emergence is a fundamental feature in shape grammar as a type of these systems. Emergence is generally in the form of identification and evaluation of the emergent shapes by computation. In addition, the emergent shapes are not pre-defined; they exist in the results of the rule applications.

A conceptually more straightforward form of shape grammars is that of set grammars and spatial grammars. These are grammars that manipulate compositions made up of elements. Stiny (1980b, 1982) made the distinction between set and shape grammar. Set grammars have certain implementational advantages. They are more adaptable to representation for computer programming and conform more readily to the production system formalism. They also reflect how the designer's world is often perceived: composed of hierarchically describable things. Complex descriptions of objects can be manipulated more readily than under a shape grammar (Coyne, 1989, p. 103).

Spatial grammar can be an active partner through the computational synthesis of designs, supporting the human designer. They can help routine design tasks by generating alternative arrangements and, even more interesting, developing spatially novel solutions beyond what a designer might think. They provide a rule-based, generative shape design method but have yet to find general application within CAD systems. Most spatial grammars are hard-coded; i.e., a practitioner cannot change their vocabulary and rules without re-programming (Hoisl, 2012).

In this paper, the term 'spatial' is preferred instead of shape grammars because the definition of spatial grammar is appropriate to the



representation of the spaces and the façade elements like set grammar. The contribution of spatial grammar to the design process of the mass-customized housing would be to compose the vertical and horizontal relations of the spaces. Rectangular units (cells) represent these spaces in the computational model. The rules present the neighborhood relations.

### **3. SPATIAL GRAMMAR FOR DESIGNING MASS CUSTOMIZED HIGH-RISE HOUSING BLOCKS**

The proposed model for designing mass-customized housing buildings where different users share a common culture and form a whole by different needs together have a top-down and a bottom-up process that operates as two and three-dimensional. It is possible to examine the model in two sections.

#### **3.1 Generation of Floor Plan Layouts**

There is a two-pronged approach that enforces a specific set of rules in the grammar configuration. The first approach includes preparing a rectangular schema or a grid as an initial step and re-organizing the composition generation in the following steps. The other method involves a generation process that starts by locating a particular space and continues with adding the different rooms/spaces to the plan composition. In these approaches, spatial relations are represented by hierarchical and multiple rule sets, similar to Palladian, Bungalow, Japanese tearooms, and Queen Anne grammars.

In this paper, the generation of the plans for mass-customized houses occurs in the second approach. The generation process progresses on an imaginary grid mechanism. In the defined rule sets, square or rectangular shapes in the grid placement represent the vocabulary elements to determine the topological configurations of the spaces. As the vocabulary elements of this parametric spatial grammar are represented as blocks, this grammar can be considered a set grammar. The vocabulary elements of the grammar (i.e., the façade elements) operate as modules in the block grammar.

As Stiny states, "Spatial relations for a given vocabulary sometimes allow its shapes to interpenetrate in designs. Interpenetration like spatial ambiguity can be a valuable technique in design. Architects and

designers often conceive of designs in terms of interpenetrating masses or volumes. In those cases, however, where interpenetration is felt to be undesirable, it can be prohibited by labeling the shape rules used to construct designs" (Stiny, 1980b), p.440). Stiny (1980b) developed a labeling scheme for preventing interpenetration in designs constructed by shape rules. This scheme is helpful in labeling shape rules based on spatial relations that can specify by sets of shapes defined in a discrete, cubical grid. Similarly, in this grammar, there is a grid layout to represent the blocks and their spatial relations to prevent spatial ambiguity and control interpenetration of the blocks and, consequently, the spaces or the façade elements. The functions of the spaces label the spatial blocks.

When considering today's multistorey housing designs based on mass production, it is not difficult to observe that the floor plan organizations usually include similar combinations of one or more of four or five different typical dwelling layouts. These layouts are in the form of one living room and the other room/s (one room+ a living room, two rooms+ a living room, three rooms+ a living room, four rooms+ a living room) with other service spaces (WC-bathroom, entrance hall, kitchen, etc.). Their numbers can also vary on a floor plan according to building size. They have the same plan scheme limiting the users' choices on each floor. However, the proposed model encourages variety and flexibility because it is a parametric computational model that produces alternatives using the "generate and test" method. This model evaluates different user preferences for each floor as digital data and offers new formation possibilities with innovative features. In the model, each spatial unit affects the generation of others according to this digital data, and they come together to form different dwellings. Thus, variations naturally emerge by themselves.

A floor plan area defines the boundaries of a generation space. There are basic requirements and specific relationships with the other rooms for the design of each room in a dwelling. By this knowledge, the model manages the positions of the rooms in the workspace. All of them happen with determining locations of rooms, allocating functions, and generating and defining new spaces in the proposed model. Also, there is a central or linear vertical stable circulation area as a building public space. This vertical public space is in the center, and the other rooms/dwellings place throughout the housing block.

Moreover, there is a structural system that allows for spatial flexibility and variety in this model. As Christopher Alexander (1997) pointed out before, using rectangular spaces is widespread, and these spaces provide ease of use and flexibility (Guo & Li, 2017). Accordingly, the model is based on a rectangular grid layout, and the structural design is in a grid system of  $n \times n$  dimensions. The grid planes define a potential generation field for each unit of dwellings by its division into smaller units ( $n/2 \times n/2$  meters). Model regulates each dwelling plan on these grids by the knowledge of dwelling typologies which are pre-defined in its database (Figure 1).

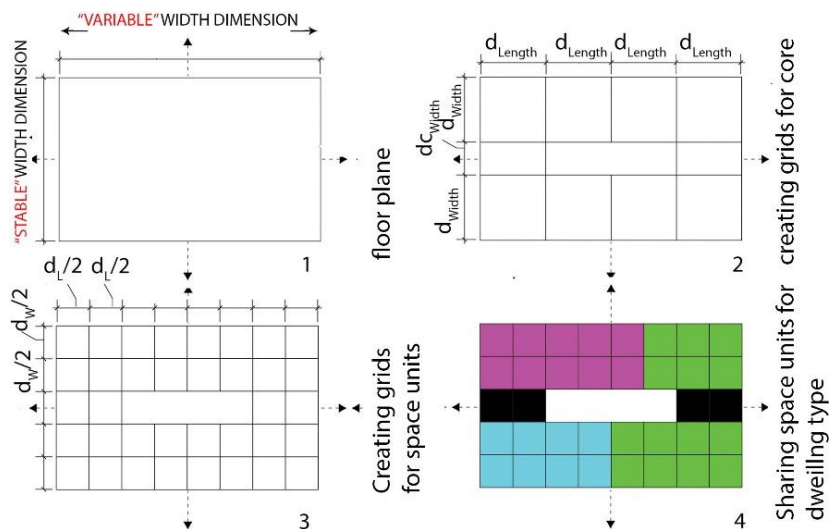


Figure 1: Grid divisions of floor plan layouts.

The design of floor plan schemas for housing blocks occurs in certain stages, such as determining types of a dwelling like Type A (one bedroom), Type B (two bedrooms), and Type C (three bedrooms) according to user preferences, generating their variations, and evaluating their results. The model envisages that each dwelling type will have a living room and bedrooms. At first, the model compares user preferences and the knowledge of the pre-defined dwelling type to determine the patterns of the dwellings that will occur in the chosen floor plan schema. It makes a share of the total floor area among types of residences described in the selected floor in the context of user preferences. It evaluates the sizes of each type of dwelling by considering the constraints of minimum and maximum area, which are specific for the defined dwelling types. It eliminates the residences which stay under the minimum values and shares their areas among

the other kinds of dwellings according to preferences. Also, if the maximum area value is exceeded, it reviews each of the chosen dwelling types regarding their space capacity to build more than one dwelling. Thus, it balances users' demands and spatial requirements.

Then interior space designs initiate after the decision of production states and numbers of the chosen dwelling types. In the generation of the plans, the operation process starts with the placements of the spatial units on the shared floor plan areas according to the rules of spatial relationships. These units comprise the entrance hall of the building, entrance hall of the house (G), bathroom (W), kitchen (K), living room (L), bedrooms (B), and terraces (T).

The rule sets for plan layouts are as follows:

- After placement of entrance hall units, voids are controlled at the right and left of each "entrance hall" unit according to their relations with the main circulation area. A kitchen or bathroom cell settles into the void unit ( $R_{221}$ ,  $R_{222}$ ,  $R_{231}$ , and  $R_{232}$ ). Also, for some dwellings, placement of living room cells is done ( $R_{223}$  and  $R_{224}$ ).
- If there are spatial units on both sides of an "entrance hall" unit and this "entrance hall" is a member of Type A (one room and one living room) dwelling, then a living room exists in front of this unit ( $R_{211}$  and  $R_{212}$ ). In such cases, at the end of the process, a two-cell dwellings type may occur and is called a "Type D" dwelling with a mixed-function room.
- After controlling right and left neighborhoods of the entrance halls, in front of these cells and the other generated ones, a kitchen ( $R_{233}$ ,  $R_{234}$ ) or a living room ( $R_{211}$ ,  $R_{212}$ ) unit for large dwellings (Type B and C) and a bedroom ( $R_{225}$ ,  $R_{226}$ ) for a small dwelling (Type A) place.
- A kitchen may be near the entrance hall ( $R_{221}$ ,  $R_{222}$ ). Then a living room exists in the front or at the right or left of that unit ( $R_{321}$ ,  $R_{322}$ ).
- The living room consists of more than one cell in large housing units. So, after placing a living room near a "kitchen" unit, if there is a void cell near the existing one, a new "living room" unit exists on the void cell ( $R_{431}$ ,  $R_{432}$ ).

- A living room can locate next to an entrance hall. Then, a new "living room" or a "terrace" cell exists in front of this unit (R<sub>433</sub>, R<sub>434</sub>, R<sub>227</sub>, and R<sub>228</sub>).
- According to its position, at right and left or in front of a "WC-bathroom" cell, bedroom cells place (R<sub>531</sub>, R<sub>532</sub>, R<sub>533</sub>, and R<sub>534</sub>).
- In large dwellings (like Type C), a new "WC-bathroom" unit is put in at the right or left of the existing "WC-bathroom" according to its position (R<sub>551</sub>, R<sub>552</sub>).
- If there is a void around the existing "bedroom" unit, a new one locates in there (R<sub>633</sub>, R<sub>634</sub>).
- Similarly, if the existing bedroom unit in a dwelling is directly adjacent to the housing block's main circulation area, a bedroom or terrace unit is located in front of that unit (R<sub>631</sub>, R<sub>632</sub>, R<sub>635</sub>, and R<sub>636</sub>).

All the rule sets are on the scheme in **Figure 2**. The scheme demonstrates which spatial unit each basic spatial unit triggers to exist in each dwelling type after its generation.

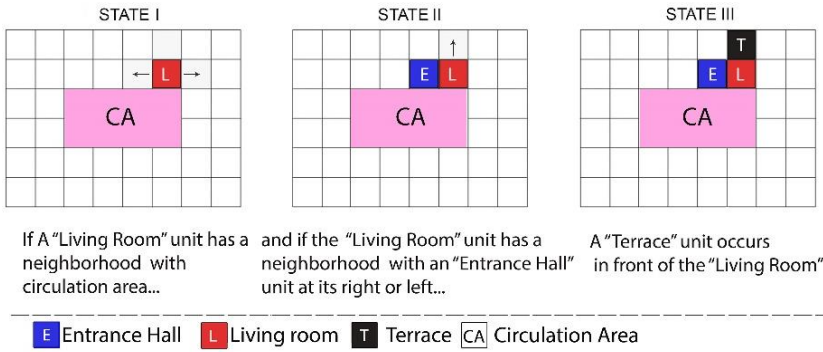
Spatial units represented by cells generate dwelling types in a floor plan according to a specific set of neighborhood relations rules in the bottom-up process. The generation of dwelling types starts when each entrance unit locates on the floor plan simultaneously. These generated units also represent a dwelling. The other spatial units affected by the created entrance or different spatial units also join in the defined house plans (units) during the generation. In the model, each space cell has specific rules based on its topologic architectural relations with the others separately (**Figure 3**).

After the generation of spatial units, the model controls the fitness of the created dwelling samples. The essential criteria of this evaluation phase are the value of the minimum area specific to each dwelling type. Suppose the dwelling size doesn't meet the criteria necessary for the corresponding dwelling type and cannot define any other housing types. In that case, the model deletes the generation of this dwelling unit and removes the created room units from the workspace. It re-evaluates spaces left empty to generate the other selected types of dwellings. The operations such as evaluating remaining empty areas, generating new units in these areas, or changing the functions of existing units contribute to variation and unique emergence despite the

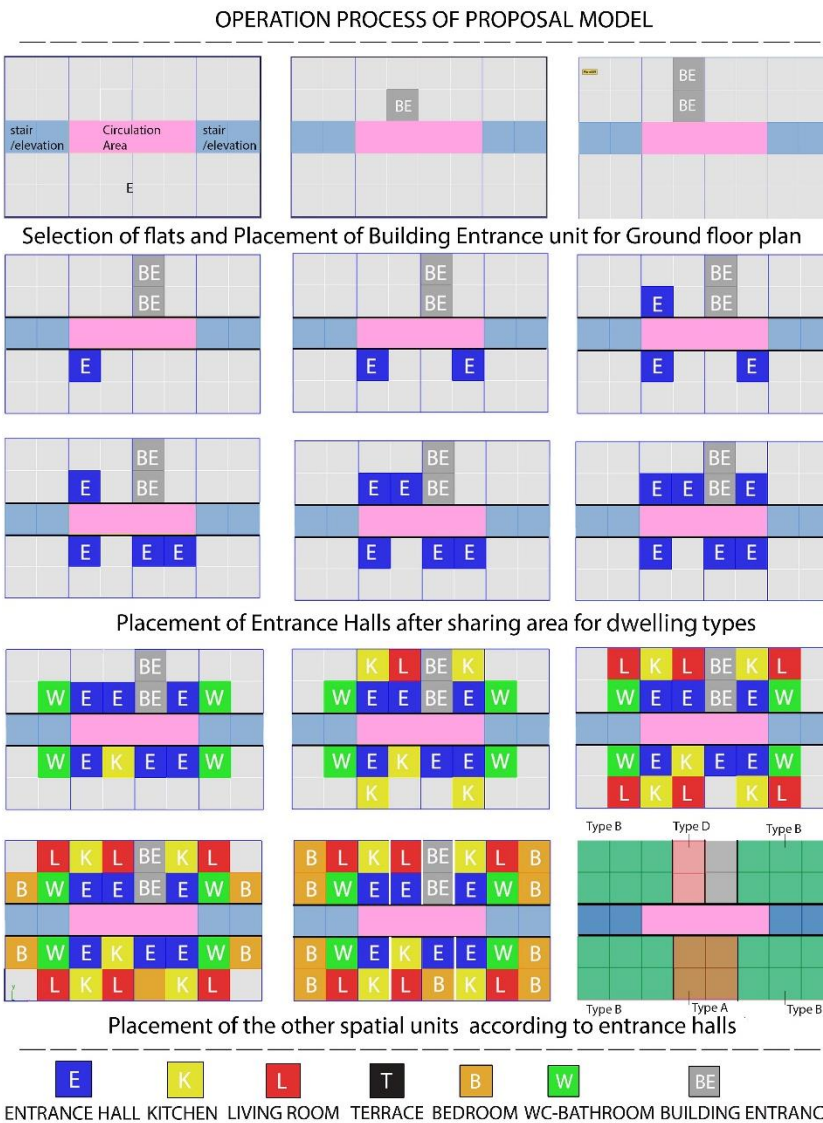
initial choice conditions. The model generates different dwelling types (Type A, Type B, and Type C) in a floor plan (Figure 4 and Figure 5).

SPACE RULES	RULES FOR HOUSING TYPES				
	RULE11	RULE12	RULE13	RULE14	RULE15
<b>E</b> ENTRANCE HALL	 D(1+0) housing type	 A(1+1) housing type (with four cells)	 A(1+1) and B(2+1) housing type (with six cells)	 B(2+1) and C(3+1) housing type (with eight cells)	 B(2+1) and C(3+1) housing type (with ten cells)
<b>K</b> KITCHEN		 R221 R222 R223 R224	 R231 R232 R233 R234	 R241 R242 R243 R244	 R251 R252 R253 R254
<b>L</b> LIVING ROOM		 R225 R226	 R233 R234	 R234 R234	 R233 R234
<b>W</b> WC BATHROOM		 R211 R212			 R211 R212
<b>B</b> BEDROOM		 R321 R322	 R323 R324	 R323 R324	 R323 R324
		 R431 R432	 R431 R432	 R431 R432	 R431 R432
		 R433 R434	 R433 R434	 R433 R434	 R433 R434
		 R227 R228	 R227 R228	 R227 R228	 R227 R228
		 R531 R532	 R531 R532	 R531 R532	 R531 R532
		 R533 R534	 R533 R534	 R533 R534	 R533 R534
			 R551 R552		 R551 R552
		 R631 R632	 R631 R632	 R631 R632	 R631 R632
		 R633 R634	 R633 R634	 R633 R634	 R633 R634
		 R635 R636			 R635 R636

Figure 2: The rule sets for plan layouts.

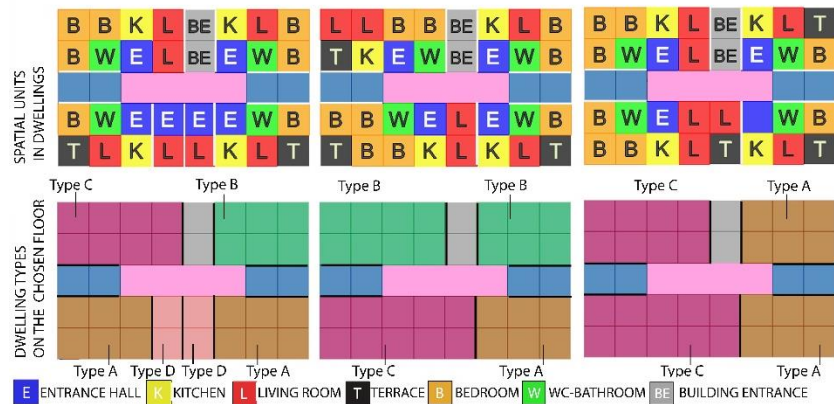


**Figure 3:** The initial shape of the spatial grammar and first stages of the generation process.



**Figure 4:** Generating the process of alternative solutions for a floor plan has a linear circulation core.

**Figure 5:** Solution alternatives for one floor (ground floor plan) of a selected building according to different user preferences.



As the sample of the generation process shows, there are characteristics of emergence by the harmonization process and its results between user preferences and functional architectural requirements in the model. Although the apartment examples created with the rules may seem standard solutions, they evolve into different typologies depending on the process. Floor plans with other solutions fill the skeletal structure and support the holistic structure feature naturally.

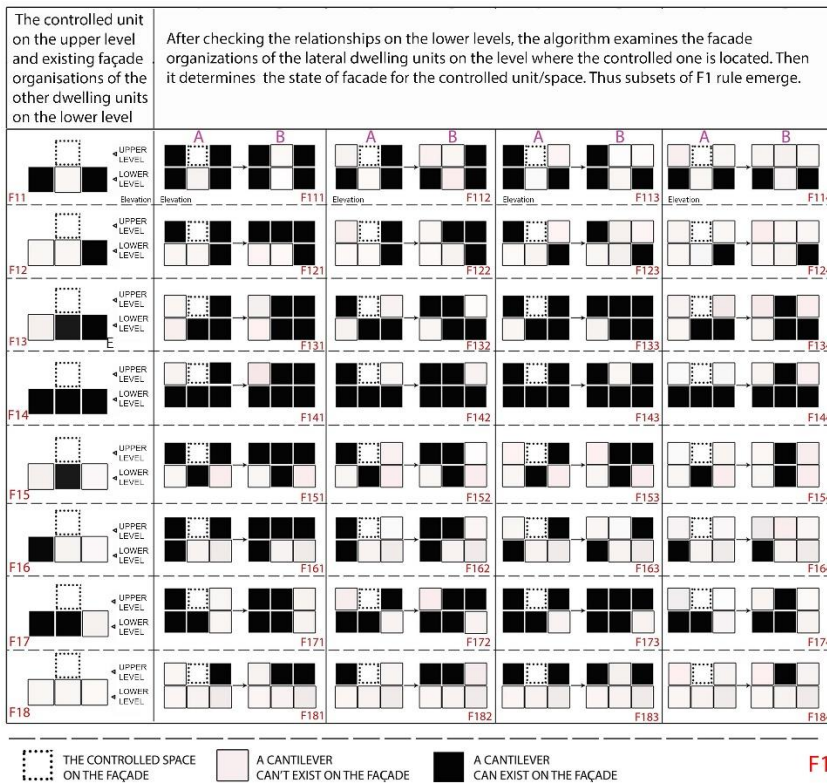
### 3.2 Generation of Building Façades

There are additional developed rules for façade configurations of the building blocks to address possible aesthetic problems. According to the floor plans, these rules follow the relationships of the spaces on the façade vertically and horizontally. The states of cantilevers and setbacks are determined in the façade design of the building envelope by interior spaces directly connected to the exterior façade. In other words, the states of spatial units of a building block affect the generation of cantilevers and setbacks in the model. The model groups the spatial units according to façade direction and their locations. The grouped units on each façade determine the formation of cantilevers or setbacks together under the vertical and horizontal neighbouring relationships (**Figure 6a**). In this context, there has been a set of façade rules for locating façade cantilevers. Among them, the most important one is the rule to manage cantilevers' generation in the frame of the formal dynamism and their relationships of every spatial unit on floors (F1 rule). The rule contains various sub-parameters according to the conditions.



Some of the other rules are as follows (Figure 6b):

- If a living room has only one unit in a dwelling type, a cantilever exists in front of this space (F2 rule). However, a cantilever on a façade is allowed for only one unit in a living room with more than one unit in large dwellings (F3 rule).
- If two living room units in different dwellings are adjacent, they can have cantilevers (F4 rule).
- If there is a cantilever at one side of a living room in the floor plan corner, a new cantilever exists on the other side (F5 rule).
- In some dwellings, if two "Bedroom" units are adjacent and one of them is neighbor with the central circulation area, Then A room that consists of these two units is considered a significant volume. Therefore, the space can't have a cantilever, but its volume can create a setback (F6 rule).
- A "kitchen" unit on the façade can have a semi-open cantilever or create a setback like "Bedroom" units (F7 rule).

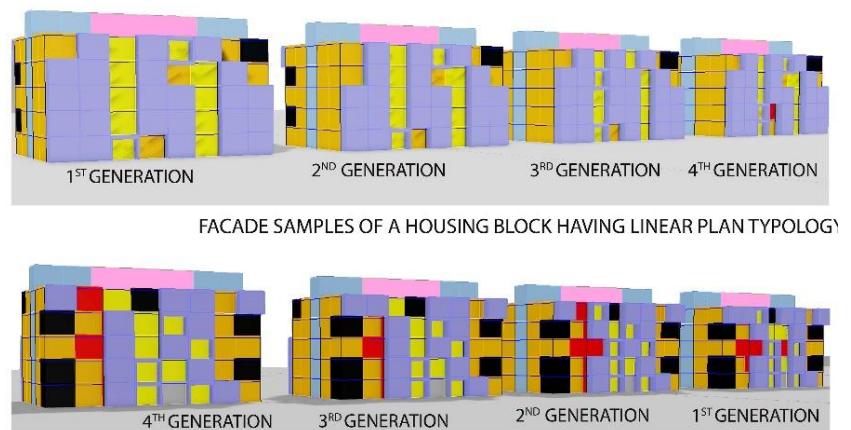
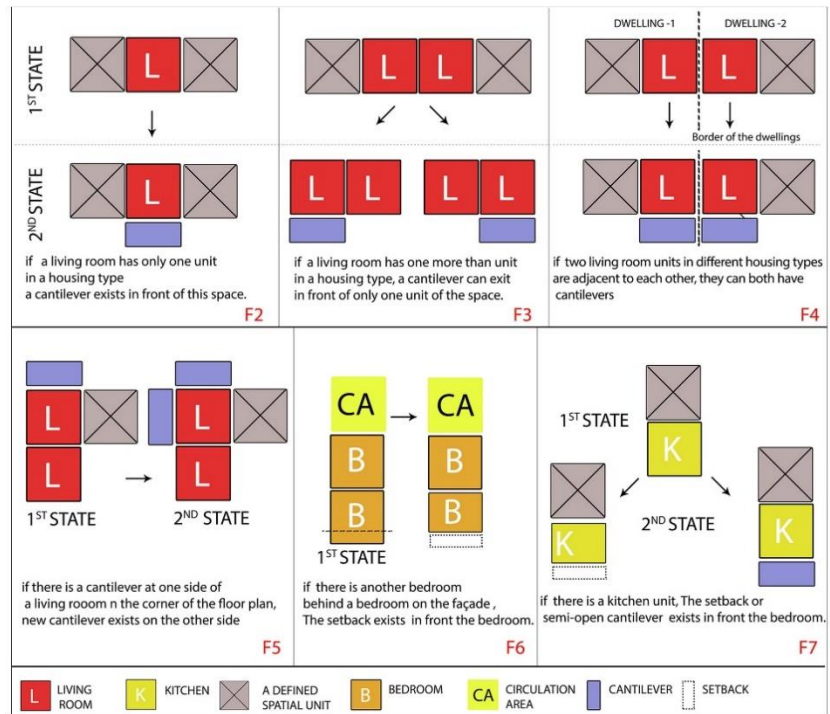


**Figure 6a:** F1 rule and its subset matrix. In this rule, according to each chosen spatial unit and the other ones around it, a cantilever emerges or not.

Apart from these rules, in the implementation phases, the model generates alternatives by its feature of randomness for obtaining more

variations. Furthermore, the model makes generations simultaneously realized on all façades. In **Figure 7**, some of the façade alternatives of the mass-customized housing blocks are generated by this model.

**Figure 6b:** According to spatial conditions in the plans, whether the chosen units have a cantilever or a setback is determined.



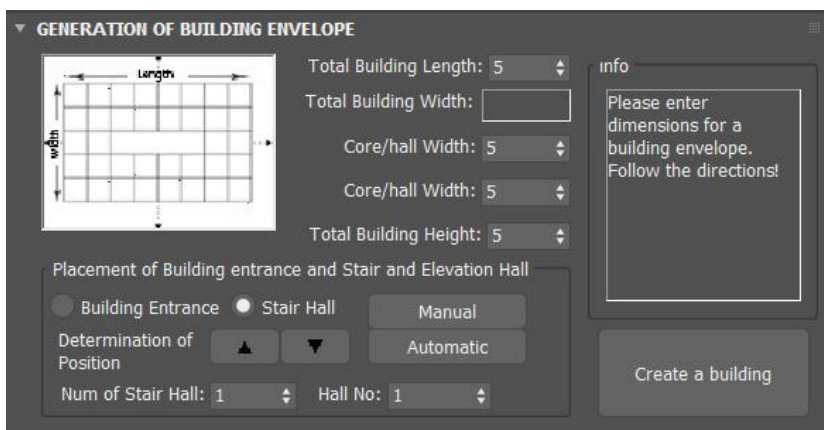
**Figure 7:** Façade solutions for housing blocks

Façade applications have shown that it increases dimensional diversity in all floor plans and allows users to use different open spaces. In addition, it has led to the organic formation in the third dimension. Instead of a pre-defined understanding of form based on the dominance of designers' aesthetics, it exhibits a holistic formation that combines aesthetic rules and functionality with self-organization and a

bottom-up process. There is more objective comprehension in the process. As in the plan alternatives, with the different probabilities obtained by the randomness criterion in each generation, the decision-making option for façade designs is left to the designers. In other words, the model generates adaptive alternatives by these rule sets based on basic architectural requirements and some aesthetic considerations. Still, it doesn't include a fitness ranking criterion among the generated choices. Therefore, in the proposed process, the designer seems to be a leading decision-maker in developing and choosing these schemes.

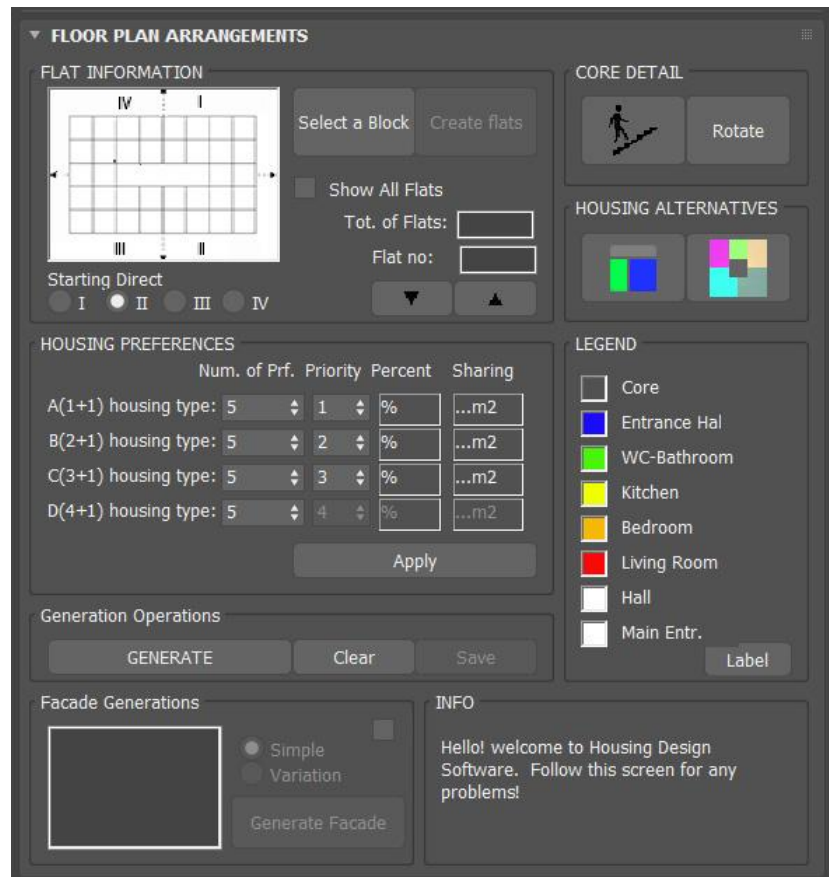
### 3.3 User Interface of the proposed model

The presence of a user-friendly interface is essential for fast data flow in the model. It should be simple, understandable, and offer a high level of interaction possibilities. Unlike the visual programming applications, which have been in common recently, this study developed the model structure by the scripts (maxscript) of 3D modeling software. However, the model has an extensible feature where the user (expert) can add, revise or develop rules. The designed interface has provided these rules to operate on one of the blocks generated in a site plan (**Figure 8** and **Figure 9**). Thus, the model generates the floor solutions step by step, and different solutions emerge when the model runs each time. The interface includes two basic sub-menus. At the same time, one of them is concerned with the definitions of building mass layouts. The other menu consists of the applications of floor plans and façade (data entry of user preferences and generation adjustments).



**Figure 8:** The interface for generating building envelopes.

**Figure 9:** The interface for generation of floor plan layouts.



#### 4. CONCLUSION

Shape or spatial grammars have been successfully applied in different domains to describe languages of shapes and generate alternative designs. This paper presents a 2D grammar model approach based on a set of parameterized spaces and façade elements. Although the model generates two-dimensional alternative plan layouts for every floor of a housing block, it also generates their façades. It includes the interactive and visual development of two-dimensional spatial grammar rules as well as their automatic application. The rule development phase consists of creating and positioning geometric objects in 2D space within a CAD environment.

The model has been developed by scripts of 3ds Max software and is a proposal of a parametric computational approach that provides flexibility and variety for designers and practitioners and generates alternatives by "generate and test." This model is an example of an

emergent process that presents innovative features by turning user preferences into digital data as a design parameter. Each spatial unit initiates the generation of others according to this parameter, and they define different dwellings together. Thus, variety and generativity emerge naturally. The implementation of the parametric spatial grammar model presents to architects and users an effective tool for the future design market. The applicability of this proposed model has been evaluated with various scenarios. Such models are examples of decision-support tools for architectural designs and present an alternative approach by using techniques that lead to variety instead of monotonous and repetitive solutions in mass-produced housing designs which ignore or subordinate users' preferences. Significantly, the model has produced outcomes that quickly offer different alternatives for the generated blocks' floor plans and façade solutions.

Grammar rules represent the spatial relations, and generation algorithms proceed in a bottom-up approach. In this parametric spatial grammar, which presents a generative process, additive rule sets represent the spatial relations in the plan layouts. The syntactic and formal knowledge about grammar and spatial relations between the spaces, given in set grammar rules, can be defined parametrically. It is possible to generate rooms with different dimensions by changing constraints and parameters. The rule sets of the parametric spatial grammar have been for two-dimensional plan layouts. Although, the same model generates the façade alternatives of these plans.

The other results can be listed as follows:

- The model suitable for design problems offers designers opportunities for variety. In other words, the model expands solution space for them in different design phases.
- Shapes of the building blocks are central or linear forms; their floors are rectangular. Selection of the rules and arrangements of the relationships among spaces have become in the frame of this configuration. However, these rules and relationships are as generalizable as possible. For future studies, they can be adaptable to the plan schemes in different forms by enriching their contents by regulations and adding new rules specific to these forms. Ultimately it is likely to get positive results by new suggestions.

- By the model, a designer can obtain many alternative and developable solutions, which seem challenging and time-consuming with traditional methods, in-floor plans, and façades. These solutions are evolvable schemes with designers' approaches and interventions, users' demands, and the context. Thus, as the number of generated alternatives increases with designers' intuition and initiative, designers' efficiency and dominance in the process are preserved.
- As stated before, the proposed model doesn't have a fitness function for thoroughly evaluating the generated alternatives. The ability of the model to guide the designer can be improved by multiple simultaneous choices and a scoring method among them by using the increased fitness function criteria values.
- The proposed model is based on the primary spatial configurations according to users' needs in the form of a residential block with a developable and flexible grid layout. In the model, technical service spaces place around the core with rules. However, these primary spatial schemes can be further developed and detailed by new interior rules, technical constraints, and minimal interventions for the following stages.
- The importance of interactive processes with feedbacks for architects has drawn attention during the generation of alternatives in computational design.

The main contribution of this model is not only based on a specific architectural language but also to provides a flexible platform supporting designers/users with visual, interactive definition and application of their spatial relations and façade compositions in a familiar CAD environment without programming.

## References

- Agarwal, M., & Cagan, J. (2000). On the use of shape grammars as expert systems for geometry-based engineering design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 14(5). <https://doi.org/10.1017/S089006040014507X>
- Alexander, C. (1997). *A Pattern Language: Towns, Buildings and Construction*. Oxford University Press.
- Çağdaş, G. (1996). A shape grammar: The language of traditional Turkish houses. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 23(4),

443–464. <https://doi.org/10.1068/b230443>

Carta, S., Loe, S. S., Turchi, T., & Simon, J. (2020). Self-organising floor plans in care homes. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11), 4393. <https://doi.org/10.3390/su12114393>

Coyne, R. (1989). *Logic Models of Design*. Pitman.

Downing, F., & Flemming, U. (1981). The bungalows of Buffalo. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 8(3). <https://doi.org/10.1068/b080269>

Duarte, J. P. (2005). Towards the mass customization of housing: The grammar Siza's houses at Malagueira. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(3). <https://doi.org/10.1068/b31124>

Flemming, U. (1981). The secret of the Casa Giuliani Frigerio. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 8(1). <https://doi.org/10.1068/b080087>

Godoi, G. De, & Celani, G. (2008, December 1-5). *A study about façades from historical brazilian town using shape grammar*, Sigradi 2008: the 12th Iberoamerican Congress of Digital Graphics, La Habana, Cuba.

Granadeiro, V., Duarte, J. P., Correia, J. R., & Leal, V. M. S. (2013). Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. *Automation in Construction*, 32, 169-209. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.003>

Grasl, T. (2012). Transformational Palladians. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(1). <https://doi.org/10.1068/b37059>

Gungor, O., Cagdas, G., & Balaban, O. (2011). A mass customization oriented housing design model based on Genetic Algorithm. *Respection Fragile Places, 29th ECAADe Conference Proceedings*, 325–331.

Guo, Z., & Li, B. (2017). Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding system. *Frontiers of Architectural Research*, 6(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.11.003>

Hoisl, F., R. (2012). *Visual, Interactive 3D spatial grammars in CAD for computational design synthesis*. Technische Universität München.

Hoisl, F., & Shea, K. (2011). Interactive, visual 3D spatial grammars. In S. Gero, J. (Ed.), *Design Computing and Cognition '10* (pp. 643–662). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0510-4\\_34](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0510-4_34)

Knight, T. (2003). Computing with emergence. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(1), 125–155. <https://doi.org/10.1068/b12914>

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). <https://doi.org/10.1068/b080295>

- McKay, A., Chase, S., Shea, K., & Chau, H. H. (2012). Spatial grammar implementation: From theory to useable software. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 26(2), p143–159. <https://doi.org/10.1017/S0890060412000042>
- Stiny, G. (1980a). Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7, 343–351. <https://doi.org/10.1068/b070343>
- Stiny, G. (1980b). Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7(4), 409–462. <https://doi.org/10.1068/b070409>
- Stiny, G. (1982). Shapes are individuals. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 9(3), 359–367. <https://doi.org/10.1068/b090359>
- Stiny, G., & March, L. (1981). Design machines. *Environment and Planning B*, 8, 245–255.
- 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>
- Strobbe, T., Eloy, S., Pauwels, P., Verstraeten, R., De Meyer, R., & Van Campenhout, J. (2016). A graph-theoretic implementation of the Rabo-de-Bacalhau transformation grammar. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 30(2). <https://doi.org/10.1017/S089006041600003>





# Shell Design by Integration of Origami and Cellular Automata

Hatice Melike Özbek<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3160-8778<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing Program, Istanbul, Turkey

In this study, an emerging shell design was made by using origami and cellular automata in an integrated way. The state of being kinetic and being able to change and transform, which comes from the nature of origami; is an inspirational situation in an architectural design. Use of origami can provide unexpected results to the designer. Producing an integrated system with the concept of emergence, creating a system that emerges with the determined rules and the interactions between the parts in the system themselves will strengthen the design. At the beginning of the study, different origami models were tried; The origami pattern with the parabola form, which will most support the concept of emergence, was used. Within the scope of the study, the modular use of origami was discussed and cellular automata was used in the assembly of the modules. The use of modules and the combination of modules by use of cellular automata; strengthened the relationship of the study with the concept of emergence. Numerous variations will be produced by the cellular automata, and all these examples will be able to enter different forms with their own state of motion; will produce numerous alternatives for the designer and the user for different spaces and scenarios. In this context, origami was first discovered through manual trials, and the system to be used was decided, and then digital modeling and productions were supported. Manual and digital production methods supported each other; The development of the model and design has been achieved through feedback in the process. The “Crane” plugin was used to create origami simulations for models created with Rhino-Grasshopper. Simulating origami movement in digital productions; It has been a guide in terms of the forms in which shell designs that are difficult to produce in manual studies, consisting of many modules. At the same time, the simulation steps have been guiding in the scope of the study in terms of how the user-interactive movements will be in real life and the form that the shell will take. In the continuation of the study, research was carried out for the production of the design, and a system proposal was developed. Finally, the kinetic state of this system has been investigated and studies have been carried out on the system that will provide the movement. It has been seen that origami has led the designer to many alternative designs with the appropriate material and system selection. With the kinetic system of origami and its support with cellular automata; A shell design that supports the appearance in every aspect, is user-interactive, and can adapt to different scenarios has been achieved. The realization of different productions through the user route, which will be determined in a place at the beginning, has ensured that the concept of emergence is specific to the place. At the same time, the use of cellular automata with popular configurations has contributed to creating different design alternatives.

**Received:** 15.08.2021

**Accepted:** 08.09.2021

**Corresponding Author:**

ozbekh15@itu.edu.tr

Özbek, H. M. (2021). Shell design by integration of origami and cellular automata. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 73-102. <https://doi.org/10.53710/jcode.983226>

**Keywords:** Cellular Automata, Emergence, Generative System, Origami.

# Origami ve Hücresel Özdevinim Entegrasyonu ile Kabuk Tasarımı

Hatice Melike Özbek<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3160-8778<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Bu çalışma kapsamında origami ve hücresel özdevinimin entegre bir şekilde kullanarak tasarımda kullanılmasının uygunluğu araştırılmıştır. Origaminin doğasından gelen hareketli olma ve değişip dönüşebilme durumu; yapısal anlamda ilham verici bir durumdur. Bu konu ele alınırken belirme kavramıyla entegre bir sistem üretmek, belirlenen kurullarla ve sistemin içindeki parçaların kendileri arasındaki etkileşimleriyle beliren bir sistem oluşturmak tasarımı güçlendirecektir. Çalışma kapsamında origaminin modüler kullanımı ele alınmış ve modüllerin bir araya gelişinde de hücresel özdevinim kullanılmıştır. Hücresel özdevinim ile sayısız varyasyonlar üretilecek olup bütün bu örneklerin de kendi içindeki hareket durumuyla farklı formlara girebilecek olması; tasarımcıya ve kullanıcıya farklı mekanlar ve senaryolar için sayısız alternatif üretecektir. Bu kapsamda origami, öncelikle manuel denemelerle keşfedilerek kullanılacak sisteme karar verilmiş ve devamında dijital modelleme ile üretimler desteklenmiştir. Manuel ve dijital modelleme yöntemleri birbirlerini desteklemiş olup; süreç içinde geri bildirimlerle modelin ve tasarımın gelişimi sağlanmıştır. Rhino-Grasshopper ile oluşturulan modellerde origami simülasyonu oluşturabilmek için “Crane” eklentisi kullanılmıştır. Dijital modellemelerde origami hareketinin simüle edilmesi; manuel çalışmalarda üretilmesi zor, sayıca fazla modülden oluşan kabuk tasarımlarının gireceği formlar açısından yol gösterici olmuştur. Çalışmanın devamında tasarımın üretimine yönelik araştırmalar yapılmış olup sistem önerisi geliştirilmiştir. Son olarak bu sistemin kinetik durumu araştırılmış ve hareketi sağlayacak sistemle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Origaminin uygun malzeme ve sistem seçimi ile tasarımcıyı pek çok alternatif tasarımlara götürdüğü görülmüştür. Origaminin sahip olduğu kinetik sistem ve bunun hücresel özdevinimle desteklenmesiyle; belirmeyi her açıdan destekleyen kullanıcı etkileşimli ve farklı senaryolara adapte olabilen bir kabuk tasarımına ulaşılmıştır.

**Teslim Tarihi:** 15.08.2021

**Kabul Tarihi:** 08.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

ozbekh15@itu.edu.tr

Özbek, H. M. (2021). Origami ve hücresel özdevinim entegrasyonu ile kabuk tasarımı. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 73-102. <https://doi.org/10.53710/jcode.983226>

**Anahtar Kelimeler:** Belirme, Hücresel Özdevinim, Origami, Üretken Sistem.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tasarımda belirme, tasarımcıya ve kullanıcıya beklenmedik pek çok alternatif sunmakta ve tasarıma çok farklı açılardan yaklaşmayı sağlamaktadır. Çalışma kapsamında belirme kavramını destekleyecek farklı stratejiler benimsenmiş ve bunların entegrasyonu ile aynı parçalarla ve örüntülerle oluşturulan tasarımların bile değişip dönüşebilmesi ile beliren bir kabuk tasarımı ortaya çıkmıştır. Araştırmanın başlangıcında origaminin belirme kavramı ile ilişkisi irdelenirken; devamında başka bir üretken sistemle entegrasyonu ile belirme kavramının güçlenme durumu araştırılmıştır. Bu araştırmalar sırasında üretken sisteme entegrasyon için katlama ile oluşturulan modellerle sürece uygun katlama teknikleri araştırılmıştır ve son olarak hücrel özdevinimle birlikte kullanımın tasarımcıya neler kazandıracağını araştırmak amacıyla bir süreç düzenlenmiştir.

Çalışmanın belirme kavramıyla kurduğu ilişkiyi açıklarken öncelikle holizm ele alınmalıdır. Smuths; holizmin nesnelere bir bütün olarak gördüğünü, bütünün parçaların toplamından fazlası olduğunu ve son olarak bütünün davranışının ve karakterinin onu oluşturan parçalarla tek tek açıklanamayacağını söylediğini belirtmiştir (Smuths, 1929). Aynı şekilde Holland tarafından belirme kavramının “Bütün, onu oluşturan parçaların toplamında fazlasıdır (Holland, 2000).” şeklinde tanımlanması; kavramın ele alınışı ve tasarıma yön vermesi açısından önem teşkil etmektedir. Bir başka açıdan bakıldığında kural tabanlı sistemlerin pek çok açıdan belirme kavramını desteklediği bilinmektedir. (Knight, 2003) Bu tanımlar ışığında belirme; bir bütünün parçalarının birbirleri arasındaki etkileşimleriyle beklenmedik sonuçlar doğurma durumudur şeklinde açıklanabilir. Bütünü oluşturan parçalar bir araya geldiklerinde, kendi başına ifade ettikleri anlamdan çok daha fazlasını ifade ederler.

Belirme kavramının üretken bir sistemle irdelenmesinin amaçlandığı bu çalışmada origaminin tek bir sistem ve katlama tekniğiyle farklı formlar oluşturabilme potansiyelinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında manuel ve dijital tasarım araçlarının entegrasyonu ile belirme ve esneklik kavramlarının ele alındığı bir kabuk tasarlanmaktadır. Düz bir kağıda uygulanan katlama teknikleriyle sonsuz varyasyonda formlar üretmek mümkündür. Bu katlamaların sıklığına göre ince bir malzemeye taşıyıcı özellik kazandırmak ya da katlamanın vermiş olduğu dinamik

olma durumuyla düz bir malzemeye hareket kazandırmak mümkündür. Bir malzemenin doğası itibarıyla sahip olmadığı özellikleri ona uygulanan etkilerle kazandırmak ise yine bu durumu “belirme” (emergence) kavramına getirmektedir. Bu durum; origaminin tasarımcıya tek malzemenin, farklı özellikte pek çok tasarıma ulaşma şansı verdiğini göstermektedir. Bu farklı alternatiflerle ise “esneklik” kavramına atıfta bulunmak mümkündür. Burada esneklik iki ayrı şekilde ele alınabilir. Origaminin doğası gereği oluşturulan form, doğru katlama teknikleri tercih edildiğinde mekanik bir form olabilir. Böylelikle tasarım değişen koşullara uyum sağlayabilir; tek bir forma değil, farklı formlara sahip olabilir. Diğer bir konu ise bu değişme potansiyelinin kullanımla entegre edilmesidir. Kullanıcıya farklı ortamlar sağlayarak farklı amaçla hizmet edebilmesi durumu da esneklik olarak değerlendirilebilir. Bir ortamda oluşturulacak farklı senaryolar için farklı ortamlar aynı yapıyla sağlanabilir. Ayrıca eş zamanlı bir şekilde kullanıcı etkileşimli formlar da origami sayesinde tasarlanabilir.

Bu çalışma kapsamında da belirme kavramı origami çalışmalarıyla ele alınmıştır. Origami; Japoncada “oru” (katlama) ve “kami” (kağıt) kelimelerinin birleşiminden oluşan kağıt katlama sanatı olarak bilinmektedir. (Lang, 2017) Bu sanat barındırdığı potansiyellerle yalnızca bir kağıt katlamadan çok daha fazlasını ifade etmektedir. Tasarım boyunca üretken sistemin kurgulanma süreci doğrudan dijital yöntemlerle değil, manuel şekilde origami denemeleriyle geliştirilecek olup, bu manuel süreçten elde edilen bilgilerle de dijital modelin desteklenmesi kurgulanmaktadır. Sürece dijital olarak üretken sistemlerin dahil olması da modüllerin bir araya gelmesinde kullanılacaktır. Knight’ın belirttiği gibi hücrel özdevinimden biçim gramere; kural tabanlı sistemler pek çok açıdan belirmeyi anlamak ve oluşturmak için kullanılabilir (Knight, 2003). Bundan dolayı modüllerin oluşturulmasından sonra araştırılacak konu hücrel özdevinimdir. Hücrel özdevinim kullanımı ile modüllerin farklı kombinasyonlarda bir araya gelmesi; tasarımcıya farklı alternatifler sağlayacaktır ve belirme kavramı hem origami modüllerinin kendi hareketleriyle hem de hücrel özdevinim kullanımıyla ortaya çıkacak farklı formlarla ele alınmış olacaktır. Tasarım kısmından sonra ise çalışma, üretim odaklı devam edecek olup; malzeme ve kinetik sistemlere odaklanılmaktadır. Esnek ve dayanıklı bir malzeme seçimi ve bu malzemeyi hareket açısından desteleyecek bir sistem ile tasarım ilerletilecektir. Çalışma kapsamında farklı yöntemlerle oluşturulmuş farklı kabuk tasarımları ve

aynı tasarımların kinetik davranışı ile oluşturduğu formlar bir arada ele alınacak olup, belirme kavramının tasarımda bulunduğu yer irdelenecektir.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)**

Modernist yaklaşımlara bakıldığında katlama tekniği ile tasarım süreçlerini görmek mümkündür. Eisenman 1990'lerde katlama formları ile metinlere ve matematiksel modellere dayalı yeni bir dil geliştirmiştir (Schramke, 2016) ve katlamanın bir ürün değil, süreç olduğunu belirtmiştir. (Carpo, 2004) Katlamanın bir süreç olarak tanımlanması da çalışma boyunca ele alınan belirme kavramını desteklemektedir. 1900'lerde yapı ölçeğinde örnekleri görülen katlama ile tasarımlar; barındırdığı potansiyeller dolayısıyla çalışmada kullanılmıştır. Katlama dijital metotlarla birleştirilerek tasarımı destekleyecek şekilde kullanılmıştır.

Origaminin farklı bir kural tabanlı yaklaşımla geliştirilmesinin amaçlandığı bu çalışmayı mevcutlarından ayıran kısım; bir origami deseninin manuel ve dijital modelleme yöntemleriyle ele alınıp hücrel özdevinim kullanımına uygun olup olmadığının araştırılmasıdır. Çalışma boyunca tasarıma yönelik yaklaşımlar denenmiş olup her aşama birbirini destekler şekilde yürütülmüştür.

Literatür araştırması yapıldığında origaminin ele alınış şekline göre disiplinler arası şekilde farklı kavramlarla da bahsedilen bir alan olduğu görülmektedir. Bu noktada bahsedilecek kavramlardan ilki "origamics" kavramıdır. Origamics; origaminin matematik, geometri, mühendislik gibi alanlarla entegre olarak ele alındığı araştırma alanıdır. (Stewart, 2007) Kağıdı katlayarak sanat amaçlı formlar elde edilmesinin dışında bu bilgi ve deneyleri bilimsel alanlarla entegre etmek; çalışmaların kapsamını fazlasıyla genişletip farklı disiplinlerle bir arada kullanılmasını sağlamıştır. Origamics anahtar kelimesi ile araştırma yapıldığında, bu modellerin matematiksel hesaplamalarına da girildiği ve dijital üretimlerle farklı alanlarda araştırmalar yapıldığını söylemek mümkündür. Yapılan bu araştırmalar da origaminin matematikle de birleşimi ve form açısından sağladığı alternatifler sayesinde mimariye kolaylıkla entegre edilebileceğini göstermektedir.

Origami ile ilgili araştırmalara bakıldığında; mevcut origami örnekleri üzerinden biçim gramerleri geliştirilen örnekler görmek mümkündür. Başlangıçta kağıt katlama ile oluşturulan bir modelin kural tabanlı bir sisteme dönüştürülmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Yu, Hong, Economou ve Paulino; kağıt katlama ile oluşturdukları modelleri katlama desenleri üzerinden analizler yaparak origamiyi bir biçim gramerine dönüştürmüşlerdir. (Yu, Hong, Economou ve Paulino, 2020) Aynı şekilde Gattas eğrisel katlamalara sahip bir origami desenini farklı matematiksel eşitlikler kullanarak kural tabanlı hale getirmiş ve bir biçim grameri oluşturmuştur. (Gattas, 2018) Bu çalışmada ise mevcut örnekleri kural tabanlı başka bir sistemle entegre ederek farklı form arayışları ve origami ile bu üretken sistemin entegrasyonunun mümkün olup olmadığı araştırılmıştır.

Calretas, Kong ve Januario (2014), mimari tasarımda kağıt katlamanın rolünü ele alarak, sürecin dijital sistemlerle ilişkisini de irdelemişlerdir. Origamics kavramı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; origaminin mekânsal üretimi üzerine çalışıldığını söylemek mümkündür (Hemmerling, 2009). Origami ile ilgili bir diğerk kavram ise “rijit origami” kavramıdır. Bu da mimariyi yakından ilgilendiren bir kavramdır. Rijit origami, herhangi bir yüzü bükerek veya katlayarak deformasyon olmaksızın kat izleri boyunca sürekli olarak dönüştürülebilen parçalı doğrusal origamilere denir (Tachi, 2011). Origami bir strüktür tasarımına ilham olacaksa; rijit origami örnekleri bu alan açısından faydalı olabilir.

Çalışmanın Origami ve form bulma sürecinin devamında yürütülecek uygulama aşaması için mevcut origami örnekleri araştırılmış olup hareketli kabuk için malzeme ve sistem örnekleri incelenmiştir. İncelenen pek çok örnekte origaminin genellikle ahşap gibi dayanımı yüksek malzemelerle üretildiği görülmüştür. Bunun dışında rijit origami olmayan uygulamalarda esnek polimer malzemeler kullanıldığı görülmüştür.

Osorio, Paio ve Oliveria; Kinetik Origami Surfaces (2014) çalışmasında hareketli bir origami sistemi tasarlanmış olup bunu hem malzeme hem mekanik sistem açıdan değerlendirerek üretimi yapılmıştır (Osorio, Paio & Oliveria, 2014). Çalışma kapsamında oluşturulan origami rijit origami özelliği göstermemektedir ve polipropilen (PP) levha kullanılmıştır. Bu malzeme kağıt gibi hafif ve esnek olmasının yanında; strüktürel açıdan

dayanıklı bir malzemedir ve güçlere karşı direnç gösterebilir (Osoria et al., 2014). Polimer malzemenin esnek özellik göstermesi kinetik sistemin hareketine engel olmamasını sağlamaktadır. PP levha daha detaylı araştırıldığında pek çok kıvrılma hareketi gösteren origami çalışmalarında bu malzemenin kullanıldığı görülmüştür. PP levha üzerine origami deseni ile iz çıkartılarak malzemenin yük altındaki davranışı incelenmiş ve belli bir yüke kadar formunu bozmadan esnek yapısı sayesinde katlanabildiği görülmüştür. (Lee et al., 2019)

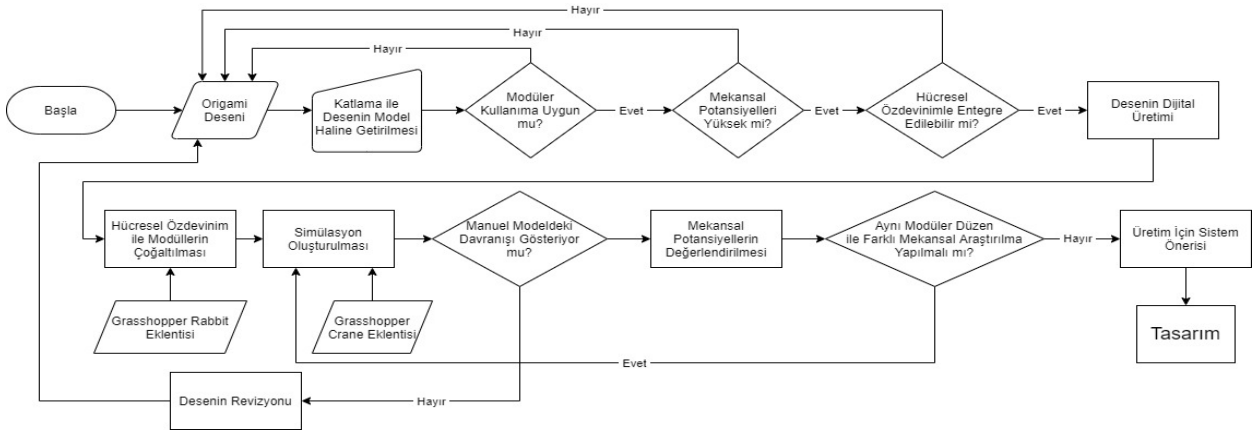
Bütün bu araştırmalar sonucunda; origaminin manuel ve dijital modellerinin birbirini destekleyip geri bildirimlerle üretimleri geliştireceği bir süreç üzerinde çalışılmıştır. Mevcut çalışmalarda dijital ve manuel alanlardan daha çok birine odaklanıldığı görülmektedir veya bu iki yöntem lineer bir süreç olarak izlenmektedir. Bu araştırma ile iki farklı yöntemin entegrasyonu amaçlanmaktadır ve iki yöntemden edinilen bilgiler bir diğer üretimi besleyerek modelin gelişmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda çalışma boyunca üretilen dijital modeller simülasyon olarak ele alınacak olup malzemenin rijitlik gibi değişkenlerinin kontrolü ile farklı simülasyonlar ile üretimi destekleyecek bir süreç hedeflenmektedir. Tasarımın hücresele özdevinimle entegrasyonu sayesinde origaminin doğasında bulunan belirme durumu farklı bir açıdan desteklenecek olup; aynı sistemlerle birden çok tasarıma ulaşılacak bir araştırma hedeflenmektedir. Mevcut araştırmalara bakıldığında origaminin üretimi biçim gramerine dönüştürülürken bu çalışma kapsamında yapılan origami bir modül olarak kullanılarak kural tabanlı şekilde tasarımcıyı bütüncül bir tasarıma götürecektir. Son olarak bütün bu tasarım araştırmalarının üretimine odaklanılacak; mevcutta bulunan genellikle ahşap levhalarla üretilmiş origami tasarımlarına pratik bir alternatif sağlayarak bütün bu belirme durumunu kullanıcıların da deneyimleyebileceği bir sistem araştırması hedeflenmektedir. Çalışma origaminin hücresele özdevinimle entegrasyonunun uygulanabilirliğini araştırma açısından literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Hem sürecin simülasyonlar ve modellerle geri bildirimli olarak yürütülmesi hem de mevcut üretim tekniklerine alternatif sistemler araştırılması yönüyle de mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır.



### 3. YÖNTEM (METHOD)

Çalışma boyunca origaminin tasarımda belirme destekleyecek şekilde üretimi yapılmış olup; zaten belirme destekleyen yapısının hücrel özdevinimle entegrasyonunun mümkün olup olmadığı ve bunun tasarımcıya belirme açısından sağladığı farklı tasarımlar araştırılmak istenmiştir. Tasarıma manuel katlama denemeleri ile başlanmış olup; bu denemelerin modüler kullanıma uygunluk, mekânsal potansiyellerinin fazlalığı ve hücrel özdevinimle entegrasyonu gibi kriterleri sağlayıp sağlamasıyla origami desenleri denenmiştir. Sürecin devamında bu manuel denemeler dijital modele aktarılmış olup iki farklı üretim karşılaştırılmış ve ihtiyaca göre manuel ve dijital modellerde revizyona gidilmiştir. Çalışmanın devamında bu üretimler modüler kullanıma entegre edilecek şekilde hücrel özdevinimle kullanıma uygun hale getirilmiştir. Simülasyonlar ile tasarımların mekânsal potansiyelleri araştırılmış olup çalışmanın devamında üretime yönelik araştırmalar yapılarak tasarım sonlandırılmıştır. **Şekil 1**'de sürecin akış şeması görülmektedir. Farklı üretim yöntemlerinin entegre olarak yürütüldüğü bir araştırma süreci geliştirilmiştir. Origami ve hücrel özdevinimin entegrasyonunun mümkün olduğunu ve bu entegrasyonla tasarımcının beliren sistemler tasarlayabileceğini kanıtlama üzerine çalışma devam etmiştir.

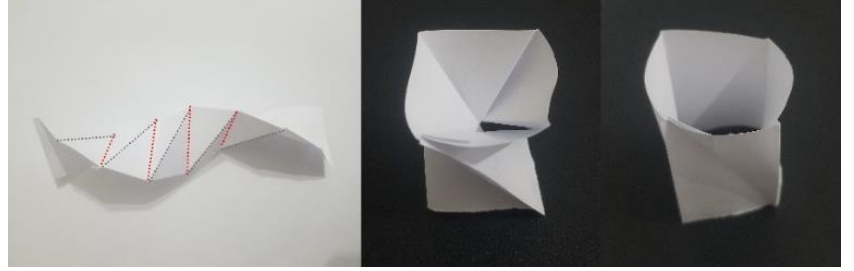
**Şekil 1:** Çalışmanın akış şeması (Flowchart of the study) (Developed by the author).



Origami ile tasarlanabilecek farklı form alternatiflerine göz atmak için öncelikle origamiyle ilgili birkaç terim hakkında bilgi vermek gerekebilir. Temel olarak origamiyi tarif etmek için kat izlerine vadi (valley) ve tepe (mountain) adı verilir. Tepe ve vadi çizgilerinin birbirlerine göre konumları ise origaminin davranışını belirler. Tepe ve vadi çizgilerinin ardışık ve paralel olarak sıralanmasına temel katlama denilebilir.

Tepelerin arasına diyagonal şekilde vadi çizgileri geldiğinde formlar farklılaşmaya ve düz bir düzenden çıkmaya başlar. Çalışma kapsamında birkaç origami deseni denenmiştir. Yapılmak istenen kabuk tasarımı için uygun form arayışı manuel şekilde sürdürülmüştür. Bu form arayışlarına mevcut örnekler ve araştırmalar yön vermiştir.

**Şekil 2:** Tepe ve vadi çizgilerinin diyagonal birleşimi ile kıvrılma davranışı göstermesi (Torsion behavior with diagonal combination of hill and valley lines) (Developed by the author).



**Şekil 2**'de basit katlamalarla oluşturulan formlar, kağıdın ufak bir müdahaleyle farklı özellikler kazandığını göstermektedir. Katlanan kağıt 2 ucundan birleştirildiğinde kendi içinde kenetlenen, taşıyıcı özellik kazanmış bir forma dönüşmektedir. Katlamalar karmaşıklaştıkça form da farklılaşmaktadır fakat her katlama tekniği her tasarım için uygun olmayabilir. Bu noktada tasarımcının deneme yanılma ile uygun formları deneyimlemesi ile süreç ilerlemiştir. Bir başka desen olarak origami örneklerinde sıklıkla rastlanan "Miura" katlaması denenmiştir (**Şekil 3**). Açılıp kapanma potansiyelinin yüksek olması ve tamamen aynı birimlerden oluşması bu modelin olumlu yönlerindedir fakat bu hareket potansiyeli ile oluşturulan mekanlara bakıldığında farklılıklar görülmemektedir. Desenin genel olarak bir bütün halinde çalışmasının tasarımı tekdüzeliğe götürebileceği sebebiyle farklı alternatiflere yönelinmiştir.

**Şekil 3:** Miura katlaması (Miura folding) (Developed by the author).

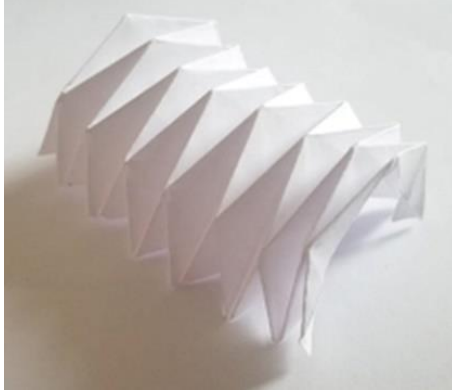
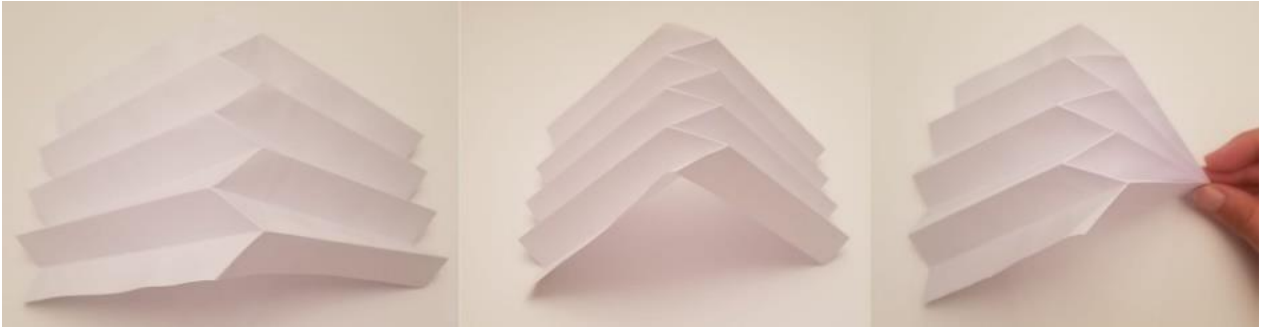


Çalışmanın devamında tasarımın mekan tanımlayacak olmasından dolayı açıklık geçilebilen farklı katlama tekniklerine yönelinmiştir.

Jackson tarafından 'açıklık' başlığı altında ele alınan örnekler bu noktada ilham verici ve origamiyi anlamak açısından faydalı bulunmuştur. V katlama ve X katlama olarak ele alınan örnekler (Jackson, 2011) kağıdın strüktürel özelliklerini desteklemekle birlikte mekan tanımlama açısından da başarılı bulunmuştur. Bu örneklerin denemeleri **Şekil 4** ve **Şekil 5**'te görülmektedir.

Desenlerin basit olması üretim gibi konularda bir avantaj olsa da Miura örneğinde olduğu gibi oluşan mekanlar ve tasarım açısından belirme kavramını destekler nitelikte farklılaşmalar arandığından dolayı yeni desen araştırmalarına yönelinmiştir.

**Şekil 4:** Açıklık tipi origamilerde V katlama (V type folding in span type origami patterns) (Developed by the author).



**Şekil 5:** Açıklık tipi origamilerde X katlama (X type folding in span type origami patterns) (Developed by the author).

Bu noktada üretken sistemlerin entegrasyonunu da sağlayabilmek için modüler çalışılabilecek formlar üzerinde durulmuştur. Genel olarak bu örneklerin hepsi modüler olarak kullanılabilirler olsa da oluşturacakları mekanlar açısından olumlu bulunmamıştır. Origami deseninin farklı noktalarında farklı açılıp kapanmalar sağlanmaması, tasarımın esnek ve dönüştürülebilir olmasına engeldir. Bu da direkt olarak araştırması yapılan "belirme" kavramına zıt düşmektedir.

Bu noktada ise yapılan araştırmalar sonucu “parabol” özelliğli origamiler denenmiştir. Parabol origamiler strüktürel açıdan tanımlanması karmaşık olmakla birlikte oldukça dayanıklı ve esneklerdir. (Jackson, 2011) aynı zamanda modüler kullanıma uygun olan bu origami örnekleri çalışmaya uygun bulunarak denenmiştir. **şekil 6**’da görölen kare modül istenilen tarafının kaldırılıp indirilmesiyle harekete imkan veren bir yapıdadır. Aynı zamanda hiperbolik parabol formuna sahip olması, alışkın olunan origami örneklerinden farklılık göstermektedir. Bu origami örneğinin hem modüler kullanıma uygunluğu, hem eğrisel olması sebebiyle oluşan görsel etkisi hem de oluşturduğu mekanların potansiyelleri sebebiyle çalışmanın devamı için uygun görölmüştür.



**şekil 6:** Parabol tipi katlama  
(Parabola type origami pattern)  
(Developed by the author).

**Tablo 1**’de yukarıda bahsedilen origami desenlerinin deneyimlenmesi ve tasarımcıya sağlayacağı avantaj ve dezavantajlar bir arada verilmiştir. Bu çalışmadan edinilen bilgiler ile en olumlu bulunan modöllerle çalışmaya devam edilmiştir.

### **3.1 Kinetik Dijital Model Üretimi (Kinetic Digital Model Production)**

Desenin dijital modellemesi için origamiye uygunluğu açısından kinetik bir dijital model elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda Rhino Grasshopper kullanılarak Crane eklentisi üzerinden origami çalışılmasına karar verilmiştir. Origami üretimi ve simülasyonu amacıyla kullanılabilen bu eklentide mevcut origami desenleri deneyimlenebildiği gibi kullanıcı kendi origami desenini de tanımlayabilmektedir. Tasarımcıya ilham verebilecek farklı örnekler de

eklentinin beraberinde gelmektedir. Bu dosyalar incelendiğinde tasarımcının kendi desenini çizip tepe ve vadi çizgilerini tanımlamasıyla bu desenin simülasyonunu gerçekleştirebileceği görülmüştür. Eklenti içerisinde çeşitli malzemelerin davranışını simüle edebilmek adına farklı rijitlik değerleri vermek de mümkündür. Bu da üretimleri gerçeğe uygun şekilde görmeyi sağlamaktadır.

**Tablo 1:** Farklı desenlerin oluşturduğu formlar, formların avantajları ve dezavantajları (Forms created by different patterns, advantages and disadvantages of forms) (Developed by the author).

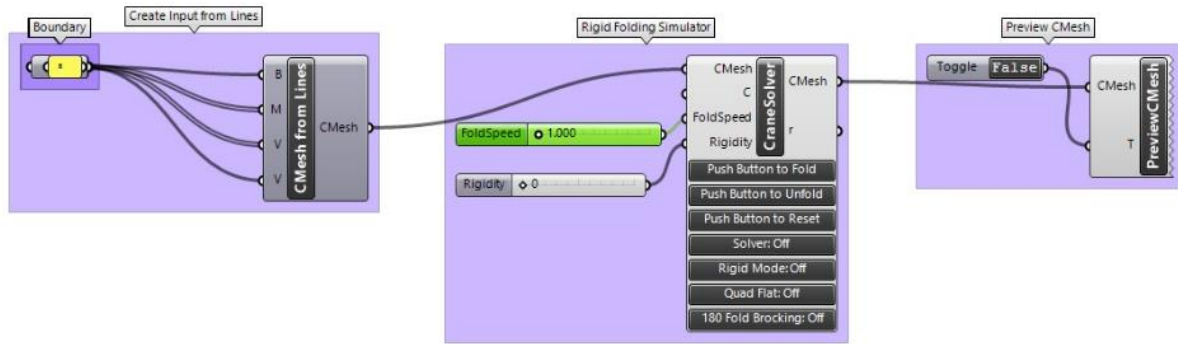
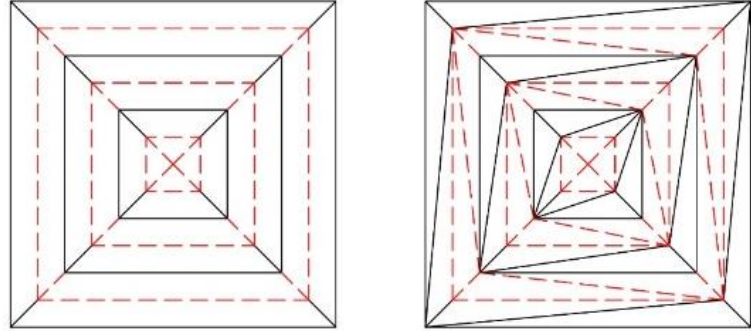
Desen Adı	Katlama Deseni	Kağıt Katlama ile Model Üretimi	Avantaj	Dezavantaj
Diyagonal Katlama			<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temel bir katlama ile farklı kapalı form oluşumu mevcuttur.</li> <li>-Modülün açık ve kapalı olarak kullanımı farklı potansiyeller getirebilir.</li> </ul>	-Formun açık ve kapalı halinin karesel olması tasarımda farklılaşmaya engel olabilir.
Miura Katlaması			<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kinetik kabiliyeti yüksek bir modeldir.</li> <li>-Aynı birimlerin tekrarıyla üretimi kolaydır.</li> <li>-Tamamen aynı birimlerin tekrarından oluşması modüler çalışmayı destekleyebilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kinetik kabiliyeti yüksek olsa da farklı formlara girme açısından zayıf bir modeldir.</li> <li>-Farklı mekanlar oluşturma amacına uygun bir model değildir.</li> </ul>
Açıklık Tipi V Katlama			<ul style="list-style-type: none"> <li>-Açıklık geçmesi açısından taşıyıcı anlamda olumludur.</li> <li>-Üretimi kolaydır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tek tip mekanlar sağlaması açısından olumsuz bulunmuştur.</li> <li>-Modüler kullanım sırasında farklılaşmaya engel olabilir.</li> </ul>
Açıklık Tipi X Katlama			<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kemer formu taşıyıcılık ve mekansal açıdan olumludur.</li> <li>-Aynı birimlerin tekrarıyla üretimi kolaydır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kemer formu daha bütüncül bir yaklaşım oluşmasına sebep olmuştur.</li> <li>-modüler kullanımda farklılaşmanın önünde engel çıkartacak bir model olabilir.</li> </ul>
Kare Parabol Katlama			<ul style="list-style-type: none"> <li>Parabol formuna sahip olması diğer örneklerden farklılaşmasını sağlamıştır.</li> <li>-Kinetik kabiliyeti çok yüksektir.</li> <li>-Modüler kullanım için uygundur.</li> <li>-Hüresel özdevinimle belirlenecek kurallarla farklı tasarımlara olanak sağlayabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Farklı modüllerin birleşimi sırasında çok sivri ve tanımsız senaryoya göre kullanışsız mekanlar oluşabilir.</li> </ul>
Altıgen Parabol Katlama			<ul style="list-style-type: none"> <li>Parabol formuna sahip olması diğer örneklerden farklılaşmasını sağlamıştır.</li> <li>-Kinetik kabiliyeti çok yüksektir.</li> <li>-Modüler kullanım için uygundur.</li> <li>-Hüresel özdevinimle belirlenecek kurallarla farklı tasarımlara olanak sağlayabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modülün altıgene dönüştürülmesi ile oluşan mekanlar tasarım ve kullanım açısından daha olumludur.</li> </ul>

Üzerinde çalışılan bu modüler desen için ilk aşama olarak desen çizilmiş ve çizgileri tepe ile vadi olarak tanımlanmıştır. Mevcut model katlandığında ise simülasyonun manuel denemelere uygun şekilde çalışmadığı görülmüştür. Manuel denemelerde kağıt kolay bir şekilde katlanmaktadır ve hareket kabiliyeti çok yüksektir. Dijital modelde ise

bunun aksine hareketi kısıtlanmaktadır ve katlanma hareketi karasızdır. Bu noktada araştırmanın başında bahsedilen ‘rijit origami’ kavramı önemlidir. Oluşturulan bu modüllerin rijit origami olmaması dijital modelleme konusunda problem olmuştur. Bu modülde kağıtlar tamamen düz parçalar olarak çalışmamakta; sistemi hareket ettiren kırılma ve eğilme gibi davranışlar da göstermektedir ve bu da simülasyonun çalışmamasına sebep olmuştur.

Bu nedenle aynı formu rijit origami olarak üretmek mümkün mü bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Düz bir kağıdın kırılma hareketi; kağıdın köşelerinden diyagonal bir kat izi eklendiğinde ortadan kalkar. Bu nedenle bütün dörtgen birimlerin kırılmasını ortadan kaldırmak için bu dörtgenler köşegenleri boyunca eklenen vadi veya tepe çizgileriyle iki üçgene ayrılmıştır.

**şekil 7:** Origami deseninin rijit origami haline dönüştürülmesi (Converting the origami pattern to the rigid origami) (Developed by the author).

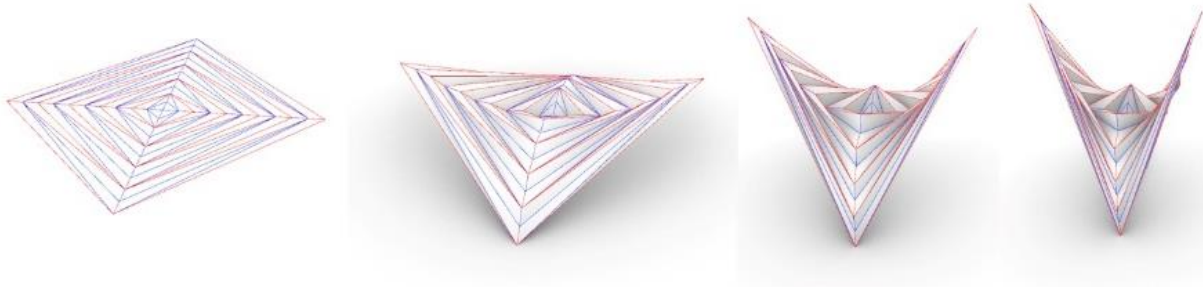


**şekil 8:** Rijit origami deseni ile crane eklentisi kullanılarak dijital model üretimi (Digital model generation using the crane plug-in with the rigid origami pattern) (Suto, n.d.).

Rijit origami oluşturulduktan sonra ‘Crane’ eklentisi kullanılarak bir modülün simülasyonu gerçeşleştirilmiştir (**şekil 9**). Oluşturulan bu simülasyonla origaminin oluşturduğu formlar incelenebilecek ve modüler kullanım için modeller oluşturulabilecektir. Bu aşamadan

sonra ele alınacak bir diğer konu ise modüler sistemin oluşturulması olacaktır. Hücresel özdevinim kullanımıyla oluşturulacak belirli kurallara göre farklı düzende form arayışları geliştirilebilecektir. Böyle bir origami deseninin farklı kombinasyonlarla bir araya gelmesiyle oluşturabileceği mekan alternatifleri ile ilgili dijital bir katalog oluşturulabilecektir.

**Şekil 9:** Dijital modelleme ile modülün hareketinin simüle edilmesi (Simulation of the movement of the origami module by digital modelling) (Developed by the author).



### 3.2 Modüler Sistem Önerisi (Modular System Proposal)

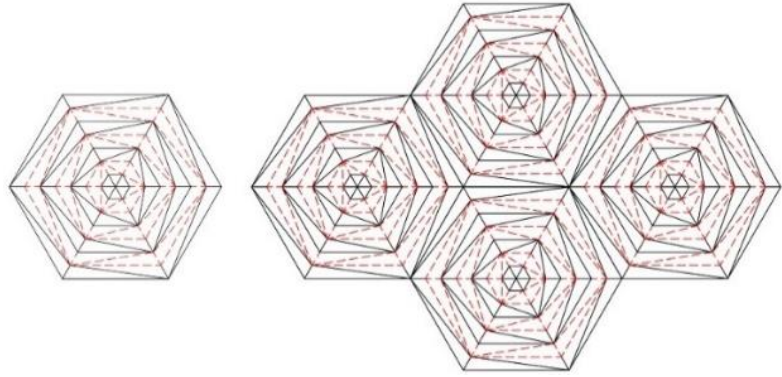
Önceki bölümde belirtildiği gibi çalışmanın devamında modüler bir sistem tercih edilmiştir. Modüllerin her biri aynı origami deseni ile üretilip bu modüller birbirlerine eklenebilir. Her birim kendi içinde hareket kabiliyetine sahip olduğu için bir araya gelerek oluşturulan form da dinamik olacaktır. Modüllerin bir araya gelişinde ise bir kural belirlenebilir. Bu kuralın belirlenmesinde hücresel özdevinim kullanımı planlanmaktadır. Böylelikle oluşturulacak sistem hem kendi birimlerinin hareket etme durumundan dolayı hem de birimlerin kombinasyonunda oluşacak çeşitlilikten dolayı tasarımcıya pek çok alternatif sunar.

Bu modüler sistem çalışması için manuel çalışmalara devam edilmiş ve **Şekil 9**'da görülen modül çoğaltılarak bir arada çalışma durumu gözlemlenmiştir. 4 birimin bir araya gelmesiyle oluşturulan form **Şekil 10**'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi modüller aynı forma sahipken veya farklı açıklığa sahipken birbirleriyle bütüncül bir şekilde kabuk tasarımına olanak sağlamıştır.



**Şekil 10:** Kare modüllerin bir arada kullanımı ve hareketi (Combination of the square modules and their movements) (Developed by the author).

Bu modüler birleşimde görüldüğü kadarıyla sistemin mekanik potansiyelleri olumlu olsa da oluşturacağı mekanlar konusunda bazı problemler vardır. Kare bir birim seçilmesi, birleşim noktalarında sivri ve tanımsız mekanlar oluşturmaktadır. Kabuk açık olarak kullanıldığında problem olmayacak bu durum; birimler kapandığında oluşan mekanlar açısından sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple, aynı katlama tekniğinin farklı çokgende oluşturacağı etkinin araştırılması amacıyla altıgen modül oluşturulmuştur (Şekil 11).



**Şekil 11:** Origami deseninin altıgen modülde üretimi (Production of the origami pattern in the hexagonal module) (Developed by the author).

Altıgenlerin daha geniş açıyla birleşmeleri; modüllerin açılıp kapanması sırasında oluşan mekanları kullanıcı için daha kullanışlı hale getirmiştir. Bu sebeple aynı desenin altıgen bir modülde kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil12).



**Şekil 12:** Altıgen origami modülü (Hexagonal origami module) (Developed by the author).

Yapılan manuel denemeler sonucunda altıgen modüllerin kabuk tasarımı için daha kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır. Kare modüllere kıyasla daha az tanımsız ve kullanışsız mekanlar oluşturması yönüyle altıgen birimler olumlu bulunmuştur.



Modüllerin birleşiminde kimi birimler kapalı kimi birimler açığa yakın şekilde bir forma sahip olabilir. **Şekil 13**'te görülen birimlerin hepsi aynı boyuta sahip olsa da kapalı / açık olma durumlarından dolayı plan düzleminde farklı boyutlarda gözükmektedir. Sürecin devamında modüllerin bir araya gelişinde altıgen gridal bir düzen kullanılarak hücresel özdevinimle farklı alternatif araştırmaları yapılacaktır.

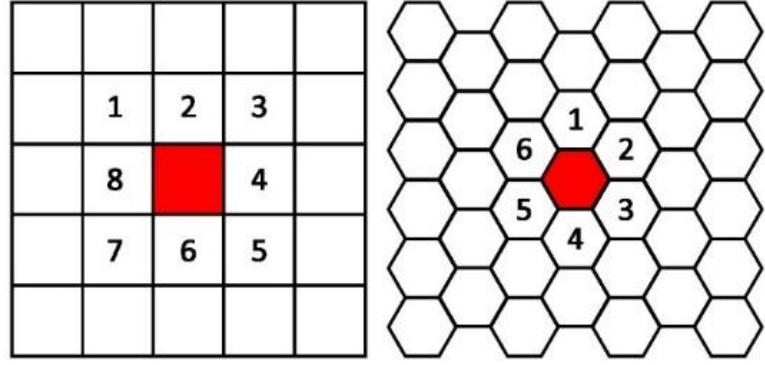


**Şekil 13:** Altıgen modüllerin birleşimi ve farklı hareketleri (Combination of the hexagonal modules and their different movements) (Developed by the author).

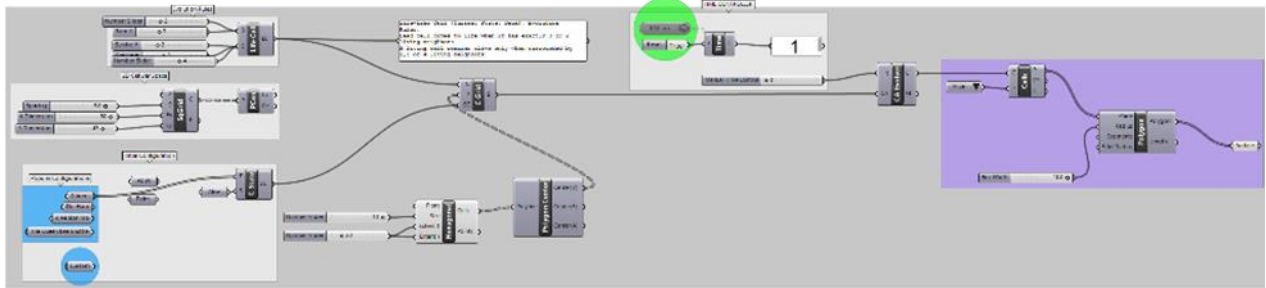
Hücresel özdevinim; homojen bir grid üzerinde oluşturulan hücrelerin komşuluk ilişkilerine göre etkileşim durumu olarak özetlenebilir. Belirlenen çeşitli kurallar çerçevesinde başlangıç formunun değişip dönüşümünün gözlemlenebildiği bir üretken sistemdir. Proje kapsamında modüler bir tasarıma gidilmesi de hücresel özdevinim kullanımına elverişli bir ortam hazırlamaktadır.

Öncelikle hücresel özdevinimin farklı gridal düzenleri hakkında araştırmalar yapılmıştır. Conway'in hayat oyununda bulunan kare gridde hücrelerin 8 tane komşusu bulunmaktadır ve belirlenen kurallara göre bir sonraki aşamada hücreler doğar, yaşar veya ölür. (Herr, 2016) Altıgen gridde ise bir hücrenin 6 komşusu vardır. **Şekil 14**'te gridal düzenler ve bir hücrenin sahip olduğu komşular görülmektedir.

**Şekil 14:** Kare ve altıgen gridal düzen (Square and hexagonal grid layout) (Developed by the author).



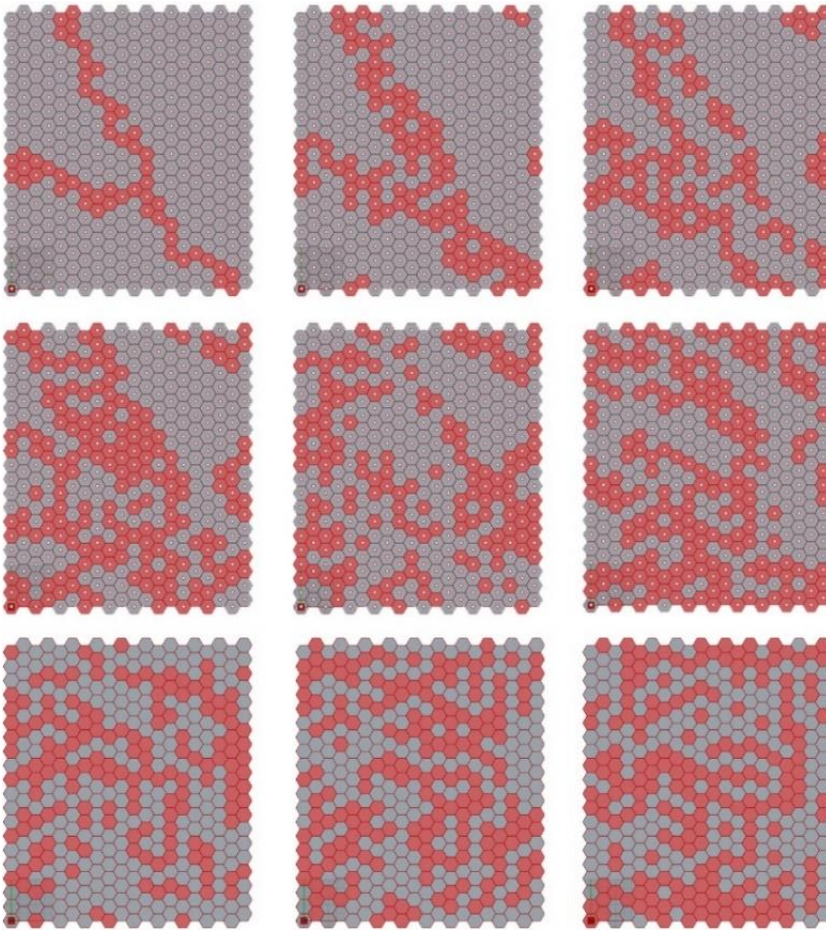
**Şekil 15:** Rabbit eklentisi kullanımıyla hücresel özdevinim modeli oluşturma (Build a cellular automata model using the Rabbit plug-in) (Developed by the author).



Altıgen hücresel özdevinim modeli oluşturmak için Grasshopper'da bulunan Rabbit eklentisi araştırılmıştır. Eklentide bulunan grid için altıgen grid tanımlandığında hayat oyunu mantığıyla çalışan, bir hücrenin kaç komşusu olduğunda nasıl bir davranış göstermesinin tanımlanabildiği bir model geliştirilmiştir. Grasshopperda oluşturulan model genel hatlarıyla başlangıç hücre düzeni, davranış için kurallar, grid tanımlanması ve sonrasında bunların bir araya gelerek simüle edildiği kısım olarak tanımlanabilir (Şekil 15).

Hücresel özdevinimin kullanımı için farklı başlangıç durumları düşünülmüştür. Öncelikle kabuğun bulunacağı mekana göre kullanıcı hareketlerinin oluşturduğu bir rota varsa bu rotanın başlangıç durumu olarak belirlenip kurallarla değişimi gözlemlenecektir. Hücrelerin başlangıç durumunun senaryodan gelen bir karar olması, projenin yere özgü olma durumundan dolayı olumlu bir durumdur. Fakat hücresel özdevinimin beklenmedik sonuçlar üretme durumundan dolayı son ürüne gidiş açısından başarılı olma durumu farklı denemelerle değerlendirilecektir.

**Şekil 16'**da bir rota ile başlangıç hücre düzeni oluşturulan hücresel özdevinim modeli görülmektedir. Bu modelde hücrelerin yaşaması için 2 ve 3 komşusu, doğmaları için 2, 3 ve 4 komşusu olması gerekmektedir. 2. Ve 3. Aşamadaki model rotayı koruyor olsa da sonraki aşamalarda başlangıçtaki rota oluşturma durumundan uzaklaşmış; çok daha karmaşık ve dağınık bir hücre düzenine ulaşmıştır. Bu modelin ilerleyen aşamalarında pek çok hücrenin tek başına kalıyor olması; alternatiflerin modüler sisteme aktarılmadan önce manuel bir elemeyi de gerektirdiğini de göstermektedir. Tek veya ikili hücreler bulunuyorsa bunlar modelden eksiltip, üretim ve kullanım açısından modelin optimizasyonu sağlanacaktır.

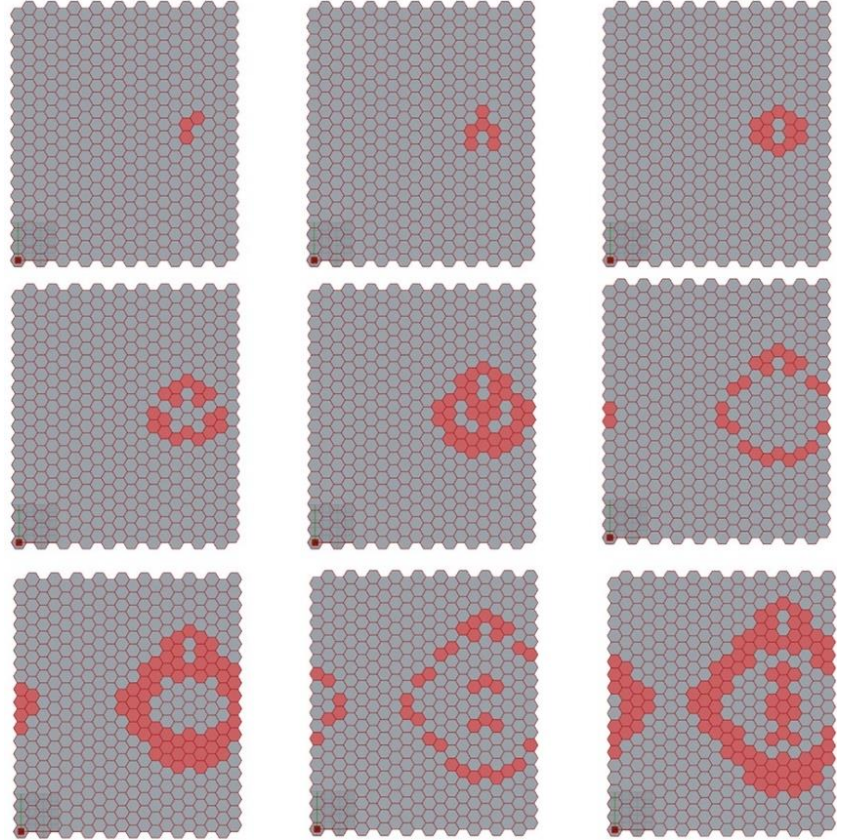


**Şekil 16:** Kullanıcı rotası ile oluşturulan hücresel özdevinim modeli (Cellular automata model generated with user route) (Developed by the author).

Başlangıç rotası belirlenmesi; modelin yere özgü şekilde tasarlanması açısından olumlu bulunmuştur. Bu noktada rotayı koruyabilmek açısından hücresel özdevinim modelinin hangi aşamasının seçildiği önemlidir. Daha geniş ve açık alanlarda ise başlangıç rotasının sonraki

aşamalarda değişmesi ve farklı noktalara dağılıyor olması farklı mekanlarda farklı deneyimler yaşatmak açısından kullanışlı bulunmuştur.

Önceki örnekte senaryoya göre kullanışlı olabilecek durumlar değerlendirilmiş ve oluşan karmaşık sonuçtan dolayı daha basit bir başlangıç düzeni de kullanılıp sonuçları araştırılmıştır. Bu başlangıç düzeni, Grasshopper'da kullanılan hücresel özdevinim modelindeki mevcut popüler konfigürasyonlardan seçilmiştir. Buradaki amaç, daha düzenli ve bütüncül bir modelde oluşacak sonuçları görmek ve hücresel özdevinim farklı kullanımlarını belirme kavramı açısından araştırmaktır. 3 hücreyle başlayan bu modelde daha düzenli sonuçlara ulaşılmıştır (**Şekil 17**). Hücrelerin dağılımının düzenli olması kabuğun daha bütüncül olmasını sağlamıştır. Bu da oluşturulan mekanlar açısından önemli bir avantaj olacaktır. Aynı zamanda üretim ve yapının strüktürel özellikleri de bu bütüncül yapı ile desteklenmiş olacaktır.



**Şekil 17:** Popüler konfigürasyon ile oluşturulan hücresel özdevinim modeli (Cellular automata model generated with popular configuration) (Developed by the author).

Hücresel özdevinim tasarıma entegrasyonu ile farklı tasarımlara gidildiği görülmüştür. Hücresel özdevinimin kullanılış şekli ise tasarımın kullanım senaryosuna göre belirlenebilecek olup; tasarımcıyı daha kapalı ve bütüncül bir kabuk tasarımına veya daha parçalı ve belirlenen alana yayılan bir tasarıma götürebileceği sonucuna varılmıştır. Sonraki aşamalarda bu tasarımların daha küçük ölçekli örnekleri dijital model yardımıyla simüle edilecek olup oluşturacağı mekanlar açısından gözlemlenmiştir.

#### **4. FABRİKASYON ARAŞTIRMALARI (FABRICATION STUDIES)**

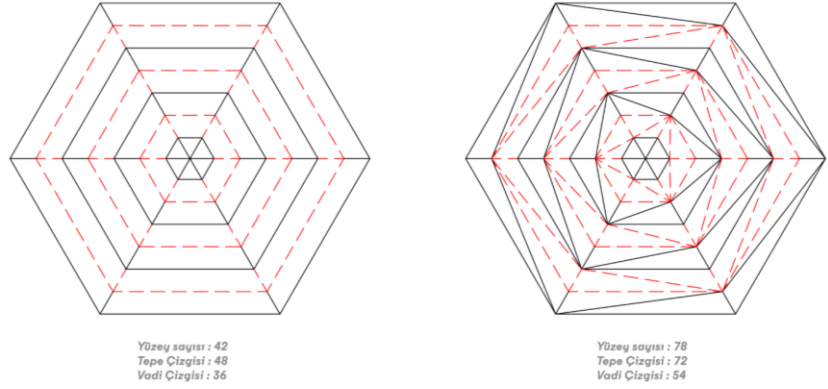
Bu bölümde; origaminin kinetik davranışını destekleyebilecek malzeme ve kinetik sistem araştırmaları yapılacaktır. Origami ile yapılan pek çok yapısal örnek incelendiğinde; dayanımı yüksek malzemelerin kullanıldığı görülmüştür. Özellikle çoğunda ahşap kullanımı görülmektedir. Bu çalışmada mevcut çalışmalardan farklı bir teknik kullanılması için farklı üretim metotları üzerine düşünülmüştür. Modelin rigid origamiye çevrilmiş hali dijital modellemeyi destekleme amaçlı olup; fabrikasyonu rigid origami olmayan halinde tasarlanacaktır. Bu da modelin kıvrılma davranışına sahip olacağını göstermektedir. Bu sebeple yüzeylerin üretimi için daha esnek malzeme kullanımına yönelmeye karar verilmiştir. Malzemeyle birlikte düşünülmesi gereken bir diğer konu da kinetik sistemin nasıl kurulacağıdır. Sistemi hem ayakta tutacak hem de açılıp kapanmasını sağlayacak bir strüktür bu malzemeyi desteklemelidir.

##### **4.1 Malzeme ve Mekanik Sistem Araştırmaları (Material and Mechanical System Studies)**

Literatür araştırmasında da belirtildiği gibi yaygın olarak ahşap veya polimer levhalarla oluşturulan origami örneklerinin var olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise levhalarla oluşturulan origami örneklerinden farklılaşmak adına; origamiyi oluşturdukları yüzey üzerinden değil, bu yüzeyleri oluşturan katlama deseni ile bir iskelet sistem halinde üretime yönelinmiştir.

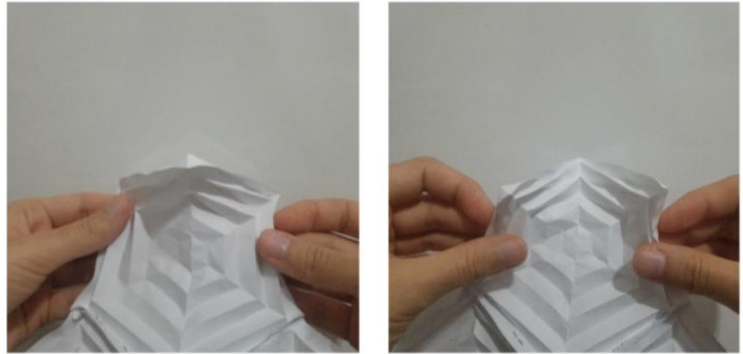
Bu noktada üretim için karar verilirken araştırmanın başında konusu geçen “rijit origami” kavramını ele almak gerekmektedir. Desenin manuel modellerinde ele alınan desen rijit origami özelliği göstermemektedir. Kağıdın kıvrılma özelliğinden de faydalanarak form almaktadır. Bunu dijital modele aktarırken ise eklentinin çalışma mantığından dolayı tanımlanan desen rijit origami olmalıdır.

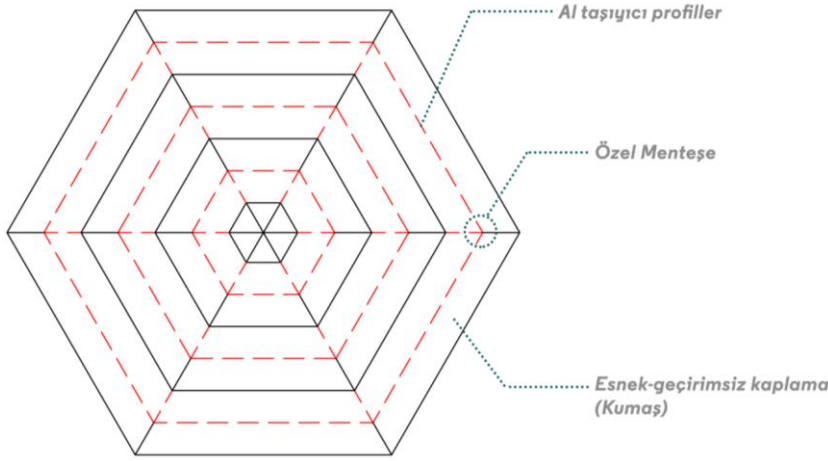
**Şekil 18:** Manuel denemede kullanılan desen ile dijital modeldeki rijit origami deseninin karşılaştırılması (Comparison of the pattern used in the manual model and the rigid origami pattern in the digital model) (Developed by the author).



**Şekil 18'**de ise manuel denemelerin oluşturulduğu origami deseni ile dijital modelin oluşturulduğu desen karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Desenin dijital ortamda üretimi için kullanılan rijit origami modeli; yüzey sayılarının ve tepe ile vadi çizgilerinin sayılarının fazla olmasından dolayı; üretimde Origaminin gerçek hayata uygulanmasında kısıtlardan birinin rijit origami olmama durumu olduğundan daha önce bahsedilmiştir. **Şekil 19'**da manuel deneme ile modülün hareketi görülmektedir. Farklı yönlerde hareket edebilen bu modülün davranışları incelendiğinde ve dijital model ile de karşılaştırması yapıldığında; kat izlerini oluşturan çizgilerin düz durduğu ve kağıdın yüzey olan yerlerinin kıvrıldığı görülmüştür. Dijital modelde deseni rijit origamiye çevirme müdahalesi de bu tespitleri doğrular niteliktedir. Bu gözlemler sonucunda origaminin manuel olarak üretildiği desene uygun bir sistem düşünülmüştür. Origaminin kat izlerinin düz birer çizgi olarak hareket etmesi ve aynı yüzeyi çevreleyen 4 çizginin farklı açılarla birleşiyor olması; kağıda kıvrılma hareketini yaptırdığı için bu çizgilerin profiller ile oluşturulup kabuğun geçirimsizliğinin kumaş benzeri esnek bir malzemeyle sağlanması sistem açısından olumlu bulunmuştur (**Şekil 20**).

**Şekil 19:** Manuel denemede modülün hareketinin incelenmesi (Investigation of movement of physical model) (Developed by the author).





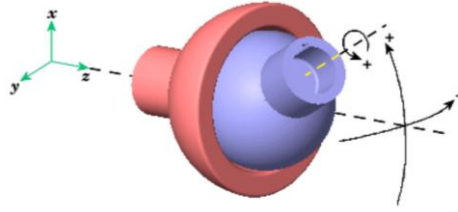
**Şekil 20:** Bir modülün fabrikasyonu için önerilen sistem (System proposal for the production of a module) (Developed by the author).

Bu sistemi kurgularken **Şekil 18**'den de yararlanarak, sistemin yüzeylerinin ve parçalarının fazla olması durumu üretim açısından olumsuz bulunup, rijit origami modelinin sadece dijital ortamda kalmasına, üretimin manuel çalışmalarda kullanılan haliyle gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Sisteme karar verilirken gerekli mekanik sistem için de araştırmalar yapılmıştır. Alüminyum profillerle oluşturulacak origami modüllerinin bir araya geldiklerinde hareketlerinin sağlamaları için farklı akslarda harekete izin verecek menteşelerle bağlanması gerekmektedir. Bu karara da manuel denemelerle hareketin incelenmesi sonucu ulaşılmıştır (**Şekil 19**). Farklı akslardaki hareket için “çok akslı menteşe” (*multiaxial joint*) anahtar kelimeleriyle araştırmalar yapılmış olup, bu kelime ile çıkan sonuçların birçoğunun omuz hareketimizi sağlayan eklemler ilgili araştırmalar olduğu görülmüştür.

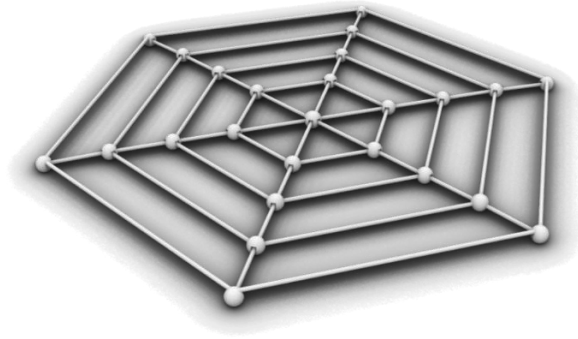
Bunun sonucunda bu fikir de araştırmayı “küresel menteşe” anahtar kelimesine götürmüş ve farklı örneklerle yönlendirmiştir. Tek noktada birleşen minimum 3 maksimum 6 alüminyum profilin bağlantısı bu tarz küresel menteşelerle yapılacak olup, ihtiyaç olan hareket sağlanacaktır (**Şekil 21**). Sisteme ait görseller **Şekil 22** ve **Şekil 23**'te görülmektedir. Alüminyum profillerle oluşturulmuş “katlama deseni” özel menteşelerle birleştirilerek origaminin her türlü belirme durumunu sağlayabilmesi için serbest şekilde hareketi sağlanmıştır.

Tasarımın esnek ve beliren bir tasarım olması açısından önemli olan hareketli sistemin sabit durumlara da adapte olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kullanıcılar tarafından kabuğun hem sabit hem de hareketli hali deneyimlenmelidir. Böylelikle hareketli zamanlarda belirme kavramı direkt olarak deneyimlenirken sabit zamanlarda da beliren kabuğun kullanıcıya sağladığı farklı mekanlar net bir şekilde görülebilecektir. Bu sebeple tasarımda, küresel menteşelere entegre edilecek ve hareketi sabitleyecek bir kilit sistemi de bulunmalıdır.

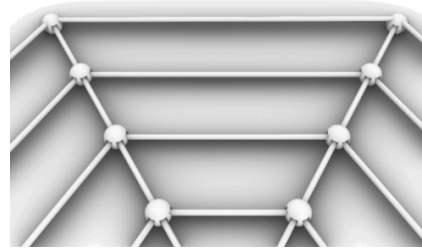
**Şekil 21:** Çok akslı küresel menteşe (Multiaxial spherical joint) (Piltan et al., 2016).



**Şekil 22:** Bir modül için önerilen sistem (Proposed system for the module) (Developed by the author).



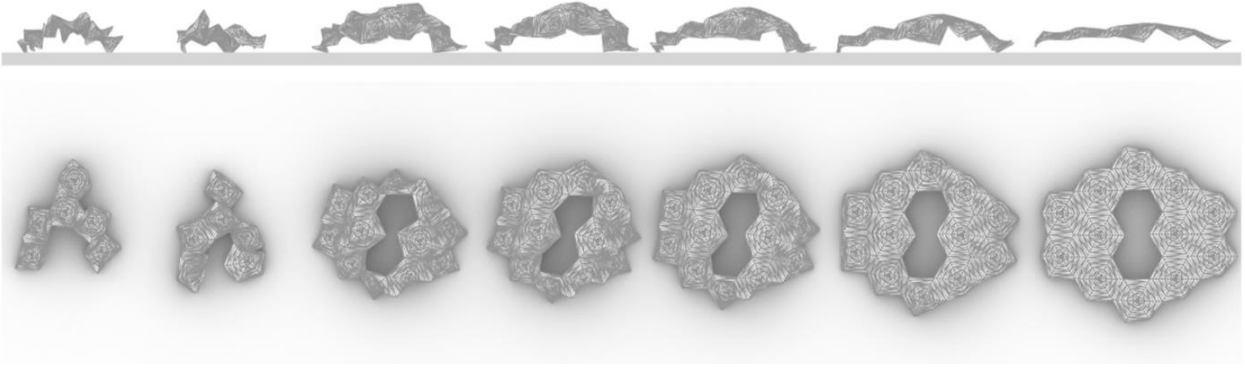
**Şekil 23:** Sistemin farklı açılarla birleşimi ve hareketi için özel menteşelerin kullanılması (Use of special hinges for combination and movement of the system at different angles) (Developed by the author).



## 5. DİJİTAL MODEL YARDIMIYLA FARKLI ALTERNATİFLERİN ÜRETİLMESİ (PRODUCTION OF DIFFERENT ALTERNATIVES WITH DIGITAL MODELS)

Bu bölümde hücrel özdevinim ile oluşturulan hücre düzenleri origami ile bir araya gelerek farklı mekan belirmeleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi bir rota üzerinden

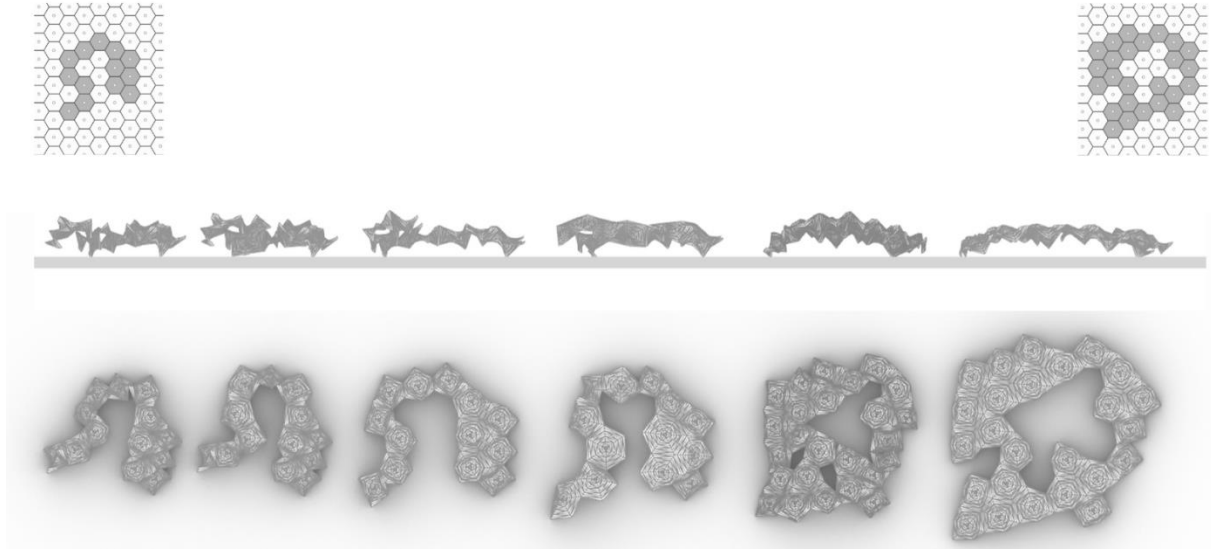




kurulan sistemlerle daha düzenli sistemlerin oluşturduğu formlar farklılaşmaktadır. **Şekil 24**'te popüler konfigürasyonlarla oluşturulan hücre düzeni alternatifleri görülmektedir.

Katlama miktarı arttıkça, daha kapalı bir kabuk oluşmaktadır. Bu da tasarımcıyı, farklı kullanım senaryolarına adapte olabilecek bir kabuk tasarımına yönlendirebilir. Aynı zamanda son iki örnekte görülen açık düzenin aksine, strüktürel açıdan da daha bütüncül ve kendini destekleyen bir tasarım ortaya çıkmıştır. Orta kısımda bulunan açıklık; oraya doğru olan hücrelerin daha serbest hareket etmesini sağlamaktadır.

**Şekil 24:** Popüler konfigürasyon ile oluşturulan hücre düzeni (Cell layout created with popular configuration) (Developed by the author).



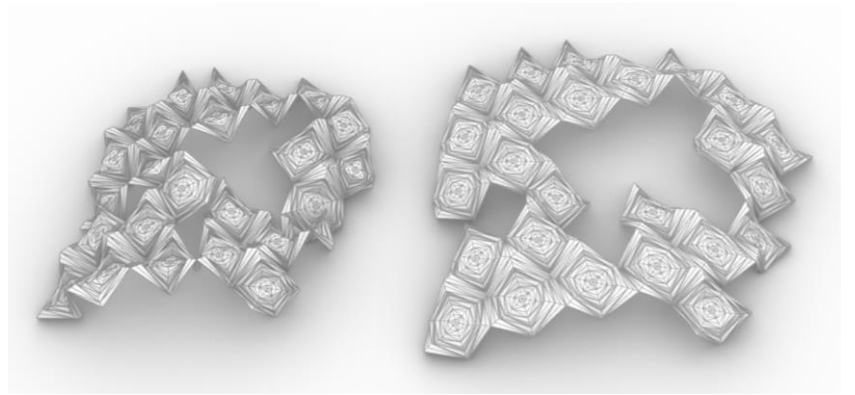
**Şekil 25**'teki model setinde başlangıç rotası belirlenmiş ve bu hücre düzeni ile hücresel özdevinimde oluşan 2. Adım ele alınmıştır. Hücresel özdevinim kullanımı, tasarımı tamamen farklı bir noktaya taşımaktadır. Başlangıçta kapalı bir forma sahip olmayan hücre düzeni, hücresel

**Şekil 25:** Kullanıcı rotası ile oluşturulan hücre düzeninin dijital modelleri (Digital models of cell layout created by user route) (Developed by the author).

özdevinim uygulanınca kapalı ve ortasında açıklığı bulunan bir form haline gelmiştir. Bütün bu modellerin farklı kapanma durumları incelendiğinde de aynı hücre düzeni ile oluşturulan farklı modellerde, bağlantısı az olan modüllerin daha serbest bir şekilde hareket ettiği gözlemlenmiştir. Birbirinden uzak olan modüller birbirine yaklaşıp, daha özel ve tanımlı mekanlar oluşturmuşlardır (Şekil 26).

Çalışmanın devamında ise Şekil 25'te belirlenen rota ile oluşturulan tasarımın kullanıcı müdahalesiyle ve düzenli bir katlama ile oluşturabileceği formlar simülasyon ile araştırılmıştır. Şekil 26'da modelin düzenli olarak bütün modüllerinin kapanması ile aldığı form görülmektedir. İlk aşamada düz olan modüller; katlanma ile mekânsal özellikler kazanmış ve benzer nitelikte mekanlar oluşturmuşlardır. Çalışmanın başlarında manuel denemelerde görülen farklı miktarda açılıp kapanma ve farklı nitelikte mekanlar oluşturma durumu da dijital ortamda incelenmiştir (Şekil 27).

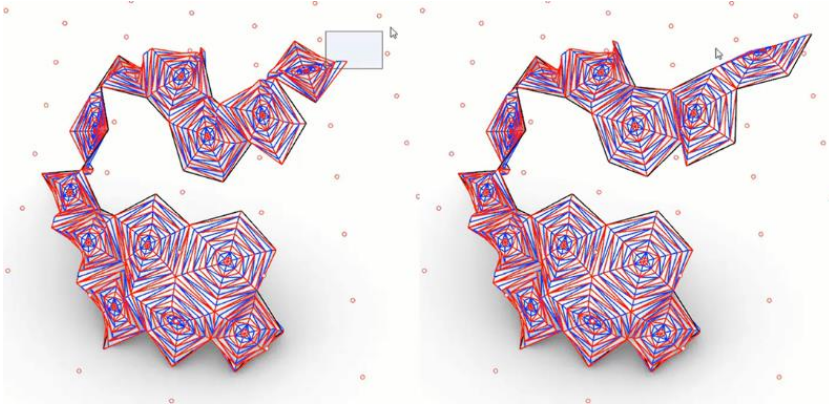
**Şekil 26:** Katlanma süreci içerisinde beliren formlar (Forms emerging during the folding process) (Developed by the author).



**Şekil 27:** Aynı formun farklı oranlarda katlanması ile değişimi (Change of the same form by folding at different rates) (Developed by the author).

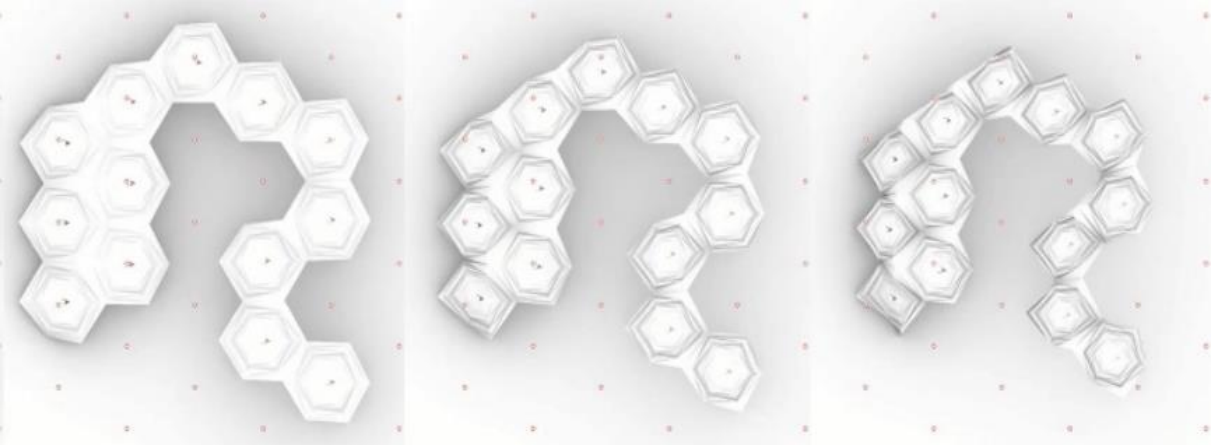


Şekil 28’de görülen model, Şekil 26’da düzenli katlama ile elde edilen modele yapılan müdahalelerle oluşturulmuştur. İstenilen yerlerin kullanıcı müdahalesi ile açılıp daha düz bir hale getirildiği, istenilen yerlerin ise daha çok kapatılıp küçüldüğü görülmektedir. Bu müdahalenin sonuçları Şekil 29 ve Şekil 30’da karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

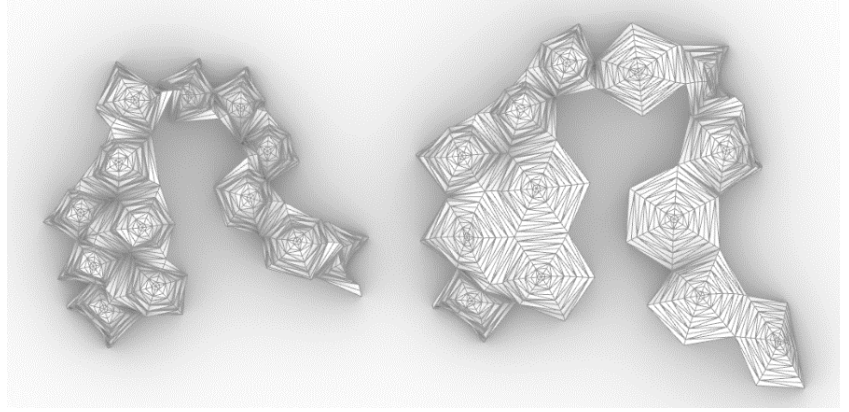


**Şekil 28:** Modüllere yapılan farklı müdahalelerle, oluşan mekanların değişimi (The change of spaces created by different interventions to the modules) (Developed by the author).

**Şekil 29:** Farklı katlamalara sahip iki modelin plan görünüşü (Plan view of two models with different folds) (Developed by the author).



**Şekil 30:** Farklı katlamalara sahip iki modelin perspektif görünüşü (Perspective view of two models with different folds) (Developed by the author).



Şekillerde Crane eklentisi ile aynı oranda katlanmış kabuk tasarımı ile kullanıcı müdahalesiyle kimi yerleri açılan kabuk tasarımı yan yana görülmektedir. Tasarım katlı halinde daha kapalı ve özelleşmiş mekanlar tanımlarken yapılan müdahale ile farklı bir forma sahip olmuştur. Aldığı bu yeni formda kimi birimler dokunulmadan kalmış, kimileri ise neredeyse düz bir hale gelecek şekilde açılmıştır. Bu iki örnek, aynı tasarımın mekanik özelliklerinden dolayı farklı mekanlar yaratma potansiyelini göstermektedir. İstenildiğinde farklı kullanıcılara özelleşmiş mekanlar tanımlarken, başka bir kullanım senaryosunda ise toplu kullanıma uygun hale gelebilir. Bütün bu değişip dönüşebilme durumları ise kabuğun “beliren” bir kabuk tasarımı olmasını desteklemektedir.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında araştırılan origami ile hücresel özdevinimin entegrasyonunun uygulanabilirliği belirme açısından olumlu bir sonuç vermiştir. Bir kabuk tasarımını origami ve hücresel özdevinim ile ele alarak oluşturmak; çalışmaya ilham olan belirme kavramını desteklemektedir. Kendi içinde hem origami hem de hücresel özdevinimin farklı formlara sahip olabilmesi dolayısıyla, bütün bu alternatiflerin kendi içinde kombinasyonlar oluşturması tasarımı zenginleştirmiş ve belirme kavramını destekler şekilde üretken modeller üretmeye yardımcı olmuştur. Üretimler yapılırken süreç hem manuel hem dijital şekilde yürütülmüş olup, manuel süreçten öğrenilenler dijital olarak farklı dijital modelleme problemlerine çözüm olmuştur. Origami yüzeylerinin kıvrılarak form almasının modellemeyi zorlaştırdığı görülmüş ve buna çözüm olarak katlama desenine yapılan eklemelerle desen, rijit origami haline getirilmiştir. Bu çalışma sonucunda origami ile tasarım yapılırken hücresel özdevinimden yararlanarak çalışmanın geliştirilebileceği; yapılan

araştırmalar ve üretimlerle kanıtlanmıştır. Böyle bir origami için malzeme seçiminin de önemli olduğu manuel denemelerde görölmüş ve buna yönelik malzeme arayışlarına girilmiştir. Kinetik sistemlerde malzeme seçiminin sistemin çalışması açısından en önemli noktalardan biri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan literatür araştırması ile sistemleri destekleyecek detaylar incelenmiş ve tasarımın üretimine yönelik yenilikçi kararlar verilmiştir. Mevcut origami tasarımlarının genellikle ahşap veya polimer levhalardan oluşuyor olması, araştırmanın farklı yönlerine kaymasını sağlamıştır. Bu örneklerden farklılaşmak adına tasarımın katlama deseni üzerinden çerçeve sistem olarak geliştirilmesine karar verilmiştir. Sistemin farklılaşması farklı malzeme ve detay çözümlerini beraberinde getirmiştir. Kinetik ve taşıyıcı bir sistem kurgulamak için alüminyum profiller ve özel menteşelerin kullanımına karar verilmiştir. Hücresel özdevinim ile oluşturulan farklı hücre kombinasyonları farklı senaryolar için olumlu bulunmuş, çalışmanın konusu olan belirme kavramını destekler şekilde pek çok farklı alternatifler üretilmiştir. Fazla katlanan modeller daha özel alanlar oluşturarak, farklı kullanıcılara özelleşen mekanlar sağlamıştır. Bir modülün hareketi, etrafındaki modüllerle bağlantılı olduğu için, kapalı kurgulu modellerde daha kısıtlı bir hareket gözlemlenmiştir. Hareketin kısıtlı veya serbest olması da modellerde farklılığa yol atığından dolayı sistemin her türlü girdisinin belirme destekler nitelikte olduğu görölmüşür. Üretim sırasında kullanılan eklentinin simülasyona ve müdahaleye izin vermesi de modellerin daha gerçekçi şekilde davranışlarının incelenmesine olanak sağlamıştır. Bütün modüllerin aynı oranda açılıp kapanmasının dışında, kullanıcı müdahalesi ile farklı noktalarda yapılan değişikler gözlemlenmiş; farklı yerlerde farklı mekanlar oluşturma potansiyeli de simülasyonla desteklenmiştir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı, 2020-2021 Bahar dönemi Mimari Tasarımda Üretken Sistemler dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başından sonuna desteğini esirgemeyen ve gelişmesine destek olan dersin yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, araştırma görevlileri Begüm Hamzaoğlu ve Burak Delikanlı'ya; çalışmanın son hale gelmesinde yorumlarını ve desteklerini esirgemeyen Do. Dr. Sema Alaçam'a teşekkürlerimi sunarım.

## Referanslar (References)

- Calretas, S., Kong, M. S. M., Januario, P. (2014). Paper-Folding and Digital Systems: a new approach to architectural logic and structural design, IPCBEE. DOI: 10.7763/IPCBEE.2014.V66.25
- Carpó, M. (2004). Ten years of folding. In G. Lynn (Eds.) *Folding in architecture* (Rev. Ed. pp. 14-19), Wiley-Academy. [https://monoskop.org/images/6/6b/AD\\_63\\_Folding\\_in\\_Architecture\\_1993\\_parts\\_missing.pdf](https://monoskop.org/images/6/6b/AD_63_Folding_in_Architecture_1993_parts_missing.pdf)
- Hemmerling, M. (2009). *ORIGAMICS: Digital Folding Strategies in Architecture*. ASCAAD 2010 / ISBN 978-1-907349-02-7]. Fez (Morocco). October, 2010.
- Hernandez, E. A. P., Hartl, D. J., Lagoudas, D. C. (2019). *Active origami modeling, design, and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91866-2>
- Herr, C. M. (2016). *Cellular Automata in architectural design: From Generic Systems to Specific Design Tools*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.005>
- Holland, J. H. (2000). *Emergence, from chaos to order*. Oxford University Press.
- Jackson, P. (2011). *Folding Techniques for Designers From Sheet To Form* (1st ed.). Laurence King.
- Knight, T. (2003) Computing with Emergence. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(1), 125-155. <https://doi.org/10.1068/b12914>
- Lang, R. J. (2018). *Twists, tilings and tessellations mathematical methods for geometric origami*. CRC Press Taylor and Francis Group.
- Lee, T.-U., Yang, X., Ma, J., Chen, Y., Gattas, J. M. (2019). Elastic buckling shape control of thin-walled cylinder using pre-embedded curved-crease origami patterns. *International Journal of Mechanical Sciences* 151 (2019), 322-330. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.11.005>
- Osorio, F., Paio, A., Oliveria, S. (2014). Kos – Kinetic origami surfaces. *Computer-Aided Architectural Design Research (CAADRIA)* (pp. 201-210).
- Osório, F., Paio, A., & Oliveira, S. (2017). Kinetic origami surfaces: from simulation to fabrication. In Gülen Çağdas, Mine Özkar, Leman F. Gül and Ethem Gürer (Eds.). *Future Trajectories of Computation in Design*. 17th International Conference, Computer-aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2017 (pp. 229-248).

- Piltan, F., Esmaili, M., Tayebi, M. A., Piltan, M., Yaghoot, M., Sulajman, M. (2016). Research on Oscillation-Free Robust Control for Active Joint Dental Automation. *International Journal of Hybrid Information Technology* 9(11), 285-302.  
<http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2016.9.11.25>
- Schramke, S. (2016). 3D Code: Folding in the architecture of Peter Eisenman. In M. Friedman & W. Schöffner (Eds.). *On Folding* (pp. 115-134)  
<https://doi.org/10.14361/9783839434048-006>
- Smuts, J. C. (1929). *Holism*. Encyclopaedia Britannica (14th ed.), 11, 640.
- Suto, K. (n.d.). Crane (by KaiSuto). *Food4Rhino*. Retrieved April, 05, 2021, from  
<https://www.food4rhino.com/en/app/crane>
- Stewart, I. Some assembly needed. *Nature* 448, 419 (2007).  
<https://doi.org/10.1038/448419a>
- Tachi, T. (2011, June). Rigid - Foldable thick origami. Fifth International Meeting of Origami, Science, Mathematics and Education.  
<https://doi.org/10.1201/b10971-24>

# Analysis of Structural System Behaviors for Architectural Form Alternatives in the Schematic Design

Salih Özdemir<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3755-7166<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

The schematic design phase, in which the architectural form is determined, is the phase where the greatest benefits can be produced with small changes. In the schematic design stage, the structural features of the building can also be taken into account to a very limited extent as like the amount of sunlight, prevailing wind directions, topography, and the relationship with neighboring buildings. This is because the designer or engineer specialized for structural analysis is usually not involved in the schematic design phase. The structural designer begins to contribute to the design at the stage where the building form reaches a certain level of development. In this phase, where the main form of the building is determined, the structural data undertakes the task of producing solutions to realize the design, rather than being the information that feeds the design. In structural system calculations, there are many components such as soil behavior, seismic properties, strength data of materials and the purpose for which the building will be used. It is often not possible for the architect, who is already focused on the design processes, to devote time to a detailed analysis of the structural features at this level. In addition, structural analysis and calculations do not occupy a large place in the education life of the architect. Unlike traditional design processes, when a building's form is roughly revealed, adding basic structural data to the design knowledge pool will make the design unique, make the designer's decisions more accurate and the structure will guide the architectural form. It will contribute to the detailed analyzes to be made during the advanced design phase and to the compliance with the standards required by the regulations. It is also expected to be effective in the coordinated work of design stakeholders. The design tool, which allows the assignment of carrier materials and sections to structural elements, will present the weight of the structure and the regions where maximum stresses occur to the user at the schematic design stage. In this study, in the schematic design phase, with the emergence of the architectural form, a computation tool is proposed that can make structural analyzes for both parametric design and traditional design and produce results.

**Received:** 17.08.2021

**Accepted:** 23.09.2021

**Corresponding Author:**

ozdemirsal@itu.edu.tr

Özdemir, S. (2021). Analysis of structural system behaviors for architectural form alternatives in the schematic design. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 2(2), 103-126.

<https://doi.org/10.53710/jcode.984086>

**Keywords:** Structural Analysis, Schematic Design, Karamba3D, Computation.



# Şematik Tasarım Evresinde Mimari Form Alternatiflerine Yönelik Taşıyıcı Sistem Davranışlarının Analizi

Salih Özdemir<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-3755-7166<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Mimari formun belirlendiği şematik tasarım aşaması küçük değişimlerle en büyük faydaların üretilebildiği evredir. Şematik tasarım evresinde güneş ışığından faydalanma miktarı, hâkim rüzgâr yönleri, topoğrafya, çevre yapılarla kurulan ilişki ve iklim özelliklerine benzer şekilde yapının strüktürel davranışları da oldukça kısıtlı miktarda göz önüne alınabilmektedir. Bunun nedenleri, strüktürel analiz için uzmanlaşmış tasarımcı veya mühendisin ön tasarım evresinde genellikle yer almamasıdır. Strüktür tasarımcısı yapı formunun belli bir gelişmişlik düzeyine ulaştığı evrede tasarıma katkı sunmaya başlamaktadır. Yapının ana formunun belirlenmiş olduğu bu evrede strüktürel veriler tasarımı besleyen bilgi olmaktan ziyade, tasarımı gerçekleştirmek için çözümler üreten görevini üstlenmektedir. Taşıyıcı sistem hesaplamalarında zemin davranışları, sismik özellikler, malzemelerin dayanım verileri ve binanın hangi amaçla kullanılacağı gibi fazla sayıda bileşen bulunmaktadır. Yapısal özelliklerin bu düzeyde detaylı bir analizine, zaten tasarım süreçlerine yoğunlaşmış olan mimarın vakit ayırması genellikle mümkün olmamaktadır. Bu aşamada eldeki sınırlı tasarım girdileriyle yapısal davranışa yönelik veriler elde etmek, ileri tasarım aşamasında yapılacak detaylı analizlere ve yönetmeliklerin zorunlu tuttuğu standartlara uyulmasına katkı verecektir. Yapısal elemanlara taşıyıcı malzeme ve kesit atamasına izin veren öneri tasarım aracı, yapının ağırlığını ve maksimum gerilmelerin olduğu bölgeleri ön tasarım aşamasında kullanıcıya sunacaktır. Bu çalışmada şematik tasarım aşamasında, mimari formun ortaya çıkmaya başlamasıyla beraber hem parametrik tasarıma hem de geleneksel tasarıma yönelik strüktürel analizler yapıp sonuçlar üretebilecek hesap aracı önerilmekte ve üretilen modeller üzerinden sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Çalışmayla önerilen yöntem, Grasshopper eklentilerinin sunduğu imkanları bir araya getirmektedir.

**Teslim Tarihi:** 17.08.2021

**Kabul Tarihi:** 23.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

ozdemirsal@itu.edu.tr

Özdemir, S. (2021). Şematik tasarım evresinde mimari form alternatiflerine yönelik taşıyıcı sistem davranışlarının analizi. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 103-126.

<https://doi.org/10.53710/jcode.984086>

**Anahtar Kelimeler:** Yapısal Analiz, Şematik Tasarım, Karamba3D, Hesaplama.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir yapının tasarımında biçimi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Rüzgar yükleri, güneş enerjisi, sismik koşullar, toprak yapısı ve bulunduğu topoğrafya gibi sıralanabilecek çok sayıda değişken tasarlanan yapının ana sınır ve koşullarını oluşturmaktadır. Bu koşullardan günümüzde sıkça değerlendirmeye alınan ve önemli olarak görülen kriter sürdürülebilirliktir (Jalali, Noorzai and Heidari, 2020). Çok işlevli, serbest biçime sahip ve sürdürülebilir yapıların başarıları son yıllarda popülerlik kazanmıştır (Hu et al., 2020). Ancak yapısal ve taşıyıcı özelliklerin çalışmalarda daha fazla yer tutması sürdürülebilirlik anlamında da oldukça katkı sağlayacaktır.

Estetik formaların teknolojik imkanlarla birlikte kullanıldığı Pudong Havalimanı (kiriş yapılı), Londra Olimpiyat Stadyumu (kablo sistem), Fuji Grup Pavyonu (membran yapı) gibi geniş açıklıklı yapılar üst düzey mekanik ve yapısal özelliklere sahiptir (Hu et al., 2020). Tasarım olarak ön plana çıkan bu yapılarda yapısal sistem anlamında daha nitelikli ve yenilikçi çözümlere başvurulmaktadır. Özellikle gergi sistemlerde yapısal tasarım üzerine çalışmalar nispeten daha yenidir ve geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır (Subhrajit and Siddhartha, 2019).

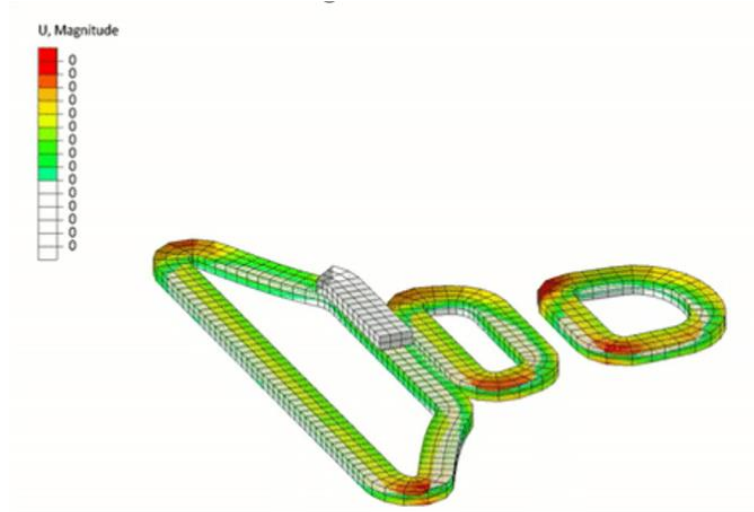
Ön tasarım aşamasında yapısal analizle mimari tasarım için veri üretilmesi konusu belirlenene kadar literatür araştırması yapılmış, üretilmiş bilgilere ek neler yapılabilir, hangi aşamalarda literatür boşlukları var tespit edilmeye çalışılmıştır. Makalede, çalışmaların başladığı ilk süreç, “Öncül Araştırmalar” başlığı altında tartışılmıştır. Ardından, konu kapsamı daraltılarak “İlerlemiş Çalışmalar” evresine geçilmiştir. Son olarak analizler amaçların ve hedeflerin netleştiği “Geliştirilmiş Modeller” bölümünde irdelenmiştir. “Geliştirilmiş Modeller” bölümünde strüktürel analizlerin farklı mimari formlarda benzer bir dille tasarım sürecine bilgi aktarabilmesine yönelik çeşitli modeller ortaya koyulmuştur.

## 2. UYGULANABİLİR MODEL ANALİZLERİ VE YÖNTEM ÜRETİLMESİ (APPLICABLE MODEL ANALYSIS AND METHOD GENERATION)

### 2.1 Öncül Araştırmalar (Preliminary Research)

Projeye başlangıç evresinde şematik tasarımdan üretime hızlı geçiş imkanını sağlayabilecek yöntemlerin araştırılması üzerine olmuştur. Tasarımın uygulamaya ara basamaklar olmadan hızlıca dönüştüğü bir yöntem, aynı zamanda şematik tasarım evresindeki yapının uygulanabilirliğinin arttırılmasının da önünü açacaktır. Bu aşamada tasarımcıdan ürüne geçişte ara basamak sayısının en az olduğu 3D baskı yöntemi ele alınmıştır. 3B baskı ile oluşturulacak bir modelin fiziksel davranışının nasıl olacağı üzerine yapılan arayışlarda Concrete3DLab isimli Grasshopper eklentisi ele alınmıştır. Yapı ölçeğinde baskı üzerine düşünüldüğünde çimento esaslı malzemeler ön plana çıkmaktadır. Ancak çimento esaslı malzemeyle baskı işlemi, güncel 3B baskı metodlarından ayrılmakta yeni bazı parçalar, eklentiler ve yazılımlara ihtiyaç duymaktadır. Ölçeğin büyümesi, yapı elemanlarının birlikte çalışması amacıyla hepsinin ayrı ayrı modellenmesini de gerektirebilmektedir. Gelişen teknolojinin çok sayıda parçanın özelleştirilmesine imkan sağlaması otomasyon, verimlilik ve tasarım özgünlüğü üzerine büyük potansiyel yaratmaktadır (Crolla et al., 2017). Bu imkân sayesinde büyük bir formu üretebilmemiz için küçük alt yapı elemanlarına bölümlendirerek her parça için 3B yazıcı kullanarak üretim tamamlanabilecektir.

Rhino-Grasshopper'da üç boyutlu üretilmiş bir modelin vokseleştirilmesi sonrasında sonlu elemanlar teorisiyle 3B beton baskı süreçlerinin simülasyonunu oluşturmaktadır (Vantighem, Ooms & De Corte, 2021). İki boyutta piksel olarak tanımlanan noktalar üç boyutlu uzayda vokselleştirilerek tanımlanmaktadır. Bu sayede üç boyutlu bir modelin nokta verileri haline getirilmesine imkân sağlanır. **Şekil 1**'de Grasshopper eklentisi olan Concrete3dLab ile simüle edilmiş beton baskı görülmektedir.

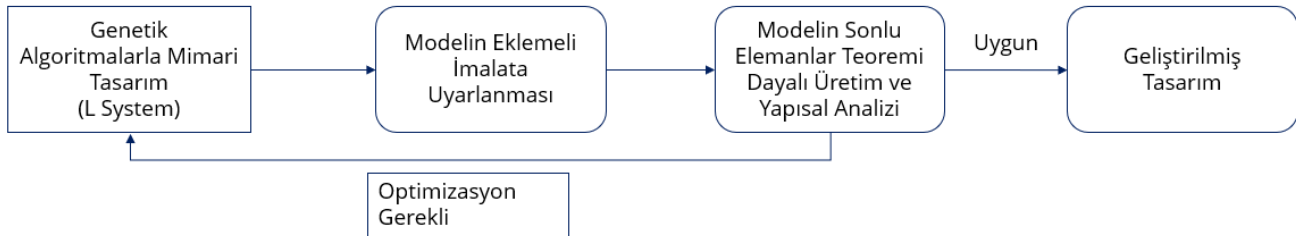


**Şekil 1 :** Concrete3DLab eklentisinde baskı aşamasının simülasyon örneği (Simulation example of printing phase in Concrete3DLab plugin) (Vantghem and Ooms, n.d.).

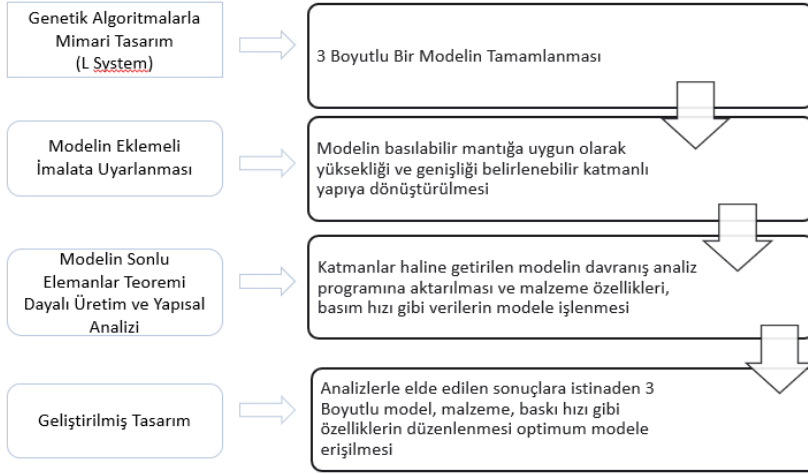
Concrete3DLab eklentisi robotik imalatla yapı üretimini esas almaktadır. Uygulama metodu çimento esaslı malzeme basımı olarak belirlenen ilk aşamaya yönelik tasarım sürecinin teorik altyapısı kurulmuştur. Tasarım aşamasında hem yaratıcı tasarıma imkân veren hem de yapısal analizleri tasarımın ilk aşamalarına entegre eden bir iş akışı oluşturmak hedeflenmiştir. Hem tasarım aşamasının hem de üretim aşamasının olabildiğince bilgisayar destekli hale getirilmesi kurgulanan modelin gelişmesine olanak sağlayacaktır. Bu nedenle modelleme aşamasında genetik algoritmalar uygulama aşamasında ise robotik imalat yöntemleri seçilmiştir.

**Şekil 2 :** Genetik algoritmayla üretilen modelin üretim ve yapısal analiz akış diyagramı (Production and structural analysis flow diagram of the model produced by genetic algorithm).

Şekil 2’de genetik algoritmalarla üretilmiş bir modelin 3B Baskı simülasyonunun oluşturulması için temel düzeyde bir akış diyagramı üretilmiş, bu sistem çalışır hale getirilirse ön tasarım aşamasının da yeniden organize edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2’de önerilen akış diyagramının çalışma prensipleri hangi aşamada hangi işlerin tamamlanacağına yönelik bilgiler Şekil 3’de tanımlanmıştır.



Şekil 3 : Yapısal akış diyagramı uygulama aşamaları (Structural flowchart application stages).

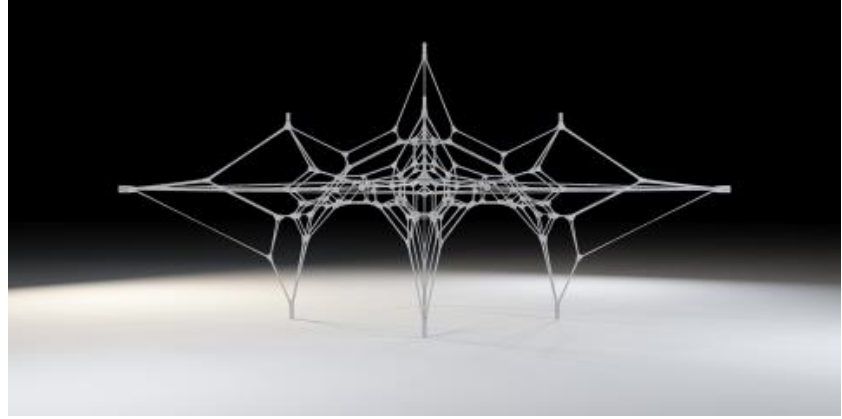
Öncül araştırmalar evresinin ilk aşamasında genetik algoritmalarla parametrik olarak üretilen modelin yapısal ve imalat aşaması davranışlarının hesaplandığı simülasyonların oluşturulması hedeflenmiştir. Takip eden süreçte 3B Beton baskı yöntemiyle kurulan bu sistem işler hale geldiğinde mimari form üzerinde nasıl farklılaşmalar üretilebilir sorusu ortaya çıkmıştır. Özellikle 3B Baskı yönteminin sağladığı imkanlar geleneksel inşaat yapım yöntemleriyle çok zor üretilecek bazı formların kolaylıkla üretilmesine imkân sağlayacaktır. 3B baskı ile inşaat süreçlerini hızlandırılabilir, doğruluğu daha yüksek imalat yapılabilir, iş güvenliği artırılabilir ve mimari form için daha fazla özgürlük sağlanabilecektir (Buchanan and Gardner, 2019). Mimari formun özgürleşmesi ve üretimde hassasiyetin artması tasarım açısından yeni bakış açılarının da üretilmesine ve yapısal analizlerin şematik tasarım aşamasında ciddi şekilde ele alınmasına olanak sağlayacaktır.

Öncül araştırma evresi sonucunda Concrete3D Lab Grasshopper eklentisiyle çalışılarak sunduğu analiz yöntemleri araştırılmıştır. Öneri modele yapacağı katkılar incelenerek bir kullanım yöntemi geliştirilmiş, akış diyagramı ortaya konulmuştur. Ancak katmanlı üretimde her katman arası oluşan kuvvetlerin belirlenememesi, hesaplamalara yönelik fiziksel deneylere dayanan yeterli genel geçer kabul görmüş verilerin olmaması oluşturulan bu yöntemi bu çalışma kapsamında kullanışsız hale getirmiştir. 3B baskı yöntemini temel alıp bunun üzerine kurulan modellerin analizini, fiziki deneyler olmadan yapabilmek için bir

çok öngörünün modele eklenmesi gerektiği ve sonuçların düşük hassasiyetli olacağı görülmüştür.

Genetik algoritma ve 3B beton baskı yönteminde eksik kalının kısımların tamamlanması ve alternatif bir yöntem bulunmasına yönelik araştırmalar sonucu Tasarım Alan Keşfi (Design Space Exploration) yöntemi incelenmiştir. Tasarım Alan Keşfi (Design Space Exploration), tasarımda belirlenen parametreler çerçevesinde ihtiyaç duyulmayan veya istenmeyen bölgelerin ürünün içinden çıkartılmasına olanak tanınmaktadır. Tasarım Alan Keşfi (TAK) yaklaşımını temel alan Grasshopper eklentisi “3D Graphic Statics” alışılmış tasarım yaklaşımlarından ayrılmaktadır.

**Şekil 4:** 3D Graphic Statics’le üretilen tasarım örneği  
(Example of design produced with 3D Graphic Statics) (Graovac, n.d.).



TAK yaklaşımıyla modelleme imkanlarının araştırılarak 3D Graphic Statics Grasshopper eklentisi üzerine çalışmalar yapılmıştır. 3B Baskı yönteminin mimari forma etkisinin sorgulanmasıyla başlayan öncül araştırmalar, baskı sürecinde ortaya çıkan kuvvetler ve davranışların hesaplanmasına evrilmiştir. Bu aşamada görselleştirme için Grasshopper ve Abaqus programları kullanılmıştır. Ancak yine yapısal ölçekte üretimde 3B baskıda kullanılacak malzemelerin davranışı, katmanlar arası birleşim özellikleri, baskı öncesi ve sonrası düşey ve yanal kuvvetlere kaşı dayanımı gibi özelliklere yönelik bilinmezlikler daha geleneksel yöntemlerin kullanılması gerektiğini göstermiştir. Teorik altyapısı genel geçer kabul görmüş yapısal hesaplama yöntemleri, ön tasarım aşamasında yapısal özelliklerin araştırılmasında daha güvenli sonuçların ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu seçim tasarım özgürlüğü anlamında 3B baskı yöntemlerine göre kısıtlar

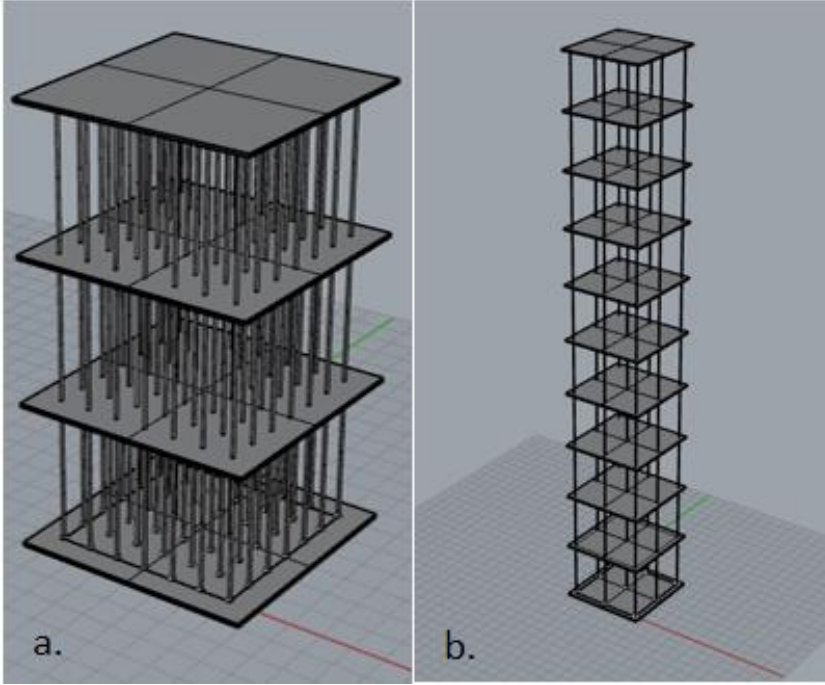
getirecek olsa da daha güvenilir yapısal hesaplama sonuçlarının ortaya çıkmasına olanak sağlayacaktır.

Yapısal analizler için yapı üzerinde oluşan değişimlerin gösterilmesi ve mimari form arayışıyla entegre olunması amacıyla Grasshopper'ın Karamba3D ve Kangaroo eklentilerinin ileriki aşamalarda kullanımına, 3B baskı yönteminden geleneksel üretimin kabul ettiği yöntem ve hesaplamalara geçişe karar verilmiştir.

## 2.2 İlerlemiş Çalışmalar (Further Studies)

Öneri modelin geliştirilmesine yönelik çalışmalarda şimdiye kadar ortaya koyulan çalışmalar ve öneriler yapısal analiz modelinin şekillenmesinde altlık oluşturacaktır. Farklı 3B modellerin taşıyıcı sistem alternatiflerinin belirli bir düşünce sistematığıyla geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır.

Öncelikle parametrik olarak taşıyıcı sistemi belirlenebilecek bir model oluşturulmak istenmiştir. Yükseklik ve kat sayısı değişimiyle ortaya çıkan modeller Şekil 5'de görüldüğü gibi en temel seviyede oluşturulmuştur.



**Şekil 5:** a. Az katlı ve sık taşıyıcı bina. b. Çok katlı ve seyrek taşıyıcı bina. (a. Building with low floors and frequent carriers b. Multi-storey and sparse load-bearing building).

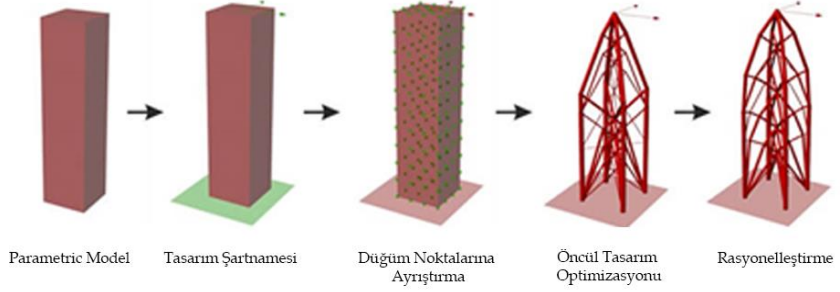
Model yükseklik, kolon büyüklüğü, döşemenin ayrıştırılacağı grid sayısı, kat sayısı ve konsol mesafesinin parametrik olarak belirlenebilmesine olanak tanımaktadır. Bu aşamada yapısal analiz kısmına geçilmemiştir.

Üretilen mimari formların özgünlük değerinin zayıf kalması öneri sistemin geliştirilmesine ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Bu aşamada yüksek katlı bir binada hem form kaygısının ön planda olduğu hem de taşıyıcı optimizasyonuna imkân tanınan model kurma çalışmasına geçilmiştir. Parametrik olarak kurgulanan ve değişkenleri kat yüksekliği, kolon büyüklüğü, grid sayısı gibi formdan bağımsız değişkenlere dayanan bir sistem yerine mimari formun da işin içinde olduğu bir Grasshopper kodu oluşturulmak istenmiştir.

Grasshopper eklentisi olan Peregrine bu taleplere çözüm üretme alternatifleri sunmaktadır. Peregrine görsel programlama dili ve ortamı olan Grasshopper için bir sınır koşullu biçim destekli optimizasyon eklentisidir (Peregrine | Parametric House, n.d.). **Şekil 6'**da Peregrine ile optimize edilmiş bir yapı örneği bulunmaktadır. Güçlü düzenleme ve rasyonelleştirme imkanlarıyla Grasshopper' da hızlıca model tanımlama ve optimize etmeye imkân verir.

**Şekil 6:** Peregrine eklentisinde örnek bina optimizasyonu (Example building optimization in the Peregrine plugin) (Peregrine | Parametric House, n.d.).

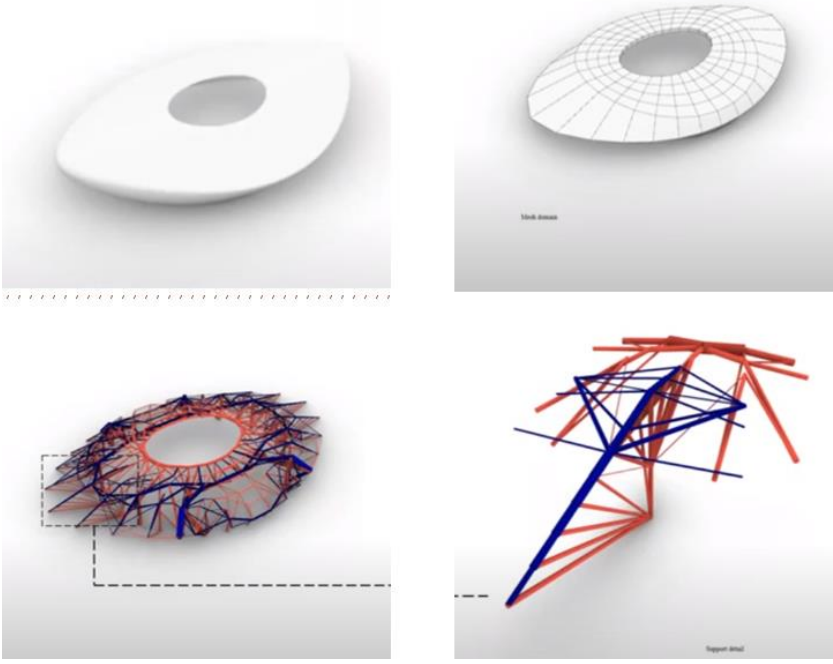


Yapısal özelliklerle mimari formun ortak çalışması üzerine ortaya koyulacak gelişmelerde Peregrine eklentisinin çok güçlü imkanları olsa da form oluşum evresinde bir girdi sağlama konusunda yeterli imkanı oluşturamamıştır. Bu nedenle yapısal olarak temel yaklaşımı daha farklı olan yapılara yönelme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Dünyanın önde gelen statik tasarımcılarından ARUP ekiplerince yapılan bir çalışmada, bir stadyumun tasarımının çatısının taşınması için parametrik yöntemler kullanılmıştır. Stadyumun taşıyıcı sistemi için de tek tip bir yapısal elemana indirgeme çalışması yapılmıştır. Dairesel sistemli bir çatı için üretilen ana taşıyıcı parçası **Şekil 7'**de görülmektedir. Şematik bir tasarımdan yapısal bir çözüme gitme süreci için bu

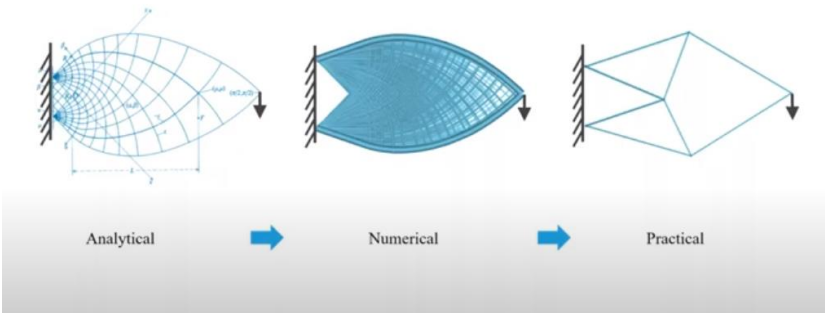


çalışmanın yaklaşımı benimsenmiş, kurulacak modelin sayısal analizi sürecinde **Şekil 7**'de görülen yalınlaştırma tekniği kullanılacaktır.



**Şekil 7:** Stadyum çatısı taşıyıcı sistem tasarımı (Stadium roof structural system design) (Gilbert et al., 2020).

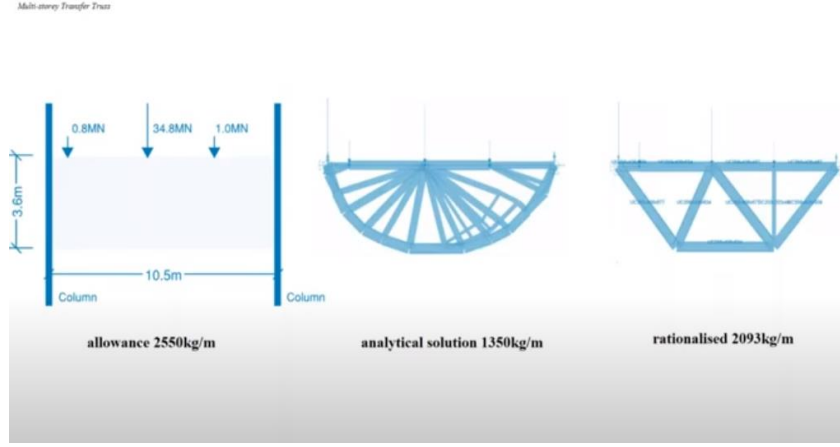
Bağlantı noktası yerçekimi yönünde olmayan ve konsol mantığında çalışan bir sistemin hesaplamaları, analitik olarak çözülmesi ve son olarak gerçek hayatta kullanılabilir pratik model özelliği kazanması belirli optimizasyonlar sonrasında olmaktadır. Tasarıma uygun temel bir fizik kuralının belirlenerek çözüm arayışına gitmek optimum çözümü elde etme yolunda iyi bir adım olacaktır. **Şekil 8**'de 2 farklı noktadan mesnetlenmiş, yer çekimi doğrultusunda kuvvete maruz bırakılan cismin analitik modeli, numerik modeli ve pratik çözümü gösterilmektedir.



**Şekil 8:** Bir modele ait analitik, numerik ve pratik görseller (Analytical, numerical and practical visuals of a model) (Gilbert et al., 2020).

Buradaki yaklaşımla stadyumun çatısı için çözüm getirilebileceği gibi birçok farklı sisteme de temel dayanak noktası kurgulanabilir. Şekil 9'da görülen bir statik problemde sistemin optimizasyonu ile yük taşıma kapasitesinde sağlanan artış net olarak görülebilir.

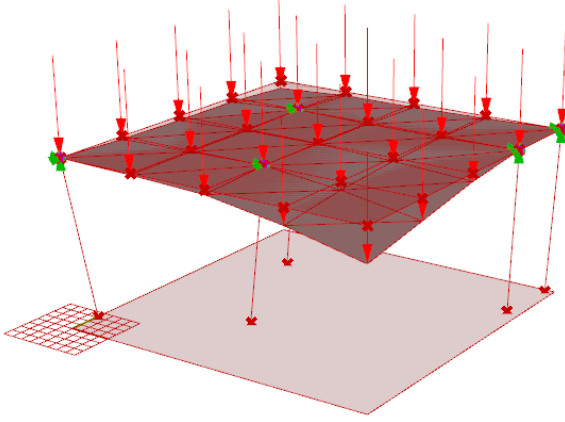
**Şekil 9:** Belirli yük altında analitik çözüm ve rasyonelleştirilmiş çözümle elde edilen yük taşıma kapasiteleri (Load bearing capacities obtained with analytical solution and rationalized solution under certain load) (Gilbert et al., 2020)



Bu örnek analiziyle modelleme için temeli fiziksel bir kurala dayanan yaklaşımının hedeflenmesine karar verilmiştir. İlerletilmiş çalışmalar evresinde öncelikle bir eklenti kullanmadan daha binanın statik özelliklerine yönelik model çalışması yapılmıştır. Sonra PEREGRINE'nin sağladığı optimizasyon imkanları incelenmiştir. Çalışmanın bina ölçeğinde mi yoksa yapısal bir eleman (kolon, kiriş v.b) ölçeğinde mi ilerleyeceği üzerine çalışılmıştır. Yapısal bir birleşen detayından öte yapı boyutunda ve mümkünse bir alanı örtecek tasarımlar üzerine çalışmalar yapma kararı alınmıştır. Tek çatı altında bir alan tasarımı için kısıtları anlayabilmek ve doğru bir yöntem önerebilmek adına geçerli fiziksel kurallar üzerine araştırma yapılmıştır. Çok eski bir yöntem olan aynı zamanda büyük verimlilik sağlayan kemer sistemi bu noktada ön plana çıkmıştır. Bu yöntem malzeme kesitinin alt kısmında oluşan çekme kuvvetinin azaltılması prensibini kullanmaktadır. Taş ve beton gibi malzemeler çekme kuvvetine karşı oldukça dayanıksızdır. Bu sebeple ya çekme kapasiteleri arttırılmalı ya da üzerlerine çekme kuvveti etki ettirilmemelidir. Kemer sisteminde yapısal elemana etkiyen yük dağılım grafiklerinin tam tersine yönde biçimsel oluşum kurgulanmaktadır. Bu yöntem çalışmada hedeflenen amacın ilk örneklerinden biri olarak değerlendirilebilir.

### 2.3 Geliştirilmiş Modeller (Developed Models)

Geliştirilmiş model çalışmalarına çatı kısmı örtü olan ve kolonlarla taşınan bir sistemin model çalışmalarıyla başlanmıştır. Çatı örtüsünün form değişimiyle kolonların optimum lokasyonlara yerleşimini hedefleyen Grasshopper kodunda Biomorpher genetik algoritmasından yararlanılmıştır.



**Şekil 10:** Grasshopper ile oluşturulan çatı örtüsü taşıyıcı elemanlar ve kuvvetler (Roof cover structural elements and forces created with Grasshopper).

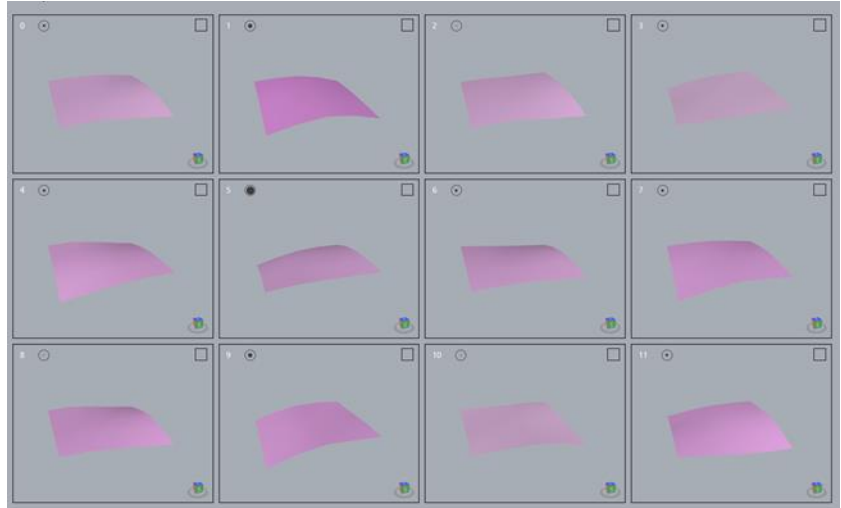
Şekil 10'da gösterilen model temel olarak zemin bağlantısından çatıya kadar taşıyıcı kolonları ve çatıda çok eğrilikli yüzeyi içermektedir. Model içerisinde yer alan Biomorpher koduyla Şekil 11'de görüldüğü gibi birçok alternatif çatı örtüsü elde edilebilmektedir. Bu örtülerden hangisi daha uygun karar verebilmek adına bazı uygunluk koşulları belirlenmiştir. Çatı örtüsünün yüzey alanı ve toplam kolon boylarının uzunlukları üzerine belirlenen uygunluk koşulları üretilen modellerin içerisinde elemeler yapılmasına imkân tanımıştır.

Burada oluşturulan çatı örtülerinin bütüncül bir tasarımın çok uzağında kalması ve uzayda tanımsız yüzeylere dönüşmesi sebebiyle modelin kapladığı hacmi daha tanımlı yapabildiği ve mimari biçimle daha ilişkili çıktılar üretebildiği bir seviyeye gelmesi gerektiği düşünülerek çalışma geliştirilmeye devam edilmiştir.

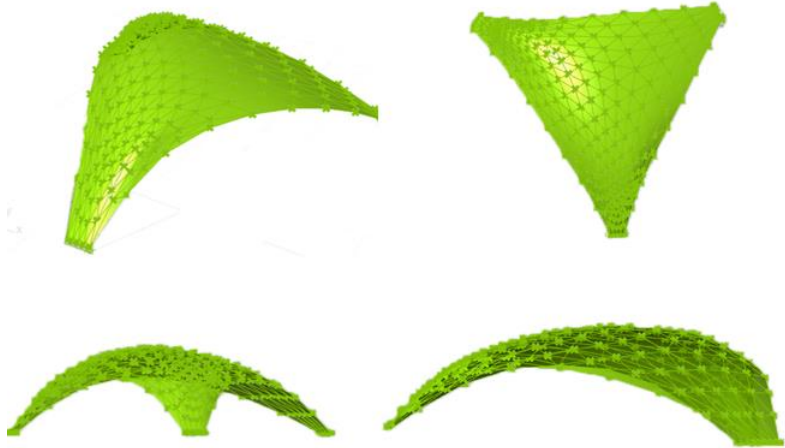
Belli bir hacmi tanımlayan kabuk bir yapı arayışının başladığı bu evrede üzerine çalışılmış birçok pavyon projesi incelenmiştir. Başlangıç modeli olarak 2020 yılında Norrköping, İsveç'te yapımı tamamlanan Portalen Pavilion'undan esinlenilerek modelleme yapılmıştır. Şekil 12'de görülen model zemine üç noktadan bağlanmıştır. Pavyonun formu üzerine etkili kuvvetlerle ilişkilidir. Kuvvet miktarı arttıkça pavyonun eğriliği ve dolayısıyla yüksekliği artmaktadır. Bunun sebebi makalede ifade

edilen çekme kuvvetlerinin minimumda oluşmasını sağlamaktır. Modelin yüzeyi üçgen mesh sistemle oluşturulmuştur. Böylece sonlu elemanlar yöntemleriyle modele etkiyen yükler hesaplanabilecektir.

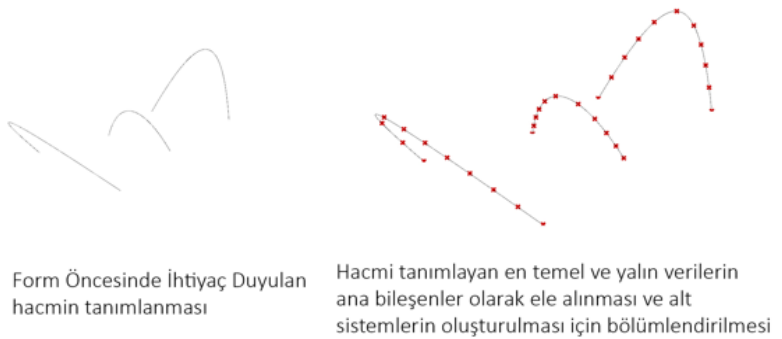
**Şekil 11:** Biomorpher ile elde edilen çatı örtüsü alternatifleri (Roofing alternatives obtained with Biomorpher).



**Şekil 12 :** Üç noktadan zemine mesnetlenen pavyon tasarımı (Three-point pavilion design).

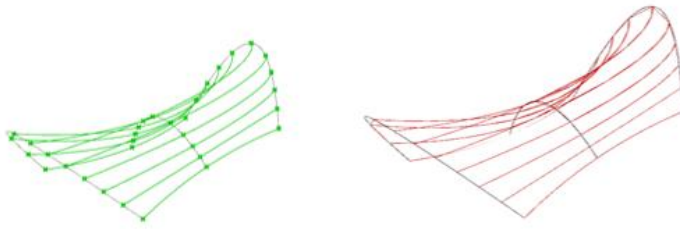


**Şekil 13:** Modelin oluşması için seçilen üç kesit ve bu kesitlerin tasarımcı tarafından belirlenen eş parçalara bölünmesi (Three sections selected for the formation of the model and the division of these sections into equal parts determined by the designer).



Grasshopper’da hazırlanan bu kod için mimari esneklik ve form arayışı sınırlı kalmıştır. Tasarımcıya sadece zemin bağlantısı kurulacak noktaların yeri ve sayısını belirleme imkânı tanınabilmiştir. Aslında bu seviyede bir analiz kötü değildir ancak istenen bir modelin strüktürel analizine olanak vermediği için geliştirmeye yönelik çalışmalara devam edilmiştir.

**Şekil 12’de** görülen modelle istenilen analizlerin elde edilmesi yolunda sağlanan gelişmeler bundan sonraki Grasshopper çalışmalarına kaynaklık etmiştir. Bir sonraki çalışma yarım daire kesitinde birden fazla parçanın birleştirilerek hacim üretilmesine odaklanmaktadır. **Şekil 13’de** ön tasarım aşamasında bulunan mimari formdan alınmış üç kesit bulunmaktadır. Daha sonra bu kesitler eş parçalara bölümlendirilmektedir. Bu sayede formu oluşturacak kirişlerin lokasyonları belli olacak ve kabuk örtüsü için öneri form oluşturulacaktır.



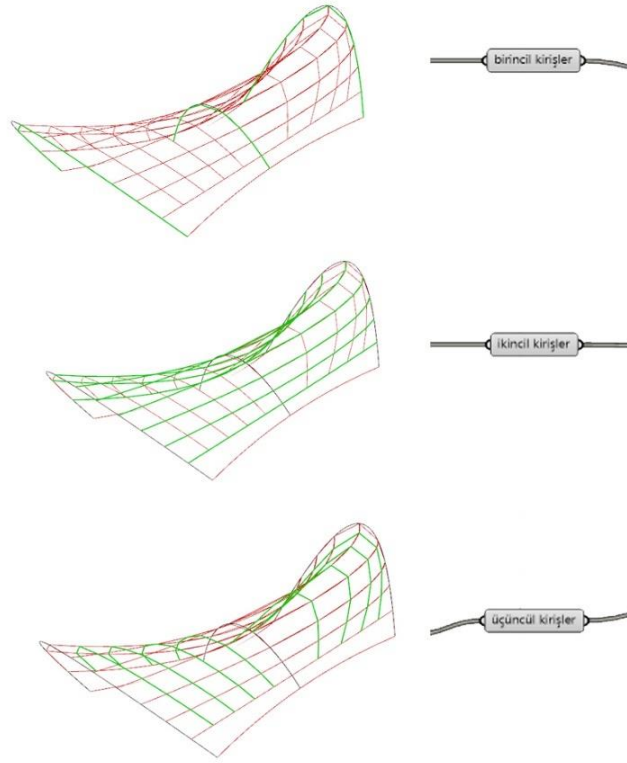
Bölmelere ayrılmış yapının ara taşıyıcı sisteminin kurgulanması

Farklı yönde bileşenlerin farklı bilgileri taşınması  
Ana taşıyıcı / Ara Taşıyıcılar

**Şekil 14:** Kirişler (Beams ).

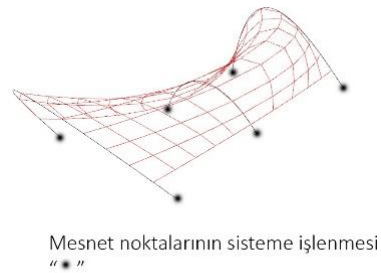
Kesitler üzerinde belirlenen bölümlere istinaden oluşan kirişler **Şekil 14’te** görülmektedir. Mimari modelden alınan herhangi ilk üç kesit bu sistemde ana taşıyıcı olarak ele alınacaktır. Sistemde yer alan kirişlerin öncelik sırası **Şekil 15’de** görüldüğü gibidir. **Şekil 15’de** her kademe görülen yeşil çizgiler belirtilen seviye kirişleri ifade etmektedir.

**Şekil 15:** Taşıyıcı elemanların sistemdeki görev sıralaması (Task order of structural elements in the system).



Modelin zemin ile kurduğu ilişkiler de ilk olarak belirlenen kesitler üzerinden olacaktır. Diğer bir ifadeyle ilk alınan kesitler mimari formun oluşturulma sürecinde de oldukça etkilidir. Bunlar **Şekil 16**'da görüldüğü gibi ana taşıyıcı görevini üstlenir yapıya etkiyen yükün toprağa aktarılmasını sağlamaktadır.

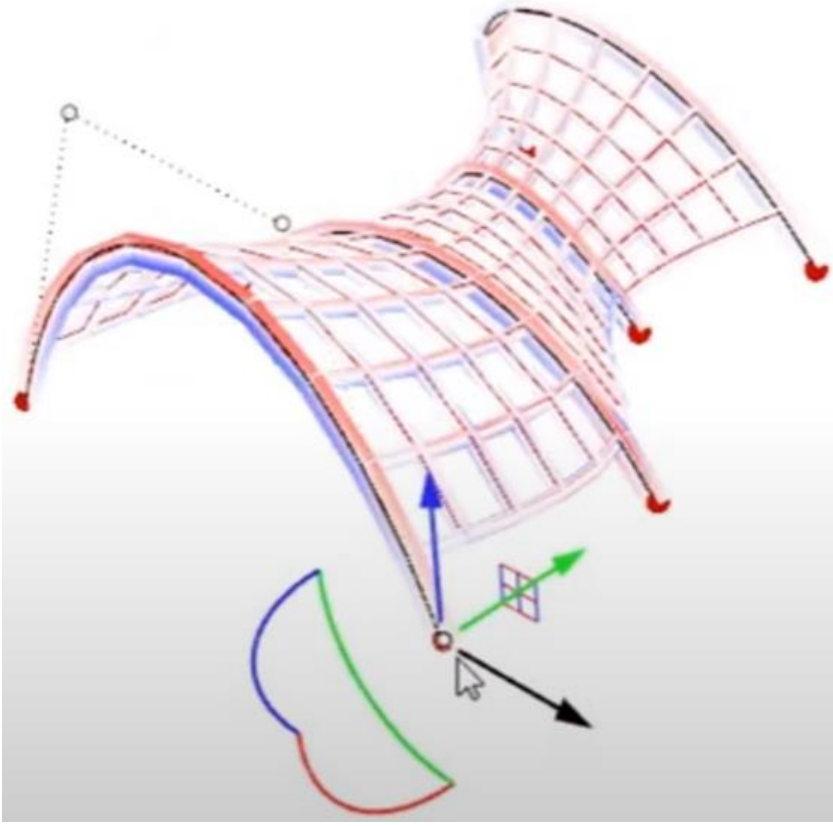
**Şekil 16:** Modelin zemin ile bağlantı kurduğu noktalar (The points where the model connects with the ground).



Modelin kurgulanması ve sistem analizleri aşamalarında Karamba3D isimli Grasshopper eklentisi kullanılmıştır. Bu sayede oldukça gelişmiş

bir eklenti üzerinden gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmekte ve analizler yapılmaktadır.

**Şekil 17**'de şimdiye kadar anlatılan modelin analiz sonuçlarıyla elde edilen görsel bulunmaktadır. Bu görselde ana taşıyıcı olarak görev yapan dört adet kesit bulunmaktadır. Dört kesitin bulunma sebebi Grasshopper kodunun istenilen kadar kesit eklemeye imkan tanınması bu sayede ön tasarım aşamasında yer alan taslak çizimlere en yakın formun strüktürel analizinin yapılması istenmesidir.

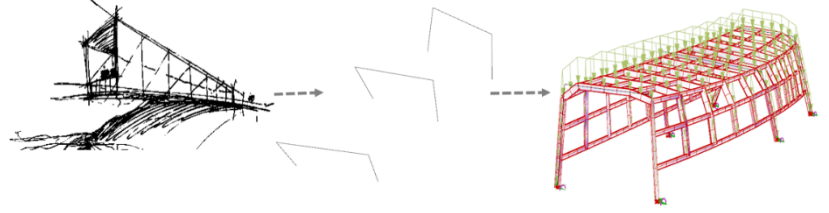


**Şekil 17:** Analiz sonuç verilerine göre görselleştirilmiş model  
(Analysis results of the visualized model)

Ön tasarım evresinde üretilmiş bir eskizin mimari formu oluşturacak önemli noktalarından kesitler alındığında Grasshopper kodu için gerekli olan veri de hazırlanmış olacaktır. Söz konusu kesitler ilk aşamada Rhino'da çizilerek Grasshopper kodundaki Geometri'ye tanıtılmaktadır. **Şekil 18**'de tasarım sistematığı anlatılan kodun uygulandığı bir eskiz çalışması ve ortaya çıkan model görülmektedir. Eskizden ana formu tanımlayan kesitler alınmıştır. Formun ortaya çıkması için Rhino'da bu 3 kesit çizilmiştir. Grasshopper kodu, bu kesitleri, binanın zemine bağlantı kurduğu mesnet noktaları olarak ele almaktadır. Mesnet noktaları

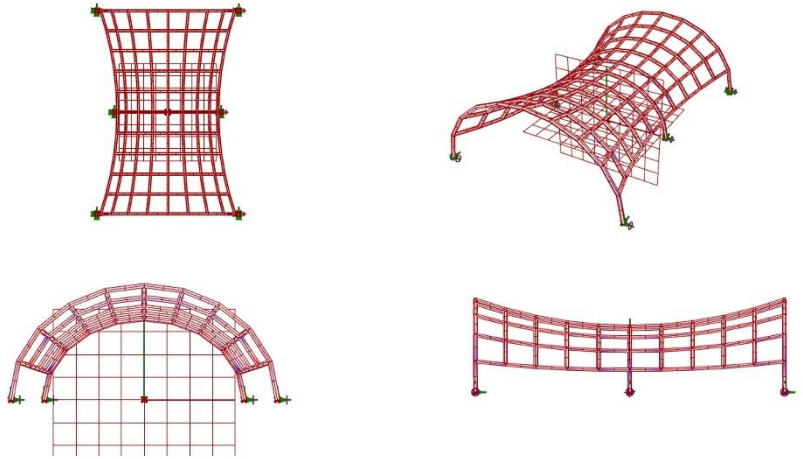
arasında bağlantı elemanları atayarak sistemin strüktürel olarak çalışır hale gelmesine imkân vermektedir. Modeli renklendirerek gerilmenin fazla olduğu noktaları göstermekte ve tasarımcıya binada yapısal anlamda sorun olabilecek noktaları işaret etmektedir. Modele yük etkitmek de mümkündür. Bu sayede farklı sismik etki altındaki bölgeler için farklı yük verileri oluşturulabilir.

**Şekil 18:** Şematik bir çizimin strüktürel analiz aşamasına geçişi (Transition of a schematic drawing to the structural analysis stage).



Şekil 18’de eskiz üzerinden alınan kesitleri Rhino’ya çizilerek modele tanıtılması süreci işletilmiştir. Bu yöntem geliştirilerek modelin parametrik hale getirilmesi de sağlanmıştır. Böylece yüksekliği, kesit sayısı, kesitler arası uzaklık, kesit formu verileri parametrik olarak değiştirilebilecek ve anlık olarak strüktürel davranışa yönelik veriler elde edilebilecektir. Şekil 19’da parametrik olarak üretilmiş bir modele ait strüktürel davranış görseli bulunmaktadır.

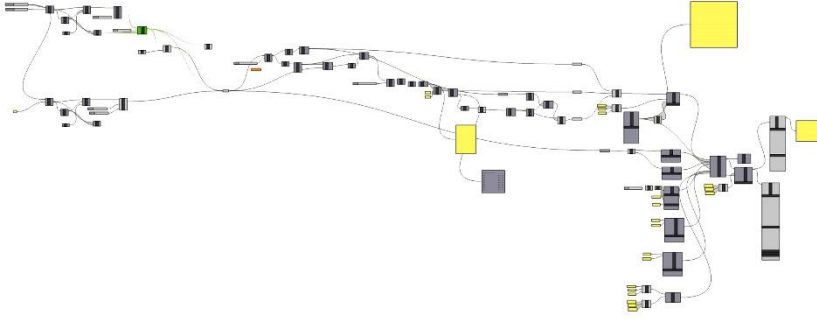
**Şekil 19:** Parametrik modelin strüktürel analizi (Structural analysis of the parametric model).



Parametrik yöntemle oluşturulan modelin Grasshopper kodu Şekil 20’de gösterilmektedir. Kod ile istenirse parametrelerle mimari form

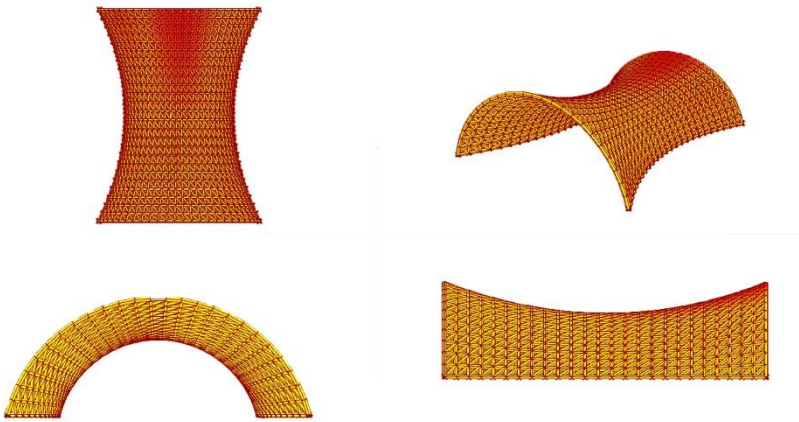


üretilecek strüktürel davranışlar görülebilir, istenirse bir eskiz çalışmasından alınan kesitler Rhino'da çizilerek koda tanımlanabilir.



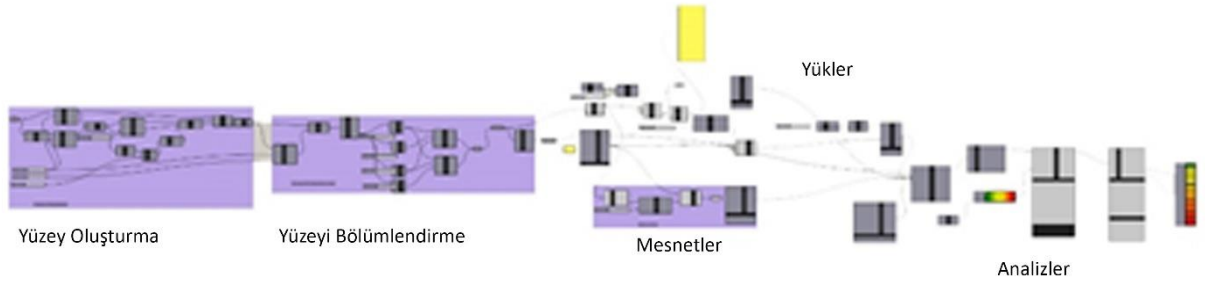
**Şekil 20:** Oluşturulan Grasshopper kodu (Generated Grasshopper code).

Şekil 19 'de görülen parametrik modelde kafes sistemlerin genelinde kullanılan üçgen mesh sistem yoktur. Ayrıca zemine bağlantısı da sadece üç kesit üzerinden yapılmaktadır. Özellikle biçimsel kaygılar ön planda tutularak en genel geçer kabul gören çözümlere gidilmemiştir. Ancak halihazırda strüktürel uygulamalarla aynı modelleme yapılsaydı model nasıl olurdu elde edilen sonuçlardaki farklılık ne kadar olur sorularına cevaplar bulabilmek için Şekil 21'de modeli görülen Grasshopper kodu üretilmiştir. Bu modelde birçok noktadan zemine bağlantı bulunmaktadır. Model kesitler üzerindeki bölümlendirme sayısını kendi yapmakta ve mesh sistemini üçgen formu üzerine kurulumaktadır.



**Şekil 21:** Strüktürel yaklaşım ön plana alınarak üretilen model (The model produced by taking the structural approach to the forefront).

**Şekil 22:** Strüktürel yaklaşım ön plana alınarak üretilen modelin Grasshopper kodu (Grasshopper code of the model produced by taking the structural approach to the forefront).



### 3. TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR (DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS)

Şematik tasarım aşamasında bir binanın strüktürel davranışının gösterilmesi amaçlayan bu çalışma çeşitli yöntem arayışlarıyla başlamıştır. Başlangıç aşamasında yeni ve tasarımdan uygulamaya geçişi çok daha hızlı olan 3B baskı metoduna yönelik olarak model geliştirilmekte istenmiştir. Ancak özellikle malzeme bazlı veriler, yapının bütüncül davranışının tespit edilememesi, baskı katmalarının dayanımları gibi temel verilerde genel geçer kabul görmüş standartların olmaması sebebiyle 3B baskıyla üretime yönelik yapısal analizlerle çalışma ilerletilmemiştir. 3B baskı yöntemiyle üretilecek yapıların şematik tasarım aşamasındaki strüktürel davranışı gelecek çalışmalar için oldukça önemli görülmektedir.

3B baskı yöntemindeki veri eksikliği nedeniyle ele alınan Tasarım Alan Keşfi yöntemine tasarım parametreleri dışında kalan yapı bölümlerinin tasarımdan çıkarılarak form oluşturulmasına dayanmaktadır. Geleneksel inşaat yapım yöntemlerinde verimli olamayacağı tespit edilen bu yaklaşım, 3B Beton Yazdırma teknolojisiyle mümkün olabilecektir. Tasarım Alan Keşfi yöntemiyle modelleme yapmak için bu

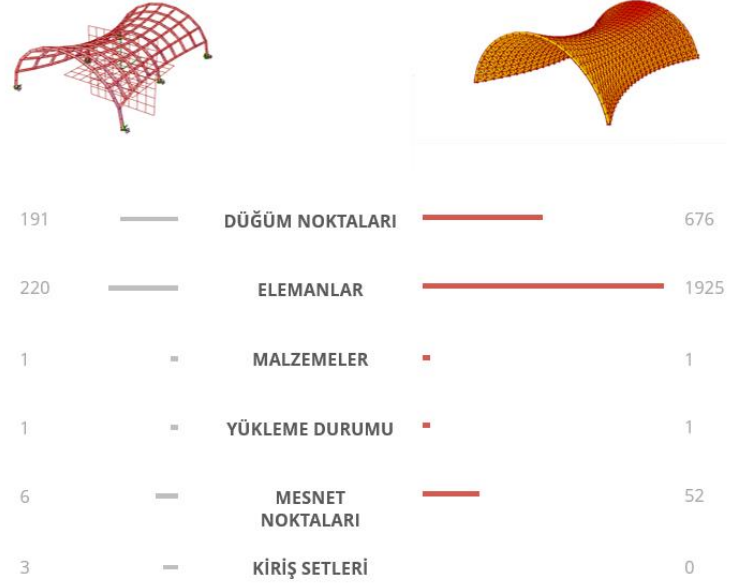
aşamada 3D Graphic Statics adlı Grasshopper eklentisi kullanılmıştır. Özellikle yapım yöntemleri sebebiyle üretilen kesitlerin bazı kısımlarının hiçbir yüke çalışmaması bu yöntemi gelecek anlamında verimli kılmaktadır. Ancak bu yöntem fazla sayıda veriyle birlikte kullanılmadığı gibi yapısal davranış açısından inceleme de yapmamaktadır. Bu nedenle şematik tasarım evresinde hali hazırdaki gelişmiş düzeyi ile kullanıma uygun görülmemiştir.

Takip eden araştırmalarda tasarımın başlangıç aşamasında yapısal analizlerini görebilmeye odaklanılmış, geleneksel yöntemler üzerinden ilerlenmiştir. Bina ölçeği üzerinden kolon, kat yüksekliği gibi değişkenleri parametrik olarak üreten bir model hazırlanmıştır. Bu model de bir apartman yapısı formuna sıkışmış ve form arayışı konusunda isteneni verememiştir. Peregrine adlı Grasshopper eklentisi, hem form arayışına imkan sağlaması hem de optimizasyona olanak tanınmasıyla model oluşturmak için modellemenin bu evresinde ön plana çıkmaktadır. Peregrine ile mimari form optimizasyonu, önceden üretilmiş form kullanılarak yapılmaktadır. Tasarımın ilk aşamasında strüktürel veriler elde edilerek mimari formun geliştirilmesi yaklaşımına bu sebeple destek vermemektedir. Devam eden süreçte temel fizik kuralları üzerinden yaklaşımlar geliştirilmiş ve kemer sistemi veya ters ip davranışı ele alınmıştır.

Bunları takiben zeminden yükselen ve konumları değişken kolonlar üzerinde bir çatı örtüsü kabuğunun formu genetik algoritmalarla üretilmiştir. Üretilen modeller bir yapıdan çok bir yüzeyin şekil değiştirmesine evrildiği için modelin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Portalen Pavilion'undan esinlenilerek pavyon modellemesi yapılmıştır. Ancak modelle sadece zemine bağlantı noktası sayısı ve etkililen kuvvetle yapının yüksekliği parametrelere bağlanabilmiştir. Bu da mimari form arayış evresinde istenen özgürlük alanını oluşturmada yeterli olmamıştır.

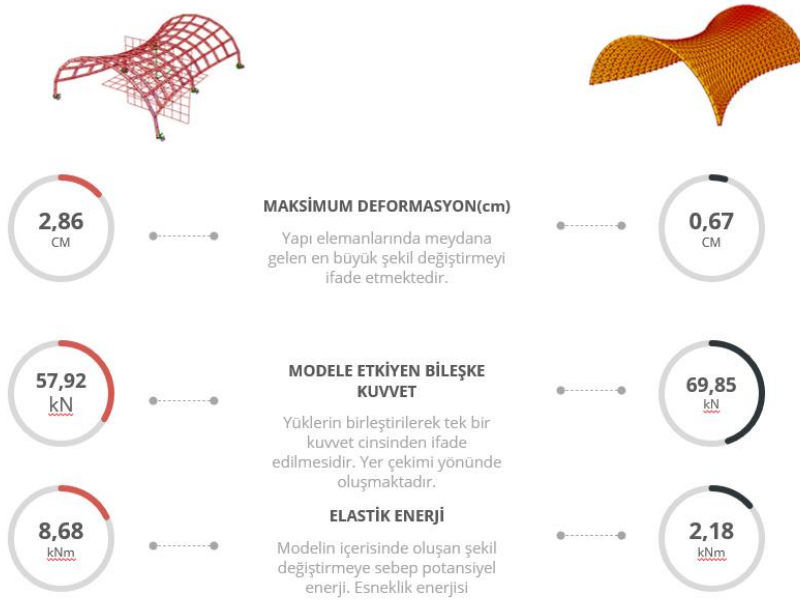
Son olarak bir mimari formun çeşitli noktalarında alınan kesitlerin Rhino'da oluşturulup Grasshopper'da hazır kodla analiz edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Grasshopper'ın Karamba3D eklentisi kullanılarak üretilen kod iki ve üzeri kesitlerde bir form oluşturabilmekte ve strüktürel analizini görselleştirme kabiliyetindedir. Ancak ilk kod ile

parametrik modelleme imkânı yoktur ve günümüz yapılarında kullanılan temel strüktür kararlarına uymamaktadır. Parametrik model üretimi sonraki aşamada koda eklenmiştir. Strüktürel olarak yapı kabuğunun üçgen meshlere bölünmesi ve birçok noktadan zemine bağlantı kurabilmesine imkân veren bir model daha oluşturulmuştur. İki en gelişmiş model sayısal veriler çerçevesinde **Şekil 23**, **Şekil 24** ve **Şekil 25**'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.



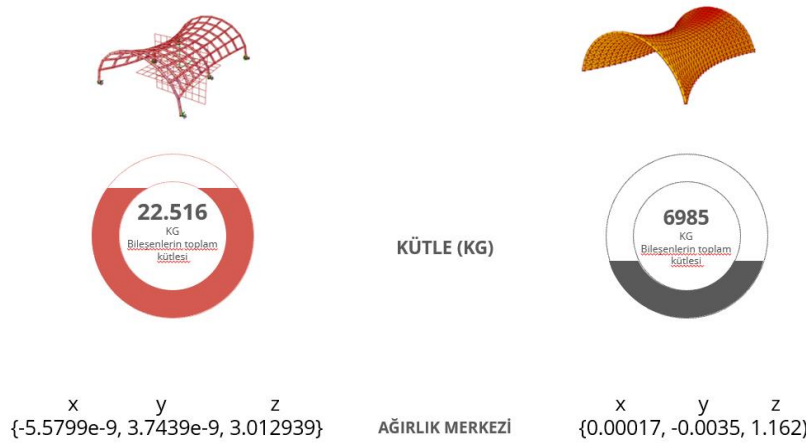
**Şekil 23:** Model karşılaştırmaları-1 (Model comparisons-1).

**Şekil 24**'te maksimum deformasyon, modele etkiyen bileşke kuvvet ve Elastik enerji değerleri görülmektedir.



**Şekil 24:** Model Karşılaştırmaları-2 (Model comparisons-2).

Zemine üç noktadan bağlı parametrik model kirişlerinin 10 parçaya bölüdüğü durum ile strüktürel olarak optimum model ağırlıklar **Şekil 25**'de gösterilmiştir.



**Şekil 25:** Model Karşılaştırmaları-3 (Model comparisons-3).

Parametrik modelin üç ana kirişinin bölünme sayısına istinaden oluşan modellerin toplam ağırlıkları **Şekil 26**'da gösterilmektedir.

KİRİŞ BÖLÜNME SAYISI	KÜTLE (KG)	KİRİŞ BÖLÜNME SAYISI	KÜTLE (KG)	KİRİŞ BÖLÜNME SAYISI	KÜTLE (KG)
0	/ND	4	11286,41	8	20848,13
1	3568,83	5	15218,92	9	19899,54
2	2091,31	6	16483,16	10	22516,07
3	6359,82	7	19140,50		

**Şekil 26:** Kiriş bölünme sayısı ve model kütlesi ilişkisi (The relationship between the number of beam splits and the mass of the model).

Bu karşılaştırma tabloları da göz önüne alındığında üçgen meshlere ayrılıp birçok noktadan zemine bağlanan kabuk yapı çözümü daha verimli çıkmıştır. Ancak parametrik modelin kiriş bölünme sayısı 3 olduğunda toplam ağırlığı 6359 kilograma düşmektedir ve bu değer en iyi çözüm yaklaşımından daha azdır. Bu modelde kirişleri üçe bölmek mimari formun tam olarak elde edilmesine imkân vermese de tek tip strüktür çözümü yerine strüktürün de mimari tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesi fikrini desteklemiştir. Genel kabuller ve yatırımcı istekleri sebebiyle en bilindik yöntemlerin her binada uygulanmasına bu arayışlar alternatif oluşturacaktır. Bu veri seti ön tasarım aşamasındaki mimarın tasarım fikirlerini zenginleştireceği gibi güçlü kararlar almasına imkân verecektir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarım Bilişim Doktora Programı, MBL 601 Mimari Tasarımda Evrimsel Yaklaşımlar dersi kapsamında hazırlanmıştır. Ders dönemi boyunca verilen okumalar ve proje ile ilgili kritiklerinden ötürü ders yürütücüleri Prof.Dr. Gülen Çağdaş'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ethem Gürer'e teşekkürlerimi sunarım.

## Referanslar (References)

- Buchanan, C., & Gardner, L. (2019). Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. *Engineering Structures*, 180, 332–348. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.045>
- Crolla, K., Williams, N., Muehlbauer, M., & Burry, J. (2017). *SmartNodes Pavilion - Towards Custom-optimized Nodes Applications in Construction*.
- Gilbert, M., He, L., Rankine, C., & Reale, V. (2020). *Identifying materially efficient structures using Peregrine - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=5vNSXwniuKw>
- Graovac, O. (no date) 3D Graphic Statics | Food4Rhino. Available at: <https://www.food4rhino.com/en/app/3d-graphic-statics> (Accessed: 18 June 2021).
- Hu, J., Chen, W., Qu, Y., & Yang, D. (2020). Safety and serviceability of membrane buildings: A critical review on architectural, material and structural performance. *Engineering Structures*, 210, 110292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110292>
- Jalali, Z., Noorzai, E., & Heidari, S. (2020). Design and optimization of form and facade of an office building using the genetic algorithm. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(2), 128–140. <https://doi.org/10.1080/23744731.2019.1624095>
- Peregrine | Parametric House*. (n.d.). Retrieved June 18, 2021, from <https://parametrichouse.com/peregrine/>
- Subhrajit, D., & Siddhartha, G. (2019). Analysis and Design of Tensile Membrane Structures: Challenges and Recommendations. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 24(3), 4019009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000426](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000426)
- Vantyghe, G., & Ooms, T. (n.d.). *Concre3DLab | Food4Rhino*. Retrieved June 18, 2021, from <https://www.food4rhino.com/en/app/concre3dlab>
- Vantyghe, G., Ooms, T., & De Corte, W. (2021). VoxelPrint: A Grasshopper plug-in for voxel-based numerical simulation of concrete printing. *Automation in Construction*, 122, 103469. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103469>

# A Decision Support System for Placing Shared E-Scooters: A Case Study for Istanbul

Begüm Moralioglu<sup>1</sup>, Şehnaz Cenani<sup>2</sup>, Gülen Çağdaş<sup>3</sup>

ORCID NO: 0000-0001-8238-4543<sup>1</sup>, 0000-0001-8111-586X<sup>2</sup>, 0000-0001-8853-4207<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Istanbul Medipol University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey

<sup>3</sup> Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul, Turkey

A smart and sustainable city should be an innovative city that uses information and communication technologies to improve the quality of life via its operations. They need to be planned, managed, and regulated by open data collected through different data sources to provide efficient services. Transportation services can be accepted as one of the essential services of a city. In smart cities, intelligent transportation systems help to solve problems such as traffic congestion or the amount of fuel spent in traffic by providing communication between vehicles and devices that build the whole transportation network. In order to achieve the success of intelligent transportation systems, transportation methods should be planned dynamically according to the collected data and the requirements of the city's transportation network. E-scooters are also a part of the transportation system, and since 2017, shared e-scooter systems have been used as a transportation alternative in some cities. However, e-scooters are placed in random locations in cities without relying on a precise algorithm. Thus, users in some locations cannot benefit from the e-scooter sharing system efficiently due to the lack of e-scooter in neighborhoods. In this study, a decision support system for e-scooter sharing systems is suggested, which helps to place e-scooters dynamically in areas that are needed in the city. This system is intended to offer select options by combining the traffic density information of the regions and alternative region data provided by the multi-criteria analysis made using the Analytical Hierarchy Process (AHP) with real-time social media data.

**Received:** 04.08.2021

**Accepted:** 24.09.2021

**Corresponding Author:**

moralioğlu@itu.edu.tr

Moralioğlu, B., Cenani, Ş. & Çağdaş, G. (2021). A decision support system for placing shared e-scooters: a case study for Istanbul. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 2(2), 127-148. <https://doi.org/10.53710/jcode.978704>

**Keywords:** Analytic Hierarchy Process, Decision Support Systems, Shared E-Scooter Systems, Smart and Sustainable Cities, Social Media.

127



# Paylaşımli E-Scooter Yerleştirmeye Yönelik Bir Karar Destek Sistemi: İstanbul İçin Vaka alışması

Begüm Moraliöğlu<sup>1</sup>, şehnaz Cenani<sup>2</sup>, Gülen ağdaş<sup>3</sup>

ORCID NO: 0000-0001-8238-4543<sup>1</sup>, 0000-0001-8111-586X<sup>2</sup>, 0000-0001-8853-4207<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Medipol Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Akıllı ve sürdürülebilir bir şehir, sakinlerinin yaşam kalitesini iyileştirmek için bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanan, sağladığı hizmetlerde yenilikçi bir şehirdir. Bu şehirler, etkili hizmetler sunabilmek için çeşitli kaynaklardan toplanan açık verilerin kullanılmasıyla geliştirilmeli, yönetilmeli ve kontrol edilmelidir. Ulaşım, kente önemli veriler sağlayan temel hizmetlerinden biridir. Akıllı şehirlerdeki akıllı ulaşım sistemleri, ulaşım ağını oluşturan araç ve cihazların birbirleriyle etkileşime girmesini sağlayarak trafik sıklığı, trafikte tüketilen yakıt miktarı gibi sorunların özölmesine yardımcı olmaktadır. Ulaşım İstanbul'un önemli sorunlarından biridir ve bu nedenle örnek bir çalışma modeli olarak İstanbul şehri seçilmiştir. Kentlerde sürdürülebilir hareket kabiliyeti, ulaşım temelli problemler için uygun bir çözüm olarak görölmektedir. Elektrikli araçlar da düşük maliyetli ve sürdürülebilir ulaşım yöntemleridir. 2017'den bu yana e-scooter araçlarının da ulaşım sisteminin bir parçası olduğu görölmekte ve birçok şehir ulaşım alternatifi olarak paylaşımli e-scooter sistemlerini kullanmaktadır. Ancak, e-scooter araçları şehirde rastgele yerlere yerleştirilmekte, yerleşim kararlarında herhangi bir algoritma kullanılmamaktadır. Buna bağlı olarak bazı bölgelerdeki kullanıcılar, buldukları çevrede e-scooter olmaması nedeniyle paylaşım sisteminden tam olarak yararlanamamaktadır. Sosyal medya, çeşitli karar destek sistemlerinde yararlanılmak üzere değerli bilgiler toplayan yeni araçlardan biridir. Bu çalışmada sosyal medya ağlarından konum etiketlerini gerçek zamanlı toplayarak, Google Haritalar'dan sağlanan araç ve yaya trafiği bilgilerini Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile belirlenen İstanbul'daki bölge alternatifleriyle birleştiren prototip bir sistem geliştirilmiştir. Böylelikle e-scooter araçlarının konumlandırılma seçenekleri trafik uygulamalarından ve sosyal medyadan gelen verilere göre değişmekte ve oluşturan prototip e-scooter araçlarının şehir içinde ihtiyaç olduğu yerlere zamanında yerleştirilmesine yardımcı olmaktadır.

**Teslim Tarihi:** 04.08.2021

**Kabul Tarihi:** 24.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

moralioğlu@itu.edu.tr

Moralioğlu, B., Cenani, ř. & ağdaş, G. (2021). Paylaşımli e-scooter yerleştirmeye yönelik bir karar destek sistemi: istanbul için vaka alışması. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 127-148.

<https://doi.org/10.53710/jcode.978704>

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ve Sürdürülebilir şehirler, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Karar Destek Sistemleri, Paylaşımli E-Scooter Sistemleri, Sosyal Medya.

## 1. INTRODUCTION

As we move from the information age to the digital age, the possibilities of data usage may reshape the decision support systems. Social media is one of the new tools that collects valuable information like geolocation data to be used in various decision support systems for different industries. The location tags that are used in location-based social networks like Instagram and Twitter can have an impact on the studies related to urban design and planning, and also city management. In this study, we present an electric scooter deployment model which can be beneficial for city management agencies to reduce traffic congestion and travel time with the use of real-time data from social media in urban areas with heavy pedestrian and vehicle traffic. Therefore, Istanbul is chosen as a case study to test our proposed model since it is one of the cities with dense population and traffic problems.

Sustainable urban mobility is a feasible solution for future smart cities. Electric scooters, as one of the sustainable transportation alternatives, are cost-effective and acknowledged as a feasible solution in dense metropolitan areas with the use of GPS technology and smartphone (Hosseinzadeh, Algomaiah, Kluger, and Li, 2021). They can reduce the usage of private automobiles, fit easily into small and narrow streets, and help to alleviate parking issues in cities. The use of shared e-scooters is also a novel mode of transportation, particularly among young people (Laa and Leth, 2020).

In the scope of this study, an online survey is conducted to evaluate the possible usage of the e-scooter sharing system in Istanbul in order to provide preliminary data on potential regions for e-scooter placement. However, each region may face different challenges throughout the day, such as traffic density and topographical aspects that may limit the use of e-scooters. As a result, multiple factors must be evaluated to determine shared e-scooter areas, which can be confusing and time intensive for city management. As a result, this study recommends using the Analytical Hierarchy Process (AHP) approach to weigh and rank these location selection factors.

The Analytical Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty in 1977, is a multi-criteria decision-making method that allows for the comparison of a large number of alternatives using specified criteria in accordance with a specific purpose, and is widely used by decision makers in solving complex problems (Saaty, 1987). For our case study, a decision hierarchy is built for setting the priorities for e-scooter mobility in an urban environment. SuperDecisions, which is an open-source decision support software that implements the AHP, is used to evaluate decision processes in this study. The methodology is then used to create a prototype for an application that collects pedestrian and vehicle traffic information from several districts in real-time using online maps and location tags from social networks. All traffic data is gathered from Google Maps transactions and cross-checked with the results of an online survey. The short-distance routes with the high pedestrian and vehicle traffic in the city are categorized in the decision process. In that way, the location alternatives to place e-scooters will be changing according to data coming from traffic information applications and social media. We assume that this system will offer the best locations for e-scooter placement and use. Additionally, the proposed approach can reduce commuting time in dense areas while contributing to the reduction of environmental footprint.

## **2. LITERATURE REVIEW**

There have been studies on electric vehicles since the 1800s. Nevertheless, electrical vehicle usage has only been started in the 2000s as a result of the increase in fuel prices and environmental awareness (Situ, 2009; Vynakov, Savolova, and Skrynnik, 2016; Salmeron-Manzano and Manzano-Agugliaro, 2018). Although it is not certain which company produced the first electric scooter for commercial use, it is claimed that the electric scooters started to be sold in the early 2000s (Razor, 2021).

Vehicle sharing systems have been used in various countries since the 1950s to reach the city center and transportation network from remote areas by car or to save fuel in and around the city. In the 1990s, due to the increase of the population and vehicle density in the cities, car-sharing systems started to be noticed and popularized as a solution to

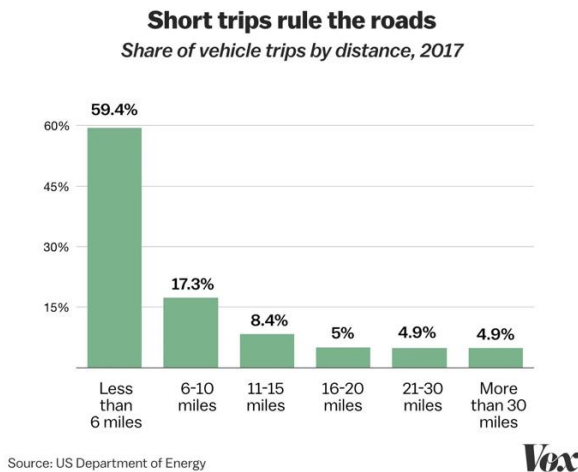
traffic and environmental pollution problems (Shaheen, Sperling, & Wagner, 1998). The first bicycle sharing system was implemented in 1965 in Amsterdam (Shaheen & Guzman, 2011). However, the program has been terminated since most of the bikes were damaged or stolen. Then in Copenhagen, this system was developed and re-applied in 1995 by using the deposit method (European Best Practices in Bike Sharing Systems Report, 2009). Nonetheless, it did not prevent the bike thieves. With the development of communication technologies and personal electronic devices, the use of vehicle sharing systems has been improved, and these enhanced systems are started to be used in bicycle sharing systems, too. GPS and remote locking systems installed on electric bikes stopped the theft of bicycles. Thus, bicycle-sharing systems began to become widespread in the 2000s. According to the research conducted by Plazier, Weitkamp, and van den Berg (2017) e-bike users are seeking for faster rides, simple use, comfortable bike riding experience with electrical power assistance, and freedom from the time schedules of public transit (Kazemzadeh & Ronchi, 2021). Beside these parameters, people may prefer e-bikes in daily use compared to traditional bikes since they do not cause joint pain, sweat, and fatigue of the user.

Following the e-bike sharing systems, electric scooter sharing systems have been implemented in recent years. It is said that the main reasons to prefer electric scooters over electric bikes are the lower maintenance costs and the size of the area they occupy for parking and storage (Tuncer & Brown, 2020; Unagi Scooters, 2020). They can also be preferred by users who have joint problems, different health problems, physical differences, or they can be preferred just because of the characteristics of the users' clothes. Because e-scooter riding does not make users sweat like bike riding, people can ride in business attires comfortably (Tuncer & Brown, 2020). Since 2017, companies such as Bird, Lime, Bolt, and Lyft have been running in many countries (Dickey, 2018). Top cities in Europe that actively use the e-scooter sharing system as of 2021 include Paris, Madrid, Berlin, and Stockholm (Electric Scooter Sharing Market in US and Europe 2021-2026, 2020).

E-Scooter sharing systems are thought to be ideal for short trips due to their advantages over other public vehicles. These advantages can be listed as follows (DeMaio, 2003; Hardt & Bogenberger, 2019).

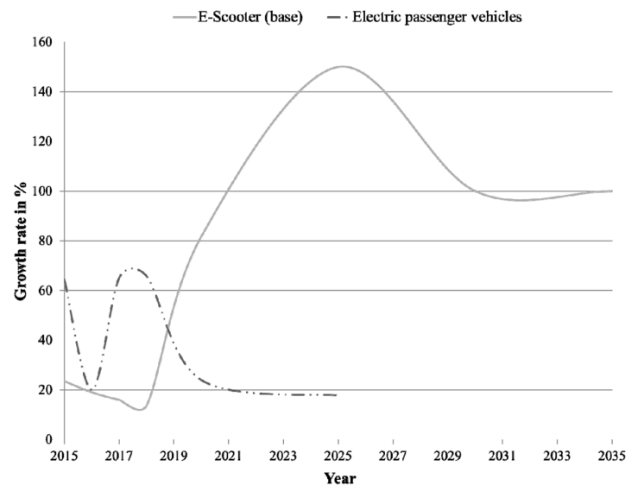
- It provides private transportation;
- It reaches to the points that most public vehicles cannot reach;
- It requires less infrastructure than other transportation methods;
- Production and maintenance costs are low in comparison to other means of transportation;
- It does not generate traffic jams;
- It does not cause air pollution while operating;
- It reduces personal bicycle and scooter theft.

According to the survey conducted by the US Department of Energy in 2017, the share of vehicle trips by distance was calculated, and it is found out that 60% of the total vehicle density consists of the cars traveling less than 10 km (**Figure 1**). These results support the idea of the implementation of the e-scooter sharing system at short distances, which will have an impact on reducing traffic density. Also, another study in 2016 shows that the use of e-scooters is expected to increase significantly by 2025 compared to other electric vehicles (**Figure 2**).



**Figure 1:** Share of vehicle trips by distance (Irfan, 2018).

**Figure 2:** The Estimated growth rate of e-scooter usage over other electric vehicles by years (Sachs, Burandt, Mandelj, and Mutter, 2016).

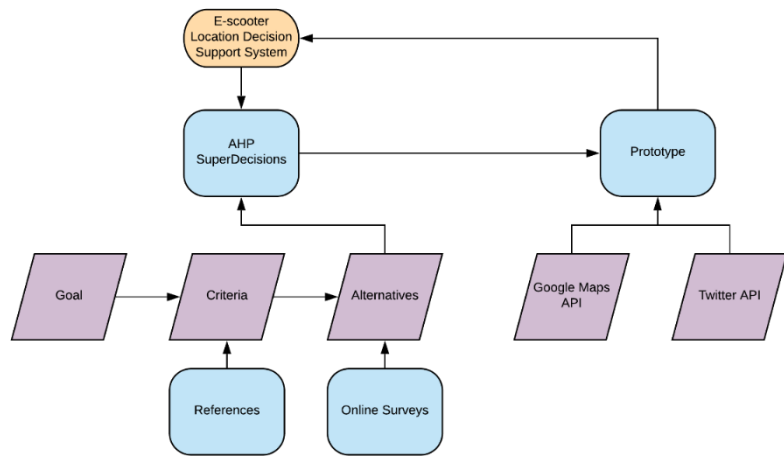


In Istanbul, the bicycle sharing system “İsbike” which has been launched by Istanbul Metropolitan Municipality in 2009, has been used in various districts. According to the data published on their official website, as of 2021, 2700 bicycles are used in 261 stations in total (İSPARK). The electric bike-sharing system in İstanbul was first used in the Bogazici University campus as a result of a pilot study conducted in the same university in 2018 (Çevreciyiz, 2017). In 2019, it was claimed that a total of 250 bicycles are used actively in all campuses of Bogazici University in Istanbul, Maslak Campus of Istanbul Technical University, and Yildiz Campus of Yildiz Technical University. However, as of 2021, the company does not provide electric bike service but the traditional bike and e-scooter sharing (Bizero). Despite the fact that research on vehicle sharing systems has grown in popularity in recent years, there have been few studies on e-scooter sharing systems and very few initiatives in Turkey. Nevertheless, an initiative started in March 2019 under the name of “Martı” in Istanbul. The company “Martı”, which says that they support micro-mobility in cities, is currently active in some regions of Istanbul. Around the same time as Martı, two other shared e-scooter startups named Mobi and Palm were established in Istanbul. Palm E-scooters first appeared on university campuses in 2019, but now in 2021, they are available not on university campuses but also in some regions of Istanbul and Mersin. From 2020, Mobi is also available in some areas of Istanbul. However, right now, Martı is currently active in the majority of locations in Istanbul. Hop! is another company that started in Ankara but is also available in other cities of Turkey and some regions of Istanbul on the Anatolian side.

When we look at studies on the e-scooter sharing system in the world, we find studies mostly on e-scooters' technical features, charging stations, or safety issues (Bishop et al., 2011; Seebauer, 2015; Nocerino et al., 2016; Chen et al., 2018; Genikomsakis et al., 2018; Degele et al., 2018; Allem & Majmundar, 2019). However, there have not been found any studies related to the operations on distribution through different locations of dockless e-scooters in a city. With the development of autonomous systems, it is thought that e-scooters will be able to move automatically and return to charging stations in the coming years (Dickey, 2019). For this reason, e-scooters' movements and locations during the day will be valuable in terms of reaching the places where the people need them. In this study, a decision support system that provides real-time location options is proposed following the criteria determined by the AHP method with the location and traffic densities information provided from social media and map applications during the day. When the demographic characteristics of the users of e-scooter sharing systems are examined, it is seen that the users are mostly between the ages of 18-34 (Huddleston, 2018). This data intersects with the age range of social media users in the world by Statista (Distribution of Instagram users worldwide as of April 2021, by age group) For this reason, it is foreseen that active social media users may prefer the e-scooter sharing system, and e-scooters are expected to offer the options according to these users' popular routes within the city.

### 3. METHODOLOGY

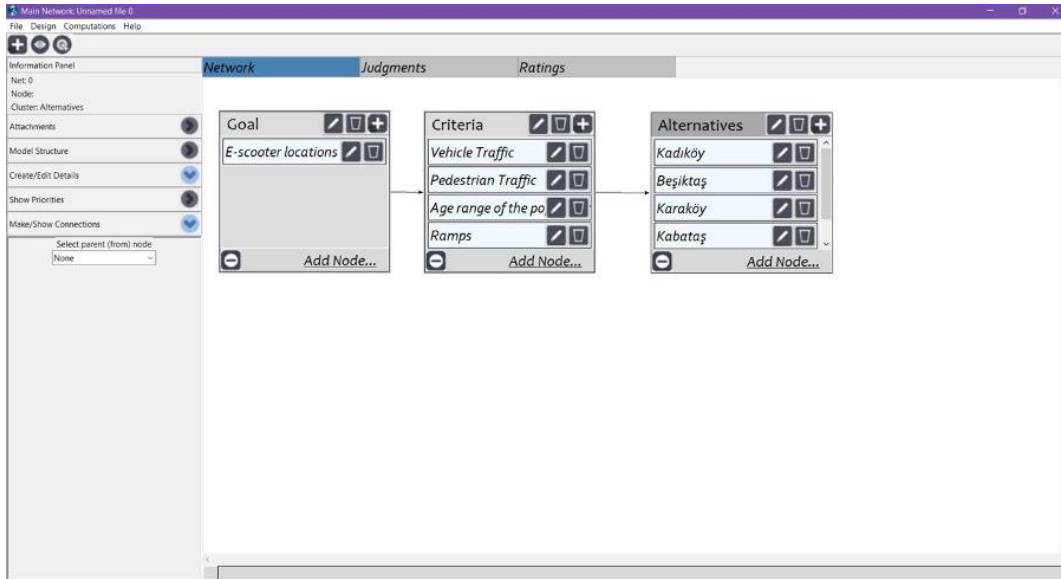
In this study, a multiple-stage method is used to establish a system to assist in the determination of e-scooter locations (**Figure 3**). We developed a multi-criteria system in the SuperDecisions program by using the AHP method since these settlements cannot be determined precisely, and the determination of these points is a complex decision problem. AHP method aims to select alternatives, in a process that considers different criteria of evaluation.



**Figure 3:** Flow diagram of the system.

In order to implement AHP Sensitivity Analysis in the SuperDecisions program, it is necessary to create three clusters: a goal, the criteria for achieving this goal, and alternatives to be evaluated in line with these criteria. After these clusters are formed, the links between them will be established, and the weights of the alternatives will be evaluated according to the criteria determined in the direction of reaching the goal (**Figure 4**). Thus, in the first phase of the study, it is necessary to decide on the criteria that e-scooter locations must meet for AHP Sensitivity Analysis and suitable regional alternatives for e-scooter placement. Our criteria are based on existing e-scooter firms' research and reports, city governments' studies, and shared e-scooter studies. (City of Chicago, 2021; Zhang & Guo, 2020; Tuncer & Brown, 2020; Lime, 2020; Hardt and Bogenberger, 2019; City of Portland Bureau of Transportation, 2019; Degele et. al., 2018; Bishop et. al., 2011). Local options are created based on the findings of an online survey conducted for this study (İstanbul'daki Ayak İzleri, 2021).





**Figure 4:** Network of the study in SuperDecisions.

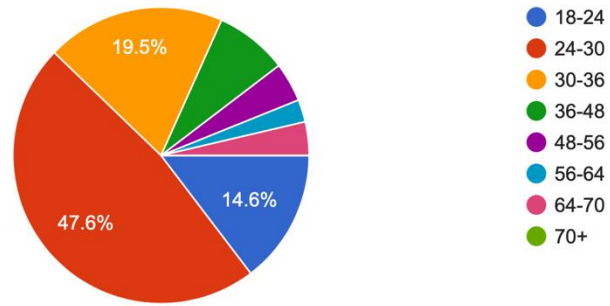
In the second phase of the study, the traffic layer, including pedestrian and vehicle density, is integrated into the Ruby on Rails system using the Google Maps JavaScript API. In this way, a customizable real-time map of the desired region connected to Google data is created. Then, the data obtained in the first stage is transferred to Microsoft Excel, and the data list with a CSV extension is created and uploaded to the map. These data can be displayed on the map as static marked points. In the last stage, the Twitter API is linked to the system, and popular area and place names in Istanbul are filtered from tweets to the developed system's real-time data flow. Thus, a real-time decision support system is created to help identify e-scooter location alternatives based on more than one factor. This system is developed as a prototype for the chosen city.

## 4. REAL-TIME E-SCOOTER LOCATION RECOMMENDATION SYSTEM

### 4.1 Data Collection

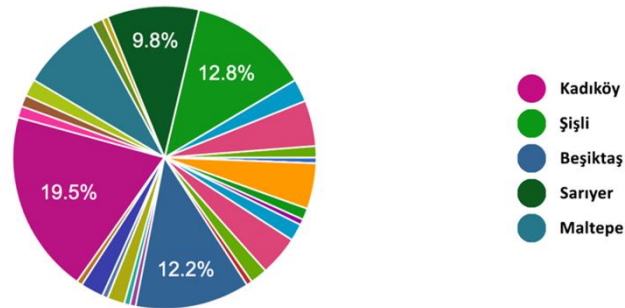
In the first phase of the study, data needed for the SuperDecisions program was obtained from the online questionnaire answered by 164 residents of Istanbul. Most of the participants are in the 18-36 age group, which is expected to prefer using e-scooters (Figure 5).

**Figure 5:** Age range of the survey respondents.



An online survey was conducted and seven questions were asked to the participants. In the first two questions, the age information of the participants and the district of their residence were asked. According to the survey results, the majority of participants live in the districts Kadıköy, Şişli, Beşiktaş, Sarıyer, and Maltepe (**Figure 6**).

**Figure 6:** The districts where the survey respondents are living in the city.



In the third question, participants were asked to choose the district or districts which they regularly visit to go to work or school. As a result, Beyoğlu (35.4%), Beşiktaş (31.7%), Kadıköy (24.4%), and Şişli (23.2%) appear to be the most chosen four districts. Following these first four highest rates, 14.6% of the participants marked the option of saying they travel within the district where they live. In the fourth question, we asked participants to mark the transfer stations they use while traveling to work or school. Accordingly, 43.5% of the participants stated that they did not transfer during their daily travel. Nevertheless, the most frequently used transfer stations are as follows: Beşiktaş (19%), Kadıköy (17%), Yenikapı (16.3%), Ayrılık Cesmesi (12.2%) and Taksim (9.5%). When the participants were asked if there were long walking distances at the transfer stations they use, the majority responded as "sometimes" and "yes" (65%). As a result of these

questions, we obtained the data on the daily routes of the participants, especially on weekdays.

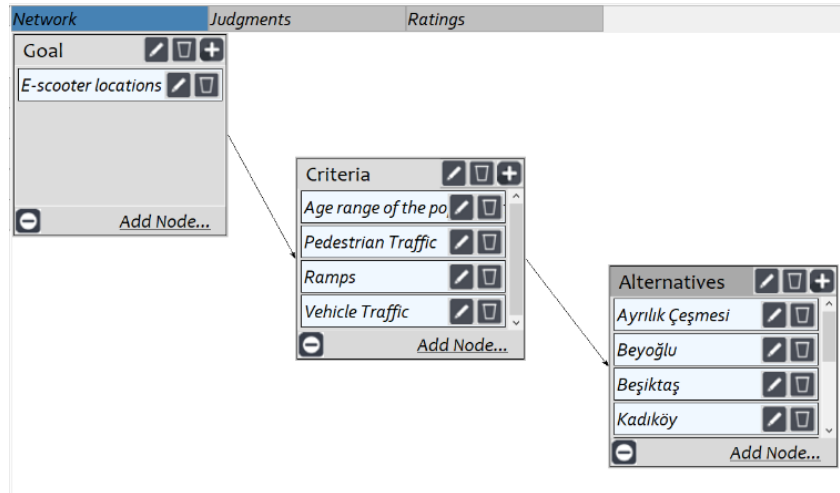
In the next part of the questionnaire, participants were asked to select the districts they frequently visit for activity, sightseeing, or shopping. In this way, we collected the data on the regular routes of the participants, mostly during weekends. Accordingly, Beşiktaş (68.3%), Kadıköy (67.1%) and Beyoğlu (41.5%) are the first three with a superior advantage over other regions.

Finally, since we foresee that the locations people enjoy walking will be the locations, they will not prefer using e-scooters, we asked participants to mark the place or places where they enjoy walking. Accordingly, the most preferred areas for walking are the following: Kadıköy Moda (37.8%), Caddebostan Sahil (32.9%), Bebek (22%), Bağdat Street (21.3) and Kadıköy Bahariye Street (20.7%).

As a result of the survey, nine alternative regions were obtained for processing in The SuperDecisions program. These alternative regions are Kadıköy, Şişli, Beşiktaş, Sarıyer, and Maltepe, where the participants mostly reside; Beyoğlu, one of the regions frequently visited by participants; Yenikapı, Ayrılık Çeşmesi, and Taksim, where the participants use transfer stations mostly. In case one of these nine alternative regions enclose any regions that are preferred for walking, these areas are marked separately. So, the system we develop will not offer any e-scooter placement for these locations.

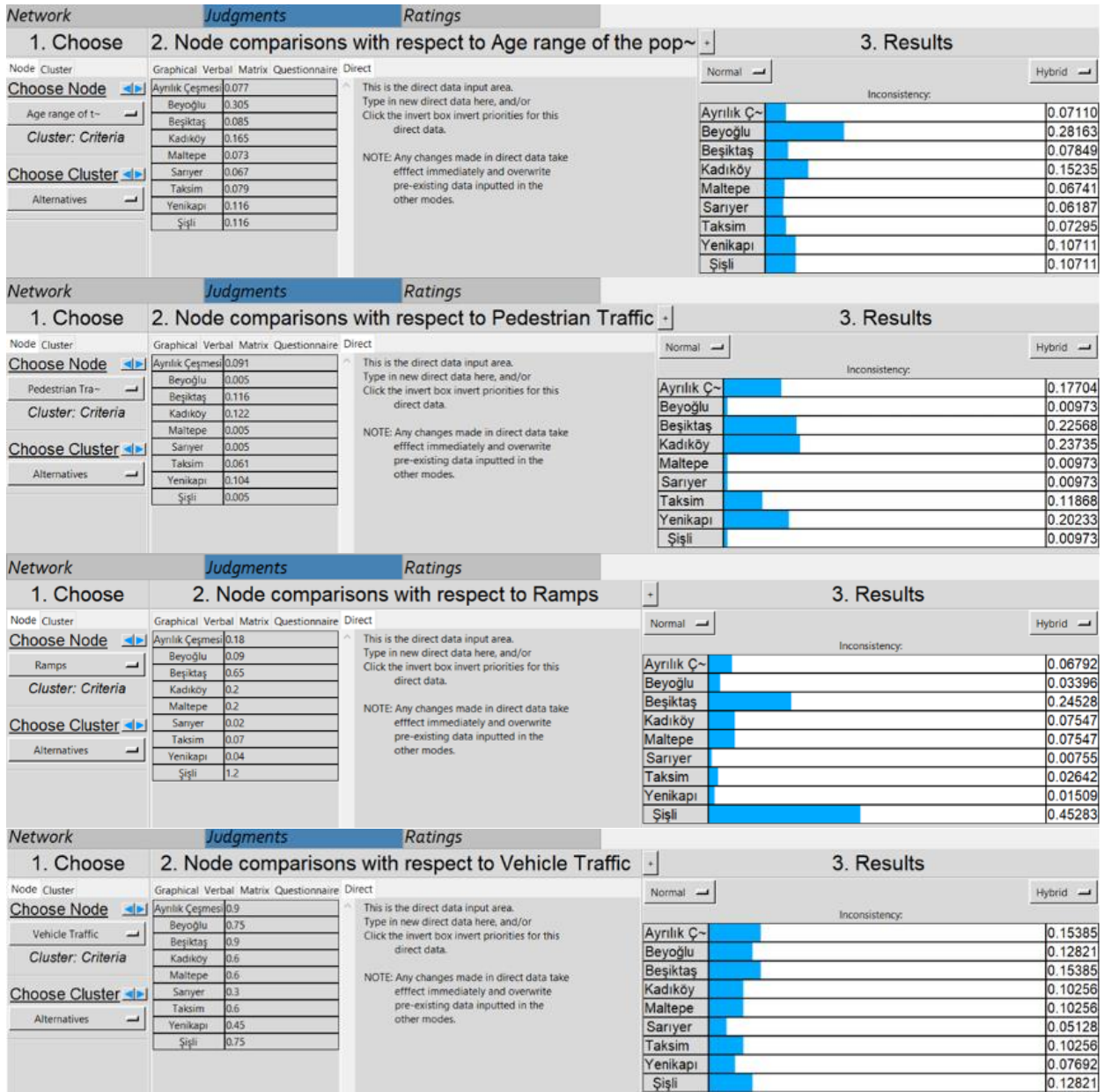
#### **4.2 Determination of Regional Alternatives with the AHP Method**

In order to implement AHP Sensitivity Analysis in the SuperDecisions program, it is necessary to create a goal, the criteria for achieving this goal and alternatives to be evaluated in line with these criteria. After these clusters are formed, the links between them are established, and the weights of the alternatives are evaluated according to the criteria determined in the direction of reaching the goal. Within the scope of the project, the goal has been determined as the locations for e-scooter placements (**Figure 7**).



**Figure 7:** The project model in SuperDecisions.

The SuperDecisions program generates weights between 0 and 1 according to the data entered for each alternative. Four criteria with varying weights are chosen for the criterion cluster based on usage reports from e-scooter firms, governments, and related studies. These are vehicle traffic density (0.35), uphill rate (0.30), young age population ratio of the region residents (0.20), and pedestrian traffic density (0.15). The effects of different criteria priorities on the results can be observed by changing the weights in AHP sensitivity analysis. In the alternatives section, nine region alternatives retrieved from the online surveys are entered. Within the program, these three sections were connected, and weight values were entered also for alternative regions according to the data from the online surveys and traffic density data from Google Maps. As a result of the comparison of all weights coming from the criteria section, we have the total weights for the nine alternative regions. The SuperDecisions program creates weights between the alternatives according to the data entered for each alternative (**Figure 8**). After the AHP analysis is completed, which alternatives weigh more in different scenarios can be seen in **Figure 9**.



**Figure 8:** The survey results on the age range, transfer stations, altitude difference in the 1km route for each district, and average traffic density for each district at different times of the week.

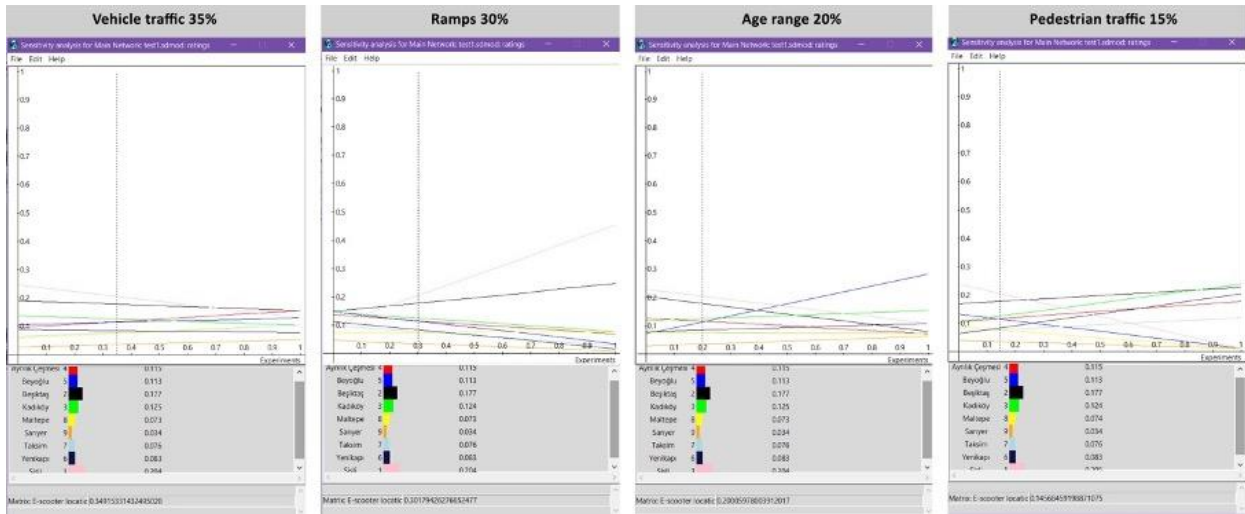


Figure 9: Different scenarios in AHP analysis.

Now, we have the regional alternatives, the data is ready to be processed in the decision support system that is developed to show e-scooter placement suggestions to the user. As a result of the analysis, the weight order of the regions is as follows: Şişli, Beşiktaş, Kadıköy, Ayrılık Çeşmesi, Beyoğlu, Yenikapı, Taksim, Maltepe, Sarıyer.

### 4.3 Developing a Decision Support System Using Google Maps and Social Media

In the second phase of the study, a software prototype has been developed which provides real-time data flow to determine the areas to place e-scooters (Figure 10). Since this software is intended to pull data from social media in real-time, it has been decided to be run on the internet. Considering the Twitter API is available for use among social media platforms, Twitter is chosen as the primary platform for the prototype. Moreover, because Twitter is working on Ruby on Rails application template, the prototype was also developed to work on the same template.

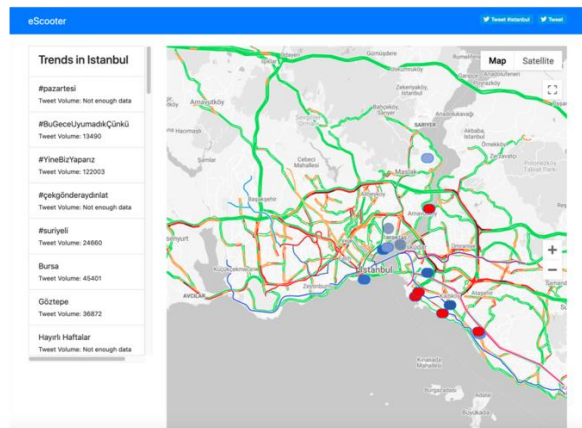


Figure 10: The interface of the prototype.

In order to connect Google API to the Ruby on Rails system, a Ruby library called “gmaps gem”, was used first. However, since the “gmaps gem” is not up to date, and the Google Maps layers cannot be appropriately used, this gem is not used for the prototype. After that, “node.js” JavaScript library, where the most examples are created for Google Maps, has been selected to use for this project. In order to link this library to the Ruby on Rails template, “webpacker” gem is used. Afterward, “React”, a JavaScript library, is installed on node.js to develop the prototype’s interface. In the end, the “Bootstrap” interface library for React is used for user interaction.

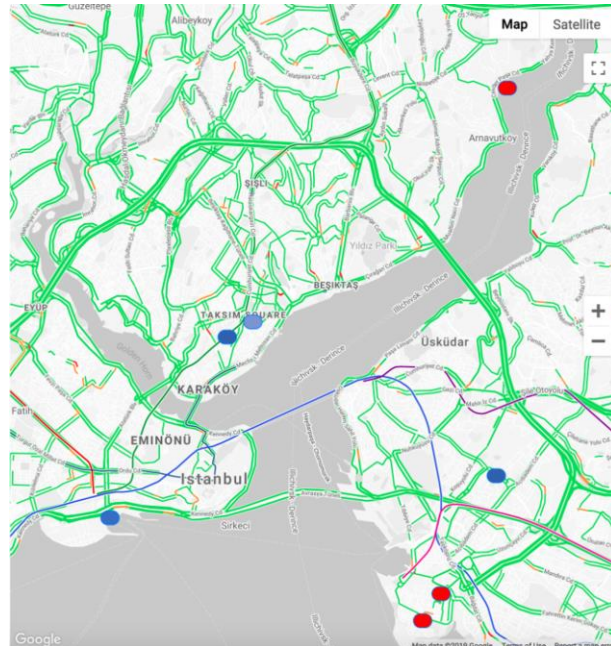
After the system template and interface of the prototype are established, the Google Maps React library is connected, and the coordinate information of the Istanbul province is entered into the system. Thus, a map image showing the province of Istanbul is created in the interface. Then, the region alternatives from AHP analysis in The SuperDecisions program are entered into the map as “markers”. Moreover, interactive round marks are added using the Bootstrap library. Information boxes are created using the “Tooltip” interface element so that users can get information about the region when they click on these signs. The traffic layer is activated from the Google Maps React library to show real-time traffic information about Istanbul on the map.

The Twitter gem has been linked to the prototype draft to include social media data in the system. In order to connect this gem, "private API secret" and "key" are created from the Twitter developer account and added to the prototype. "GET geo / reverse\_geocode" and "GET geo / search" APIs have been studied to get information about the regions in the chosen city. However, it has been observed that these APIs only provide geographic information about the location. Therefore, "hashtag" density information about the regions is tried to be connected. However, since Twitter provides this information only to companies, it could not be used within the scope of this research project. Finally, the "GET trends / place" API, which finds trends according to the locations on Twitter, is connected to the prototype. Within this API, hashtag data by districts is currently not available in the case study location, but only data by cities is provided. For this reason, trends in the case study location are added to the prototype as a placeholder to show further development possibilities.

## 5. ANALYSIS

Within the scope of this research, it is aimed to develop a decision support system that provides options for placing e-scooters in the dense regions where they are needed.

The blue circles in **Figure 11** show the most likely areas to place e-scooters in the case study location. The intensity of the color indicates the ranking of the districts as the result of the AHP analysis (**Figure 11**). This helps users to recognize the most convenient areas at a glance. Also, the red circles show the walking paths that are mostly preferred by the residents (**Figure 11**). So, it is unlikely that e-scooters will be used in those areas. The map in the interface is displayed in grayscale to have a contrast between the data and the background. The colors of the map can be changed any time via the Google Maps API regarding the requests of users.



**Figure 11:** The blue and red circles on the map.

Real-time traffic information displayed on the map also helps users to compare the district alternatives in terms of traffic density. The prototype shows these regions as marked on the map interface, but they are not dynamic. The nine alternative regions from AHP analysis are entered into the system manually. Therefore, in future work, integration of the AHP analysis from the SuperDecisions program to our proposed model might accomplish a real-time decision support system with regional data. Within the scope of smart city studies, this system should be developed with an algorithm that changes according to the dynamics of the city.

Currently, the prototype works with Twitter data. In order to use social media data effectively, other social media platforms such as Facebook and Instagram, as well as Twitter, can be included in the future. If more social media platforms are integrated into the system, they can provide instant data flow according to popular events in the regions on a daily and hourly basis. Thus, the location options for e-scooters can be improved according



to this data. Popular hashtags in Istanbul are shown next to the map in real-time. In this way, ongoing events or important news that may affect transportation in the city can be seen. This prototype should be considered as the first step for a smart system that can suggest real-time e-scooter placement options.

## 6. CONCLUSION

The use of technological facilities and interactive feedback mechanisms can provide better solutions to the problems of the cities. This study aims to support the use of e-scooter sharing systems in order to ease transportation in cities with high pedestrian and vehicle traffic and to make use of e-scooters at the ideal level by solving the random e-scooter placement problem. The developed system collects and presents various data in a single interface to help users determine e-scooter locations.

This paper proposes the use of the AHP method for application in the smart and sustainable city context. Thus, a decision hierarchy is built for setting the priorities for e-scooter mobility in an urban environment. Then, a prototype is developed to collect traffic information from different districts and trending locations from social media platforms in real-time. All data is made available to the user on a single interface to support the decision process.

This study may have potential for diverse industries, from urban planning studies to industrial management operations. It is evident that with rapidly developing technologies, smart cities can benefit from interdisciplinary studies. This integrated solution created from social media data and GPS data with the AHP method may be a trigger for further research to go beyond the traditional techniques and discover innovative approaches for better and livable cities.

The recent global pandemics also affected public transportation in the cities. In the post-pandemic world, city dwellers may seek out other forms of transportation that require less encounters with strangers, given continued concerns about the disease and social distancing.

In the near future, it is possible that e-scooters will become autonomous and will be able to move to different places by themselves. In this case, the developed system can connect with e-scooters via Internet-of-Things (IoT) systems remotely and provide the information for e-scooters to move to the regions where they are needed. For this reason, e-scooters' movements and locations during the day will be valuable in terms of reaching the places where the people need them. The proposed

framework of the prototype is ready with all API connected to the map system, and the prototype is available to be reviewed via the link <http://82np.hatchboxapp.com/>.

## References

- Allem, J. P., & Majmundar, A. (2019). Are electric scooters promoted on social media with safety in mind? A case study on Bird's Instagram. *Preventive Medicine Reports*, 13(November 2018), 62–63. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2018.11.013>
- Bishop, J. D. K., Doucette, R. T., Robinson, D., Mills, B., & McCulloch, M. D. (2011). Investigating the technical, economic and environmental performance of electric vehicles in the real-world: A case study using electric scooters. *Journal of Power Sources*, 196(23), 10094–10104. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.08.021>
- Bizero. Retrieved July 8, 2021 from <https://bizero.bike/>
- Chen, Y. W., Cheng, C. Y., Li, S. F., & Yu, C. H. (2018). Location optimization for multiple types of charging stations for electric scooters. *Applied Soft Computing Journal*, 67, 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.038>
- City of Chicago (2020). *E-Scooter Pilot Evaluation*. <https://www.chicago.gov/content/dam/city/depts/cdot/Misc/EScooters/2021/2020%20Chicago%20E-scooter%20Evaluation%20-%20Final.pdf>
- City of Portland Bureau of Transportation (2019). *E-Scooter Findings Report*. [https://www.portland.gov/sites/default/files/2020-09/pbot\\_escooter\\_report\\_final.pdf](https://www.portland.gov/sites/default/files/2020-09/pbot_escooter_report_final.pdf)
- Çevreciyiz (2017, September 20). *Bizero: Boğaziçi Üniversitesi'nde elektrikli bisiklet dönemi*. <http://www.cevreciyiz.com/makale-detay/1175/bizero-bogazici-universitesinde-elektrikli-bisiklet-donemi>
- Degele, J., Gorr, A., Haas, K., Kormann, D., Krauss, S., Lipinski, P., Tenbih, M., Koppenhoefer, C., Hertweck, D. (2018). Identifying E-Scooter Sharing Customer Segments Using Clustering. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436288>
- DeMaio, P. J. (2003). Smart bikes: Public transportation for the 21st century. *Transportation Quarterly*, 57(1), 9–11.

- Dickey, M. R. (2018, December 23). The electric scooter wars of 2018. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2018/12/23/the-electric-scooter-wars-of-2018/>
- Dickey, M. R. (2019, January 20). Uber is exploring autonomous bikes and scooters. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2019/01/20/uber-is-exploring-autonomous-bikes-and-scooters/>
- Distribution of Instagram users worldwide as of April 2021, by age group. *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/325587/instagram-global-age-group/>
- Electric Scooter Sharing Market in US and Europe 2021-2026 (2020, September). *Mobility Foresights*. <https://mobilityforesights.com/product/scooter-sharing-market-report/>
- European Best Practices in Bike Sharing Systems Report (2009). Intelligent Energy Europe Grant EIE/07/239/SI2466287.
- Genikomsakis, K. N., Mitrentsis, G., Savvidis, Di., & Ioakimidis, C. S. (2018). Energy consumption model of electric scooter for routing applications: Experimental validation. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2018–March*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2017.8317724>
- Google Maps JavaScript API. Retrieved July 8, 2021 from <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/overview>
- Hardt, C., & Bogenberger, K. (2019). Usage of e-Scooters in Urban Environments. *Transportation Research Procedia*, 37(September 2018), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.178>
- HOP!. Retrieved July 8, 2021 from <https://hoplagit.com>
- Hosseinzadeh, A., Algomaiah, M., Kluger, R., & Li, Z. (2021). E-scooters and Sustainability: Investigating the Relationship between the Density of E-Scooter Trips and Characteristics of Sustainable Urban Development. *Sustainable Cities and Society*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102624>
- Huddleston, T. Jr. (2018, July 13). Uber and Alphabet just invested \$335 million in Lime — here’s why scooter start-ups are suddenly worth billions. *CNBC make it*. <https://www.cnbc.com/2018/07/11/lime-bird-spin-why-scooter-start-ups-are-suddenly-worth-billions.html>

- Irfan, U. (2018, September 7). Electric scooters' sudden invasion of American cities, explained. Vox. <https://www.vox.com/2018/8/27/17676670/electric-scooter-rental-bird-lime-skip-spin-cities>
- İSPARK. Retrieved July 8, 2021 from <https://ispark.istanbul/projeler/isbike-akilli-bisiklet/>
- İstanbul'daki Ayak İzleri. Retrieved July 8, 2021 from <https://forms.gle/JTjW5jXZpxcHHRyh6>
- Kazemzadeh, K., & Ronchi, E. (2021). From bike to electric bike level-of-service. *Transport Reviews*, 2100. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1900450>
- Laa, B., & Leth, U. (2020). Survey of E-scooter users in Vienna: Who they are and how they ride. *Journal of Transport Geography*, 89, 102874. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102874>
- Lime (2020). *End of the Year Report*. <https://www.li.me/pdf/eoy-report.pdf>
- Marti. Retrieved July 8, 2021 from <https://www.marti.tech/>
- Mobi. Retrieved July 8, 2021 from <http://www.mobiscooters.com/#>
- Nocerino, R., Colorni, A., Lia, F., & Luè, A. (2016). E-bikes and E-scooters for Smart Logistics: Environmental and Economic Sustainability in Pro-E-bike Italian Pilots. *Transportation Research Procedia*, 14, 2362–2371. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.267>
- Palm. Retrieved July 8, 2021 from <https://letspalm.com>
- Razor. Retrieved July 8, 2021 from <https://www.razor.com/about-us/>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161–176. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Sachs, C., Burandt, S., Mandelj, S., & Mutter, R. (2016). Assessing the market of light electric vehicles as a potential application for electric in-wheel drives. 2016 6th International Electric Drives Production Conference, *EDPC 2016-Proceedings*, 280–285. <https://doi.org/10.1109/EDPC.2016.7851350>

- Salmeron-Manzano, E., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). The Electric Bicycle: *Worldwide Research Trends. Energies*, 11(7), 1894. <https://doi.org/10.3390/en11071894>
- Seebauer, S. (2015). Why early adopters engage in interpersonal diffusion of technological innovations: An empirical study on electric bicycles and electric scooters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 146–160. <https://doi.org/10.1016/j tra.2015.04.017>
- Situ, L. (2009). Electric Vehicle Development: The Past, Present & Future. *2009 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, 1–3.
- Shaheen, S., & Guzman, S. (2011). Worldwide Bikesharing. *Access*, (39), 22–27.
- Shaheen, S., Sperling, D., & Wagner, C. (1998). Carsharing in Europe and North American: Past, Present, and Future. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(2), 107–123.
- SuperDecisions. Retrieved July 8, 2021 from <http://www.superdecisions.com/>
- Tuncer, S., & Brown, B. (2020). E-scooters on the Ground: Lessons for Redesigning Urban Micro-Mobility. *Conference on Human Factors in Computing Systems-Proceedings*, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376499>
- Unagi Scooters (2020, August 14). Electric Bikes vs Electric Scooters: Which One Should You Choose? *Unagi Articles*. <https://unagiscooters.com/articles/electric-bikes-vs-electric-scooters-which-one-should-you-choose>
- Vynakov, O. F., Savolova, E. V., & Skrynnyk, A. I. (2016). Modern Electric Cars of Tesla Motors Company. *Automation of Technological and Business Processes*, 8(2), 9–19. <https://doi.org/10.15673/atbp.v8i2.162>
- Zhang, Y., & Guo, Y. (2020, March 31). Understand usage patterns of e-scooter sharing and policy implications. *Center for Transportation, Environment, and Community Health Final Report*.

# A Form Finding Process Based on Movement Analysis: “Kinematics” Online Design Workshop Results

Sinem Kirkan<sup>1</sup>, Ayça Şentop Dümen<sup>2</sup>

ORCID NO: 0000-0002-8961-0029<sup>1</sup>, 0000-0002-9185-2414<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Istanbul Bilgi University, Faculty of Architecture, Interior Design, Istanbul, Turkey

All creatures experience their surroundings through their corporal movements along with other senses. Therefore, the terms "architecture", "movement" and "body" are strongly connected to each other. Using body and movement data effectively in form creation can significantly nourish the design and the designer. From this sense, research is essential to enlighten new methods and expression techniques that will assist implementation of these data in the design process. In this regard, an online workshop was conducted with 19 fourth-year interior architecture students in Istanbul Bilgi University and a "dance" performance was used as a form finding case due to the variety of movements presented in. Form finding, which is a complex design problem in its nature, was detached from its context, thus encouraging the design thinking based solely on dance geometry. Just as the name of the workshop "Kinematic", which is defined as the "geometry of movement", suggests, the meaning and the affecting forces of the dance performance were stripped. The study was conducted in two phases. In the first phase, participants watched the 1-minute dance video and asked to prepare a 3D model based on their short-term memory. In the second phase, the participants were asked to repeat the representation whilst video was played in a loop. Final results were analyzed according to Laban Movement Analysis. Feedback from the participants were collected via text, questionnaire and oral explanations and analyzed via qualitative data analysis. Outcomes of two phases demonstrated differences due to mental imagery, material selection and interpretation. When compared with the computational model, which was developed with the movement data, outcomes of the second phase had more representative power while the first phase left more space to interpretation and creativity. Some commentary on the online workshop process is also given in the paper.

**Received:** 10.07.2021

**Accepted:** 26.09.2021

**Corresponding Author:**

kirkan@itu.edu.tr

Kirkan, S. & Şentop Dümen, A. (2021). A form finding process based on movement analysis: “Kinematics” online design workshop results. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 149-172.

<https://doi.org/10.53710/jcode.984081>

**Keywords:** Interactive Design, Dance, Movement Model, Form Finding, Design Education.

149

# Hareket İncelemesine Dayalı bir Form Araştırma Süreci: 'Kinematik' Çevrimiçi Tasarım Çalıştayı Sonuçları

Sinem Kırkan<sup>1</sup>, Ayça Şentop Dümen<sup>2</sup>

ORCID NO: 0000-0002-8961-0029<sup>1</sup>, 0000-0002-9185-2414<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık, İstanbul, Türkiye

Canlılar içinde buldukları mekanı duyularının yanı sıra beden hareketleri ile deneyimlemektedir. Bu nedenle, "mimarlık", "hareket" ve "beden" kavramlarının arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Beden ve hareket verilerinin mimari form yaratma sürecinde etkin bir biçimde kullanılması tasarımı ve tasarımcıyı besleyen bir süreçtir. Dolayısıyla bu verilerin tasarım sürecine aktarılması için izlenebilecek yöntemlerin ve ifade tekniklerinin araştırılması önemlidir. Bu bağlamda İstanbul Bilgi Üniversitesi 4. sınıf iç mimarlık öğrencisi 19 kişi ile birlikte bir çevrimiçi çalıştay gerçekleştirilmiş ve sunduğu hareket çeşitliliği gözetilerek seçilen bir "dans" performansı form üretim aracı olarak ele alınmıştır. Kompleks bir tasarım problemi olarak kurgulanabilecek form üretim süreci bu çalışmada bağlamlarından sıyrılarak salt dans geometrisine dayalı üretim teşvik edilmiştir. Böylece "hareketin geometrisi" olarak tanımlanan "Kinematik" çalıştay başlığının önerdiği gibi dans performansı anlam ve etkiyen güçlerden arındırılarak yalnızca bedensel hareketten oluşan formlar aranmıştır. İki fazlı kurgulanan çalışmanın birinci fazında katılımcılara yaklaşık bir dakikalık dans videosu izletilmiş ve izlenen performansın kısa-sürelili hafızaya dayalı olarak üç boyutlu model ile temsil edilmesi istenmiştir. Çalışmanın ikinci fazında video tekrarlı olarak oynatılırken temsilin tekrarlanması beklenmiş ve sonuç ürünler Laban Hareket Analizi yöntemi ile analiz edilmiştir. Katılımcıların geribildirimleri metin, anket ve sözel açıklamalar ile toplanmış ve nitel veri analizi gerçekleştirilmiştir. İki fazın sonuç ürünleri görsel canlandırmaya, malzeme seçimine ve yoruma bağlı farklılıklar göstermiştir. Sayısal ortamda hareket verileri ile oluşturulan model ile karşılaştırıldığında ikinci fazın ürünlerinin temsil gücü daha yüksek bulunurken, birinci fazın yorum ve yaratıcılığa daha fazla imkan tanıdığı görülmüştür. Makalede ayrıca çevrimiçi çalıştay yürütme sürecine dair yorumlar aktarılmıştır.

**Teslim Tarihi:** 10.07.2021

**Kabul Tarihi:** 26.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

kirkan@itu.edu.tr

Kırkan, S. & Şentop Dümen, A. (2021). Hareket incelemesine dayalı bir form araştırma süreci: 'Kinematik' çevrimiçi tasarım çalıştayı sonuçları. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 149-172. <https://doi.org/10.53710/jcode.984081>

**Anahtar Kelimeler:** Etkileşimli Tasarım, Dans, Hareket Modeli, Form Arayışı, Tasarım Eğitimi.

150

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mekan, zamanın yanında "hareket" yardımıyla ifade edilmektedir. Mekan tipik olarak bir "boşluk" ya da "katı yokluğu" olarak, hareket ise varlığı mekandan ayrı olarak bir alan olarak düşünülebilmektedir (Anderson, 1992). Sistemsel bir bakış açısı ile "beden" "hareketler"i, "hareketler" "eylemler"i, "eylemler" "mekan"ı tanımlamaktadır. Bu doğrultuda mekanı anlayabilmek için, öncelikli olarak eylemi anlamak, yorumlamak, ifade etmek ve onun alt bileşeni olan hareketleri tanımlamak önem kazanmaktadır. Hareketin incelenmesi mekana farklı bir açıdan bakılmasını sağlaması ve kullanıcı ve ergonomi ile ilgili bilgi vermesi açısından tasarım eğitiminde oldukça önemli ve sıklıkla başvurulan bir yöntemdir (Kırkan, 2015; Ozer & Kavakoglu, 2017; Stathopoulou, 2011). Mekanların kullanıcılar için olduğu, kullanıcıların da canlılar olduğu düşünüldüğünde, kullanıcı hareketlerini bilmek ve yorumlamak mekan tasarımı açısından mimarlara ve iç mimarlara olumlu katkı sağlayacaktır. Bu katkı ile tasarımcı, tasarladığı mekanlarda kullanıcının sürekli değişen beden ve algısını dikkate alıp, durağan mekanlar yerine daha dinamik mekanlar üretebilmektedir (Kırkan & Çağdaş, 2019).

Tasarımcı, aldığı verileri dönüştürerek mekanı tanımlamaktadır. Mekana dönüşecek olan bu veriler kullanıcı gereksinimleri olabileceği gibi aynı zamanda bir fikir, esinlenme, müzik parçası ya da dans olabilmektedir. Bu doğrultuda tasarımcının, başlangıç girdisi olarak beden hareketlerini ele alması mümkündür. Beden hareketlerinin incelenmesi antik çağlardan günümüze kadar gerek sanatçıların gerek bilim adamlarının çalışmalarında süregelmiştir. Amaç ve ürünler farklı olsa da hareketin incelenmesinde ele alınan süreç genel olarak hareketin izlenmesi, kaydedilmesi ve yorumlanması şeklindedir. Bu bağlamda Rudolf Laban'ın tanımladığı hareket strüktürü olan Kinesphere'i, Bauhaus okulu koreografi Oscar Schlemmer'in insan bedeni hareket kombinasyonlarındaki mekan tarama araştırmalarını, Jules-Etienne Marey'in hareketi yakalamak üzere yan yana dizilen fotoğraflarını, Gjon Mili'nin hareketli objeler içeren fotoğraf eserlerini, Carol Lynne'nin zemindeki paten izlerine dair araştırmasını ve Naum Gabo'nun heykellerini örnek olarak ele almak mümkündür. Dans disiplini ise en fazla kullanılan notasyon sistemi Rudolf Laban tarafından oluşturulan Laban Hareket Analizi'dir. Laban'ın sistemi, temel hareket olanaklarının seçimine ve düzenlenmesine dayanan



ayrıntılı bir alfabe sistemini temel almaktadır (Guest, 1990). Laban notasyon sisteminde dansçının başlangıç noktası, mekansal uzaklık, mekansal ilişkiler, ağırlık merkezi, ağırlık aktarımı, zıplamalar, dönmeler, beden parçaları, yollar ve adım planları sistematik mekânsal semboller kullanarak kayıt edilmektedir.

Hareket incelemesinin son süreci olan yorumlama aşamasında algının etkisi önemlidir. Goldschmidt'in belirttiği gibi algılama görmenin zihin tarafından yorumlanmasıdır (1994). Hareketin yorumlanması ve zihinde oluşan imge kişilerin görsel canlandırma (visual imagery) yeteneği ile yakından ilişkilidir. Görsel canlandırma subjektif olarak canlılık (vividness), görsel imge kontrolü ve tercih değerlendirmeleri ile ölçülmektedir. Bunlardan "görsel imge kontrolü" isteğe bağlı olarak imgeyi değiştirme ve biçimlendirme yeteneğini, "tercih" ise kişinin görsel veya sözel düşünme eğilimini ifade etmektedir (Mc Avinue & Robertson; 2007). Daha sıklıkla kullanılan "canlılık" parametresi ise en yaygın olarak gerçeğe yakın zihinsel imge şeklinde tanımlanmaktadır. Bu bağlamda canlılık imgenin netliği (clarity) ve hareketliliği (liveliness) ile ilişkilidir. Netlik berrak renkler, keskin hat ve detaylar şeklinde tanımlanmaktadır. Hareketlilik ise dinamik (dynamic), dinç (vigorous) ve yaşayan (alive) imgeler şeklinde tanımlanmaktadır (Marks, 1999). Öte yandan canlılığı zihindeki imgeye dahil olma, orada olduğunu hissetme ile ilişkilendiren ikinci bir görüş de bulunmaktadır (Richardson, 1994).

2015'te dans ve mimarlık alanlarının kesişiminde yürütülen bir yüksek lisans tez çalışmasında dans hareketlerinden yola çıkarak form oluşturma önerisi geliştirilmiştir. Bu çalışmada dansçıların akışkan hareket biçimleri, hareketlerin performans boyunca farklılaşması ve kurallardan bağımsız olması sebepleri ile çıkış noktası olarak modern dans seçilmiştir. Beş adet dansçının performans esnasındaki hareketleri Kinect ve Quokka arayüzü yardımıyla taranmış ve fiziksel modeldeki beden hareketleri nokta bulutu olarak dijital ortama alınmıştır. Hareketler analizi ve yorumlama ile birlikte, elde edilen hareket verilerinden son ürün olarak hareket ile etkileşimli bir kabuk önerisi geliştirilmiştir. Kinect ile hareketlerin alınmasına ek olarak, Kinect ile aynı koordinatlara video alıcı yerleştirilerek performans süresince video kaydı yapılmıştır. Çalışmada dans verilerinin tasarım sürecine sayısal girdi olarak dahil olması durumu örneklenmiş, disiplinlerarası etkileşimin ve form oluşturma sürecinde sayısal ortamın sağlamış

olduğu olanakların olumlu yansımaları üzerinde durulmuştur (Kırkan, 2015).

Bu makaleye konu olan çalışmada, kaydedilen dans verilerinin iç mimarlık bölümü öğrencileri için bir tasarım / temsil problemi olarak sunulması ile ortaya çıkan ürünler analiz edilmiş, subjektif algı ve kişisel farklılıkların sonuç ürüne etkilerine değinilmiştir. İki fazlı düzenlenen çalışmanın ilk fazında katılımcılar izletilen bir dans videosunu kısa-sürelili hafızalarından yararlanarak üç boyutlu modele aktarmış, ikinci fazda ise video sürekli oynatılırken üretim yinelenmiştir.

## 2. YÖNTEM (METHODOLOGY)

**Katılımcılar:** Çalışma, katılımın gönüllülük esasına dayandığı bir çevrimiçi çalıştay ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya 4. sınıf iç mimarlık öğrencisi 19 kişi katılmıştır. Çalıştay toplam 4 saat sürmüştür.

**Malzemeler:** Çalışmada çevrimiçi görüşme platformu, dans videosu ve geri bildirim altlıkları kullanılmıştır.

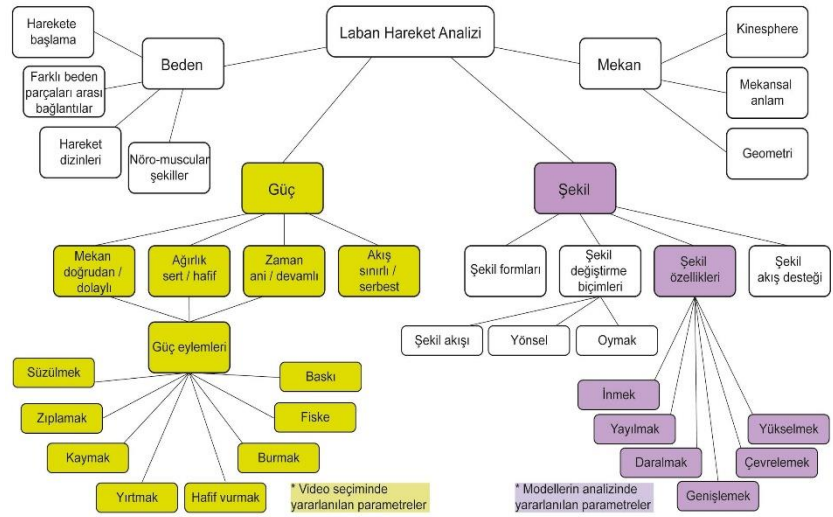
**Çevrimiçi görüşme platformu:** Çalıştay Covid-19 salgını önlemleri kapsamında uzaktan yürütülmüş, görüşme linki Zoom ara yüzünde oluşturulmuştur.

**Video:** Çalışmada görsel stimuli olarak daha önce yazarın tez araştırması kapsamında dansçılar ile hazırlanan dans performansı kayıtlarından yararlanılmıştır. Bahsi geçen tez çalışması kapsamında beş adet dansçı ile çalışılmış, her bir dansçıya performansını gerçekleştirmesi için eşit süre verilmiş ve performans sürecinde Drew Mantia'nın bestelediği "Deliberation" isimli parçanın ilk 1 dakika 57 saniyesi kullanılmıştır. Dansçılar bu süre içinde mekan kullanımlarında özgür bırakılmış; dansçılardan doğaçlama tekniğini kullanmaları istenmiştir. Hareket çeşitlenmeleri ve mekan kullanımında dansçının bilinçli yönelim göstermesini önlemek için dansçılara proje amacı ve kapsamı hakkında verilen bilgi miktarı sınırlı tutulmuştur (Kırkan, 2015). Çalıştayda kullanılmak üzere beş dans videosu arasından hareketin takibi ve ifadesinde en çeşitli verileri sağlayacak performans, Laban Hareket Analizi "güç" alt başlığı kısımlarını oluşturan "mekan", "ağırlık", "zaman", "akış" parametrelerine göre belirlenmiştir (**Şekil 1**). Bu yöntem

ile belirlenen dansçının performansı "mekan" parametresine göre plan düzleminde geniş alan taramış ve yayılım hareketleri göstermiştir. Dansçının zemin ile ilişkisinde adımlarının sert ve yumuşak olduğu noktalar "ağırılık" parametresini "güçlü" ve "hafif" olarak karşılamaktadır. "Zaman" parametresi hareketin hızı ile alakalıdır ve hareketin bir anda ortaya çıkması "ani", hareketin yavaş yavaş, izlenebilen bir zaman aralığında meydana gelmesi "yavaş" olarak ifade edilmektedir. Seçilen performansta hem ani hem de devamlı hareketler bulunmaktadır. Son olarak "akış" parametresi, bedende enerjinin akışı ile ilişkilidir; enerji akışı ne kadar fazla ise, meydana gelecek hareketler de o kadar serbest olacaktır. Dansçı, performansı gerçekleştirirken mekanda serbest formlar yaratmıştır ve akışının serbest olduğunu söylenebilmektedir.

**Geri bildirim altlıkları:** Katılımcıların sürece ve sonuç ürünlere dair açıklama ve yorumlarını serbest metin ile aktaracakları bir altlık hazırlanmıştır. Altlığın yanı sıra, katılımcıların subjektif algısını ölçmeye yönelik bir değerlendirme anketi hazırlanmıştır. Ankette katılımcıların süreç ve sonuç ürüne dair algısını ve görsel canlandırma yeteneğini ölçmek üzere sorular yer almaktadır. Süreç (1) hareketi kavrama, (2) anımsama, (3) üç boyutlu temsil eylemlerine ayrılmıştır ve katılımcılar bu üç eylemi "kolaylık" yönünden yedili sayısal değerlendirme ölçeğini (1: Çok zor, 7: Çok kolay) kullanarak değerlendirmektedir. Sonuç ürünün değerlendirilmesinde "sonuç ürünün yaratıcılığı", "hareket temsilinin (plan ve kesitte) yeterliliği", "mekansal forma / ürüne dönüşme potansiyeli", "temsil yönteminin (maket vb) uygunluğu" parametreleri ve yedili sayısal değerlendirme ölçeği (1: Çok düşük, 7: Çok yüksek) kullanılmıştır. "Yaratıcılık" Bilda ve diğerlerinin makalesinde yer aldığı şekli ile "standart dışı çözüm üretme potansiyeli taşıma" olarak tanımlanmaktadır (2006). Katılımcıların görsel imge gücünü (visual imagery) ölçmek için "canlılık" parametresinden yararlanılmıştır. Canlılık "gerçeğe yakın zihinsel imge" tanımını ve "zihinsel imgeye dahil olma" tanımı ölçen iki soru ile ölçülmüştür. Birinci soruda katılımcılar zihinlerindeki dans imgesini "canlılık" yönünden yedili sayısal değerlendirme ölçeği (1: hiç canlı değil, 7: çok canlı) ile değerlendirmekte, ikinci soruda ise dansın gerçekleştiği mekana kendilerini ne kadar dahil hissettiklerini (1: çok uzaktan bakıyorum, 7: Oradaymış gibi hissediyorum) cevaplamıştır. Ankette "Canlı" terimi Marks (1999)'ın yukarıda belirtilen tanımından yola çıkarak "gerçeğe

yakın zihinsel görüntü, berrak renkler, keskin hat ve detaylar, dinamik hareketler" şeklinde açıklanmıştır.



**Şekil 1:** Video seçimi ve model analizinde yararlanılan Laban Hareket Analizi parametreleri (Laban Movement Analysis parameters used in video selection and model analysis)

**Prosedür:** Çalışma 3 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada, katılımcılara konu ve planlanan çalışma hakkında bilgi aktarılmış ve tartışma ortamı oluşturulmuştur. Hareket, beden, mimarlık ve dans kavramları ve bu kavramlar arası ilişkiler örnekler ile birlikte incelenmiştir. Sürece yardımcı olması amacıyla dansın matematiksel ifadesi ve dans notasyonu üzerinde durulmuş, bu konuda yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Hareket verilerinin izlenmesi, yakalanması ve dijital ortama aktarılması konusunda yapılan çalışmalar paylaşılmış, verilerin sayısal ortama aktarılması ile devam eden form oluşturma süreçlerinden söz edilmiştir.

İkinci aşamada proje için belirlenen dans videosu katılımcılara izletilerek iki fazda form üretimi gerçekleştirilmiştir. Form üretimi esnasında katılımcılardan hareketin geometrisine odaklanmaları beklenmiştir. 1.fazda katılımcılara dans kaydı art arda 3 kez izletilmiş ve ardından katılımcılardan kısa süreli hafızalarındaki imgeden yararlanarak dans - beden - mekan arası ilişkileri üç boyutlu maket veya model ile aktarmaları istenmiştir. Çalışmanın 1. fazı 30 dakika sürmüştür ve tamamlanmasının ardından ilk geri bildirim anketi doldurulmuştur. Çalışmanın 2. fazında dans videosu ekranda sürekli olarak oynatılırken

aynı çalışma tekrarlamış ve katılımcılardan ikinci bir maket veya model üretilmesi beklenmiştir. 2. faz toplam 20 dakika sürmüştür ve tamamlanmasının ardından ikinci geri bildirim anketi doldurulmuştur. Son olarak süreç ve sonuç ürünlere dair açıklama ve yorumların aktarılacağı altlık doldurulmuştur. Her iki fazda da katılımcılara çalışma yöntemi olarak maket önerilse de maket veya dijital model kullanımı, teknik ve malzemeler konusunda katılımcılar özgür bırakılmıştır.

Üçüncü aşamada katılımcılar arasında etkileşimin sağlanması ve ilave yorumları kaydetmek için sunum ve tartışma ortamı oluşturulmuştur. Ayrıca, anket, açıklama altlığı ve sunumlar şeklinde kurgulanan üç aşamalı geri bildirim yöntemi sayesinde çalışmanın çevrimiçi olmasına bağlı olarak katılımcıların üretim sürecinin gizli kalması sorununun önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

**Analiz:** Çalışma sonucunda katılımcıların oluşturdukları maketler çalışmanın ürün çıktılarını oluşturmaktadır. Ürünler kullanılan malzeme, teknikler ve model adedine göre analiz edilmiştir. Ürünler biçimsel olarak Laban Hareket Analizinin "Şekil" alt başlığı kırılımları altındaki "inmek", "yükselmek", "daralmak", "yayılmak", "genişlemek", "çevrelemek" parametrelerinden yararlanarak analiz edilmiştir (**Şekil 1**). Bu parametrelerden "inmek" ve "yükselmek" dansçının zeminle kurduğu ilişkiyi tanımlamaktadır. "Daralmak" beden parçalarının birbirine yaklaşmasını, "yayılmak" hareketlerin beden etrafında yoğunlaşmasını ve "genişlemek" ise daha geniş alana yayılma oranını ifade etmektedir. Son olarak "çevrelemek" bedenin bir hacmi kapsamaya ile oluşmaktadır. Ürünlerin Laban Hareket Analizi ile yorumlanması esnasında katılımcıların metinsel anlatımları ve sözel yorumlarında belirttikleri hareket algısına dair tanımlamalar da dikkate alınmıştır.

Çalışma esnasında katılımcılardan toplanan metinsel açıklamalar, anket cevapları ve sözel geri bildirimler çalışmanın yorum çıktılarını oluşturmaktadır. Elde edilen anket cevapları anket örnekleminin küçük olması (13) sebebi ile istatistiki olarak yorumlanmamış ancak katılımcıların süreç algısına dair fikir edinmek için ortalama değerlerden ve katılımcı bazındaki birinci ve ikinci faz değerlendirmeleri arası farklardan yararlanılmıştır. Katılımcıların sözel yorumları kayıtlardan

dinlenerek yazılı dökümler hazırlanmıştır. Yazılı dökümler ve metinsel açıklamalar nitel olarak analiz edilmiş, yorumlarda tekrarlayan başlıklar kodlanarak konusuna göre gruplanmıştır.

### 3. ÇALIŞMA ÇIKTILARININ ANALİZİ (ANALYSIS OF OUTCOMES)

Çalışma kapsamında toplam 38 ürün (19 kişi x 2 maket) üretilmiştir. Maket görselleri Ek A bölümünde yer almaktadır. Çalışma sonucunda katılımcıların oluşturdukları ürünlerin çalışma yöntemi, model adedi, kullanılan malzemeler ve Laban Hareket Analizi yönlerinden değerlendirmesi Tablo 1’de ve katılımcıların yorumlarının nitel yönden analizi Tablo 2’de verilmektedir. Yorumların nitel analizi için tekrarlayan tanımlamalar aşağıdaki şekilde kodlanmıştır:

- A. Tekniğe dair tanımlamalar:
- TGr : Teknik - Hareketlerin sistematik gruplanması
  - TDi : Teknik - Hareketlerin dizilimini takip etme
  - TEk : Teknik - Eklem ve iskeletin modellenmesi
  - TMa : Teknik - Malzemenin kısıt oluşturması
  - TTe : Teknik - 3B hariç kullanılan teknikler
- B. Farkındalığa dair tanımlamalar:
- FMe : Mekan kullanımına dair farkındalık
  - FMu : Müziğe dair farkındalık
- C. Laban Hareket Analizini destekleyici tanımlamalar:
- LIn : Laban - inme
  - LYu : Laban - yükselme
  - LDa : Laban - daralma
  - LYa : Laban - yayılma
  - LGe : Laban - genişleme
  - LCe : Laban – çevreleme

Genel olarak incelendiğinde ondört katılımcı iki ayrı maket ile çalışırken, beş katılımcı ikinci fazda birinci ürettikleri maket üzerinden devam etmiştir. Örneğin, Katılımcı-I birinci modeldeki hareketler arasındaki kopukluklara yoğunlaşmış ve modeli tamamlama yoluna gitmiştir:

*"Videoyu ilk izlediğimde dansı iki ayrı parça olarak algılamıştım. kameraya daha yakın ve kameraya daha uzak olacak şekilde. İkinci kere izlediğimde ise ayrı algıladığım kısımla aradaki*

*bağlantının, dinamik ve uzun süre ayakta olduğu performans tipiyle bağlandığını gördüm."*

Çalışmada hareketin ifadesinde üç boyutlu temsil yöntemine ek olarak farklı teknikler de kullanılmıştır. Bu duruma en uç örnek olarak Katılımcı F gösterilebilmektedir. Bez ve lastik ile dansçının bir kuklasını yapmış ve kuklanın uzuvlarını hareket ettirerek sırası ile fotoğraflamıştır. Yani Katılımcı F modelinde hareketin ifadesinden ziyade dansçının bedenine odaklanmış ve temsilde stop-motion tekniğine doğru yönelmiştir:

*"Aslında tek bir hareketi tanımlayacağım diye çıktım yola, ama döndürerek çektiğimde sanki yine farkı hareketler yapıyormuş gibi, farklı yerlerden baktığımda farklı hareketi anlatıyormuş gibiydi. Hatta bir gif olabilir bu diye düşündüm."*

Öte yandan katılımcıların dördünün üç boyutlu temsil ile birlikte eskiz yönteminden de yararlandığı görülmüştür. Bunların hemen hepsi ilk fazda eskizden yararlanırken, bir kişi ikinci fazda eskiz yöntemini kullanmıştır. Yalnızca bir kişi metin ile izlemiş olduğu hareketlere dair notlar almış, daha sonra bunu sırası ile eskiz ve üç boyutlu model ortamına aktarmıştır. Literatürde eskiz kullanımının tasarıma etkisini araştıran bazı deneysel çalışmalar (Kokotovich & Purcell, 2000; Anderson & Helstrup, 1993) tasarımın ve yaratıcılığın eskiz kullanmaya bağlı olmadığını ancak eskizlerin kısa-sürelili hafızaya düşen yükü hafifletmekte önemli rol oynadığını ortaya konmuştur. Bu bulgulardan yola çıkarak katılımcıların eskiz çizme eğiliminin kısa-sürelili hafızaya dayalı birinci üretim sürecindeki bilişsel yükü azaltma çabası ile ilişkili olduğu söylenebilmektedir.

Birinci fazda dans videosunun üretim sürecinden önce oynatılması ve tekrarlanmaması sebebiyle katılımcılar zihinlerindeki görsel imgeyi referans almıştır. Anket değerlendirmelerinde de gözlemlendiği üzere ikinci faz hareketlerin kavranması (1.faz: 5,1/7, 2.faz: 5,3/7), anımsanması (1.faz: 4,5/7, 2.faz: 5,9/7), ve temsil edilmesi (1.faz: 3,9/7, 2.faz: 4,1/7) açısından daha kolay bir tasarım/temsil problemi sunmaktadır. Zihindeki dansa dair görüntü daha canlı (1.faz: 5,1/7, 2.faz: 6,2/7) ve tasarımcı dansın gerçekleştiği an ve mekana daha yakındır (1.faz: 4,8/7, 2.faz: 5,5/7). Öte yandan birinci fazdaki ürünler katılımcılar tarafından daha yaratıcı (1.faz: 4,4/7, 2.faz: 4,1/7) olarak değerlendirilmiş ve mekansal forma/ürüne dönüşme potansiyeli daha yüksek (1.faz: 4,8/7, 2.faz: 4,3/7) bulunmuştur. Birinci fazda oluşturulan

ürün üzerinde kullanıcının zihinsel yorumunun etkisi daha büyüktür ve bu doğrultuda soyutlama daha fazladır. İkinci fazda ise katılımcıların büyük çoğunluğu izlemekte oldukları hareketleri modele yansıtmaya odaklanmıştır. Katılımcıların bir kısmı yorumlarında ilk fazın daha heyecan verici olduğuna değinmiştir. Üç katılımcı birinci fazda algıladıkları hareketlerin ikinciye göre daha sert ve keskin hatlara sahip olduğunu belirtmiştir:

*"İlk izlediğimde arka planda oynayan müzik ile hareketlerin bağlantısındaki anlamı daha sert geçişler olarak yorumlamıştım. Ve aniden tanımlı boşluklar arasında daha çok lineer olarak hareket eden geçişleri gözlemlemiştim. Daha sonrasında aslında bu hareketlerin birbiriyle çok ince ve hassas bir geçiş tanımladığını gözlemledim."*

İkinci fazda hareket geçişleri daha net izlenebildiği ve katılımcıların zihinlerinde devamlı imgeler halinde biçimlendiği için bu faz ürünlerinde yumuşaklık belirginleşmiştir. Örneğin yukarıda yorumu aktarılan Katılımcı-S ilk maketinde kürdan ve acı biber kullanmış, kürdanın sivri uçları ve biberin acılığı ile sertlik algısını yansıtmayı başarmıştır. Öte yandan maketine kattığı tat duygusu sayesinde ürüne dördüncü bir boyut kazandırmıştır. Aynı katılımcı ikinci maketinde ise yaprak katmanları arasına ördüğü alüminyum folyo ile sürekliliği, yumuşaklığı ve hareketlerin hafifliğini temsil etmiştir. Hareketi temsil etmekten daha ziyade onda bıraktığı izlenimi geometrik forma dönüştürmesi ve malzeme seçimi yolu ile duyuşal çağrışımı kullanması sebebi ile özgün bir yaklaşım teşkil etmektedir.

**Tablo 1**'de katılımcıların ürettiği 38 model Laban Hareket Analizinin "şekil özellikleri" parametreleri ile analiz edilmiştir. Genel olarak ele alındığında çalışmalarda "yükselme" ve "yayılma" parametrelerinin en çok temsil edildiği ve "genişleme" parametresinin 2. ürünlerde 1. ürüne oranla daha fazla yer aldığı okunmaktadır. İzletilen dans videosu Laban Hareket Analizinin "güç" parametrelerine göre zengin çeşitlilik sunduğuna inanılan bir performansa aittir. Bununla ilişkili olarak **Tablo 1**'de ürünlerin Laban Hareket Şekil Analizi'nde birden fazla parametreye karşılık geldiği gözlemlenmektedir. Tabloda ürünlerin oluşmasında etkili olan en baskın parametreler turuncu ile taranarak işaretlenmiştir. Bazı ürünlerde yalnızca bir parametrenin yansıtıldığı ve tek bir kavramın öne çıktığı görülmüştür. Örneğin; Katılımcı C'nin ikinci modelinde



"yükselme" parametresinin tek başına etkin olduğu görülmekte ve sözel yorumları da bunu desteklemektedir:

*"Dansçının zeminle olan ilişkisine odaklandım. zeminden kopup yükselmek istiyor. fakat zemin bir şekilde buna engel oluyor; dolayısıyla bunu yapmak zorlaşıyor. Kendi etrafında dönüp zeminden kopma işlemini kolaylaştırmaya çalışıyor gibi algıladım."*

Çalıştay tanımında yer almamasına karşın iki katılımcı dans ile müzik arasındaki ilişkiye değinmiştir. Öte yandan altı katılımcı dansçının hareketlerinin yanı sıra mekan kullanımına da odaklanmıştır:

*"Genel olarak o büyük mekan içinde belli noktalardan ileri gidilmediğini fark ettim. Sanatçı aslında daha çok kendi çevresinde bir alan tanımlamış ve o alanda bütün vücudunu kullanarak daha çok dairesel figürlerle hareketleri gerçekleştirdiğini farkettim."*

*Katılımcı-E'nin* yukarıdaki sözel yorumunda aktarılan mekan algısı, diğer katılımcıların ürünlerinin aksine daralan forma sahip model ile kendini göstermektedir. Aynı videoyu izlemelerine rağmen ürün çıktılarının arasında bu gibi farklar oluşması katılımcıların yorum çeşitliliğine ve algının filtresine işaret etmektedir.

Son olarak, ortaya çıkarılan ürünlerde tercih edilen malzemenin etkisi de yadsınmaz. Ürünler incelenirken bazı durumlarda malzemeye bağlı kısıtların katılımcıyı sınırladığı görülmektedir. Straforu yakarak hareketi katı içerisindeki boşluk ile ifade etmeye çalışan Katılımcı-L malzeme üzerinde yeterli kontrolü sağlayamadığı için istediği forma ulaşamamış ve ikinci çalışmada yöntem ve malzeme değişikliğine gitmiştir. Diğer bir örnek, birinci ve ikinci fazda farklı malzemeler ile aynı formu oluşturan Katılımcı-P'nin ürünleridir. Katılımcı-P'nin ürünleri Laban Hareket Şekil Analizi ile incelendiğinde ikinci üründe "yükselme" parametresindeki vurgu azalırken, "çevreleme" parametresindeki vurgu güçlenmiştir.

**Tablo 1:** Çalışma yöntemi, model sayısı, kullanılan malzeme ve Laban Hareket Analizi yönlerinden ürün analizi (model için öne çıkan parametre hücresi boyanarak işaretlenmiştir.) (Product analysis in terms of model count, material used, and Laban Movement Analysis ).

KATILIMCI	Çalışma yöntemi				Model sayısı	Kullanılan malzeme		1. Model için Laban Hareket Şekil Analizi						2. Model için Laban Hareket Şekil Analizi					
	Metin	Eskiz	3B Maket	3B Model		1. Model	2. Model	İnmek	Yükselmek	Daralmak	Yayılmak	Genişlemek	Çevrelemek	İnmek	Yükselmek	Daralmak	Yayılmak	Genişlemek	Çevrelemek
A			X		2	kumaş, iğne	bant	X	X			X		X	X			X	X
B	X	X			1	tel, ip, silikon	tel, ip, silikon	X	X		X			X	X		X		
C			X		2	oyun hamuru	oyun hamuru		X		X		X		X				
D			X		1	sünger, çöp şiş, tel örgü, ip	sünger, çöp şiş, alüminyum folyo, kumaş		X			X	X		X			X	X
E			X		2	asetat, yapıştırıcı	kürdan, yapıştırıcı, tel örgü			X	X		X		X	X			
F			X		1	kumaş, ip	kumaş, ip, karton, çöp şiş				X				X				
G			X		2	balsa, tel	kağıt, boya				X					X			
H			X		2	kağıt, kalem, bant	kağıt, kalem, çöp şiş		X		X				X		X		X
I			X		1	karton kutu, ataç	karton kutu, ataç	X	X		X			X	X		X		
J			X		2	karton, tel, bant	asetat, kağıt, yapıştırıcı	X	X		X			X	X		X		
K	X	X			2	kağıt, bant	çorap, kalem, ip, tel	X	X	X		X		X	X	X		X	
L			X		2	strafor, ısı kaynağı	tel				X		X	X	X				
M	X	X	X		2	kutu, tel, ışıkta parlayan boya	kutu, tel, ayakkabı bağcığı	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X
N	X	X			1	kağıt	kağıt	X	X	X	X			X	X	X	X		
O			X		2	karton kutu, ip, asetat	karton, farklı kalınlıklarda ip, iğne	X	X									X	
P			X		2	strafor, çöp şiş, plastik yay	strafor, eva, iğne	X	X				X	X	X				X
R			X		2	kurdela	renkli bant	X	X		X			X	X			X	
S			X		2	acı biber, kürdan, lastik	alüminyum folyo, yaprak, kürdan				X					X			
T			X		1	kağıt	kağıt					X				X			

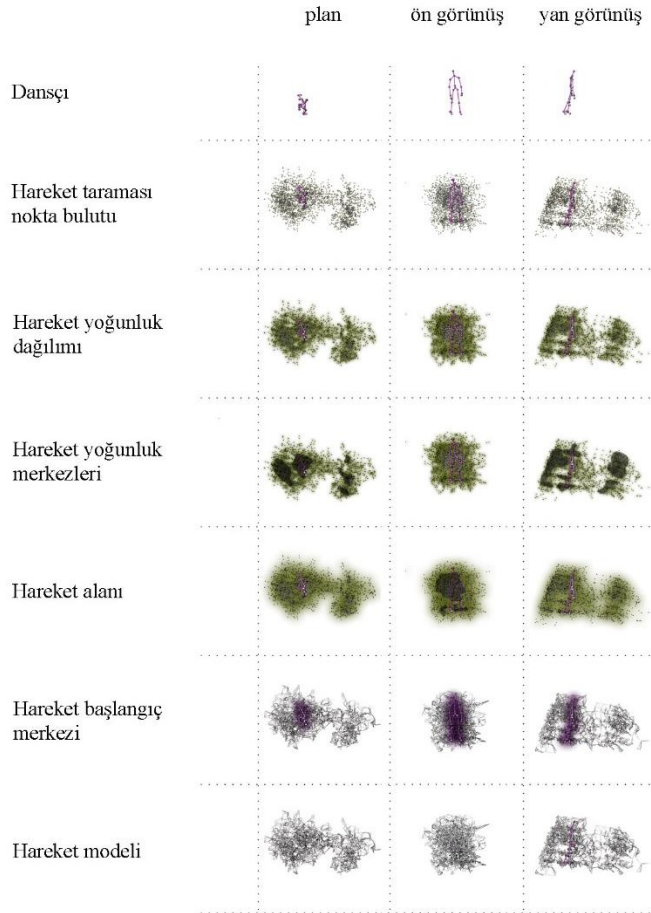
**Tablo 2:** Çalışmanın yorum çıktılarının nitel analizi (Qualitative analysis of the interpretation outputs of the study).

	Temsil yöntemi	Hareket algısına dair tanımlar	Sürece dair görüş
A	Doluluk içinde boşaltma, Seçilen malzemenin kısıtlarını belirtiyor [TMa]	Farklı yükseklikler [Lin, LYu], dönme, el ve ayakların taradığı alan [Lce], eğilme [Lin], zıplama [LYu], doluluğu yarararak kendine alan açması [Lce]	İkinci süreçte izleri takip etmenin ve oluşan mikromekanların daha heyecanlı olduğunu düşünüyor. Hareketi kavrama, anımsama ve temsil etme ikinci süreçte daha kolay. İlk ürünü daha yaratıcı buluyor.
B	kuşbakışı eskizden [TTe] 3b'a taşıma, hareket bulutu tanımlama. ikinci makette eklemelerin [TEK] iplerle temsili	Dağılma [LYa], genişleme [LYa]	
C		Zeminle olan ilişki gerilimi: dansçının yükselmek istemesi [LYu] - zeminin engellemesi, dönerek zeminden kopma [LYu] ve uzaklaşma, çember etrafında dönme [Lce]	Birinci süreç hareketi kavrama, ikinci süreç anımsama yönünden daha kolay.
D		Dansçının vücudu etrafında görünmez bir tabakayı itmesi [LGe], gerilim oluşturmaları	İkinci maketin daha ifadedeli olduğunu düşünüyor, hareketi anımsama ve temsil etme yönünden daha kolay.
E	Birincisinde organiklik kavramı temsil ediliyor, ikincisinde iskelet [TEK] ve hareket bulutu temsil ediliyor.	Dansçının büyük mekan içerisinde [FMe] hareketleriyle küçük bir alan tanımlaması [LYa, Lce], dairesel hareketler, organik biçim	Birinci süreci daha heyecanlı buluyor, hareketi kavrama ve anımsama daha kolay.
F	Rahat şekil verilecek malzeme seçimi, kol ve bacakların [TEK] modellenmesi, kuklayı hareket ettirmek ve fotoğraflayarak [TTe] hareket sekanslarını rekonstrükte etmek [TDi], gif önerisi [TTe]	Hareketlerin rahatlığı, kolların ve bacakların bir yöne çekiliyormuş ve vücudu yönlendirmiş algısı [LYa], hareketin devamlılığı	İlkini yaparken daha keyif aldığını belirtiyor. İkinci süreçte farklı hareketleri kukla ile temsil ederken keşfetmenin heyecanını belirtiyor. Birinci süreç hareketi temsil etme yönünden, ikinci süreç hareketi kavrama yönünden daha kolay.
G	Birinci makette iskelet [TEK] ve hareket bulutu, ikinci makette uzuvlara [TEK] renk atama	Birinci: Bedenin etrafında oluşan izler [LYa], ikinci: Uzuvların birlikte çalışması	Birinci süreç hareketi kavrama, ikinci süreç anımsama yönünden daha kolay.
H	Çizgili kağıt üzerinde hareketin tanımlanması	Hareketlerin zemin kaplamasındaki çizgiler ile ilişkisi [FMe], alan tarama [Lce], dönme, tekrarın fazlalığı	Birinci süreç hareketi kavrama yönünden daha kolay.
I	Plan düzleminde kameraya yakın ve uzak hareketlerin gruplanması [TGr]. Hareketin dinamikliğinin renk ile kodlanması [TGr].	Dansçının uzun bir mekan [FMe] içerisinde ufak bir alanı kullanması. Hareketleri kameraya yakınlığına göre iki gruba ayırmakta: yakın, uzak. Hareketleri dinamiklik yönünden üç gruba ayırmakta: dinamik ve ayakta, yarı dinamik, durgun ve yere yakın [Lin]. Organik hareketler ile başlayıp sertleşmeye ve zıplamaya geçiyor.	Birincisinde tam algılayamamın merakını artırdığını belirtiyor. İkinci süreç hareketi kavrama ve anımsama yönünden daha kolay.
J		Başlangıç noktası etrafındaki dağılım [LYa], yükseklik farklılıkları [Lin, LYu]. İkinci makette: ritim	
K	yavaşlamayı mekansal genişleme, hızlanmayı mekansal daralma ile ilişkilendiriyor [TGr]. birinci maket (siyah): 3b ile başlıyor. çorap ile geçirgenliği, tel ile homojenliği temsil ediyor. ikinci maket: önce eskiz [TTe] (hareketleri gözünün önünde canlandırmak için) ardından, 3b maket.	hızlanma = daralma [Lda] ve yavaşlama = genişleme [LGe] dönme = hızlanma ve daralma [Lda] Birinci maket: eğilip kalkma [Lin, LYu], zeminden yükseklik [Lin, LYu], farklı kotlarda hareketler [Lin, LYu], organik formlar arasında net pozlar. İkinci maket: Mekan-beden-müzik bütünleşmesi, mekanı çizgisel kullanmama yayılma [FMe], müziğin sonundaki değişim [FMu] ile dansçının hareketlerinin keskinleşmesi	İkinci süreçte müzik-mekan-beden bütünleşmesini daha iyi anlıyor, hareketi anımsama ve temsil etme yönünden daha kolay.

	Temsil yöntemi	Hareket algısına dair tanımlar	Sürece dair görüş
L	Birinci: Hareketleri zeminden yüksekliği ve yayılmaya göre gruplama [TGr]. Doluluk içinde boşaltma, Seçilen malzemenin kısıtlarını belirtiyor [TMa]. İkinci: Daha kontrol edebileceği bir malzeme seçimi, zamanda geriye doğru hareket diziliminin [TDi] temsili	Birinci makette: Hareketleri üç gruba ayırıyor: ayakta ve daha az yayılma, çömelme [Lin] ve biraz daha fazla yayılma [LYa], hem düşeyde hem yatayda daha fazla yayılma [LYa], ikinci makette: hareketlerin geçişleri	Malzeme ve yöntem açısından birinci denemesini kontrolsüz, ikincisini fazla soyut şekilde yorumluyor. Hareketi kavrama, anımsama ve temsil etme kolaylığı değişmiyor.
L	Birinci: Hareketleri zeminden yüksekliği ve yayılmaya göre gruplama [TGr]. Doluluk içinde boşaltma, Seçilen malzemenin kısıtlarını belirtiyor [TMa]. İkinci: Daha kontrol edebileceği bir malzeme seçimi, zamanda geriye doğru hareket diziliminin [TDi] temsili	Birinci makette: Hareketleri üç gruba ayırıyor: ayakta ve daha az yayılma, çömelme [Lin] ve biraz daha fazla yayılma [LYa], hem düşeyde hem yatayda daha fazla yayılma [LYa], ikinci makette: hareketlerin geçişleri	Malzeme ve yöntem açısından birinci denemesini kontrolsüz, ikincisini fazla soyut şekilde yorumluyor. Hareketi kavrama, anımsama ve temsil etme kolaylığı değişmiyor.
M	An an hareket dizilimini yakalamaya [TDi] çalışıyor. birinci maket: hareketleri önce metin [TTe] olarak not alıyor. 3b maket üretiyor. ikinci maket: hareketleri eskizlerle [TTe] ifade ediyor. Eskizleri makette kullanmayı denediğinde hareketin yükseklikle kurduğu ilişkileri temsil etmediğini düşünüyor, yeni 3b maket üretiyor.	birinci makette: dinamiklik, dizilim, tekrarlar, ikinci makette: daha fazla form algısı, sınırların genişlemesi [LYa], bacak kaldırma [LYu], kolun farklı açılarla dönmesi [LDa], sürünme [Lin, LDa], dönme, yere yatma [Lin], kolunu kaldırma [LYu].	İlk süreci daha heyecanlı buluyor, hareketi temsil etmek daha kolay. İkinci süreçte ise daha fazla hareket algıladığından çeşitlilik artıyor.
N	İzlerken eskiz [TTe]. ile notlar alıyor. İnsan çeperini katı ortam içinde boşluk oluşturarak modelliyor. Hareketin zamansal dizilimini [TDi] formun başlangıcından bitiş noktasına kadar sıralıyor (mekansal değil zamansal düzen)	zıplama [LYu], dönme, alçalma [Lin], yükselme [LYu], ilerleme, parmak uçları ile havayı kesmesi (hareket bulutunda sivri çıkıntılar)	İkinci süreçte tüm hareketleri iyi bir şekilde yansıtmayı gerektiğini hissettiği için birinci süreç daha olumlu ve rahat hissettirdi.
O	İlk maket: kesit düzlemi üçe bölünüyor ve zeminden uzaklığa göre hareketler gruplanıyor [TGr]. Katı malzemeler. İkinci maket: Hareketlerin yumuşaklığını ve esnekliğini temsil etmek üzere malzeme değiştiriyor. İskelet ve eklemi [TEK] temsil ediyor.	İlk maket: hareketler iki boyutlu ve sert algılandı, zeminden uzaklığa göre üç gruba ayrıldı: oturma [Lin], kalkma [LYu], ve dik durma. İkinci maket: hareketlerin daha yumuşak ve esnek olduğunu farketti. Kollar ve bacakların açılması, kaldırılması [LYu], dönme	
P	Mekan ve hareketi temsil ediyor, zamanı aktarmadığını belirtiyor.	Dönme, eğilme [Lin], ayağa kalkma [LYu], kollarını kaldırma - indirme [Lin, Yu]	İlk süreçte hareketleri ve yönleri hatırlamak bakımından zorlandı.
R		İlk maket: kol, bacak ve kafa hareketleri, eğilip kalkma ile bedenın çeperinin oluşturulması [Lin, Yu], ikinci maket: bedenın mekan içerisinde aldığı yol [LGe] [FMe], süreklilik, yoğunlaşmalar	
S	İkinci makette: ince ve hassas geçişlerin hafif bir malzeme ile temsili	İlk maket: müzik ve hareketlerin bağlantısı [FMu] ve sert geçişler, lineer hareketler [LYa], ikinci maket: hareketlerin birbirine ince ve hassas geçişlerle bağlılığı	
T	İlk maket: kağıt yer düzlemi, kesikler dansçının hareketleri, ikinci maket: kağıt dansçı, kesikler eklem [TEK] noktaları olarak yorumlanıyor. Seçilen malzemenin kısıtlarını belirtiyor [TMa].	İlk maket: dansçının aynı alanda gidip gelmesi [LGe] [FMe], ikinci maket: hareketler ilk algıladığından daha cesur	

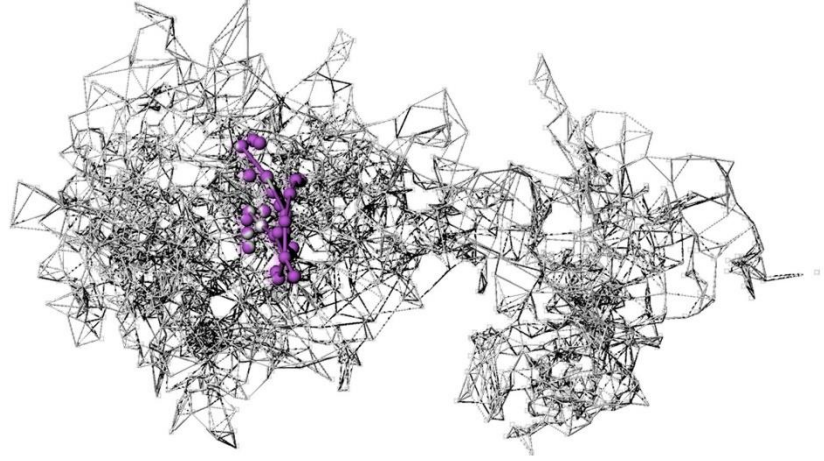
#### 4. ÇALIŞTAY SONUÇLARININ SAYISAL ORTAMDA ÜRETİLEN MODEL İLE KARŞILAŞTIRMASI (COMPARISON OF WORKSHOP RESULTS WITH THE MODEL DEVELOPED IN DIGITAL ENVIRONMENT)

Çalışma bulguları öğrencilerin (1) kısa zamanlı hafıza ile zihinde oluşan imgelerini yansıttıkları (2) tekrarlı izlenen görsel veriyi yorumlayarak model olarak ifade ettikleri sürecin ürünleridir. Bu süreçte ürettikleri formlar öğrencinin zihinsel imgeleme yeteneğine, yorumuna, ifade diline, temsilde kullandıkları malzemeye bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Öte yandan dans verilerinin sayısal ortama dijital araçlarla aktarıldığı durumda hareket taramasının nokta bulutu, yoğunluk dağılımı yoğunluk merkezleri, hareket alanı, hareket başlangıç merkezi incelemelerini değerlendirmek mümkündür. 2015'te yapılan araştırmada aynı dansçının eklem hareketlerinin Kinect aracı ve Quokka, Rhino, Grasshopper arayüzleri yardımı ile sayısal ortama aktarılması ile elde edilen nokta bulutları **Şekil 2'**de verilmiştir (Kırkan, 2015).



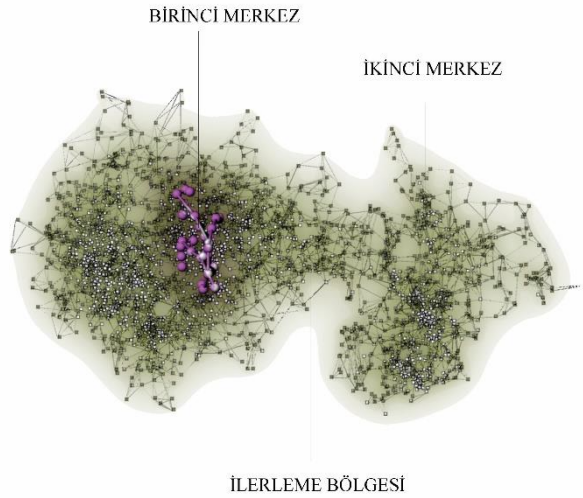
**Şekil 2:** Dansçının eklem hareketlerinin Kinect aracı ve Quokka, Rhino, Grasshopper arayüzleri yardımı ile sayısal ortama aktarılması ile elde edilen nokta bulutları (Point clouds of dancer's joint movements created with Kinect device and Quokka, Rhino, and Grasshopper interface).

Eklem hareketlerine karşılık gelen her bir noktadan üç doğru geçmesi ile oluşturulan üç boyutlu form ise **Şekil 3**'te görülmektedir.



**Şekil 3:** Eklem hareketleri ile oluşturulan üç boyutlu form (3D form created by joint movements).

Bu verilerden yola çıkarak dansçının mekân kullanımının çift merkezli yoğunlaşmaya sahip ve Y aksında ilerleme gösterdiği söylenebilmektedir. Buna bağlı olarak hareketi (1) birinci merkez, (2) ilerleme bölgesi, (3) ikinci merkez olarak üç bölge halinde incelemek mümkündür (**Şekil 4**).



**Şekil 4:** Hareket bölgeleri (Movement areas).

Hareketin yoğunlaştığı merkez noktalar Laban Hareket Analizi'ndeki "yayılmak" parametresine karşılık gelmektedir. Birinci merkez olan hareket başlangıç noktasında "genişleme" parametresi baskındır. İlerleme bölgesinde "daralma" ve "inme" parametreleri öne çıkmaktadır. İkinci merkezde ise "yükselme" ve bir miktar "genişleme"

görülmektedir. "Çevreleme" parametresi ise dansçının bedeni ile hacim oluşturması biçiminde tanımlandığından bu verilerde okunmamaktadır. Katılımcıların ürünleri sayısal ortamda üretilen model ile karşılaştırıldığında ikinci süreçte üretilen modellerin bu üç hareket bölgesini daha net ifade ettiği görülmektedir. Özellikle Katılımcı C, I, K, N, ve R'nin ikinci ürettiği formlarda bu üç bölge ve karşılık geldikleri parametreler sayısal ortamda üretilen modele yakındır. Öte yandan ilk süreçte üretilen ürünler incelendiğinde yalnız Katılımcı N'nin bu üç bölgeyi temsil ettiği görülmüştür.

## **5. ÇEVİRİMİÇİ ÇALIŞTAY SÜRECİNE DAİR YORUMLAR (COMMENTS ON ONLINE WORKSHOP PROCESS)**

Çalıştayın Covid-19 salgınından korunma tedbirleri dahilinde uzaktan yürütülmesi alışılmadık bir deneyim olmuştur. Katılımcılar ile çift yönlü etkileşimin sağlanması için çalıştayın ilk aşamasında sohbet ve tartışma ortamının oluşturulması ve katılımcıların konu hakkında deneyim veya örnekleri paylaşmak üzere teşvik edilmesi faydalı olmuştur. Çevrimiçi görüşme platformu bir yandan katılımcıların birbirlerinden etkilenmeden bağımsız çalışma imkânı bulması, aynı açıklamayı dinlemeleri ve eş süreçlere maruz kalmaları bakımından eş zamanlı ve avantajlı bir deney ortamı sağlamıştır. Diğer bir yandan, maketlerin üretim sürecinin gözlemlenememesi bu platforma özgü bir dezavantajdır. Ancak planlanan üç aşamalı geri bildirim yöntemi ile örtülü kalan üretim sürecinin okunması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan ankete katılım istatistikleri analize izin verecek büyüklükte olmasa da katılımcıların süreç ve ürün algısının iki faz arasında nasıl değiştiği hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanı sıra süreç ve ürünleri sistematik olarak yorumlamaya teşvik ettiği için, katılımcıların maket yaparken edindikleri fikir ve izlenimlerin somutlaşmasına ve daha net olarak ifadesine katkıda bulunmaktadır.

Üç boyutlu model üretim tekniği konusunda özgür bırakılmalarına karşın katılımcıların hepsi maket ile çalışmayı tercih etmiştir. Bu durum yazarların geçmiş çalıştay tecrübelerine göre farklılık göstermektedir. Bu durumu günümüz perspektifinden, Covid-19 salgını boyunca uzaktan eğitim ile öğrencilerin bilgisayara daha fazla bağımlı hale gelmesinin maket gibi dijital harici üretim yöntemlerini avantajlı kılmış olabileceği şeklinde yorumlamak mümkündür.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

İstanbul B Üniversitesi 4. sınıf iç mimarlık öğrencileri ile birlikte yürütülen çevrimiçi çalışmada, öğrencilerin video kaydından izledikleri dans performansı üzerinden hareketleri yorumlaması ve 3 boyutlu model olarak aktarması üzerinde durulmuştur. Öğrenciler 1. fazda video izleme süreci ardından, 2. fazda ise videoyu art arda izleme esnasında model çalışmalarını geliştirmiştir. Model oluşturma aşamasında verilen sürenin kısıtlı olması sebebi ile öğrencilerin çoğunluğunun direkt olarak model üretimine başladıkları görülmüştür. Bu doğrultuda izlemiş oldukları hareketlerin analizini izleme ve model oluşturma aşaması ile eş zamanlı olarak yürüttükleri söylenebilmektedir. Hem 1. model çalışması öncesi, hem de iki model arası eskiz ve sözel metin ile görsel veriyi iki boyuta ve yazıya aktaran öğrenciler az sayıda da olsa bulunmaktadır. Bu doğrultuda, öğrencilerin izleme ve 3 boyutlu model oluşturma aşamaları arasında geçen süreci farklı ele aldıkları, görsel algılarındaki imgeleri katı cisimlere dönüştürmekte kendilerine özgü olan ve kendileri için tasarım aşamasını kolaylaştıran yol seçimine gittiği gözlemlenmiştir. Bu bakış açısı ile, tasarım eğitiminde her öğrenci özelinde yorumlama ve ifade tekniğinin ayrı olduğunun kabul edilmesi, öğrencilerin çalışmalarında izleyecekleri yolu kendi seçimlerine bırakılmasının yaratıcılık parametresini arttıracığı ve sürecin daha verimli ilerlemesine katkı sağlayacağı söylenebilmektedir.

Birinci fazda üretilen ürünler kısa-zamanlı hafızaya dayalı olarak üretildiğinden, süreç öğrenciler tarafından daha soyut ve heyecanlı, hareketler daha sert (geçişler), ve daha dar alana yayılıyor olarak algılanmıştır. İkinci fazda üretilen ürünler video sürekli tekrar ederken üretildiği için, öğrenciler dans hareketlerinin taklidine doğru yönelmiştir. Bu yorumun karşılığı hem öğrencilerin ürünlerini ve süreci yorumladıkları yazılı metinlerde kendileri tarafından ifade edilmiş, hem de ürünlerin sayısal ortamda oluşturulan model ile karşılaştırmasında gözlemlenebilmiştir. Bu bağlamda, kısa-zamanlı hafızaya dayalı süreçte üretilen ürünlerde öğrenci yorumlamalarının ve görsel imgelemenin daha fazla olduğu, öğrencilerinin hayal gücünü kullanmaya teşvik ettiği söylenebilmektedir.

Sonuç ürünlerde katılımcıların harekete dair algısal farklılıkları ve seçilen malzemenin etkisi okunmaktadır. Bu aşamada malzemenin ve öğrencilerin malzemeyi ele alış biçiminin tasarım aşamasına olduğu gibi



son ürüne katkısı yadsınamaz şekilde gözlemlenebilmektedir. Aynı öğrencinin birinci faz ve ikinci faz maketlerinde malzeme farklılaşması ile birlikte hareketi ifade ediş şeklinin değiştii görölmektedir, bu durum malzemenin tasarıma etkisini göstermektedir. Aynı malzemeyi kullanan iki öğrencinin maketlerinin ve hareket ifadelerinin tamamen farklı olduğu çalışmalar da bulunmaktadır. Bu noktada da, malzemenin kendisinin tasarıma etkisinden ziyade, öğrencilerin malzemeyi ele alış biçimlerindeki farklılıkların önemi dikkat çekici olmaktadır.

Çalışma yönteminin özgür tutulmasına karşın tüm öğrencilerin maket ile çalışmayı tercih etmesi Covid-19 salgını çerçevesinden yorumlandığında uzaktan eğitim ve artan bilgisayar kullanımı ile dijital ortamların daha az tercih edilebileceği ve öğrencilerin teşvik edildikleri takdirde maket ile çalışma yöntemini daha kolay benimseyebilecekleri şeklinde okumak mümkündür. Bir diğer bakış açısıyla da, kısıtlı ve az süreli çalışmalarda öğrencilerin dijital ortam kullanmaktan ziyade, kendi el becerisi ile şekil verme yöntemine başvurdukları söylenebilmektedir. Dijital ortam kullanımının kişinin bilgi ve becerilerine bağlı olmak kaydıyla tasarım aşamasında zaman yönetimine katkısı olacağı kesinlik taşımaktadır. Ancak, öğrencilerin sınırlı süre içerisinde zihinlerinde kurdukları imgeyi yansıtmak için yazılıma özgü dil ve komutlar aracılığıyla bilgisayara aktarma eylemindense, içgüdüsel bir süreç olan beyin-el koordinasyonu ile yapma eylemine dökmenin daha hızlı sonuç vereceğini hissetmiş olması mümkündür.

Çalışmanın gelecekte tasarım, mekân ve hareket arasındaki incelemelere, form oluşturma çalışmalarına ve hareketin ifadesinde malzemenin önemine dair araştırmalara katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Farklı hareket verileri ile çalışmanın devam ettirilmesi planlanmaktadır.

## Referanslar (References)

Anderson, J. (1992). *Ballet & Modern Dance: A Concise History (Vol. 2)*. New Jersey: Princeton Book Company.

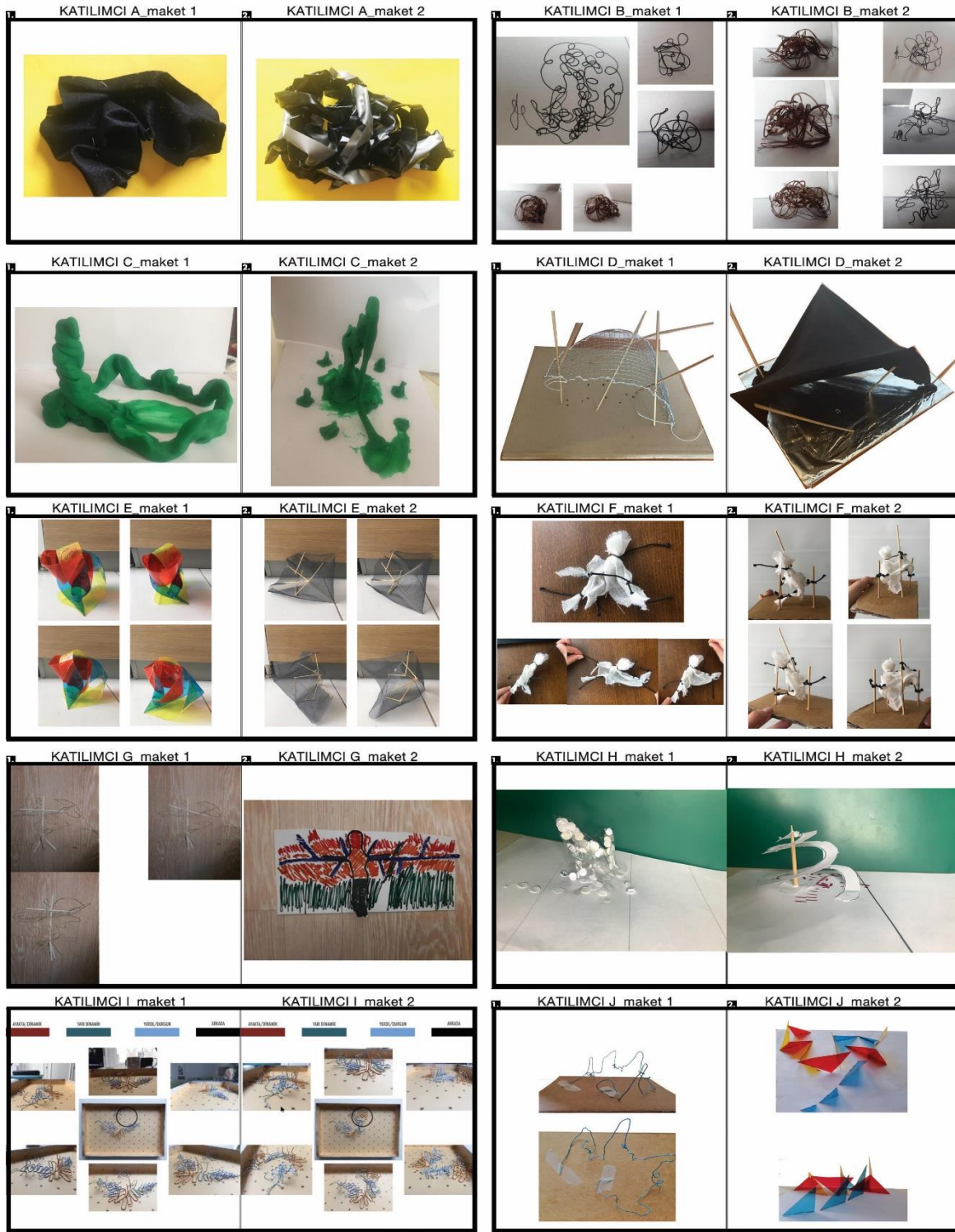
Anderson, R. E., & Helstrup, T. (1993). Visual discovery in mind and on paper. *Memory & cognition*, 21(3), 283-293.  
<https://doi.org/10.3758/bf03208261>

- Bilda, Z. Gero, J. S. & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, 27 (5), 587-613.  
<https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.02.002>
- Goldschmidt (1994). On visual design thinking: the vis kids of architecture. *Design Studies* 15 (2), 158-174.  
[https://doi.org/10.1016/0142-694x\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0142-694x(94)90022-1)
- Guest, A. H. (1990). Dance Notation. *Perspecta* , 26, 203-214, USA.
- Marks, D. F. (1999). Consciousness, Mental Imagery and Action, *British Journal of Psychology*, 90, 567-585. <https://doi.org/10.1348/000712699161639>
- McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2007). Measuring visual imagery ability: A review. *Imagination, Cognition and Personality*, 26(3), 191-211.  
<https://doi.org/10.2190/3515-8169-24j8-7157>
- Ozer, D. G., & Kavakoglu, A. A. (2017). Movement as a design parameter: studio works 2014–2016. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 12(2), 194-203. 1-10 <https://doi.org/10.2495/dne-v12-n2-194-203>
- Richardson, A. (1994). *Individual Differences in Imaging: Their Measurement, Origins and Consequences*, Baywood, New York.
- Kirkan, S. & Çağdaş, G. (2019). Dans Hareketi Verilerinin Sayısal Ortamda Forma Dönüştürülmesi. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 1(1), 11-34.
- Kirkan, S. (2015). Dans Hareketi Verilerinin Sayısal Ortamda Forma Dönüştürülmesi (Master Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kokotovich, V. & Purcell, T. (2000). Mental synthesis and creativity in design: an experimental examination. *Design Studies*. 21 (5), 437-449.  
[https://doi.org/10.1016/s0142-694x\(00\)00017-x](https://doi.org/10.1016/s0142-694x(00)00017-x)
- Stathopoulou, D. (2011). *From Dance Movement to Architectural Form* [PhD Thesis, Master of Philosophy University of Bath, Department of Architecture and Civil Engineering], United Kingdom.

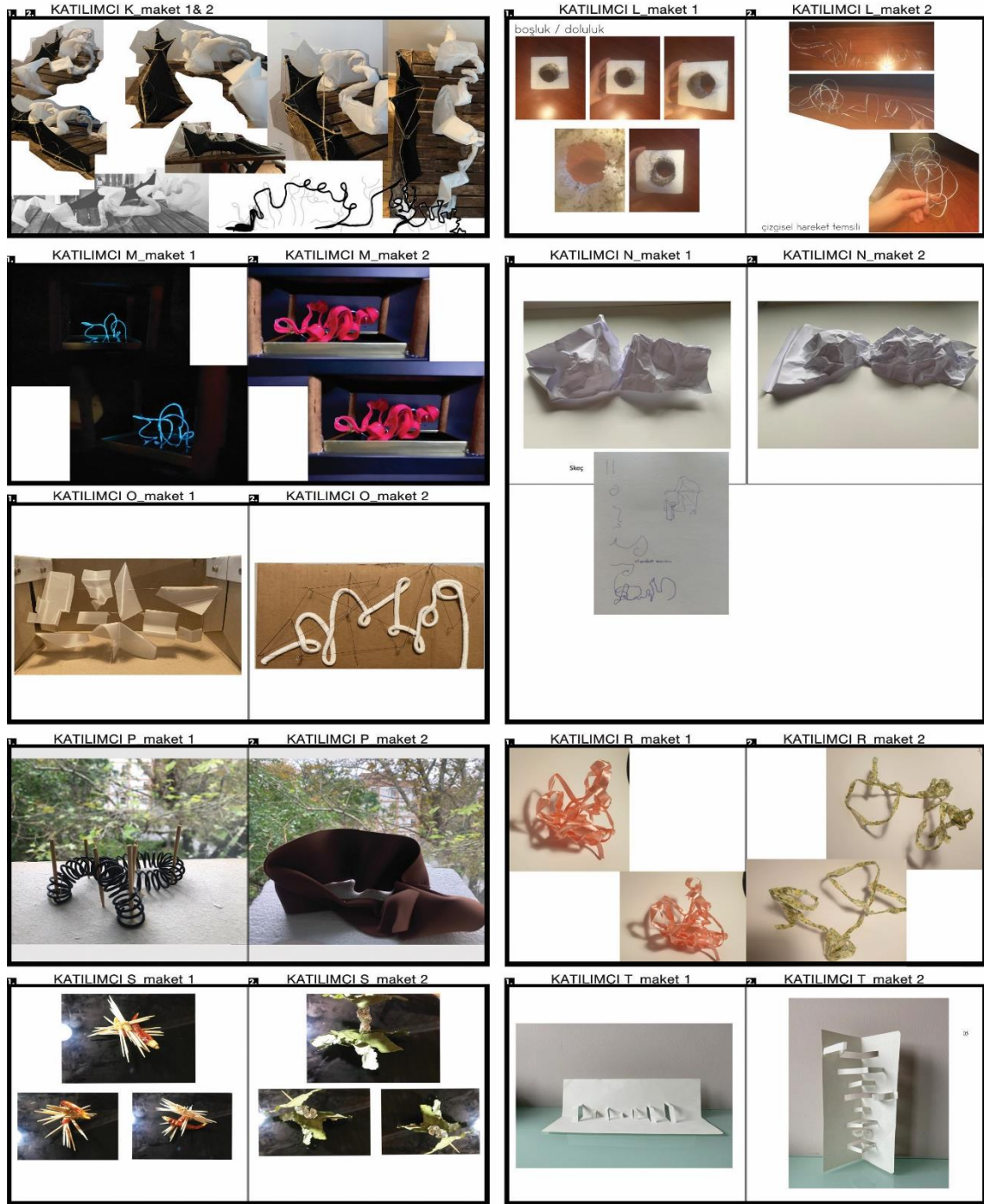
## EK A (Appendix)

Şekil A.1: Katılımcıların hareket modelleri (Movement models of participants).

Katılımcıların çalışmada ürettikleri modeller Şekil A.1 ve A.2’de verilmiştir.



Şekil A.2: Katılımcıların hareket modelleri (Movement models of participants).





# User Interactive Wall Design Using Music Data

S. Ayça Metin<sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-7817-273X<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Throughout history, the discipline of music and architecture have emulated each other. These imitations fed and carried both branches of art further. With the development of computational design methods in the era of digitalization, these imitations have been replaced by more homogeneous, interdisciplinary studies by blurring the line between both branches of art. This study is about visualizing the fluid structure of music on a wall, which is an architectural element. Within the scope of the study, a user and music interactive wall was designed by taking the amplitude data of the music that is activated by the user's touch and played in the environment at the sequence of user interaction, and using this data as the input of the cellular automata rule sets. This designed wall consists of equal panels, and as the user touches these panels, bringing the cells to life. The wall panels that have become alive are represented with a unique color code for each user. By using the neighborhood relations of a cellular automaton, a single wall panel, which is affected by the user, can display an expanding and damping character on the neighbor wall panels in direct proportion to the increase and decrease of the music amplitude. At this point, the cellular automaton has been used as an intermediary instrument to represent sound waves. The motives that are visualized in a continuous motion with music and user interaction, are examined under the concept of emergence. The design was coded in the node-based visual command interface Blueprint and, the simulation is running in Unreal Engine 4.26. It is hoped that this preliminary study can become a form-finding tool for further studies beyond just the visualization of music.

**Received:** 10.07.2021

**Accepted:** 26.09.2021

**Corresponding Author:**

[aycmetin@yahoo.com](mailto:aycmetin@yahoo.com)

Metin, S. A. (2021). User interactive wall design using music data. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 173-198.

<https://doi.org/10.53710/icode.969320>

**Keywords:** Musical Interaction, Interactive Exhibition, Cellular Automata, Music and Architecture, Emergence

173

# Müzik Verilerini Kullanan Kullanıcı Etkileşimli Duvar Tasarımı

S. Ayça Metin <sup>1</sup>

ORCID NO: 0000-0002-7817-273X <sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Tarih boyunca müzik ve mimarlık disiplini birbirine öykünmüştür. Bu öykünmeler her iki sanat dalını da beslemiş ve daha ileri taşımıştır. Dijitalleşme çağında hesaplamalı tasarım yöntemlerinin gelişmesi ile bu öykünmeler yerini her iki sanat dalı arasındaki çizgiyi silikleştirerek daha homojen, disiplinler arası çalışmalara bırakmıştır. Nitekim bu çalışmada müziğin akışkan yapısının mimari bir öge olan duvar üzerinde görselleştirilebilmesi üzerinedir. Bu çalışmada, kullanıcı etkileşimi anında ortamda çalan müziğin anlık genlik verilerini çekerek bu verilerin hücresele özdevinim kural setlerinin girdisi olarak kullanan, kullanıcı ve müzik etkileşimli bir duvar tasarlanmıştır. Tasarlanan bu duvar eşit panellerden oluşmaktadır ve kullanıcı bu panellere dokunarak, dokunduğu hücreleri canlı duruma getirmektedir. Canlı duruma getirilen paneller, her bir kullanıcı için özel bir renk kodu ile temsil edilmektedir. Hücresele özdevinimin komşuluk ilişkilerinden faydalanarak, kullanıcının etkilediği tek bir panelin ortamda çalan müziğin genliğinin artışı ve azalışı ile doğru orantılı olarak komşu duvar panelleri üzerinde yayılmacı ve sönümlenen karakter gösterebilmesi sağlanmaktadır. Bu noktada hücresele özdevinim, ses dalgalarını temsil edecek bir aracı enstrüman olarak kullanılmıştır. Müzik ve kullanıcı etkileşimi ile sürekli bir devinim halinde duvar üzerinde ortaya çıkan motifler belirme kavramı altında incelenmiştir. Tasarım düğüm tabanlı görsel komut arayüzü Blueprint'te kodlanmış ve simülasyon Unreal Engine 4.26 içerisinde çalıştırılmıştır. Yapılan bu ön çalışma müziğin yalnızca görselleştirilmesinin ötesinde daha ileri çalışmalar için bir form bulma aracı haline gelebileceğini ummaktadır.

**Teslim Tarihi:** 10.07.2021

**Kabul Tarihi:** 26.09.2021

**Sorumlu Yazar:**

[aycmetin@yahoo.com](mailto:aycmetin@yahoo.com)

Metin, S. A. (2021). Müzik verilerini kullanan kullanıcı etkileşimli duvar tasarımı. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 173-198. <https://doi.org/10.53710/jcode.969320>

**Anahtar Kelimeler:** Müzik Etkileşimi, Interaktif Sergi, Hücresele Özdevinim, Müzik ve Mimarlık, Belirme

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Müzik ve mimarlık disiplini ortak paydada çok fazla terim ve yaklaşım barındırmaktadır. Ritim, armoni, oran gibi kavramlar müzik alanında da mimarlıkta da benzer ifade biçimleri olarak kullanılmaktadır. Goethe müzik ve mimarlık ilişkisi için “Mimari, dondurulmuş müziktir ve müzik akan mimaridir” tanımlamasında bulunmuştur (1749-1832). Deleuze ise bu ilişkiyi, sesin görüntü kadar mekansal olduğu ve sesli olmayan malzemelerin de müziğe dahil olduğu yönünde yorumlamıştır (Baker, 1996) Goethe'nin yaşadığı dönemde mimarlık statik bir heykel olarak inşa edilirken, gelişen teknoloji sayesinde günümüzde antitezi sayılabilecek çalışmalara rastlanmış ve “mimarlık da müzik kadar akışkandır” savı üzerinde çalışma kapsamı şekillendirilmiştir. Bu savdan yola çıkılarak, müzikal kompozisyonların mimari bir eleman olan duvar üzerinde görselleştirilmesi üzerine çalışılmıştır.

Tasarlanan duvar eşit panellerden oluşmaktadır ve her bir panel hücresel özdevinimde olduğu gibi etrafındaki panellerle komşuluk ilişkisi kurarak bir hücre gibi davranmaktadır. Müzik kadar akışkan bir görselleştirmenin var olabilmesi için panellerin çevresi ile etkileşimde olması, müzikle eş zamanlı bir biçimde yayılan ve sönümlenen karakter göstermesi gerekmektedir. Bu nedenle hücresel özdevinim, çalan müziğin anlık karakterini temsil edecek biçimde farklı kural setleri tanımlama aracı olarak kullanılmıştır.

Çalışmada hedeflenen akışkanlık temsili iki tasarım girdisi sayesinde var olmaktadır; ortamda çalan müziğin yüksekliğinin sayısal değeri ve kullanıcı etkileşimleri. Kullanıcı etkileşimi ile çalışmaya başlayan hücresel özdevinim kuralları, müziğin anlık yüksekliği ile değişmektedir. Bu iki değişkenin, zaman çizgisinde lineerlikten uzak dinamik karakter gösterdiği göz önünde bulundurulduğunda duvar üzerinde üretilen motifler, çalan müzik ve kullanıcı etkileşimleriyle ön görülemez biçimde farklı varyasyonlarla doğmaktadır. Beliren bu motiflerin müzikle zaman kayması yaşamadan okunabilmesi için simülasyon teknolojisi mevcut programlara görece daha gelişmiş olan Unreal Engine 4.26 içerisinde çalışma tamamlanmıştır. Unreal Engine içerisinde düğüm tabanlı bir kodlama arayüzü olarak çalışan Blueprint'te çalışmanın algoritması kurulmuştur.

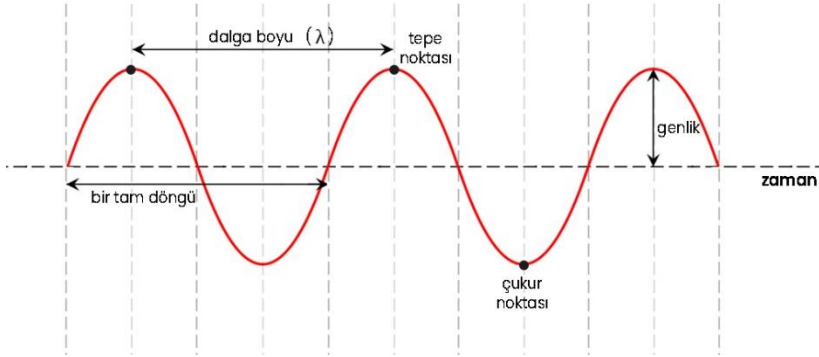


## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Bu çalışma kapsamında, müziğin temsili noktasında çekilecek olan ses verisinin belirlenmesi için ses dalgalarının ölçülebilir bileşenleri araştırmalara dahil edilmiştir. Müzik ve mekan ilişkisi tarihsel süreç içerisinde okunmuş, güncel gelişmeler araştırılmıştır. Proje çıktılarının değerlendirilebilmesi adına belirme kavramı uygulama örneği üzerinden araştırmalara dahil edilmiştir.

### 2.1 Müzik ve Ses Dalgaları (Music and Sound Waves)

Ses, ortamda (tipik olarak hava) titreşimle yayılan bir dalgadır. Müzik ise insanlar tarafından organize edilen, anlamlı sesler bütünüdür. Müziği gürültüden ayıran temel nokta çıkan ses dalgalarının düzenlenmesidir. Ses dalgalarının boyu sesin frekansını belirler. Frekans, ses dalgalarının saniyedeki titreşim sayısının ölçüsüdür ve birimi Hertz (Hz)'dir. Dalga boyu, bir ses dalgasının bir tam döngüsünde kat ettiği mesafedir (**Şekil 1**). Dalga boyu ve frekans ters orantılıdır. Dalga boyu yükseldikçe frekans küçülür, daha kalın sesler duymamıza neden olur.



**Şekil 1:** Zaman içerisinde yayılan bir ses dalgasının grafiksel temsili (Graphical representation of a soundwave spread over time).

Genlik ise ses dalgasının yüksekliğinin (tepe ve çukur noktası arasındaki farkın) yarısıdır (**Şekil 1**). Ses dalgalarının genliğinin büyük olması daha yüksek, şiddetli ses duymamıza neden olur. Düşük genlikli sesler ise daha zayıf duyulur. Bir müzik çalarken, ortamda titreşerek yayılan dalga formunun anlık genliği sürekli değişmektedir. Ses genliği desibel (dB) cinsinden ölçülür.

Nota, müzik seslerini belirtmeye, göstermeye yarayan, kararlaştırılmış im, müzik yazısıdır. (Oxford Languages) Müzisyenler, bir notanın yüksekliğini dinamik seviyesi olarak adlandırmaktadır. Notalarda

simgelenen dinamik sembollerle çıkacak sesin yüksekliği belirlenir, bu dinamik seviye ölçülebilen desibel düzeyine karşılık gelir. Dinamik seviye, sayısal veri olarak anlık genlik değeri ile eşleştirilebilir. Temel dinamik terimleri, sembolleri ve anlamları aşağıdaki tabloda (**Tablo 1**) özetlenmiştir.

**Tablo 1:** Temel dinamik terimleri, sembolleri ve anlamları listesi (List of basic dynamic terms, symbols and meanings).

Terim	Sembol	Anlam
<i>pianississimo</i>	<i>ppp</i>	olabildiğince hafif, sessiz
<i>pianissimo</i>	<i>pp</i>	çok hafif, sessiz
<i>piano</i>	<i>p</i>	hafif sesle
<i>mezzo piano</i>	<i>mp</i>	orta derecede hafif
<i>mezzo forte</i>	<i>mf</i>	orta derecede güçlü
<i>forte</i>	<i>f</i>	güçlü, sesli
<i>fortissimo</i>	<i>ff</i>	forte'den daha güçlü
<i>fortississimo</i>	<i>fff</i>	olabildiğince güçlü ve sesli

## 2.2 Belirme ve Tasarım (Emergence and Design)

Herbert A. Simon belirme kavramını, sistemlerin alt bileşenlerinin ayrı ayrı var olmayan karşılıklı ilişkilere sahip olduğu şeklinde açıklamıştır (Simon & Laird, 2019). Simon'a göre alt sistemler ve sistem bileşenleri yeni sistem özellikleri ve ilişkileri doğurur ve bu belirme durumu mekanik açıklamaları reddeden yaratıcı bir durumdur. Tom Wiscombe (2005) ise; görece basit parçaların görece basit etkileşimler sonucu iyi organize olmuş, kuvvetli bütünlük oluşturması şeklinde tanımlamıştır. Bu tanımlamalardan yola çıkarak belirme kavramını holizm (bütünsellik) görüşü ve sistem teorisi ile ilişkilendirerek açıklamak mümkündür.

Holizm, ilk defa General Jan Christiaan Smuts tarafından, Holizm ve Evrim kitabında "doğada evrimsel süreç geçiren parçaların kendi toplamından daha büyük bütünlük oluşturma eğiliminde olması" şeklinde tanımlanmıştır (Smuts, 1926). Sistem teorisine göre "bir sistem, ortak bir amaca ulaşmak için organize bir şekilde birlikte çalışan parçalardan oluşan bir ilişkidir" (Buchanan, 2019).

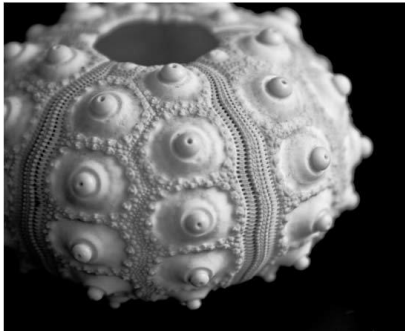
Doğada, canlı ve cansız formlar sistemleri ve birleşerek daha kompleks sistemleri oluşturdukları için belirme durumuna sıklıkla rastlanır. En belirgin ve gözlemlenebilen örneklerinden biri sürü hareketidir. Arılar, balıklar ve kuşlar birleşerek, bireysel davranışların ötesinde örgütlenmiş, kompleks yeni davranışlar sergilerler. **Şekil 2'**de görülen

karınca yuvası kesiti Apicotermes termitleri tarafından inşa edilmiştir. Termitler basit bir dizi kural izleyerek sürü halinde bu karmaşık formu inşa edebilmektedir. (Hensel, Menges & Weinstock, 2012)



**Şekil 2:** Apicotermes termitlerinin oluşturduğu karınca yuvası (solda) ve düşey kesiti (sağda) (An ant nest produced by apicotermes termites and its vertical section) (Hensel, Menges, & Weinstock, 2004).

Doğadaki karmaşık sistemler ve belirme durumları mimarlığa da ilham olmuştur. Biçim bulma çalışmalarının temel hareket noktası doğadaki belirme durumlarıdır. 2011 yılında Hesaplamalı Tasarım Enstitüsü (ICD), Yapı ve Yapısal Tasarım Enstitüsü (ITKE) ve Stuttgart Üniversitesi işbirliği ile deniz kestanelerinin (Şekil 3) iskelet morfolojisini inceleyerek, hesaplamalı tasarım ve simülasyon sistemlerini bu incelemeler ışığında kullandığı ahşap bir pavyon (Şekil 4) inşa etti.



**Şekil 3:** Echinoidea deniz kestanesinin makro çekimi (A macro photo of a sea urchin) (La Magna, Waimer & Knippers 2012).

Deniz kestanesinin iskeletinin plakalardan oluşan bir modüler sistemde olması, bu plakaların birleştirilmesiyle yüksek yük taşıma kapasitesine erişebilmesi ve bağlantılarının kalsit çıkıntılarla gerçekleşmesi gibi morfolojik analizler, tasarım ekibi tarafından pavyonun tasarım kararlarına entegre edilmiştir. Tasarım geleneksel anlamda form oluşturma şeklinde değil, simülasyon ve deneylerle form bulma süreci

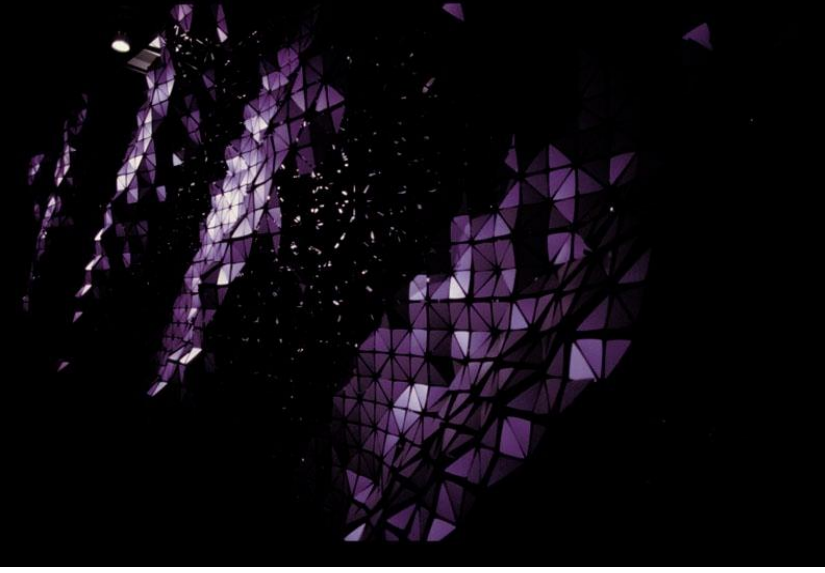
şeklinde tamamlanmıştır. Tasarım sürecinde sonlu eleman simülasyonları ile üretilen formlar analizlenmiş, yapısal laboratuvar testleri gerçekleştirilmiş ve en optimize tasarım robot kollarla üretilmiştir. Bu sayede tasarlanan ahşap yapı yüklere dayanıklı ve hafif bir kabuk haline getirilebilmiştir.

**Şekil 4:** ICD / ITKE Araştırma Pavyonu 2011 (ICD/ITKE Research Pavilion) (Menges, 2011).



### **2.3 Müzik, Veri ve Mekân İlişkisi (The Relationship Between Music, Data and Space)**

Müzik ve mimarlık birbirini tarih boyunca beslemiştir. Vitruvius, “Mimarlık Üzerine On Kitap” kitabında müzikal oranların mimariye yansıtılmasından bahsedilmiştir. Kitabın öğretilerine uygun olarak Alberti, Tempio Malaestiano yapısının cephe tasarımında müzikal oranlar kullanmıştır. Benzer biçimde Mimar Sinan’ın Selimiye Camii’nde düşey oranlarda müzikal oranlar kullandığı gözlenmektedir. Doğrudan oranlamaların ötesinde müzik, mimarlara kompozisyon oluştururken de ilham kaynağı olmuştur. (Holl, Stretto Evi, 1992), (Libeskind, Yahudi Müzesi, 1999).



**Şekil 5:** Aegis Hyposurface dECOi Architects, 2001 (Goulthorpe, Burry & Dunlop, 2001).

2003-2004 yılları arasında Centre Pompidou'da yer alan Standart Olmayan Mimariler sergisinde sergilenen Aegis Hyposurface (**Şekil 5**) çalışması mimarlığın donmuş bir heykel olmasının ötesinde, çevre etkileşimleri ile harekete geçen akışkan bir yapıya bürünebileceğine örnek teşkil etmektedir. Çevreden gelen elektronik uyarılara (hareket, ses, ışık, vb.) gerçek zamanlı bir yanıt olarak fiziksel olarak deforme olma potansiyeline sahip metalik bir yüzey olarak tasarlanan bu enstalasyonda, statik yüzeylerin çevre ile etkileşime geçerek kinetik hale gelebildiği görülmektedir.



**Şekil 6:** WDCH Dreams (Anadol, 2018).

Hesaplamalı tasarım yöntemleri ile günümüzde verileri görünür kılmak mümkün olmaktadır. Refik Anadol'un çalışmalarında makine öğrenmesi ve yapay zekâ ile verilerin mimari yapılarla etkileşime girebildiğini

görebilmekteyiz (**Şekil 6**). WDCH Dreams projesi kapsamında 587.763 görüntü dosyası, 1.880 video dosyası, 1.483 meta veri dosyası ve 17.773 ses dosyası taranmış, makine öğrenmesi sayesinde bu veriler sanatsal olarak yorumlanmış ve ortaya yeni bir görüntü, ses kurgusu çıkmıştır. Bu yeni üretim için Frank Gehry'nin tasarladığı Walt Disney Konser Binasının cephesi tuval olarak kullanılmış, çalışma cepheye projekte edilmiştir.

### **3. AMAÇ, YÖNTEM VE KAPSAM (PURPOSE, METHOD AND SCOPE)**

Bu çalışma kapsamında hesaplamalı tasarım yöntemleri ile mimarlığın yalnızca statik bir katı form olarak kalmadan müzik ve insan etkileşimine girebileceğini gösterme gayesi güdülmektedir. Bu noktada müziğe bir öykünme veya müzikten esinlenen bir konsept kurgulaması yapılmadan, müzik verileri sayısal modelleme ortamında mimarlık eksenli bir görsel temsile dönüştürülmüştür. Müziğin görülemeyen varlığını görünür kılmak için okunan müzik verileri, görsel olarak müzikle birlikte değişen dinamik bir ışık, renk veya harekete dönüştürülebilir. Bu doğrultuda belirlenen bir müzik kaynağından veya kayıttan veriler çekilerek, girdisi çalan müziğin anlık genlik değeri olan kullanıcı etkileşimli bir duvar tasarımı yapmak amaçlanmaktadır.

Çalışmanın geldiği noktada, bu duvar tasarımı fiziksel olarak inşa edilmemiş, bilgisayar ortamında Unreal Engine oyun motoru kullanılarak simüle edilmiştir. Tasarım sürecinde hücrel özdevinimden yararlanılarak, üretken bir sistem kurgulanmıştır. Izgara biçiminde eşit ölçülü panellerden oluşacak olan bu duvar, kullanıcının etkileşime geçtiği panellerden başlayarak (fiziksel üretim halinde kullanıcının panele dokunma durumu simülasyonda fare tıklaması olarak temsil edilmiştir) ortamdaki sesin anlık genliğine göre komşu panellere yayılacaktır.

Tasarım girdisi olarak iki ana değişken kullanılmıştır. Bunlardan ilki çaldığı süre boyunca o andaki genlik değeri ile önceden belirlenmiş hücrel özdevinim kurallarından hangisinin işleyeceğini belirleyen müzik, ikincisi panellere dokundukça hücrel özdevinim kurallarının işletilmesini tetikleyecek olan insan etkileşimi.

Projenin hedeflediği sonuç algoritmik olarak üretilebilecek şekilde kurgulanmış tek bir sistem değildir. Birden fazla sistemin birbiriyle etkileşmesiyle beliren motifler oluşturmak hedeflenmektedir. Bu karmaşık sistemin alt sistemlerinden birinin çıktısı, kullanıcıların panellerle etkileşime geçtiği anda müzikle senkron olarak üreilmeye başlanan motiflerdir. Bir diğer alt sistemin çıktısı ise farklı kullanıcıların farklı anlarda ürettiği motiflerin birbiriyle çarpışması ile beliren yeni motiflerdir.

### **3.1 Hücresel Özdevinim (Cellular Automata)**

Hücresel Özdevinim belirli bir ızgara düzeni ve zaman diliminde, komşu hücrelerin durumlarına göre işleyen bir kurallar dizisine bağlı olarak her biri belirli sayıda tanımlı durumlardan birini temsil eden hücrelerden oluşur (Terzidis, 2006). Bu çalışma kapsamında hücresel özdevinimin seçilme sebeplerinden biri kullanıcının tasarımıyla aktif olarak etkileşime geçmesinin istenmesidir. Merkezi bir odak/kontrol noktası olmadığından, cepheye farklı konumlardan yaklaşan kullanıcılar tasarımıyla etkileşime geçebilirler.

Diğer bir sebep de hücresel özdevinimde komşuluk ilişkilerinin tasarımın bütününe etkiliyor olmasıdır. Her ses dalgasının birbiri üzerinde yarattığı etkinin bu komşuluk ilişkileriyle görselleştirilebilmesi mümkün olabilmektedir. Nitekim hücresel özdevinim de tasarım girdisi olarak alınacak müzikle benzer karakter göstermektedir. Müzik gibi kendi içerisinde bir düzeni, kuralları olan bir noktadan başlayıp artan, azalan, sönümlenen dalgalanmalar gösterebilen bir sistemdir. Bu noktada hücresel özdevinimin bu tasarımı ortaya çıkaracak enstrüman olarak kullanması hedeflenmiştir.

### **3.2 Araçlar, Girdiler ve Akış Şeması (Tools, Inputs and Flowcharts)**

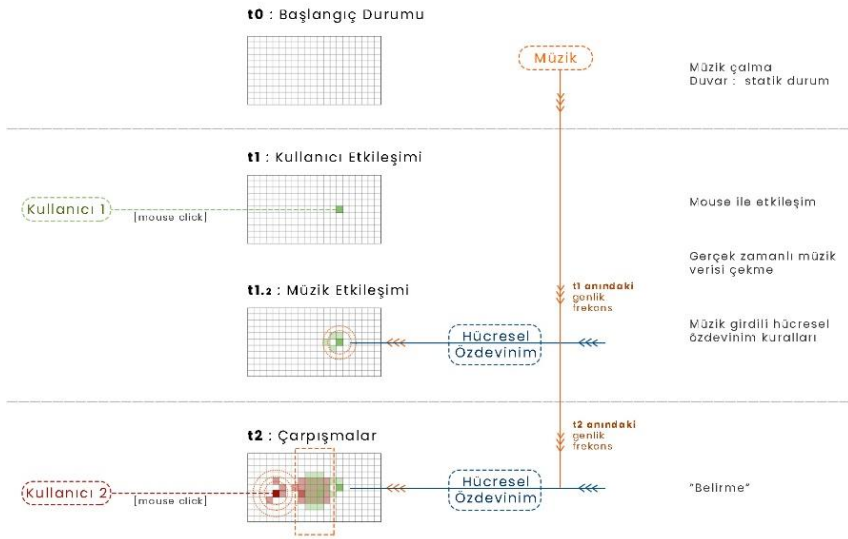
İlk aşamada Queen tarafından bestelenen Bohemian Rhapsody, orkestra ve farklı enstrüman içeriği nedeniyle ses ve ritim zenginliği açısından veri çekilecek parça olarak seçilmiştir. Ses dosyası analizlendikten sonra, her karedeki genlik değerleri sayısal olarak çekilerek tasarımda girdi olarak kullanılmıştır. Girdi haline dönüştürülen genlik değerleri belirlenen hücresel özdevinim kuralları doğrultusunda cephe panellerinde renk değişimi ile tasarıma yansıtılmıştır.

Bu çalışma kapsamında her bir cephe paneli bir hücre olarak tanımlanmış, müzik şiddetine göre komşuluk ilişkileri ve etki yoğunluğu belirlenerek, müziğin hissettirdiği etkinin görselleştirilmesi üzerine geliştirilmiştir. Komşuluk ilişkileri, genliği fazla olan ses dalgasının etkilediği ve renklendirdiği komşu hücreler de diğer ses dalgalarına nazaran daha fazla olacak şekilde belirlenmiştir. Böylece o anda çalan müziğin genliği ve duvar üzerindeki hücre yayılımı doğru orantılı hale getirilmiştir.

Çeşitli denemeler ardından çalışmanın Unreal Engine arayüzü üzerinden devam edilmesine karar kılınmıştır. Bu kararın ana sebeplerinden biri Grasshopper arayüzünün gerçek zamanlı simülasyon yetisinin olmaması nedeni ile burada gerçekleştirilen denemelerin başarısız sonuçlanmasıdır. Bu başarısız denemeler sonucunda çalışmayı bu olanağı sunan Unreal Engine içerisinde çalışan Blueprint (Unreal Engine Documentation, 2021) kodlama arayüzüne taşıma kararı alınmış ve çalışmanın strüktürü burada yeniden kurulmuştur.

Çalışma okuma ve yazma kolaylığı açısından sekanslara bölünmüş ve her sekansda hangi girdilerin tasarıma dâhil edileceği çözümlenmiştir (**Şekil 7**). Başlangıç durumu için statik haldeki sergi duvarını temsil edecek olan eşit ölçülerdeki karelerden oluşan ızgara modellenmiştir. Daha sonra sistemin komşuluk ilişkileri ile yönlendirilebilmesi için bu kareler sayısal ortamda hücreler olarak tanımlanmış ve ızgara sistemi bütünü ile iki boyutlu bir matrisin temsili olarak atanmıştır. Daha sonra t1 anında aktif olarak işletilecek olan hücresel özdevinim kuralları belirlenmiştir, t1 sekansında, statik halde duran duvar ile kullanıcı etkileşimi başlamaktadır. Bu etkileşim modelleme ortamında fare tıklaması olarak temsil edilmiştir. Blueprint içerisinde, çalışma başında oluşturulan her bir hücre fare ile tıklanabilecek şekilde kodlanmıştır.



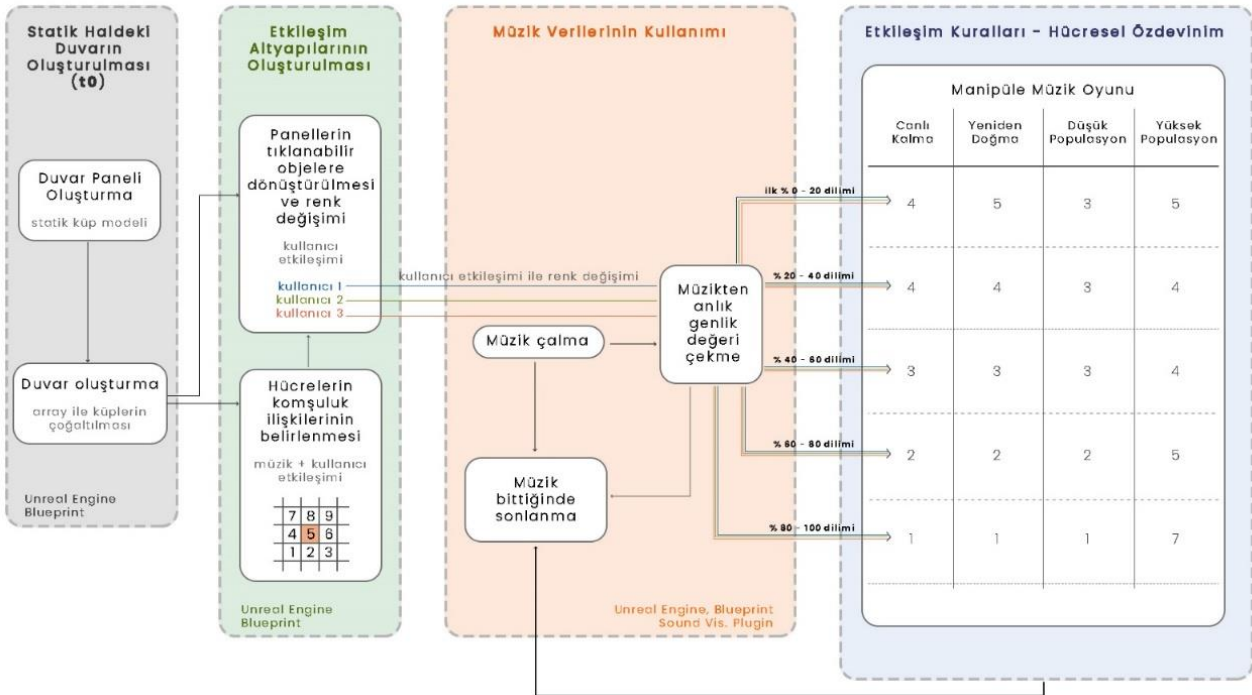


**Şekil 7:** Çalışmanın sekans diyagramı (Sequence diagram of the study) .

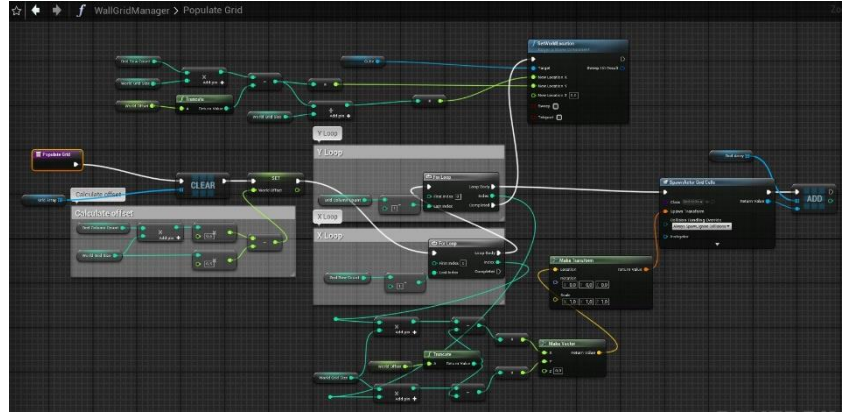
### 3.3 Algoritma (Algorithm)

Bir önceki bölümde sekans anlatılan akış bu bölümde arka planda çalıştırılan algoritmalar ile detaylandırılmıştır (Şekil 8).

**Şekil 8:** Algoritmaların genel akış diyagramı (Flow diagram of the algorithms) .

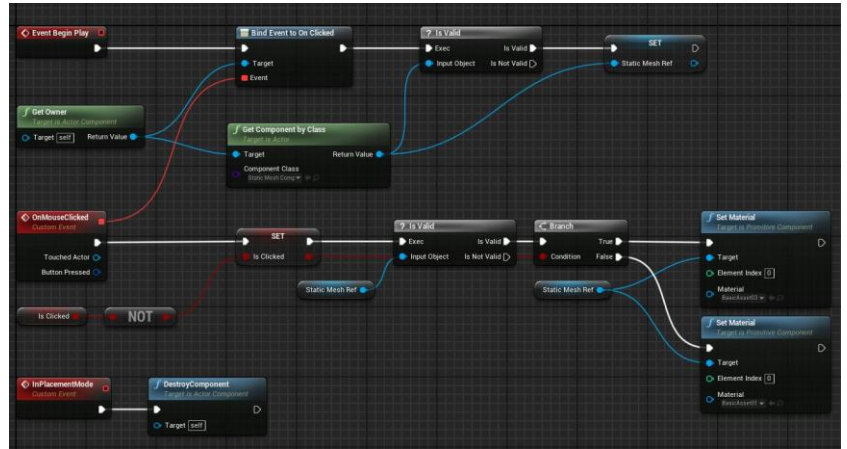


İlk aşamada Unreal Engine modelleme arayüzü içerisinde bir adet küp modeli oluşturulmuş ve daha sonra Blueprint kodlama arayüzünde bu küp modeli array halinde çoğaltılarak, her biri eşit panellerden oluşan bir duvar meydana getirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9: Eşit ölçülü panellerden oluşan duvarın Blueprint kodlama arayüzünde oluşturulması. (Creation of the wall equally panelized in Blueprint interface ).

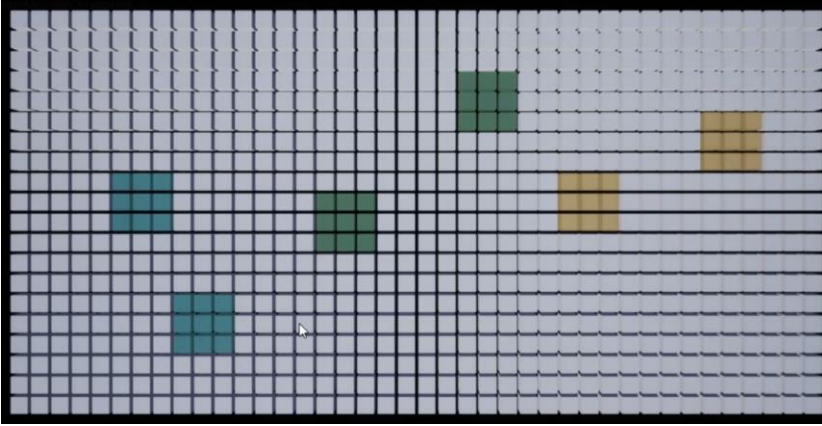
İkinci etapta, panellerin kullanıcı etkileşimine girebilmesi için simülasyon esnasında kullanıcı hareketlerini algılayabilen ve karşılığında tepkimeye girebilen objelere dönüşmesi gerekliliği nedeni ile sayısal ortamda bu etkileşimler, panellerin fare ile tıklanabilir objelere dönüştürülmesiyle temsil edilmiştir (Şekil 10).



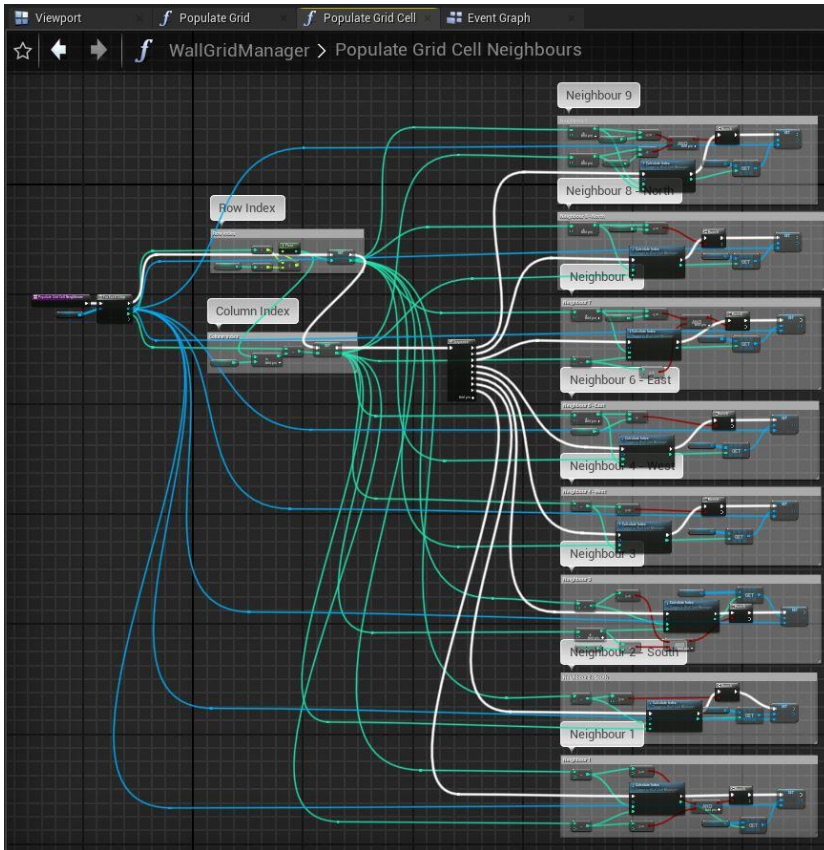
Şekil 10: Duvar panellerinin kullanıcı etkileşimlerini temsil eden tıklanabilir objelere dönüştürülmesi. (Creation of the wall equally panelized in Blueprint interface ).

Öte yandan birden çok kullanıcının duvar ile etkileşime geçeceği düşünülerek, mevcut sistemde 3 adet kullanıcı farklı renkleri temsil edecek şekilde tanımlanmıştır. Bu farklı etkileşimlerin simülasyon esnasında aktif hale gelebilmesi için kullanıcı 1'i temsilen mavi renk klavyeden 1 tuşu ile, kullanıcı 2'yi temsilen yeşil renk klavyeden 2 tuşu ile, kullanıcı 3'ü temsilen turuncu renk klavyeden 3 tuşu ile aktif hale

gelecek şekilde kodlanmıştır (Şekil 11). Her bir kullanıcıya farklı renklerin atanmasının sebebi görsel olarak hangi kullanıcının hangi hücreleri canlı hale getirdiğini duvar üzerinde net olarak gözlemleyebilmektir. Nitekim projenin ana hedeflerinden biri kullanıcıların canlı hale getirdiği hücrelerin süreçte birbiri ile komşuluk ilişkisi kurdunda oluşturduğu beliren motiflerle interaktif ve akışkan bir tasarım ortaya koymaktır.

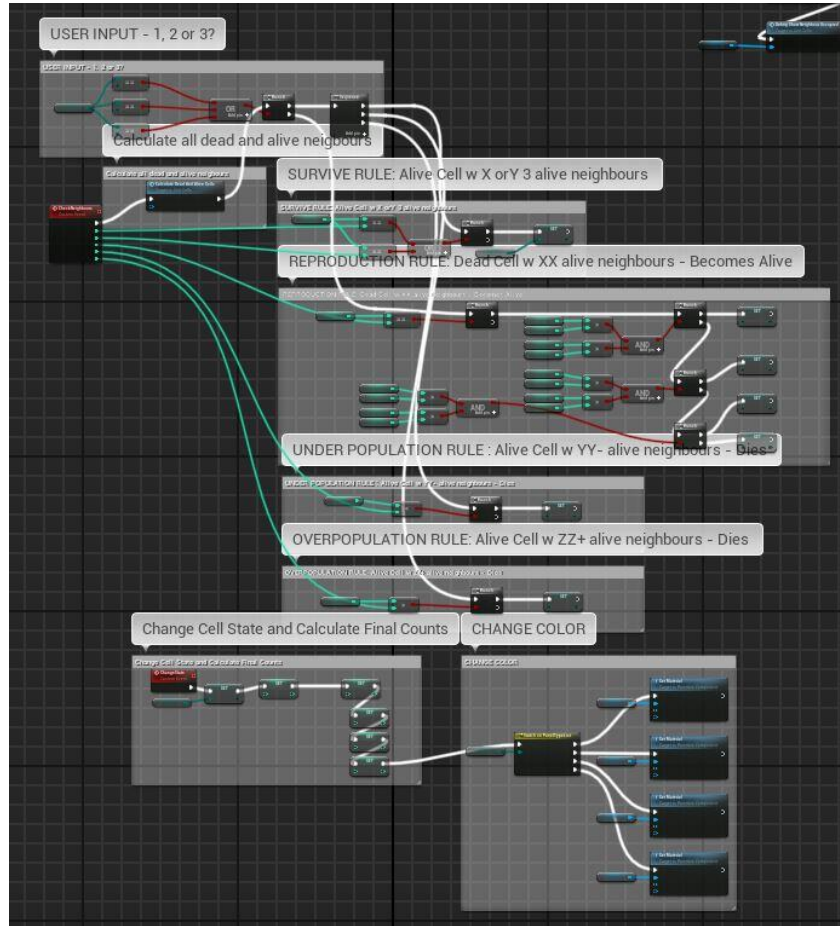


**Şekil 11:** Farklı kullanıcıların etkileşimlerinin duvar üzerinde farklı renklerle temsil edilmesi. (Kullanıcı 1 – mavi, kullanıcı 2 – yeşil, kullanıcı 3 – turuncu.) (Representation of the interactions of each users with the different colors).



**Şekil 12:** Hücrelerin komşuluk ilişkilerinin tanımlanması. (Defining the cells' neighbourhood relationships).

Şekil 11’de de görüldüğü üzere, sistemin hücresel özdevinim kuralları ile çalışabilmesi amacıyla her bir hücre için komşuluk ilişkileri tanımlandı (Şekil 12). Bu sayede her bir hücreye, t0 durumundaki bir fare tıklaması yani kullanıcı etkileşimi ile etrafındaki 8 komşu hücre ile birlikte aktifleşebildiği ilk başlangıç şekli atandı.

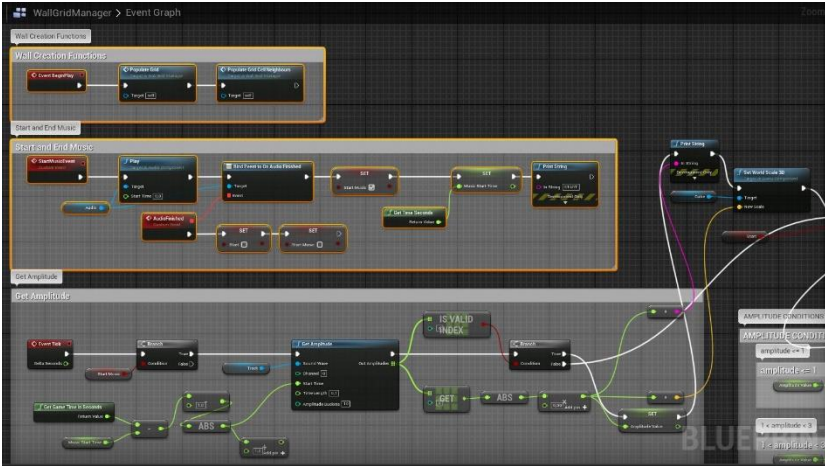


Şekil 13: Hücresel özdevinim kurallarının fonksiyonlaştırılması. (Functionalization of the rules of cellular automata).

Bir sonraki aşamada sistemin hücresel özdevinim kuralları ile doğru çalışıp çalışmadığını görmek adına en bilinen örneklerinden biri olan Conway’in Hayat Oyunu (1970) kuralları tanımlandı. Hayat oyunu kuralları ile sistemdeki komşuluk ilişkilerinin ve hücresel özdevinim kurallarının doğru çalıştığından emin olunduktan sonra, hücresel özdevinim kuralları; hayatta kalma, yeniden doğma, yalnızlaşma ve kalabalıklaşma olmak üzere 4 alt kural başlığı ile bir fonksiyon haline getirildi (Şekil 13). Bu fonksiyonlaştırmanın sebebi, bir ileriki aşamada müzik verileri ile bu kuralların rahat bir şekilde değiştirilebilmesi ve çoğaltılabilecekti. Bu fonksiyon içerisinde her bir kullanıcı adına Şekil

11’de gösterildiği gibi tanımlanan farklı renklerin, hücresel özdevinim kuralları aktifleştirdiğinde de etkilediği hücrelerin kendi tanımlı renkleri ile devam edecek şekilde malzeme parametresi de tanımlanmıştır. Bu parametre ile ileriki aşamada kullanıcı çarpışmalarının doğurduğu yeni belirmelerin daha rahat gözlemlenebilmesi amaçlanmıştır.

Hücresel özdevinim kuralları fonksiyonlaştırıldıktan sonra bu kuralların müzik verileri ile işletilebilmesi adına simülasyon esnasında müziğin çalması ve müzik çalarken senkronize bir biçimde verilerinin kodlama arayüzünde okutulması ve işletilmesi koşulları tanımlandı (Şekil 14). Müzik çalarken sürekli değişen genlik verilerinin doğruluğundan emin olmak için bu sayısal veriler hem ekrana bastırıldı hem de ekran üzerinde tanımlanan bir küpün ölçek değerine bu veriler bağlanarak, senkronizasyon ve doğruluk testi yapıldı. Bu test küpünün, müziğin genliğinin arttığı anlarda çok büyüdüğü ve azaldığı anlarda küçüldüğü, doğru orantılı olarak çalıştığı gözlemlendi.



**Şekil 14:** Simülasyon esnasında müzik çalma ve müzik verilerinin senkron biçimde okunması. (Playing music and reading music data in synchronize during the simulation).

Doğruluk testi tamamlandıktan sonra Şekil 13’te tanımlanmış olan hücresel özdevinim fonksiyonu çağrıldı ve çalan müzikle birlikte hücresel özdevinim kuralları anlık olarak çekilen genlik değerlerine bağlanarak çalıştırıldı. Genlik değerinin kullanılmasının ana sebebi müzikteki dinamiklik kavramı ile ilişkilendirilebilir olmasıdır. Çalışmada kulağın algıladığı müziğin sesi ile gözün algıladığı panel renklerinin yayılma durumunun eş zamanlı olabilmesi için hücresel özdevinim kurallarının genlik değerlerine göre dinamiklik göstermesi şarttı. Aksi takdirde sistem yalnızca hücresel özdevinim kurallarına göre işleyecek ve müziğin akışkanlığının yaratacağı belirme motifleri gözlemlenemeyecekti. Bu nedenle daha önce müzik ve ses dalgaları

(Bölüm 2.1) araştırmalarında bahsedilen müzikteki temel dinamik seviyeleri tablosu (Tablo 1) beş grupta toplandı ve yüzdesel olarak anlık genlik değerleri ile eşlendi.

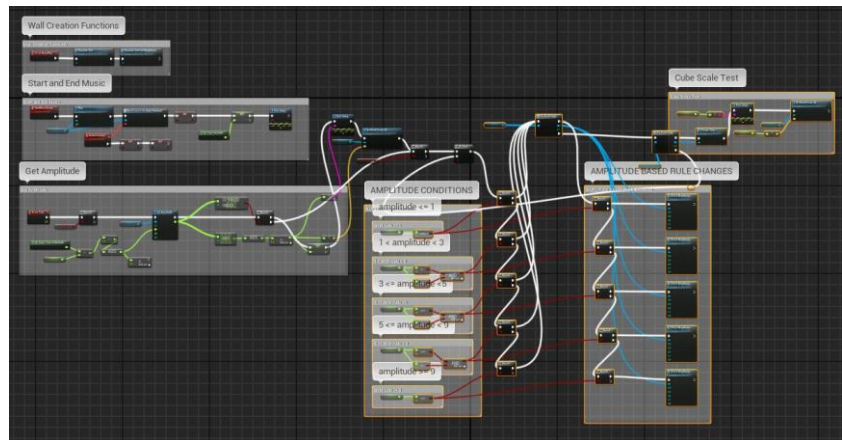
Genlik dilimi	Terim	Sembol	Anlam
% 0 - % 20	pianississimo	<i>ppp</i>	olabildiğince hafif, sessiz
	pianissimo	<i>pp</i>	çok hafif, sessiz
% 20 - % 40	piano	<i>p</i>	hafif sesle
% 40 - % 60	mezzo piano	<i>mp</i>	orta derecede hafif
	mezzo forte	<i>mf</i>	orta derecede güçlü
% 60 - % 80	forte	<i>f</i>	güçlü, sesli
% 80 - % 100	fortissimo	<i>ff</i>	forte'den daha güçlü
	fortississimo	<i>fff</i>	olabildiğince güçlü ve sesli

**Tablo 2:** Müzik dinamiğinin genlik yüzdeleri ile eşlenmesi (Pairing the music dynamic with amplitude ratios).

Öncelikle çalan müziğin en düşük ve en yüksek genlik değeri üzerinden akan genlik verileri yüzdelik dilimlere bölünerek, en düşük (sıfır) genlik değerinden, en yüksek genlik değerine kadar yüzde yirmilik 5 adet dilime bölünerek (Tablo 2), 5 farklı hücrel özdevinim kuralı çalıştırıldı (Şekil 15). Düşük genlik değerlerinde daha az hayatta kalan, yüksek genlik değerlerinde ise daha yayılcı ve hayatta kalma oranı yüksek hücreler elde edebilmek için kurallarda bu farklılaşmaya gidildi.

En düşük ilk yüzde yirmilik genlik değerindeki kural setinde;

- Canlı hücrelerin 3'den az canlı komşu hücresi var ise ölmesine,
- 4 canlı komşu hücresi var ise hayatta kalmasına,
- 5'den çok canlı komşu hücresi varsa ölmesine;
- Ölü hücrelerin 5'den fazla canlı komşu hücresi var ise canlanmasına karar verilmiştir.



**Şekil 15:** Hücrel özdevinim kurallarının müzik genlik değerine göre anlık olarak değiştirilmesi (Simultaneous change of cellular automata rules in accordance with the music amplitude values).

İkinci yüzde yirmilik genlik değerindeki (%20-40) kural setinde;

- Canlı hücrelerin 3'den az canlı komşu hücresi var ise ölmesine,
- 4 canlı komşu hücresi var ise hayatta kalmasına,
- 4'den çok canlı komşu hücresi varsa ölmesine;
- Ölü hücrelerin 4'den fazla canlı komşu hücresi var ise canlanmasına karar verilmiştir.

Üçüncü yüzde yirmilik genlik değerindeki (%40-60) kural setinde;

- Canlı hücrelerin 3'den az canlı komşu hücresi var ise ölmesine,
- 3 canlı komşu hücresi var ise hayatta kalmasına,
- 4'den çok canlı komşu hücresi varsa ölmesine;
- Ölü hücrelerin 3'den fazla canlı komşu hücresi var ise canlanmasına karar verilmiştir.

Dördüncü yüzde yirmilik genlik değerindeki (%60-80) kural setinde;

- Canlı hücrelerin 2'den az canlı komşu hücresi var ise ölmesine,
- 2 canlı komşu hücresi var ise hayatta kalmasına,
- 5'den çok canlı komşu hücresi varsa ölmesine;
- Ölü hücrelerin 2'den fazla canlı komşu hücresi var ise canlanmasına karar verilmiştir.

En yüksek yüzde yirmilik genlik değerindeki (%80-100) kural setinde;

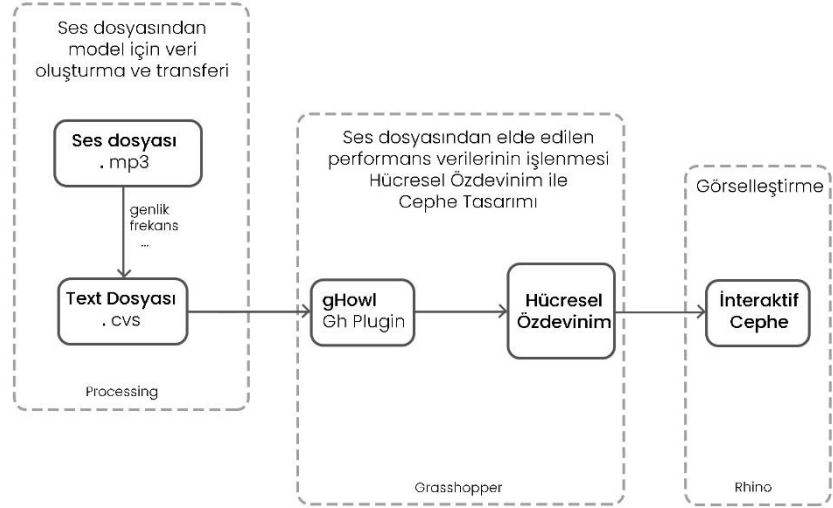
- Canlı hücrelerin 1'den az canlı komşu hücresi var ise ölmesine,
- 1 canlı komşu hücresi var ise hayatta kalmasına,
- 7'den çok canlı komşu hücresi varsa ölmesine;
- Ölü hücrelerin 1'den fazla canlı komşu hücresi var ise canlanmasına karar verilmiştir.

Bu kural setleri sayesinde, kullanıcının etkileştiği panel (hücre) sayısı müzik çaldıkça sesin gücüyle doğru orantılı olarak değişmekte ve müzik devam ettiği sürece ön görülemeyen yeni motifler üretebilmektedir.

#### **4. DENEMELER (EXPERIMENTS)**

Çalışma başlangıcında bütün akış şeması Rhinoceros ile birlikte çalışan Grasshopper plugini üzerinden kurgulanmıştır (**Şekil 16**). Belirlenen çalma parçası Processing (Processing Sound, 2021) kodlama arayüzünde analizlenerek her karedeki genlik ve frekans değerleri csv dosyası olarak kaydedilmiştir. Ses dosyalarından model oluşturmak için

gerekli performans verileri bir text dosyası olarak kaydedildikten sonra Grasshopper içerisinde bulunan gHowl ve Mosquito plug-inlerini sayesinde, Grasshopper içerisinde okunabilir hale getirilebilmiştir. Grasshopper içerisinde girdi olarak alınabilir hale getirilen bu ses parametreleri, belirlenen hücresel özdevinim kuralları doğrultusunda cephe panellerinde renk değişimi olarak tasarıma yansıtılmaya çalışılmıştır.



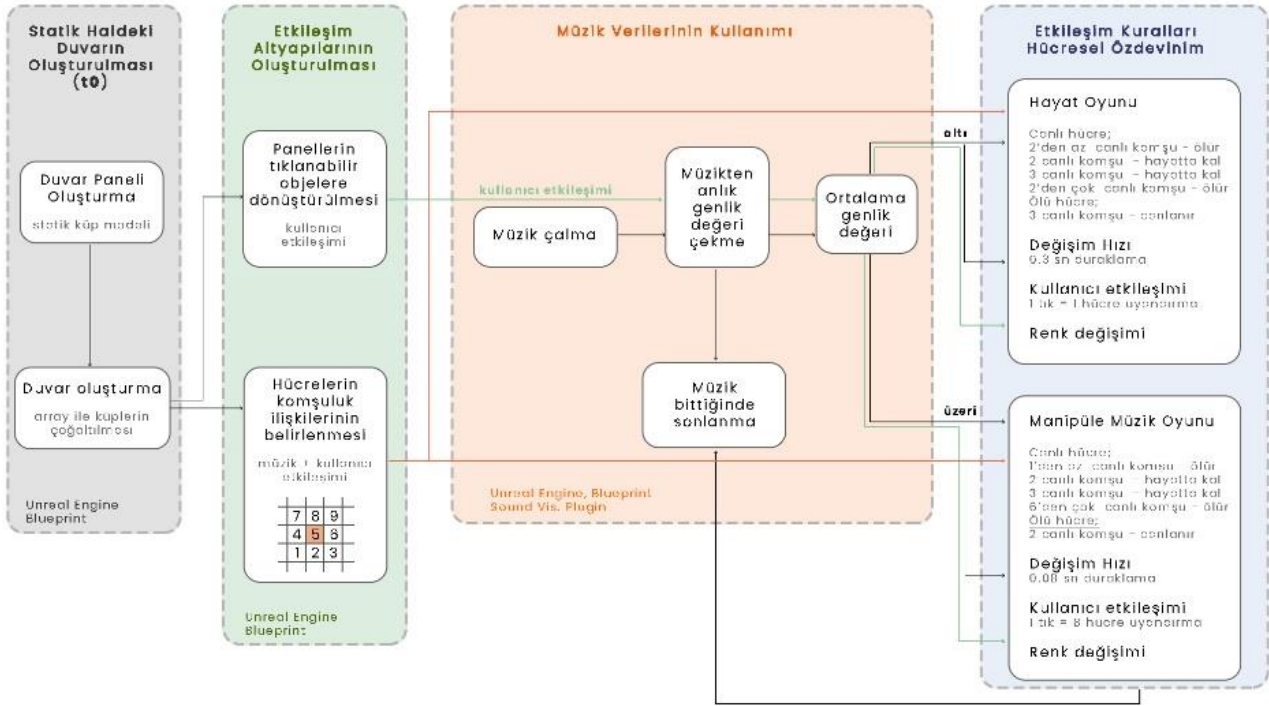
**Şekil 16:** Grasshopper arayüzünde ilerletilmesi planlanan proje akışı (Project flow planned to proceed on Grasshopper interface).

Ancak bu noktada, ayrı ayrı olarak ses dosyasının okunması, kullanıcı etkileşimi ve hücresel özdevinim kuralları hatasız çalışabiliyorken; bu üç ayrı durum bir araya getirildiğinde Rhinoceros üzerinde modellenen duvarda müzik ile eşzamanlı olarak hücresel özdevinim kuralları simüle edilememiştir ve program kapanmıştır. Bu nedenle bütün sistem gerçek zamanlı simülasyon teknolojisi üzerine inşa edilmiş Unreal Engine ve entegre olarak çalışan düğüm tabanlı Blueprint kodlama arayüzü içerisinde baştan kurulmuştur.

Sistem doğru bir şekilde çalışır hale getirildikten sonra ilk etapta müzik genlik değerleri, ortalama altında kalacak olanlar hayat oyunu kurallarını çalıştıracak, ortalama üzerinde kalanlar ise daha yayılcı oluşumlar gösterecek manipüle edilmiş hayat oyunu kurallarına uyacak şekilde yalnızca 2 farklı durum tanımlanmıştır (Şekil 17). Ancak bu iki kural setinin müzik etkisini güçlü bir biçimde ifade etmede yeterli olmadığı gözlenmiş ve Şekil 4'te detaylı olarak tanımlanmış müzik



dinamikleri kategorizasyonu ile 5 farklı kural seti halinde revize edilmiştir.



Bunun dışında çeşitli denemeler esnasında müziğin yaklaşık 2. dakikalarında senkronizasyonun bozulmaya başladığı ve birkaç saniyelik gecikmeler yaşandığı gözlenmiştir. Bu nedenle çalma parçası yaklaşık birer dakikalık bölümlere bölünmüş ve birer dakikalık simülasyonlar birleştirilerek tüm parça oluşturulmuştur. Bu durum çözülmekle birlikte nedeninin hüresel özdevinim kurallarının kendi işleme süresinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu bölümde çalışmanın çıktıları simülasyondan alınan ekran görüntüleri ile karşılaştırılmalı bir biçimde açıklanmış ve belirme durumları tartışılmıştır. Çalışmanın video hali online platformda yayınlanmıştır: <https://youtu.be/edeacrCDK2A>

**Şekil 17:** Yalnızca iki kural seti ile tanımlanmış algoritma şeması (Algorithm schema defined with two rule sets).

### Anlık genlik değerinin etkisi

Şekil 18’de kullanıcı müzik çalmaya başladığında bir kere panellere dokunduğu an oluşan motif görüntülenmektedir. Şekil 19’da ise daha önce detaylandırılan algoritma sayesinde (Bölüm 3.3) genlik değeri 5.014’ten 8.686’ya yükseldiğinde duvar üzerindeki yayılma etkisi verilmiştir. Bu yayılma etkisinin anlık genlik değeri ile (ekranda sol üstte görölmektedir) doğru orantılı olarak arttığı görölmektedir. Kullanıcının etkisi ve o an çalmakta olan müzik verileri ile arka planda hücresel özdevinim kurallarını çalıştıran bu sistemde, aynı müziğin farklı sürelerinde farklı motifler ortaya çıkmaktadır (Şekil 18, Şekil 19). Aynı müziğin birbirine çok yakın (aynı yüzdelik dilimde ve aynı kuralların işletildiği) genlik değerinde dahi, metot olarak hücresel özdevinimin kullanılması ve motiflerin birbiri üzerinden evrilmesi nedeni ile farklı sonuçlar doğmaktadır. Bu farklılaşma durumu, çalışmanın başında üzerinde tartışılan müziğin akışkan olma durumunun görsel olarak yansıtılabileceğini göstermektedir.

Şekil 18: Genlik değeri 5.014’e yükseldiği anda alınan ekran görüntüsü (Screenshot taken when the amplitude risen to 5.014).



Şekil 19: Genlik değeri 8.686’e yükseldiği anda alınan ekran görüntüsü (screenshot taken when the amplitude risen to 8.686).



### Kullanıcı etkileşiminin etkisi:

Çalışmada birden fazla kullanıcı etkileşimi olabilmesi nedeniyle ortamda birebir aynı müziğin çalması durumunda bile her saniyede farklı motifler üretilebilmektedir (Şekil 20, Şekil 21). Duvar ile etkileşime geçen farklı kullanıcıların neden olduğu yayılmanın büyüklüğü, her bir kullanıcıya atanan farklı renkler aracılığı ile gözlenebilmektedir.



Şekil 20: Aynı müziğin aynı saniyesinde (yüksek genlik değeri grubu) farklı motiflerin belirme durumları (Appearance of different patterns (high amplitude value group) during on the same second of the same music).



Şekil 21: Aynı müziğin aynı saniyesinde (düşük genlik değeri grubu) farklı motiflerin belirme durumları (Appearance of different patterns (low amplitude value group) during on the same second of the same music).

Renk yoğunlukları karşılaştırıldığında farklı kullanıcıların duvar ile olan etkileşimini duvarın hangi konumundan başlattığı okunabilmektedir. Şekil 22'ye bakarak kullanıcı 1'in (mavi renk) solunda kullanıcı 3'ün (turuncu renk) ve sağında kullanıcı 2'in (yeşil renk) duvarla etkileşime girdiğini söylemek mümkün olabilmektedir. Öte yandan renk yoğunluklarına bakacak olursak, duvarla en çok kullanıcı 1'in ve en az kullanıcı 3'ün etkileşime girdiği ihtimali veya kullanıcı 1'in duvar ile etkileşimi sırasında çalan müziğin anlık genlik değerinin diğer

kullanıcıların duvar ile etkileştiği saniyedeki genlik değerinden çok daha yüksek olduğu ihtimali çıkarılabilmektedir.

**Şekil 22:** Farklı kullanıcıların farklı renklerle temsil edilmesi ve etkiledikleri hücrelerin gözlemlenebilmesi (Representation of different users with different colors and the cells they affect).



Tasarlanan bu sistemde, literatürde taranan diğer projelerden özgün olarak, müzik ve kullanıcı etkisi olmak üzere bütün çıktıyı, oluşan motifleri değiştiren ve zenginleştiren iki ana girdi vardır. Tek başına müzikten anlık olarak genlik değerlerinin okunması ve tasarım girdisi olarak kullanılması bile ön görülemeyen motiflerin üretilmesine yol açarken, insan gibi dinamik bir faktörün bu sisteme dâhil edilmesiyle oluşabilecek tasarım uzayının hacmi artmıştır. Bununla birlikte tasarıma birden çok kullanıcı etkileşiminin dâhil edilmesi ile her kullanıcının oluşturduğu motiflerin yayılarak birbiri ile komşuluk ilişkisi kurduğu noktada, hüresel özdevinim kuralları çerçevesinde her sistemin ayrı ayrı hayatta kalma süreci tamamen yeni motiflerin belirmesine neden olmaktadır.

Henüz simülasyon seviyesinde kalan bu çalışma ileriki aşamalarda, yapay zeka algoritmaları yardımı ile farklı kullanıcıları tespit ederek, kullanıcı etkileşimli bir duvar olarak inşa edilebilir. Duvar üzerinde hüresel özdevinim kuralları ile renk değiştiren paneller için renkli led paneller kullanılabilir. Bu paneller hareketli hale getirilerek motiflerin iki boyutlu formu üçüncü boyuta taşınabilir.

Farklı işlevli mekânlara; müzik festivallerine, bekleme salonlarına, fuayelere ve sergilere kurulabilecek olan bu duvar insanların orada geçirdiği zamanı eğlenceli kılabilir. Kullanıcı etkileşimlerinin okunabilmesi durumu oyunlaştırma ile her kullanıcı için ayrı puan tutularak rekabet içeren çok kişili bir oyuna, yarışmaya dönebilir. Kullanım alanlarının genişletilebilmesi göz önünde bulundurulursa

ileriye yönelik çalışmalarda tanımlanan kural setleri çoğaltılabilir. Bu çoğaltma müziğin görsel olarak daha akışkan okunabilmesine ve belirme durumlarının artmasına katkı sağlayacaktır.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı, 2021 bahar dönemi Mimari Tasarımda Üretken Sistemler dersi kapsamında tamamlanmıştır. Çalışmanın gelişmesinde emeği olan ders yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, yürütücü asistanlar Araş. Gör. Begüm Hamzaoğlu ve Araş. Gör. Burak Delikanlı'ya ve katkılarından dolayı sınıf arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

### **Referanslar (References)**

- Anadol, R. (2018, 28 Eylül). WDCH Dreams. Refik Anadol. <https://refikanadol.com/works/wdch-dreams>
- Architects, S. H. (1991). STRETTO HOUSE - STEVEN HOLL ARCHITECTS. Steven Holl Architects. <https://www.stevenholl.com/projects/stretto-house>
- Baker, U. (1996). Önsöz. In İki Konferans (pp. 7–14). Norgunk Yayıncılık.
- Buchanan, R. (2019). Systems Thinking and Design Thinking: The Search for Principles in the World We Are Making. She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation, 5(2), 85–104. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2019.04.001>
- Burphy, M. (2012, 20 Ocak). Aegis Hyposurface. McBurphy. <https://mcburphy.net/aegis-hyposurface/>
- Carmo, M., Menges, A., Hensel, M. U., & Weinstock, M. (2012). Morphogenesis and Emergence. In M. (Ed.), The Digital Turn in Architecture 1992 - 2012 (1st ed., p. 158). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118795811.ch11>
- Eckermann, J. P. (1998). Conversations Of Goethe. Adfo Books.
- edwin@bitstorm.org. (2021). Play John Conway's Game of Life. <https://playgameoflife.com/>
- Goulthorpe, M., Burphy, M., & Dunlop, G. (2001). Aegis Hyposurface©: The Bordering of University and Practice.
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2004). Emergence: Morphogenetic Design Strategies (1st ed.). Academy Press.
- La Magna , Waimer , Knippers, R. F. J. (2012, Mayıs). Nature-inspired

- generation scheme for shell structures. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Seoul , South Korea. [https://www.researchgate.net/publication/291351616\\_Nature-inspired\\_generation\\_scheme\\_for\\_shell\\_structures/stats](https://www.researchgate.net/publication/291351616_Nature-inspired_generation_scheme_for_shell_structures/stats)
- Menges, A. (2011). ICD/ITKE Research Pavilion 2011. Achimmenges. <http://www.achimmenges.net/?p=5123>
- Metin, A. (2021, September 29). User Interactive Wall Design Using Music Data.YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=edeacrCDK2A&feature=youtu.be>
- Processing, (2021), Sound \ Processing.org. <https://processing.org/tutorials/sound>
- Simon, H. A., & Laird, J. E. (2019). The Sciences of the Artificial (The MIT Press) (Illustrated ed.). The MIT Press.
- Smuts, J. C. (1926). Holism And Evolution. Macmillan And Co., Limited.
- Terzidis, K. (2006). Algorithmic Architecture (1st ed.). Architectural Press.
- The Libeskind Building. (2021). Jewish Museum Berlin. <https://www.jmberlin.de/en/libeskind-building>
- Unreal Engine Documentation. (2021) Blueprint Visual Scripting. <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/>
- V. (2005). Mimarlık Üzerine On Kitap (Turkish Edition) (Facsimile ed.). Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları.
- WDCH Dreams. (2020, September 21). Refik Anadol. <https://refikanadol.com/works/wdch-dreams/>
- Wiscombe, Tom (2005). Emergent Processes, Oz: Vol. 27. <https://doi.org/10.4148/2378-5853.1422>
- Xenakis, (2008). Music and Architecture: Architectural Projects, Texts, and Realizations, Pendragon Press.