

Sayı 3 Cilt 1 Vol 3 No 1

Mart March

2022 2022

ISSN 2687-4318

J

journal of

CO

computational

DE

design

fabrikasyon ve malzeme

fabrication and material

Sayı 3 Cilt 1 Vol 3 No 1

Mart March

2022 2022

ISSN 2687-4318

J

journal of

CO

computational

DE

design

fabrikasyon ve malzeme

fabrication and material

ICDe

Cilt 3 Sayı 1 | Mart 2022

Vol 3 No 1 | March 2022

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

Prof. Dr. Gülen Çağdaş

Doç. Dr. Sema Alaçam

Dr. Öğr. Üyesi Ethem Gürer

Yayın Kurulu | Editorial Board

Prof. Dr. Leman Figen Gül

Prof. Dr. Mine Özkar

Prof. Dr. Hakan Yaman

Doç. Dr. Meltem Aksoy

Doç. Dr. Hasan Serdar Kaya

Doç. Dr. Gülten Manioğlu

Doç. Dr. Sevil Yazıcı

Dr. Öğr. Üyesi Bahriye İlhan Jones

Dr. Öğr. Üyesi Aslı Kanan

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali Örnek

Öğr. Gör. Dr. Elif Sezen Yağmur Kilimci

Dr. Hakan Tong

Danışma Kurulu | Advisory Board

Prof. Dr. Rahmi Nurhan Çelik (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Doç. Dr. Gülay Öke Günel (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tahir Sandıkkaya (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Prof. Dr. Ümit Işıkdag (Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniv., İstanbul)

Prof. Dr. Özgür Ediz (Uludağ Üniversitesi)

Doç. Dr. Neşe Çakıcı Alp (Kocaeli Üniversitesi)

Doç. Dr. Güzden Varinlioğlu (İzmir Ekonomi Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Yazgı Badem Aksoy (Medipol Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Güven Çatak (Bahçeşehir Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emre Dinçer (Karabük Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Özlem Atak Doğan (Erciyes Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Şehnaz Cenani Durmazoğlu (Medipol Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Esra Gürbüz Yıldırım (Gaziantep Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Halil Çavuloğlu (Erzurum Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Serdar Aydın (Mardin Artuklu Üniversitesi)

Prof. Dr. Sevil Sarıyıldız (TU Delft, Hollanda)

Prof. Dr. Tuba Kocatürk (Deakin Univ., Avustralya)

Prof. Dr. Jose Pinto Duarte (Pennsylvania State University, ABD)

Prof. Dr. Manolya Kavaklı Thorne (Macquarie Univ., Avustralya)

Assoc. Prof. Dr. Fernando García Amen (Universidad de la República, Uruguay)

Assist. Prof. Dr. Gamze Dane (TUEindhoven, Hollanda)

Assoc. Prof. Dr. Rudi Stouffs (National Univ. of Singapore, Singapur)

Bölge Temsilcisi | Regional Representative

Assist. Prof. Dr. Benay Gürsoy Toykoç (Pennsylvania State University)

Editöryal Sekreteryä | Editorial Assistance

Gülce Kırdar

Özlem Çavuş

Varlık Yücel

Salih Özdemir

Dizgi | Typesetting

Özlem Çavuş

Gülce Kırdar

Varlık Yücel

Salih Özdemir

Begüm Hamzaoğlu

Logo | Logo

Melis Dağ

Kapak | Cover

İlke Yıldan

Varlık Yücel

Web | Web

Özlem Çavuş

Gülce Kırdar

Varlık Yücel

Salih Özdemir

Begüm Hamzaoğlu



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

Fabrikasyon ve Malzeme

Editörden

JCoDe'un altıncı sayısı "Fabrikasyon ve Malzeme"ye odaklanmaktadır. Üretimin geleneksel yöntemlerden yüksek kabiliyet ve hassasiyetteki makinelere geçişi ve sayısal üretim tekniklerinin gelişmesi ile birlikte fabrikasyon yöntem ve süreçleri, birçok disiplin gibi, tasarım araştırma ve uygulamalarının da önemli bir parçası haline gelmektedir. Tasarım süreçlerinin birçok aşamasında, her ölçek ve hassasiyette, malzemeyi fiziksel ve dijital düzlemlerde 'kavrayarak' biçimlendirme ve davranışını sınavabilme fırsatı sunan bu yeni üretim süreçleri, geleceğin tasarım süreçlerinde malzeme ve üretimin rolüne dair önemli ipuçları sunmaktadır.

Hesaplamalı tasarım araçları tasarımcıya bilgi, mantık ve kural tabanlı, süreçsel ve soyut düşünme becerileri sunarken fabrikasyon araçları, fiziksel üretim ölçeği, teknoloji ve kısıtları, üretim hassasiyetleri, detay ve malzeme üzerinden düşünmenin yolunu açmaktadır. Tasarımcı için bu ortaklık, malzemenin dijital ve fiziksel olanakları, veya başka bir deyişle soyut ve somut arasındaki sürekli diyalog halidir. Makro, mikro ve nano ölçekte yapılan işlemlerle malzemenin davranışı çeşitlenmekte ve kabiliyeti artmaktadır. Tasarımda ortaya çıkan bu malzeme sentezi, dijital ve fiziksel olanakların bütünleşikliğinde biçimsel, yapısal, ilişkisel ve kavramsal ilkelerin simülasyonları yoluyla olduğu kadar, farklı veri test, araştırma, ölçüm, gözlem ve deneyler yoluyla da biçimlenmektedir. Biçimin, taşıyıcı sistemin ve malzemenin ilişkisel bir şekilde ele alındığı yeni yapısalılıkta birlikte malzeme, artık üretim sürecinin bir eklentisi olmanın ötesinde, sürecin en başından itibaren tasarımı doğrudan şekillendiren başat bir unsur görünümündedir. Süreç ve araçların tasarım bileşenleriyle kurduğu bu birliktelik hızlı prototipleme, performans güdülü çalışmalar, karmaşık geometrilerin hayata geçirilmesi, uyarlanabilir biçim arayışları, süs ve bezeme tasarımı, taşıyıcı sistem ve detay çözümleri, dijital ve fiziksel arasındaki geleneksel iş akış modellerinin yeniden ele alınması ve bunlar gibi birçok başlıkta tasarımcılara farklı çözüm olanakları sunmaktadır.

Yukarıda belirtilen bağlamlarda, JCoDe'nin altıncı sayısı (Cilt 3, sayı 1), sayısal üretim tekniklerini; tasarım süreçlerinde fabrikasyonu; iş akışlarını ve ölçeklenebilirliği; fiziksel ve dijital malzemeyi; performans güdülü çalışmaları; tasarım sürecinde malzemenin rolünü; tasarım pedagojilerinde fabrikasyon ve malzeme kültürünü; biçim bulma ve strüktür araştırmalarında malzeme kullanımlarını ve yenilikçi etkilerini tartışmaktadır.

İlk bölümde, Kamile Öztürk Köstenci ve Yağmur Burcu Güneş, dijital fabrikasyon ortam, araç ve süreçleri üzerine literatürde genellikle rastlanılan nicel tanımlamalarından farklılaşan nitel bir değerlendirme sunmaktadır. Mimarlığın sanatsal/şiiirsel vurgusu üzerinden ilerleyen araştırma, MAXQDA yazılımı ile dijital fabrikasyon ve mimarlık temalarını içeren son on yılda basılmış 197 hakemli dergi makalesinin, dijital fabrikasyonun sanatsal odak ve eğilimlerinin tespitine yardımcı olmaktadır.

Dijital fabrikasyon süreçlerinin tasarımdaki farklı uygulamalarına odaklanan ikinci bölümde Uğur Efe Uçar ve Ethem Gürer, tasarım ürününün kitlesel bireyselleştirilmesi sürecinde sanal gerçekliğin, geleceğin şeffaf ve katılımcı tasarım süreçlerini oluşturmadaki katkılarını tartışmaktadır. İki farklı senaryonun ilkinde, ürün kullanıcısı ergonomik uygunluğu tespit etme amacıyla fiziksel bir tasarım nesnesini (sandalye) deneyimlemekte; ikincide ise, ergonomik olarak uygun olmayan özellikleri belirlediği tasarım nesnesinin modeli üzerinde sanal gerçeklik ortamında kişiselleştirmeler yapmaktadır. Antropometrik uygunluk analizi ve kullanıcılar tarafından üretilen yeni tasarımlar, görsel çıktılar ile değerlendirilmektedir.

İpek Akbaylar Hayreter, hasar görmüş kültürel miras objelerinin günümüze ulaşamamış olan eksik kısımlarının bir üretken tasarım yöntemiyle dijital olarak bütünlenmesine dönük yenilikçi bir öneri sunmaktadır. Çalışmada, kültürel miras objelerinin eksik kısımlarında temsili olarak bağlayıcı görev üstlenecek olan yeni oluşumda, doldurulacak olan boşluğun organik formuna uyum sağlayacağı gözetilerek üretken tasarım yöntemlerinden Voronoi diyagramlarının kullanıldığı Hücresel Özdevinim yaklaşımı esas alınmıştır.

Nilhan Kaya ve Ethem Gürer, dijital fabrikasyon olanaklarının tasarım pedagojisine etkilerini tartışmaya açtıkları çalışmalarında, bir eğitim aracı olan Froebel bloklarının çağdaş koşullarda yeniden yorumlanması, üretilmesi ve tasarım pedagojisine olabilecek etkisini üretim ve malzeme ekseninde sorgulamaktadır. Protokol sonuçlarına dayanarak, çağdaş Froebel bloklarında bulunan boşluklar ve yardımcı elemanlar sayesinde bloklar arasındaki eylem bağlantısının arttığı ve bu sayede orijinal Froebel bloklarına kıyasla çağdaş bloklarda tasarım süreçlerindeki eylemsel repertuar zenginliğinin genişleyeceği öngörülmektedir.

Çağrı Uludüz ve Çağlar Aydın, dijital fabrikasyon olanaklarını yapay zeka ve kullanıcı ekseninde tartıştıkları çalışmalarında, yapay zeka olgusunun tasarımcı katkısı olmadan bir sandalye tasarımını ne kadar ortaya koyabileceğini, üretken tasarım sistemine sahip bir yazılımdan elde edilen sonuç tasarım çıktıları üzerinden yapılan analizlerle ele almaktadır. Bunun yanında, üretken tasarımın tasarım sürecindeki katkısı form, malzeme ve üretim teknolojisi bağlamında irdelenmektedir.

Üçüncü bölümde, Yeşim Ünal ve Gülen Çağdaş, dijital üretim teknikleri ve özellikle de Eklemeli Üretim tekniklerinin yeni geometrileri mümkün kılmanın ötesinde, tasarımcıların tasarım esnasında düşünme biçimlerini etkilemelerini bir derleme makale üzerinden tartışmaya açmaktadır. Makale, Eklemeli Üretim sistemleri üzerine yürütülmüş daha geniş kapsamlı bir araştırmanın parçası olup, makalede önerilen sınıflandırma yöntemi ile alandaki en son gelişmelerin ve uygulamada çözülmeye çalışılan sorunların geniş bir yelpazedeki araştırmalar içinde daha iyi konumlandırılması hedeflenmiştir.

Dördüncü ve son bölümde, sayının temasından bağımsız iki adet çalışma bulunmaktadır. Merve Akdoğan ve Özgün Balaban, derin öğrenme ağlarının mimari tasarımdaki uygulamalarını deneysel plan üretimi yoluyla araştırmaktadır. GAN türlerinden biri olan CycleGAN modelini eğitmek için veri seti olarak 2B planlar ve görseller seçilmiştir. Üretken modeli yalnızca planlardan oluşan bir veri setiyle eğitmek ve benzer ancak yeni planlar üretmek mümkünken, bu çalışmada ek bir veri setindeki görselleri plana dönüştürmek amaçlanmış ve bunun için iki veri seti kullanılmıştır. Planlardan oluşan veri seti için Palladio planları seçilmiş olup ikinci veri seti ise, mikroorganizma yapılarının görsel verilerinden mekansal organizasyon ve plan oluşturma olasılıklarını araştırmak için Haeckel'in mikroorganizma çizimlerinden oluşturulmuştur.

Merve Taşdelen ise çalışmasında, parametrik biçim grameri kullanarak tiyatro-parter düzeni oluşturulmasını, izleyici ve sanatçı arasındaki ilişkiyi yeniden yorumlayarak tasarım aşamasında çeşitliliği sağlamayı ve performans sırasında oluşturulan oditoryum düzenlerinin hareket akışı ile birlikte seyirciye her defasında yeniden yorumlayacağı bir deneyim oluşturmasını amaçlayan bir model önerisi sunmaktadır. Çalışmada, parametrik biçim grameri sayesinde kural tabanlı bir tasarım modeli geliştirilerek analog ile dijital arakesitinde, sahne tasarımlarında çeşitliliğin artırılmasını, seyir deneyimi ile sahne tasarımı arasındaki biçimsel ilişkilerin ve deneyim çeşitliliğinin analiz edilmesini ve üretilen alternatif düzenlerin karşılaştırılmasını hedeflenmektedir.

Fabrication and Material

Editorial

The fifth issue of JCoDe focuses on “Fabrication and Material”. Fabrication methods and processes are becoming a significant part of design research and applications, like many other disciplines with the transition of production from traditional approaches to machines having the high capability and precision and with the development of digital production techniques. These new production processes offer the opportunity to ‘grasp’ the material from physical and digital aspects, together with testing material behavior at many stages of the design processes at all scales and precision. Hence, these processes provide essential clues about the role of material and production in future design processes.

Computational design tools provide designers with knowledge, logic, rule-based process, and abstract thinking skills. Indifference, fabrication tools open the way to think through physical production scale, technology and constraints, production sensitivities, details, and materials. For a designer, this partnership is a constant dialogue between digital and physical possibilities of material, or in other words, between abstract and tangible. The material's behavior is diversified, and its capability is increased with the operations performed at macro, micro, and nanoscales. This material synthesis, which emerges in design, is shaped by the simulations of formal, structural, relational, and conceptual principles in integrating digital and physical possibilities through different data testing, research, measurement, observation, and experiments. With the new structuralism, in which form, structural system, and material are handled relationally, the material is no longer an additional part of the fabrication process but an essential element that directly affects the design from the very beginning of the process. This association of strategies and tools with design components offers different solution possibilities to designers in rapid prototyping, performance measurements, a realization of complex geometries, reconfigurable form research, ornament design, structural system, and detail solutions, and reconsidering traditional workflow models between digital and physical.

Within the contexts mentioned above, the sixth issue of JCoDe (Volume 3, No 1) encapsulates digital fabrication techniques; fabrication in design processes; workflows and scalability; physical and digital material; performance-driven research; the role of the material in the design process; fabrication and material culture in design pedagogies; the discussion of the use of materials and their innovative effects in form-finding and structure research.

In the first part, Kamile Öztürk Köstenci and Yağmur Burcu Güneş present a qualitative assessment of digital fabrication media, tools, and processes that differs from the quantitative definitions usually found in the literature. The research, which proceeds through the artistic/poetic emphasis of architecture, helps identify the artistic focus and trends of digital fabrication of 197 peer-reviewed journal articles published in the last ten years, including digital fabrication and architecture themes, with MAXQDA software.

In the second part, which focuses on the different applications of digital fabrication processes in design, Uğur Efe Uçar, and Ethem Gürer discuss the contribution of virtual reality in creating the transparent and participatory design processes of the future in the process of mass individualization of the design product. In the first of two different scenarios, the product user experiences a physical design object (chair) to determine ergonomic fit; In the second, it makes personalizations in the virtual reality environment on the model of the design object, for which it determines ergonomically unsuitable features. Anthropometric conformity analysis and new designs produced by users are evaluated with visual outputs.

İpek Akbaylar Hayreter offers an innovative proposal for the digital integration of the missing parts of damaged cultural heritage objects that have not survived to the present day with a generative design method. In the study, the Cellular Automata approach, in which Voronoi diagrams are used, was taken as a basis, considering that the new formation, which will play a critical role as a representation of the missing parts of the cultural heritage objects, will adapt to the organic form of the void to be filled.

Nilhan Kaya and Ethem Gürer question the reinterpretation and production of Froebel blocks, an educational tool, in current conditions, and their possible effects on design pedagogy, in terms of production and materials, in their work where they discuss the effects of digital fabrication on design pedagogy. Based on the results of the protocol, it is predicted that the connection between the blocks will increase thanks to the spaces and auxiliary elements found in the contemporary Froebel blocks, and thus the richness of the operational repertoire in the design processes in the contemporary blocks compared to the original Froebel blocks.

In their work, where they discuss digital fabrication possibilities on the axis of artificial intelligence and the user, Çağrı Uludüz and Çağlar Aydın discuss how much the artificial intelligence phenomenon can reveal a chair design without the contribution of the designer. In addition, the contribution of generative design in the design process is examined in the context of form, material, and production technology.

In the third part, Yeşim Ünal and Gülen Çağdaş discuss how digital production techniques and especially Additive Manufacturing techniques not only enable new geometries but also affect the way designers think during design through a review. The article is a part of broader research on Additive Manufacturing systems, and the classification method proposed in the article aims to better position the latest developments in the field.

In the fourth and last part, there are two studies independent of the issue's theme. Merve Akdoğan and Özgün Balaban research the applications of deep learning networks in architectural design through experimental plan generation. In order to train the CycleGAN model, which is one of the GAN types, 2D plans and visuals were chosen as the data set. While it is possible to train the generative model with a dataset consisting of only plans and produce similar but new plans, this study aims to convert the visuals in an additional dataset into a plan, and two datasets are used for this. Palladio plans were chosen for the dataset consisting of plans. The second dataset was created from Haeckel's microorganism drawings to investigate the spatial organization and plan formation possibilities from the visual data of microorganism structures.

Merve Taşdelen presents a model proposal in her work to create a theater-parter layout using parametric form grammar. The study aims to develop a rule-based design model through parametric form grammar, increase the diversity in analog and digital interfaces, stage designs, analyze the formal relations and diversity of experience between the viewing experience and the stage design, and compare the alternative layouts produced. The motivation is to provide diversity in the design phase by reinterpreting the relationship between the audience and the artist and to create an experience that the audience will reinterpret each time with the movement flow of the auditorium layouts created during the performance.

- A Content Analysis on Poetic and Artistic Qualities of Digital Fabrication in Architecture** 01
Mimarlıkta Dijital Fabrikasyonun Sanatsal ve Şiirsel Boyutu
Üzerine Bir İçerik Analizi
Kamile Öztürk Köstenciğ, Yağmur Burcu Güneş
Araştırma Makalesi
- Dijital Fabrikasyon Süreçlerinde Sanal Gerçekliğin Kitleleş Bireyselleştirmeye Dönük Kullanımı** 19
The Use of Virtual Reality for Mass Customization
in Digital Fabrication Processes
Uğur Efe Uçar, Ethem Gürer
Araştırma Makalesi
- Kültürel Miras Objelerinin Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Dijital Bütünlemesi** 39
Digital Integration of Cultural Heritage Objects Using
Voronoi-Based Generative Design Methods
İpek Akbaylar Hayreter
Araştırma Makalesi
- Froebel Bloklarının Tasarım Pedagojilerindeki Yerini Dijital Fabrikasyon Teknolojileri Ekseninde Yeniden Sorgulamak** 53
Re-questioning the Role of Froebel Blocks in Design
Pedagogies through Digital Fabrication
Nihan Kaya, Ethem Gürer
Araştırma Makalesi
- Machine as the Designer of Generative Solutions in Chair Design** 81
Sandalye Tasarımında Üretken Çözümlerin Tasarımcısı
Olarak Makine
Çağrı Uludüz, Çağlar Aydın
Araştırma Makalesi

- A Proposal for Classification of Additive Manufacturing in Architecture** 105
Mimaride Eklemeli Üretim Sistemlerinin Sınıflandırması için
bir Öneri
Yeşim Ünal, Gülen Çağdaş
Derleme Makalesi
- Plan Generation with Generative Adversarial Networks: Haeckel's Drawings to Palladian Plans** 135
Çekişmeli Üretken Ağlar ile Plan Üretimi:
Haeckel'in Çizimlerinden Palladyan Planlara
Merve Akdoğan, Özgür Balaban
Araştırma Makalesi
- DeneySEL Tiyatro Sahnelerine Parametrik Biçim Grameri ile Sahne ve Parter Düzeni Önerilmesi** 155
Proposal of the Stage and Parterre Layout Design with
Parametric Shape Grammar for Experimental Theater Stages
Merve Taşdelen
Araştırma Makalesi

A Content Analysis on Poetic and Artistic Qualities of Digital Fabrication in Architecture

Kamile Öztürk Köseñçđ¹, Yağmur Burcu Güneş²

ORCID NO: 0000-0002-7497-9261¹, 0000-0003-1348-4430²

¹Architecture, Science, Kocaeli University, Kocaeli, Türkiye

²Architecture, Celal Bayar University, Manisa, Türkiye

New production techniques and digital design tools allow new possibilities in architecture and digital fabrication laboratories provide an environment for these new opportunities. In addition to its potential in terms of science and technology, digital fabrication creates many opportunities for artistic aspects of architecture. Therefore, we aimed to make a theoretical discussion and present a new perspective for artistic and poetic aspects of digital fabrication. From this perspective, to clarify the artistic aspects of architecture in the context of digital fabrication technologies and to understand how the subject is covered in the literature clearly, a comprehensive literature review has been made. Initially, the literature review was limited to the themes of digital fabrication and architecture to extract from out-of-context articles and 197 peer review journals written in the last 10 years were examined. Then, a pre-coding schema was prepared from two authors and extended after a detail literature review. The extended coding schema was grouped in terms of their semantic distance and these groups were used to make an assumption about papers. The software MAXQDA, which is commonly used in the social science, assist us to identify the semantic codes related to the research context without any omission. Articles were investigated with the keywords created after precoding. Content analysis was used to investigate the remaining 51 articles on the field of Architecture through these codes. Our aim is not to prove if there is sufficient paper that discuss the artistic aspects of digital fabrication. However, this methodology helps us to understand the focus of the papers and the tendencies as an approach in this context. In general, the subject of digital fabrication in architecture is studied more about materials, structures, processes, technology and how to use digital fabrication tools instead of why it was examined in the literature. From perspective of artistic dimension, the reviewed papers mainly emphasize 'characteristic, identity, variety, style, concept, customization, subjective, subjectivity, formal, composition, tectonic, geometry, form'. On the other hand, 'aesthetic, beauty, expression, art, stereotomy, craft, artifact, are less discusses codes. Words directly related to art and craft are not discussed in the articles and there is less discussion on the aesthetic values of digital fabrication. 'Sense, experience, perception, intuition' are also less discussed codes even if these are strong relationship with architectural context. Although not included in the academic literature, the issue of digital fabrication has begun to be discussed in the context of experience, through art installations in 1:1 scale produced by digital fabrication tools. In a nutshell, the issue of art is at least as valuable as the most frequently asked question of how in digital fabrication, and this aspect should be given more place in scientific research.

Received: 24.01.2022

Accepted: 18.03.2022

Corresponding Author:
ozturkamile@gmail.com

Ozturk Kosencig, K. & Gunes, Y. (2022). A content analysis on poetic and artistic qualities of digital fabrication in architecture. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 01-18. <https://doi.org/10.53710/jcode.1062471>

Keywords: Digital fabrication, Art, Architecture, Poetic

Mimarlıkta Dijital Fabrikasyonun Sanatsal ve Şiirsel Boyutu Üzerine Bir İçerik Analizi

Kamile Öztürk Kösenci¹, Yağmur Burcu Güneş²

ORCID NO: 0000-0002-7497-9261¹, 0000-0003-1348-4430²

¹Mimarlık, Fen Bilimleri, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

²Mimarlık, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

Mimaride yeni olasılıklara izin veren güncel üretim teknikleri ve dijital tasarım araçları sayesinde dijital fabrikasyon laboratuvarları birçok yönden öncü bir ortam olarak görülmektedir. Dijital fabrikasyon laboratuvarlarının sadece bilim ve teknoloji açısından değil aynı zamanda sanat açısından da önemli bir potansiyel olduğu düşünülmektedir. Buna rağmen son on yılda bu alanda yapılan çalışmalarda mimaride dijital fabrikasyonun sanatsal ve şiirsel yönüne olan vurgunun eksikliği dikkat çekmektedir. Bu nedenle bu olgunun literatürde sanatsal ve şiirsel açıdan nasıl ele alındığına dair nitel bir araştırma yapılarak kuramsal bir tartışma yürütülmüş, mimarlığın sanatsal ve şiirsel yönlerini dijital fabrikasyon teknolojileri bağlamında ortaya çıkarmak ve konunun nasıl ele alındığını anlamak için kapsamlı bir literatür taraması ve içerik analizi yapılmıştır. Analiz MAXQDA yazılımı ile dijital fabrikasyon ve mimarlık temalarını içeren son on yılda basılmış 197 hakemli dergi makalesini içermektedir. Araştırmanın amacı dijital fabrikasyonun sanatsal yönden yeterince tartışılmadığını kanıtlamak değildir ancak bu metodoloji, makalelerin odağını ve eğilimlerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Genel olarak mimaride dijital fabrikasyon konusu literatürde “neden” sorusundan çok malzeme, strüktür, süreç, teknoloji ve dijital fabrikasyon araçlarının nasıl kullanılacağı ile ilgili olarak incelenmektedir. Yapılan literatür analizi sonuçlarına göre; karakteristik, kimlik, stil, çeşitlilik, konsept, form, kompozisyon, tektonik ve geometri gibi kavramlar sıklıkla kullanılmış olup, estetik, güzellik, sanat, zanaat gibi kelimeler daha az kullanılmıştır. Üstelik duygu, deneyim, algı, sezgi gibi mimarlık disiplini ile oldukça ilişkili olan kavramlar da çok az yer almaktadır. Özetle dijital fabrikasyon ve mimarlık ekseninde yapılan çalışmaların neden yapıldığı ve sanatla olan ilişkisi bu konuda sıklıkla sorulan nasıl sorusu kadar değerlidir ve bu bağlamda yapılacak bilimsel araştırmalarda daha fazla yer almalıdır.

Received: 24.01.2022

Accepted: 18.03.2022

Corresponding Author:

ozturkamile@gmail.com

Ozturk Kosencig, K. & Gunes, Y. (2022). A content analysis on poetic and artistic qualities of digital fabrication in architecture. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 01-18. <https://doi.org/10.53710/jcode.1062471>

Anahtar Kelimeler: Dijital Fabrikasyon, Sanat, Mimarlık, Şiirsel

1. INTRODUCTION

'Paradigm shift' is a term that relies on Kuhn's most influential book 'The Structure of Scientific Revolutions'. (Kuhn, 1996) used the term 'Paradigm' referring to the 'particular coherent traditions of scientific research, an accepted model or pattern' and 'shift' for the emergence of scientific theories and changes. The paradigm shift includes changes in theory and application together according to (Kuhn, 1996). He says that these changes, which he describes as disruptive, occur when the number of unresolved problems in a discipline increases and these unresolved problems are focused on by some key figures in the field (Hairston, 1982). Kuhn's paradigm shift concept is discussed in every field such as sociology, education, and economy. It is so essential to understand the types of production in society.

The change in mode of production affects the architectural paradigms inevitably. Architecture and its production tools were also affected by the transformation from Fordism based on mass production and standardization of the same product to post-Fordism including a more flexible production process and customization. While the Fordism, which is an industrial paradigm, involves mass production and standardisation of products to reduce the costs and make the products more affordable (Dunham-Jones, 1997), the modernist paradigm for architecture also involves the same characteristics. However, the standardised body measurements and simplicity, which were characteristic of the modernist paradigm, lead an assumption on users as; not a unique person, but anonymous. Today the following paradigm in industry 'post-fordism' and the post-modernist paradigm involves emphasis on customization. Mass customization discussions have been growing in literature since the late 1980s (Fogliatto, Silveira, & Borenstein, 2012) (Lau, 1995) and argued as a new industrial revolution (Yao & Lin, 2016).

The characteristics of existing paradigms affect architectural pedagogy of that time. For example, the approach of the Bauhaus, the most influential art school of the 20th century, was associated with the Modernist paradigm. The Bauhaus saw itself as a part of the cultural modernity movement and made a lot of effort under the

name of "modernism" to re-establish the unity between artistic and technical production areas, again separated by industrial production (Michael & Lutz, 2009). Standardization, one of the most important features of the modernist paradigm, can be seen in the book of Neufert, one of the first students of this school. Neufert, educated by Walter Gropius, focused on standardized building arrangements and pre-planned items at all scales in his famous book (Meister, 2020). Unlike the standardization in the modernist era, the new digital era includes digital design and fabrication tools that enabled customization and opened up new possibilities in architecture.

Digital fabrication, which is a new form of production in architecture, has been discussed frequently in the literature in the last 10 years. The issue of digital fabrication was more discussed over the perspective of how to use it. In the literature, questions such as how to use new technologies and materials are discussed in digital fabrication. The question of why is as important as the question of how. One of the answers to the question of why lies in the relationship between art and digital fabrication. Therefore, the question "how important is art in digital fabrication in architecture" is crucial to highlight the artistic aspects of digital fabrication in architecture. To answer the research question, the article explains the components of the art and then proposes a comprehensive analysis of the literature.

2. DIGITAL FABRICATION LABORATORIES

Developments in manufacturing are assisting paradigm shifts today as they did in the 20th century (Terzidis, 2004) (Bell et. al., 2010). Actually, the introduction of the digital design and fabrication tools is not new. Between 1980-1990 it was associated with the first CNC machine usage (Wiedenbeck & Parsons, 2010) even though the tool was introduced a long time ago. CNC technologies were identified as subtractive manufacturing tools after the first 3D printing machine emerged in 1986 (Bhatia & Sharma, 2014), which was identified as one of the additive manufacturing tools. However, the reason for maker movement is not the introduction of these tools, but accessibility of them. Hybrid manufacturing processes (subtractive and additive together) can be used by architectural researchers in most of the university laboratories owing to the robotic

manufacturing. These are known as “digital fabrication laboratories” today and they are assisting a milestone for architecture as in Bauhaus.

Digital fabrication term is used for the production process of digitally designed and materialized products (Savastano, Bellini, D'Ascenzo, & Scornavacca, 2017) and it is categorized into three types; “subtractive, additive and formative” (Paio et al., 2012). These manufacturing techniques and digital design tools are together assisting new possibilities in architecture in digital fabrication laboratories. These tools provide us freedom in terms of form and complexity in terms of architectonic. The freedom has been interoperated a promise for more customized architectural entities from researchers (Oxman R. E., 2010) (Kolarevic, 2001) (Johnson & Vermillion, 2016). Architects are not just researching the formal opportunities but also reconsider the materialization options and re-examined the natural resources in digital fabrication laboratories (Beorkrem, 2017), (Kolarevic & Klinger, 2013), (Oxman N. , 2010), (Sass & Oxman, 2006). The frequently used terms “customization” and “personal fabrication” although the construction process still uses mass customized architectural elements.

The material emphasis and formal studies are the dominant character of digital fabrication laboratories. On the other hand, today, art is not in the list, but engineering, biology, material science in digital fabrication laboratories. The fact is that digital fabrication technologies provide us artistic, poetic and aesthetic possibilities whether we do or do not collaborate with art. Here, the question is how we consider the artistic value of it?

3. POETIC AND ARTISTIC QUALITIES

The researches in digital fabrication were especially focused on formal and structural properties of architecture. Statics, functions, scripts and simulations, which are related to how question, were used in a descriptive way of the process. We also need to track the why question as we do for the how question. The why question in the architecture field is related with the architectural phenomenology that emphasize its poetic, artistic and ethic dimensions. Pallasmaa (2012) also highlights the necessity of spatial sense, experience and

the poetry of space and critics “the blind belief in technology” (Amundsen, 2020).

Husserl (2001) who is the founder of phenomenology, Heidegger (2001) and Merleau-Ponty (2010) associate art and aesthetics with experience and sensory perception. Therefore, the aesthetic value of architecture could be discussed from the perspective of phenomenology which determines this value through experience. However, Heidegger emphasises the limiting capacity of technology (Heidegger M. , 1982), (Alawa, 2013), (Corsini & Moultrie, 2018), digital fabrication tools that emerge with technology have the potential to exceed this limit by enabling experience.

Poetic and artistic aspects of architecture are more examined in architectural pavilions and spatial art installations which are significant 1/1 scale architectural element manufactured through digital fabrication tools. These temporary research pavilions make it possible to reconsider the human experience while researching formal and structural relations. One of the studies that will exemplify this issue is an ASMR-focused fabrication production. The Autonomous Sensory Meridian Response (ASMR) is a sensory phenomenon that has not been previously studied and has been growing interest by people who can experience it. People react to certain triggering sounds and visual stimuli on the scalp, back of the neck, or other areas of the individual, such as tingling or feeling a sensation [7]. This concept, which is generally subject to psychology, has started to be discussed in the field of architecture. The museum exhibition was designed in 2020 by ETER, a partnership of architects, researchers, and educators (Eeter, 2021). This exhibition, titled "Weird sensation feels good", is devoted to these feelings and to the field of creativity that is thought to result from these emotions. Products like hands produced by 3d printing, 1 km long pillow which resembles the inner body tissue, the brain curves, vocal cords and irregular waveforms were custom-crafted objects and produced in the Northern Baltics. Especially for the pillow, 1 to 1 research models were made for a better understanding the texture of the fabric (Arterritory, 2022).

With this exhibition, Architects aimed to relax both body and mind for individuals by experiencing tangible and audio-visual stimuli

(Arterritory, 2022). The theme of the exhibition is that digital will bring people together physically and emotionally and how this can be used as a tool (Arterritory, 2022) to share this experience in a public space (Archdaily, 2021). The design of the installation provides an environment that allows visitors to experience a sensory environment visually, audibly and tactilely (**Figure 1**) (Arterritory, 2022).

Figure 1: Sensation, human body and technology (Archdaily, 2021).



Therefore, we investigated the traces of the artistic dimensions of space in the context of digital fabrication from the scholarly journals of the last ten years in this paper by using semantic data.

4. CONTENT ANALYSIS

To clarify the understanding of artistic aspects in studies related to digital fabrication in the field of architecture, a systematic literature review was made with the selected keywords and the criteria determined below.

- Keywords: “digital fabrication” and “architecture” in order to find journals in architectural fields and associated with the main topic ‘digital fabrication’
- Database for the literature search: ProQuest which provides access to large scholarly journals from various databases.
- Selection criteria for journals: Only peer-reviewed scholarly journal articles written in English were selected
- Publication Date: 10-year period between 2012 and 2021

To evaluate the artistic aspect of digital fabrication in architecture, 197 articles were found as a result of the above-mentioned criteria with the selected keywords. By checking the contents of these articles, their relationship with architecture has been examined. The topics of these articles were classified and those outside the field of architecture were excluded. The remaining 51 articles on the field of

Architecture were examined in more detail to extract those related to art (**Table 1**).

Journals	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Advances in Civil Engineering								2		
Architectural Science Review									1	
Arquiteturarevista	1									
Assembly Automation	1									
Buildings									1	1
Education Sciences			1							
Energies									1	
Int. J. of Comp. Methods and Experimental Measurements						3				
Int. J. of Design									1	
Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics						1				
Int. J. of Tech. and Design Education									2	
ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences					1	1				
J. of Edu. for Library and Information Science						1				
J. of Pre-College Engineering Education Research				1						
Materials								1	1	
Nexus Netw. J.						1	12	2	1	1
Polymers									1	
Rapid Prototyping J.				1		1				
Scientific Reports (Nature Publisher Group)									2	
Sensors								1		
Sustainability									3	2
TechTrends										1

The aesthetic aspects of an architectural form, unique experience promises, the style and the subjectivity of design, creativity and formal language were discussed in the paper while doing qualitative data analysis in MAXQDA software (Maxqda, 2022). A pre-coding schema is prepared from two authors and extended while doing a detailed reading. 37 Art-related keywords were decided by scanning the selected 51 articles and looking at their meanings in the text. Then, classification was done through semantic relations between the meaning of keywords (codes) with similar meaning logically and grouped; aesthetic, art, creativity, craft, freeform, sensory, formal (**Table 2**). The software which is commonly used in the social science, assist us to identify the semantic codes related to the research context without any omission. Then the papers were analyzed

Table 1: Selected articles by journal and year order.

through these codes. Our aim is not to prove if there is sufficient paper that discuss the artistic aspects of digital fabrication. However, this methodology helps us to understand the focus of the papers and the tendencies as an approach in this context.

Acknowledgements and references were excluded from the text data. Authors' affiliations and irrational word overlaps like 'National Gallery of Art', 'state of the art' were excluded manually while coding. Text data of the eliminated papers were analysed.

Table 2: Codes and sample text of coded segments.

Groups	Code	sample texts of coded segments
1	aesthetic	"a formal and aesthetic language", "architecture expression", "beauty of structures" (Tibuzzi, 2018)
	beauty	
	expression	
2	art	"design principles of stereotomy", "artistic expression", "art of stereotomic stone" (Boddeti, 2020) (Diles, 2018)
	stereotomy	
	artistic	
3	characteristic	"customization of the products ", "maker style learning ", "different conceptual aspiration" (Gamerro, Bocquet, & Weinand, 2020)
	identity	
	variety	
	style	
	concept	
	customization	
	subjective	
subjectivity		
4	creativity	"unique product designs" (Gamerro, Bocquet, & Weinand, 2020)
	create	
	creative	
	unique	
5	craft	"hand crafted", "craftsmen", "artifacts of artistic interest" (Fallacara & Barberio, 2018)
	artifact	
	artefact	
6	freeform	"freeform thrust surfaces", "freedom of shape", "organic structural morphology" (Fallacara & Barberio, 2018)
	complex	
	freedom	
	organic	
7	irregular	"the perception that the shell is floating", " the sensory experience of a space" (Bosqué, 2015).
	sensory	
	intuition	
	intuitive	
	feel	
8	perception	"formal language", "tectonic qualities", "geometrical configuration" (Chilton & Chuang, 2017)
	experience	
	Form(al)	
	composition	
8	tectonic	"formal language", "tectonic qualities", "geometrical configuration" (Chilton & Chuang, 2017)
	geometry	
	form	

The contents of the groups resulting from the classification and the context of the phrases within the text to explain the structure of review are explained in detail below:

Group 1: Considering the artistic aspects of digital fabrication in architecture, the aesthetic value of the product that emerges is one of the first concepts that come to mind. In addition to the function or material of the product resulting from digital fabrication, its aesthetic value is worth discussing. The word “aesthetic” is associated with beauty and art (oxford dictionary) and the aesthetic values of the design strengthen the feelings or ideas of the designers, namely their expressions. Therefore, the issue of aesthetics must be considered during the digital fabrication process. "a formal and aesthetic language", "architecture expression", "beauty of structures" are the sample text of these categories from the selected journals.

Group 2: Although the artistic and poetic aspects are seen as a main keyword and backbone for the entire study, it has been analysed as a normal word in the literature analysis within the other art related words. All words of group two in the above table are directly or indirectly related to art, but “stereotomy”, which is accepted as a form of art, and word of “artistic” coming from the same root grammatically have been put under this group. Stereotomy is discussed in selected articles in the context of design principles and its relationship with art. "design principles of stereotomy", "artistic expression", "art of stereotomic stone" are the sample text of these categories from the selected journals.

Group 3: Artistic works have a character so architecture may have been mentioned through that aspect while the author discusses. The word ‘character’ and other related words were coded in that segment in order to track and visualise the frequency. The issue of digital fabrication is defined as a process that enables customization that has a semiotic link with the other codes in this group. "Customization of the products ", "maker style learning ", "different conceptual aspiration" are the sample text of these category from the selected journals.

Group 4: Creativity, which is seen as one of the basic components of art, constitutes the content of this group but analysed in a separate

group. Creativity is a term that means; producing a unique and novel entity. However the code 'novel' search provides no meaningful result for these documents. "unique product designs" "in a creative way", "create hyperboloid modules" are the sample text of these categories from the selected journals.

Group 5: Craft, which is defined as a job or activity that is related to art but requires skill and experience unlike it, is another important topic. It is related to Bauhaus and also digital fabrication in that context and may be a frequently used code of this issue. "Artifact" and "artifact", which have the same meanings but different spellings, are coded associated with crafts. "hand crafted", "craftsmen", "artifacts of artistic interest" are the sample text of these categories from the selected journals.

Group 6: The word free-form simply means not having or following a particular style or structure (Cambridge dictionary). It is a frequently associated term related to digital paradigms in the architecture field. It is used in order to discuss the freeing potential of new technologies in terms of complex, organic or irregular forms and structures. "free-form thrust surfaces", "freedom of shape", "organic structural morphology" are the sample text of these categories from the selected journals.

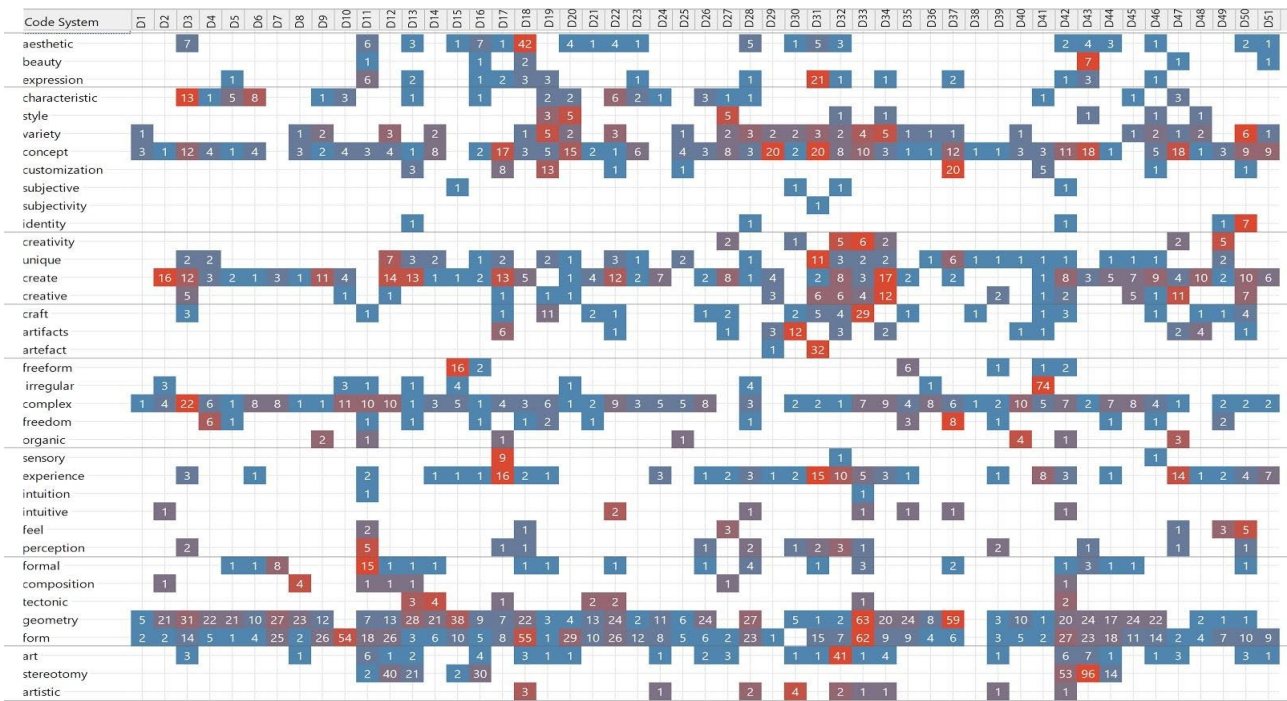
Group 7: Experience, sense and perception which are the frequently associated words in order to emphasise the artistic aspects of the architecture field as we have discussed the previous chapters in detail. Sensory is an etymologically justifiable word with sense that is associated with physical touch, smell, taste, hearing, and sight (Oxford dictionary). Intuition and intuitive also considered under this segment because it is used as a capacity for understanding something depending on feelings instead of evidence. "compromises the perception that the shell is floating", " the sensory experience of a space" are the sample text of these categories from the selected journals.

Group 8: Form, meaning the shape or appearance of something (Cambridge dictionary), is closely related to art. Tectonic, composition and geometry are grouped under the formal codes and explored from the documents separately. "formal language", "tectonic qualities",

"geometrical configuration" are the sample text of these categories from the selected journals.

5. KEY RESULTS

Selected articles were analysed with the determined codes (Table 1). Text data analysis with word count and frequency of them is chosen to make an interpretation about the weight of the why question. The column headers show id no of the publications (D1-D51) and row headers shows the coded words (**Figure 2**). From the visual density of the matrix, it is clear that the codes in groups 3, 4 and 8 are most frequently used codes and used at least 1 time in all papers. It can also be seen that the ‘stereotomy’ is a specific topic that is not used in all papers but on the other hand whose amount is also noteworthy. The code ‘concept’ and relatively the code ‘variety’ are frequently used words in the literary, on the other hand the total group has no significant usage but formal codes have.

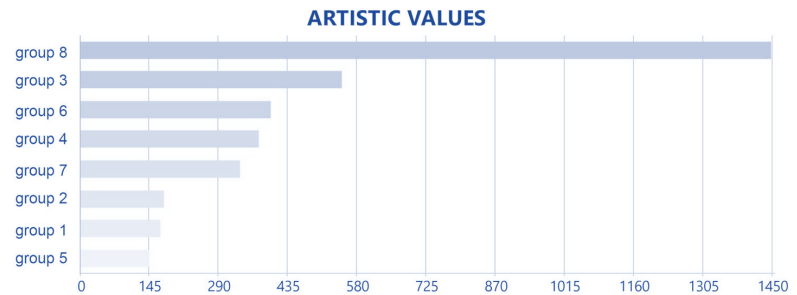


When we look at the total quantity of the codes, it is clear that group 8, which includes form, geometry, composition and tectonic, is the frequently used group. It means that the formal values of architecture are the most discussed aspects of it. On the other hand, the group 5,

Figure 2: Code system matrix in detail

which includes craft, artifact and artefact, is the less discussed aspects (Figure 3).

Figure 3: Code system in summary within the groups.



Looking at the relationship between digital fabrication in art and architecture in selected articles:

- Codes in group 3 (characteristic, identity, variety, style, concept, customization, subjective, subjectivity) and group 8 (Formal, composition, tectonic, geometry, form) are the most discussed codes. These codes are essential concepts for a study in the context of architecture and digital fabrication.
- Codes in group 1 (aesthetic, beauty, expression), group 2 (art, stereotomy, artistic) and group 5 (craft, artifact, artefact) are less discussed codes. Words directly related to art and craft are not discussed in the articles. There is also less discussion on the aesthetic values of digital fabrication.
- Codes group 7 (sense, experience, perception, intuition) are also less discussed codes even if these are very crucial concepts in architecture.

In addition to an overall analysis of how the coded words is used, the frequently used words also analysed and the results show us the main focus of this topic as; material, structure, process and technology. In general, material, structure, process, technology are the most frequently used words in these publications without any segmentation. This result shows us the focus of the research in the last ten years.

6. DISCUSSION

The paper presents a critique on contemporary scientific research and argues for artistic emphasis in the field of digital fabrication. The

arguments build upon historical and contemporary integrations of art, science and technology. It examines today's digital fabrication artefacts and the tendencies of scholars and designers and try to find out over-emphasise on certain aspects of design over artistic and poetic aspects. It questions the apparent lack of sensibility towards soft factors and how we accommodate the intangible human needs and desires in our designs provided all the fabrication opportunities according to the results.

As we see from literature analysis results, technology, structure and material are commonly used codes and there is an overemphasis on the engineering and material science aspects of design in literature over the last ten years. It is necessary to emphasize that this issue is at least as valuable as the question of how and that this aspect should be investigated more in scientific research. This result will not only bring a critical perspective to the subject, but will also guide future studies. Future research could continue to explore the reason for omission of artistic aspects.

In addition to demonstrating and criticising the issue this paper also argues the artistic aspects of architecture. Today the threefold of science, technology and art emphasis is still a prevailing topic in terms of today's digital fabrication artefacts and stories behind them.

REFERENCES

- Alawa, P. (2013). Martin Heidegger on science and technology: It's implication to the society. *IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)*, 12(6), 1-5.
- Amundsen, M. (2020). Q&A with Juhani Pallasmaa on architecture, aesthetics of atmospheres and the passage of timequestions-réponses avec Juhani Pallasmaa. *Ambiances*. <https://doi:10.4000/ambiances.1257>
- Archdaily. (2021, March 5). *Archdaily*. Retrieved from Weird sensation feels good exhibition at arkdes / ÉTER. <https://www.archdaily.com/941382/weird-sensation-feels-good-exhibition-at-arkdes-eter>
- Arterritory. (2022, January 22). *Arterritory*. Retrieved from https://arterritory.com/en/architecture_design--

fashion/topical_qa/24910-
we_live_in_times_of_a_new_awareness/

- Bell, L., Brown, A., Bull, G., Conly, K., & Johnson, L. (2010). A special editorial : Digital fabrication revolution. Editor's Notes. *Tech Trends*, 5, 2-5.
- Beorkrem, C. (2017). *Material strategies in digital fabrication*. London: Routledge.
- Bhatia, S. K., & Sharma, S. (2014). 3D-printed prosthetics roll off the presses. *Chemical Engineering Progress*, 110(5), 28-33.
- Boddeti, N. (2020). *Optimal design and manufacture of variable stiffness laminated continuous fiber reinforced composites*. Nature Publisher Group. <https://doi:10.1038/s41598-020-73333-4>
- Bosqué, C. (2015). What are you printing? Ambivalent emancipation by 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*, 21(5), 572-581. <https://doi:10.1108/RPJ-09-2014-0128>
- Chilton, o., & Chuang, C.-C. (2017). Rooted in nature: Aesthetics, geometry and structure in the shells of heinz isler. *Nexus Network Journal*, 19, 763-785. <https://doi:10.1007/s00004-017-0357-5>
- Corsini, L., & Moultrie, J. (2018). A review of making in the context of digital fabrication tools. *International Design Conference - Design 2018*.
- Diles, J. (2018). Lightweight Stereotomy with Glass-Fiber Reinforced Plastic. *Nexus Network Journal*. <https://doi:10.1007/s00004-018-0376-x>
- Dunham-Jones, E. (1997). Stars, swatches and sweets: Thoughts on Post-Fordist Production and the Star System in Architecture. *Thresholds*, 15, 16-21. https://doi.org/10.1162/thld_a_00534
- Eeter. (2021, March 5). *Eeter: Eeter achitectoral practice*. Retrieved from Eeter. <https://www.eeter.net/about>
- Fallacara, G., & Barberio, M. (2018). An Unfinished Manifesto for Stereotomy 2.0. *Nexus Network Journal*, 20(3). <https://doi:10.1007/s00004-018-0390-z>

- Fallacara, G., & Barberio, M. (2018). Stereotomy 2.0: The rebirth of a discipline that never died. *Nexus Network Journal*, 20(3). <https://doi.org/10.1007/s00004-018-0408-6>
- Fogliatto, F. S., Silveira, G. J., & Borenstein, D. (2012). The mass customization decade : An updated review of the literature. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.002>
- Gammero, J., Bocquet, J. F., & Weinand, Y. (2020). A calculation method for interconnected timber elements using wood-wood connections. *Buildings*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/buildings10030061>
- Hairston, M. (1982). The winds of change: Thomas Kuhn and the revolution in the teaching of writing. *Collage Composition and Communication*, 33(1), 76-88. <https://doi.org/10.2307/357846>.
- Heidegger, M. (1982). *Parmenides*. USA: Indiana University Press.
- Heidegger, M. (2001). *Poetry, language, thought*. (A. Hofstadter, Trans.) New York: Harper & Row, Publishers.
- Husserl, E. (2001). *Analyses concerning passive and active synthesis lectures on transcendental logic*. (R. Bennet, Ed., & A. J. Steinbock, Trans.) Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Johnson, J. S., & Vermillion, J. (2016). *Digital design exercises for architecture students*. London: Routledge.
- Khun, T. (1996). *The structure of scientific revolutions*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Kolarevic, B. (2001). Architecture in the digital age: Design and manufacturing. *19th eCAADe Conference Proceedings*, (pp. 117-123). Helsinki (Finland). <https://doi.org/10.4324/9780203634561>
- Kolarevic, B., & Klinger, K. (2013). *Manufacturing material effects: Rethinking design and making in architecture*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315881171>
- Lau, R. S. (1995). Mass customization : The next industrial revolution. *Industrial Management*, 37(5), 18-19.

- Maxqda. (2022, 10 January). *maxqda.com*. Retrieved from <https://www.maxqda.com/lang/tr>
- Meister, A.-M. (2020). Ernst Neufert 's ' Lebensgestaltungslehre ' : formatting life beyond the built. *BJHS Themes*, 5, 167–185 . <https://doi.org/10.1017/bjt.2020.13>
- Merleau-Ponty, M. (2010). *Phenomenology of Perception*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203720714>
- Michael, S., & Lutz, S. (2009). *Bauhaus 1919-1933*. . Parkstone International .
- Oxman, N. (2010). *Material-based design computation*. (D. o. Computation, Ed.) Massachusetts Institute of Technology. Retrieved from <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/59192>
- Oxman, R. E. (2010). Sharing media and knowledge in design pedagogy. (J. o. Construction, Ed.) *Electron. J. Inf. Technol. Constr.*, 15, 291–305. Retrieved from <http://www.itcon.org/2010/22>
- Paio, A., Eloy, S., Rato, V. M., Resende, J. R., & Oliveira, M. J. (2012). Adetti, L., Fablab, V.: Prototyping Vitruvius, New Challenges: Digital Education, Research and Practice. *Nexus Network Journal*, 14(3), 409-429. <https://doi.org/10.1007/s00004-012-0124-6>.
- Pallasmaa, J. (2012). *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Sass, L., & Oxman, R. (2006). Materializing design: The implications of rapid prototyping in digital design. *Design Studies*, 27(3), 325–355. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.009>
- Savastano, M., Bellini, F., D'Ascenzo, F., & Scornavacca, E. (2017). FabLabs as platforms for digital fabrication services: A literature analysis. *Lecture Notes in Business Information Processing*, (pp. 24-37). https://doi.org/10.1007/978-3-319-56925-3_3.
- Terzidis, K. (2004). The nature of computation algorithmic design: A paradigm shift in architecture? *22nd eCAADe Conference Proceedings*, (pp. 201–207).

- Tibuzzi, E. (2018). Revisiting stereotomic principles in contemporary aec practice. *Nexus Network Journal*.
<https://doi.org/10.1007/s00004-018-0406-8>
- Wiedenbeck, J., & Parsons, J. (2010). Digital technology use by companies in the furniture, cabinet, architectural millwork, and related industries. *Forest Products Journal*, 60(1), 79-85.
<https://doi.org/10.13073/0015-7473-60.1.78>
- Yao, X., & Lin, Y. (2016). Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 1665-1676.
<https://doi.org/10.1007/s00170-015-8076-0>

The Use of Virtual Reality for Mass Customization in Digital Fabrication Processes

Uğur Efe Uçar¹, Ethem Gürer²

ORCID NO: 0000-0002-1080-3080¹, 0000-0002-3482-2526²

^{1,2} Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, Istanbul, Turkey

The paper focuses on the use of virtual reality technology as a mass customization tool in the digital fabrication process to produce design objects suitable for different user dimensions. In line with the specified focus, the theoretical framework of the paper was examined through the concept of standardization. The concept of standardization was examined in terms of both the product and the product user, and the existing anthropometric data were questioned. Because of the inquiries made, it was stated that an overarching definition could not be made regarding anthropometric measures and the concept of the “average man.” This situation revealed the need for new approaches to design and production processes. This approach, which encourages the transparency of the production process and the ability of users to customize products by participating in the production process, is presented concerning the development and use of digital fabrication technologies. At the intersection of digital fabrication tools and mass customization, this paper examines the potential of interfaces to increase producer-consumer dialogue. Virtual reality, which can make the design product experience on a 1/1 scale and turn the user from the “spectator” into the “actor” of the experience, has been determined as the design tool. In line with all these, the paper hypothesizes that the use of virtual reality as a tool in the mass customization and digital production process will contribute to creating the transparent and participatory design process features of the future. To examine the stated hypothesis, two different design scenarios were designed as a paper method. In the first of these scenarios, the participants physically experience a design object (chair) in the real world to determine the ergonomics of the design object for them. In the second scenario, the participants make customizations in the virtual reality environment over the model of the design object, for which the user determines the ergonomically unsuitable features in the first scenario. The data obtained through anthropometric conformity analysis and new chairs designed by participants were evaluated with visual design outputs. As a result, virtual reality technology, which emerged as a tool suitable for the participatory and dynamic structure of the design and production process, contributes to the evolution of the process into a participatory structure. In addition, the presented design and production process enables the production of many alternatives for design objects. The production of countless alternatives is valuable not only to reach the most suitable product for users but also to improve the creative processes and learning environments of designers.

Received: 24.01.2022

Accepted: 21.03.2022

Corresponding Author:

ugurefeucar@gmail.com

Uçar, U.E. & Gürer, E. (2022). The use of virtual reality for mass customization in digital fabrication processes. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 3(1), 19-38. <https://doi.org/10.53710/jcode.1062205>

Keywords: Mass Customization, Digital Fabrication, Virtual Reality, Anthropometry, Dimensional Customization.

19

Dijital Fabrikasyon Süreçlerinde Sanal Gerçekliğin Kitlesele Bireyselleştirmeye Dönük Kullanımı

Uğur Efe Uçar¹, Ethem Gürer²

ORCID NO: 0000-0002-1080-30801¹, 0000-0002-3482-25262²

¹ Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, Istanbul, Turkey

² Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, Istanbul, Turkey

Çalışma, farklı kullanıcı boyutlarına uygun tasarım nesnelere üretebilmek için, sanal gerçeklik teknolojisinin dijital fabrikasyon sürecinde kitlesele bireyselleştirme aracı olarak kullanımına odaklanmaktadır. Çalışmanın teorik çerçevesi doğrultusunda standardizasyon kavramına ürün ve kullanıcı özelinde yaklaşmış, mevcut antropometrik veriler sorgulanmıştır. Tasarım ve üretim süreçlerinde yeni yaklaşımlara olan ihtiyaç kitlesele bireyselleştirme yaklaşımı üzerinden tartışılmıştır. Kullanıcıların üretim sürecine katılarak ürünleri bireyselleştirebilmesini teşvik eden bu yaklaşım, dijital fabrikasyon teknolojilerinin gelişimi ve kullanımı ile ilişkili olarak sunulmuştur. Dijital fabrikasyon araçları ve kitlesele bireyselleştirme kavramlarının ara kesitindeki çalışmada, tasarım ürününü 1/1 ölçekte deneyimleyen ve kullanıcıyı “seyirci” konumundan çıkarıp deneyimin “aktörü” haline getirebilen sanal gerçeklik teknolojisi araç olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın hipotezi, tasarım ürününün kitlesele bireyselleştirilmesi ve dijital üretimi sürecinde, sanal gerçekliğin bir araç olarak kullanılmasının, geleceğin şeffaf ve katılımcı tasarım süreç özelliklerini oluşturmada katkılar sunabileceğidir. Çalışma yöntemi olarak, iki farklı tasarım senaryosu kurgulanmıştır. Senaryoların ilkinde, ürün kullanıcı tasarım nesnesinin ergonomik uygunluğunu tespit etme amacıyla gerçek dünyada bir tasarım nesnesini (sandalye) fiziksel olarak deneyimlemektedir. İkinci senaryoda ise, ilk ortamda ergonomik olarak kendine uygun olmayan özellikleri belirlediği tasarım nesnesinin modeli üzerinden sanal gerçeklik ortamında kişiselleştirmeler yapılmaktadır. Antropometrik uygunluk analizi ve kullanıcılar tarafından üretilen yeni tasarım nesnelere üzerinden elde edilen veriler, görsel tasarım çıktıları ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, tasarım ve üretim sürecinin katılımcı ve dinamik yapısına uygun bir araç olarak ortaya çıkan sanal gerçeklik teknolojisi, sürecin katılımcı bir yapıya evrilmesine ve tasarım nesnelere ilişkin sayısız alternatifin üretilmesine katkı sunmaktadır. Bu durum, kullanıcıların kendisine en uygun ürüne ulaşması anlamında değil, tasarımcıların yaratma süreçlerinin ve öğrenme ortamlarının gelişmesi anlamında da değerlidir.

Teslim Tarihi: 24.01.2022

Kabul Tarihi: 21.03.2022

Sorumlu Yazar:

ugurefeucar@gmail.com

Uçar, U.E. & Gürer, E. (2022). Dijital fabrikasyon süreçlerinde sanal gerçekliğin kitlesele bireyselleştirmeye dönük kullanımı. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 3(1), 19-38. <https://doi.org/10.53710/icode.1062205>

Anahtar Kelimeler: Kitlesele Bireyselleştirme, Dijital Fabrikasyon, Sanal Gerçeklik, Antropometri, Boyutsal Bireyselleştirme.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi Devrimi sonrası seri üretim kavramının hızla yaygınlaşması, tasarım ürünlerinin endüstriyel anlamda hızlı üretilebilir ve az maliyetli olması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Tasarım ürünlerinin basit geometrik formlara sahip olması, bu gerekliliğin bir sonucudur. Bu durum, tasarım ürünlerinin standartlaşmasına sebep olmuştur. Yirminci yüzyıl boyunca üretilen yapı bileşenleri hem geometrik karmaşıklığın hem de form çeşitliliğinin olumsuz ekonomik etkilerinden dolayı geometrik olarak basit ve form açısından sınırlıdır (Dunn, 2012). Buna ek olarak, bahsedilen standartlaşma süreci sadece ürün ve bileşenleri özelinde değil ürün kullanıcısı özelinde de gerçekleşmiştir. Standart bir ürünü çok daha az maliyetle üreterek kâr elde etmeye dayalı seri üretim mantığının standart kullanıcılara ihtiyaç duyması, bu durumun sebebidir.

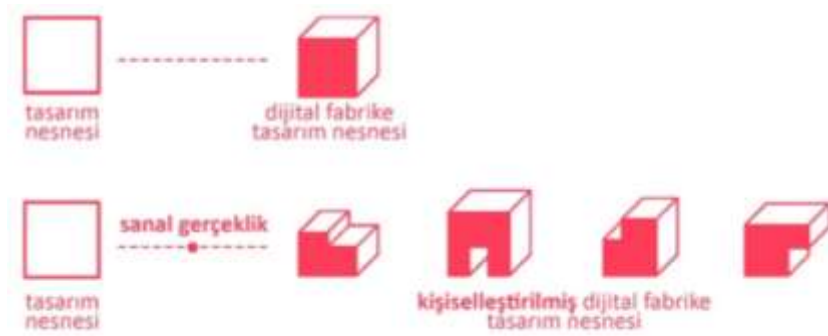
İnsan bedenine dair standardizasyonun temelini oluşturan bu düşünce yapısı, “ortalama insan” fikri üzerine antropometrik çalışmaların üretimini ortaya çıkarmıştır. Panero ve Zelnik’e (1979) göre bu yaklaşım bir yanılgı olup, ortalama insan kavramının mümkün olmadığı açıktır. Bu bağlamda, ihtiyaç ve kullanım farklılıkları, farklı yaşam tarzları ve kültürel geçmişler, cinsiyet, vb. gibi farklı değişkenleri barındıran kullanıcı profillerinin tek bir profile indirgenmesi mümkün değildir. Antropometrik olarak “ortalama insan” için üretilen bu ürünlerin özünde “hiç kimse” için olduğu ve konuya ilişkin yeni yaklaşımların gerekliliği açıktır.

Seri üretimin aksine “kitlesele bireyselleştirme” kavramı, ürün kullanıcılarının kendi istekleriyle ürünleri özelleştirmesine izin veren bir yaklaşımı içermektedir. Kitlesele bireyselleştirme, bireyselleştirilmiş ihtiyaçları karşılamak için ürün spesifikasyonunda kullanıcı katılımı ve karar verme vaadi sunmaktadır (Duray ve diğ., 2000). Ürünlerin nicel olarak daha az ve ancak kişiye özgü olarak üretildiği bu süreç, düşünsel anlamda tasarım ürününün ve kullanıcısının biricikliğine ve bütüncüllüğüne odaklanmaktadır. Bahsedilen odak noktasının sadece düşünsel anlamda kalmayıp aynı zamanda üretilebilir olması, alternatif bir yaklaşım elde edebilmek için önemlidir.

Kolarevic’e (2003) göre, dijital fabrikasyon teknolojileri ile bin adet özgün ürünü üretmek, bin adet özdeş ürünü üretmek kadar kolay ve uygun maliyetlidir. Bu noktada, dijital fabrikasyon teknikleri kullanılarak

biçimsel olarak birbirinden farklı bileşenleri, birbiri ile aynı olan bileşenler ile benzer süre ve maliyette üretebilme yeteneğinin altı çizilmiştir. Başka bir deyişle, biçimsel anlamda özdeş olarak tanımlanan ürünlerin seri üretim yaklaşımı ile üretildiği, özgün olarak tanımlanan ürünlerin ise kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı doğrultusunda ve dijital fabrikasyon teknikleri kullanılarak üretilbileceği vurgulanmıştır. Vurgulanan bu ifade, kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı ve dijital fabrikasyon tekniklerinin kavramsal anlamda paralellliğini ortaya koymakta olup, bu paralellik geleceğin üretim yaklaşım ve biçimleri açısından potansiyeller barındırmaktadır.

Kullanıcıların tasarım ve üretim sürecine daha fazla dahil olabilmesine dönük sorgulamalar üretmek, çalışmanın temel eksenini oluşturmaktadır. Bu eksen, sürecin demokratikleşmesine hizmet etmektedir (Khalili-Araghi & Kolarevic, 2020). Bu bağlamda, kullanıcıların, tasarım ürününü prototipleme aşamasından önce deneyimleyebilecekleri ve kişiselleştirebilecekleri araçların kullanımının demokratikleşme sürecine etkisi çalışmanın odağını oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, bu araç “sanal gerçeklik” olarak belirlenmiştir. Sanal gerçekliğin sahip olduğu; tasarım ürününe ilişkin modeli 1/1 ölçekte deneyimleyebilme ve kullanıcının kendi fiziksel bedenini 1/1 ölçekli olarak deneyimleterek ürüne ilişkin ergonomik ilişkiler oluşturabilme özellikleri artırılmış gerçeklik veya karma gerçeklik teknolojilerine kıyasla etkileşimi yüksek bir süreç potansiyeli barındırmaktadır. Bu bağlam, sanal gerçekliğin kullanılmasına ilişkin temel sebeplerdendir.



Şekil 1: Çalışmaya ait hipotezi gösteren diyagram (Diagram that unveils the hypothesis of the study).

Tüm bunlar doğrultusunda çalışmanın ana amacı, sanal gerçekliğin dijital fabrikasyon sürecinde bireyselleştirme için kullanılmasının, kullanıcı merkezli kolektif tasarım sürecine sunacağı katkıları ortaya koymaktır. Bu bağlamda çalışmanın hipotezi, tasarım ürününün kitlesel

olarak bireyselleştirilmesi ve dijital olarak üretimi sürecinde, sanal gerçekliğin bir araç olarak kullanılmasının, geleceğin şeffaf ve katılımcı tasarım süreç özelliklerini oluşturmada katkı sunacağı yönündedir (**Şekil 1**). Belirtilen hipotezin incelenmesi amacıyla, çalışma yöntemi olarak iki farklı tasarım senaryosu kurgulanmıştır. Ürün kullanıcısı bu senaryoların ilkinde, ergonomik olarak tasarım nesnesinin kendisine uygunluğunu tespit etme amacıyla gerçek dünyada bir tasarım nesnesini (sandalye) fiziksel olarak deneyimlemektedir. İkinci ortamda ise, ilk ortamda ergonomik olarak kendisine uygun olmayan özellikleri belirlediği tasarım nesnesinin modeli üzerinden sanal gerçeklik ortamı içerisinde kişiselleştirmeler yapmaktadır. Antropometrik uygunluk analizi ve kullanıcılar tarafından üretilen yeni tasarım nesnelere üzerinden elde edilen veriler, katılımcı ile yapılan çalışmalar sonucu elde edilen görsel tasarım çıktıları eşliğinde değerlendirilmiştir. Bu noktada çalışma kapsamı, ürün ölçeğine indirilmiş ve kişiselleştirilecek tasarım nesnesi sandalye olarak belirlenmiştir. Bu durumun sebebi, sandalyelerin mimarlık disiplini içerisindeki seri üretim yaklaşımının simgelerinden birine dönüşmüş olmasından kaynaklanmaktadır. Birer ikon-nesne olan sandalyelerin, ironik bir şekilde, işlev odaklı ve kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı doğrultusunda kişiselleştirilmesi süreci çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Bu noktada, çalışmada uygulanan yöntemin, ürün ölçeğinde uygulanabilirliği test edilmektedir. Belirtilen yöntemin tüm tasarım nesnelere kapsayamayacağı öngörülmekte olup, kapsamın iç mimari ve mimari tasarım ölçeğine genişletilmesi gelecek çalışmalar için potansiyel barındırmaktadır.

Şekil 2: Çalışma strüktür diyagramı (Structural diagram of study).



Çalışma strüktürü, **Şekil 2'**de de görüldüğü üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamaların ilki çalışmanın girişini, ikincisi problemin belirlenmesi ve kavramsal çerçevenin oluşturulması aşamasını ve üçüncüsü ise tasarım senaryolarının geliştirilmesi aşamasını içermektedir. Çalışmanın ilk kısmında ortaya konulan kavramsal altyapı içerisinde, insan bedenine ilişkin fenomenolojik yaklaşımı barındırmaktadır. Antropometrik standardizasyonun fenomenolojik yaklaşımla ilişkisi ve bu ilişkinin kitlesel bireyselleştirmeye olan ihtiyacı kuramsal olarak ortaya koyması, çalışmanın ikinci kısmını oluşturmaktadır. Çalışmanın üçüncü kısmında ise, çalışma yöntemi ve bu yöntem doğrultusunda seçilen araç olan sanal gerçekliğin süreç içerisindeki rolü tanımlanmıştır.

2. PROBLEMİN BELİRLENMESİ VE KAVRAMSAL ÇERÇEVENİN AÇIKLANMASI (PROBLEM STATEMENT AND EXPLANATION OF THE CONCEPTUAL FRAMEWORK)

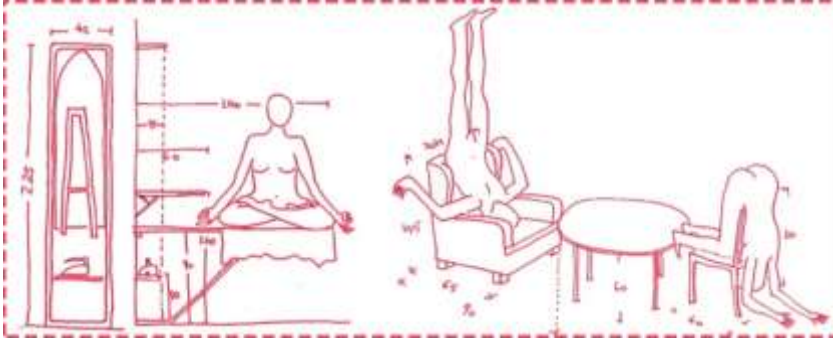
İnsanın çevresini anlama ve çevresi ile ilişki kurma sürecinde “beden” aktif bir rol oynamaktadır. Bu durumun temelinde; “bir şeyi öteki ile düşünmek ve bu düşünceyi o iki şey arasında kurulan farklı bağlantılar ile düzenleme” fikri yatmaktadır (Yazar, Yıl). Sayı sayma fikrinin parmaklarla kurulan ilişki yoluyla gelişmesi, ölçü birimlerinin insan uzuvları üzerinden tanımlanması (feet, mil, vb.) bu durumun örneklerindedir. İnsan bedenine ilişkin çalışmalar, düşünsel anlamda da kendisine alan açmıştır. İnsanın her şeyin ölçüsü olduğu fikri, mutlak güzellik anlayışının insan bedeni ve oransal ilişkileri üzerinden üretilmeye çalışılması, “makine insan” metaforu bunun örneklerindedir. Bu paralelde verilebilecek örneklerden bir diğeri ise, düşünce tarihi içerisinde bedenin özne (düşünen töz) ve nesne (maddesel töz) olarak iki ayrı töz olduğu fikrine dayanan Kartezyen Düalizmdir (Crane & Patterson, 2012). Bu düşüncenin aksine, Kartezyen Düalizm fikrini reddeden fenomenoloji, özne ve nesne deneyiminin aynı bedende gerçekleştiğini vurgulamaktadır (Gallagher & Zahavi, 2013). Çalışmanın kavramsal altyapısını oluşturan bu fikri; Husserl’in “körper” (fiziksel beden) ve “leib” (yaşayan beden) terimleri üzerinden okumak mümkündür. Husserl’e (1970) göre, algı açısından fiziksel beden ve yaşayan beden farklıdır. Algısal süreçte bedenin durağan olmayan yapısını vurgulamak amacıyla “leib” terimi kullanılmıştır. Bu durum, çevreyle ilişkimizin sadece nesnelere kurulan fiziksel ilişkiye dayalı olmadığını vurgulanması açısından önemlidir. Başka bir deyişle, bedenimizin bizi dünyada bir aktör yapan yaşanmış bir bedenselliği

vardır ve bu nedenle algımız yaşanmış, deneyimlenmiş bir algıdır (Shirazi, 2014). Bu doğrultuda, insan bedeni düşünen töz ve maddesel tözün çift yönlü ilişkisinden oluşmaktadır. Fiziksel bedenin yaşayan bedene dönüşüm sürecini sorgulayan bu fenomenolojik yaklaşım, çalışma kapsamında tartışılan standartlaşma ve bireyselleştirme kavramlarının sorgulanması için önemlidir.

İnsan bedenine ilişkin çalışmalar sadece düşünsel alanda kalmamış, onun ölçülerine dair oransal üretimler ve incelemeler mimarlık disiplini içerisinde de kendini göstermiştir. Mutlak güzellik anlayışının insan bedeni üzerinden tariflenmesi ve insanın her şeyin ölçüsü olduğu ilkel düşüncesi, mimaride sembolik olarak vurgulanmıştır. Bu vurgulama çabası, “mimari kurguyu insan bedenine benzetmek” veya “insan vücudunu geometrize etmek” şeklinde kendini göstermiştir. Temelinde “ortalama insan” oluşturma fikri olan antropometrik çalışmalar yapılmış ve boyutsal oranları belirli, statik insan figürleri üretilmiştir. Bu üretimleri, mimarlık disiplini ve bedene ilişkin ortaya koyulan fenomenolojik yaklaşımların ara kesitinde değerlendirmek, çalışmanın problemini tanımlamak açısından önemlidir. Antropometrik çalışmalar sonucu üretilen ve mimari tasarım sürecinde de yaygın bir şekilde kullanılan statik insan figürleri, insan bedenine dair fenomenolojik yaklaşımda ortaya koyulan “fiziksel beden” ile ilişkili kavramlardır. Bu noktada, çalışmanın ele aldığı ana problem “mimari tasarım sürecinde yapılan üretimlerin, üretilen statik insan figürleri bağlamında fiziksel bedenlerimize uygun olup, yaşayan bedenlerimize uygun olmadığı” şeklindedir. Bu doğrultuda, fenomenolojik yaklaşımda olduğu gibi, “fiziksel bedenden yaşayan bedene dönüşüm süreci” mimari tasarım süreci açısından ele alınmıştır. Bu fikir paralelinde rasyonalist düşünceler de zamanla şekillenmiştir. Burke’ye (1909) göre, insan vücudunu geometrize etmek ve boyutsal oranları belirli olan insan figürleri üretmek, mimara düşüncelerini desteklemesi adına bir katkı sağlamamıştır. Bu figürler üretilen düşüncenin mecburi bir temsili olup, insan doğasına tamamen aykırıdır.

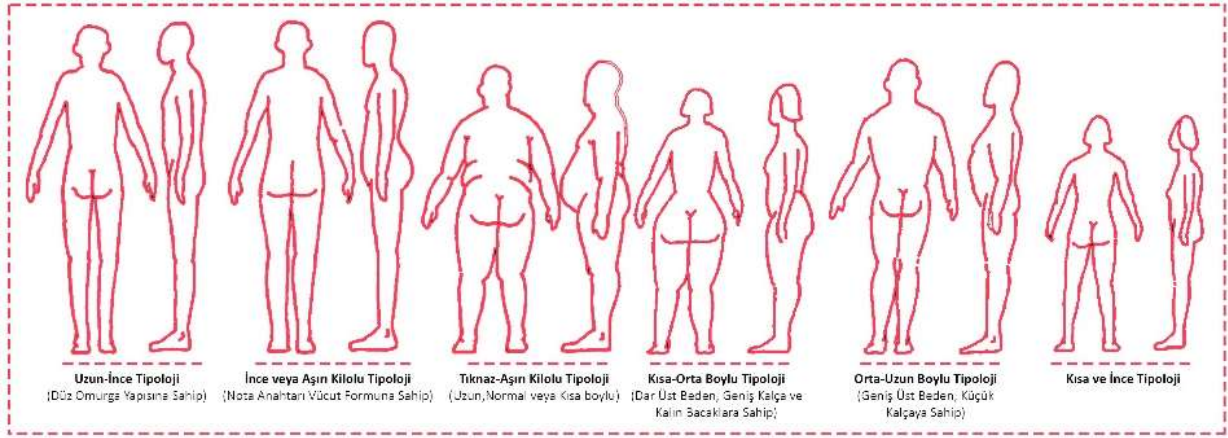
Buna ek olarak, günlük yaşam ve eylemler ile oluşturulan geometrik orantılar ve insan figürleri arasında bir ilişki yakalamak mümkün ve gerçekçi değildir. Bu orantının dayatmalarından kurtularak, insan biçimlerindeki geniş çeşitlilik görülebilir ve insanın dünyadaki yeri üzerine olan algı, bir dizi soyut oran ve sayıdan daha fazlasına dayanabilir (Caan, 2011). **Şekil 3**'te yer alan eskizler, antropometrik

standardizasyonun fiziksel bedenimizin statik yapısını temsil ettiğini; ancak bu temsillerin yaşayan bedenimize uygun olmadığı fikrini yansıtmaktadır (Desirenhos, 2014). Tüm bunlar, insan bedenine ve tasarım nesnesine ilişkin standardizasyonun problemliliğine dikkat çekmektedir.



Şekil 3: Antropometrik kabullere eleştiri niteliğinde üretilen eskizler: “Disturbing Neufert (Sketches produced as criticism of anthropometric assumptions: “Disturbing Neufert), Desirenhos, 2014).

İnsan bedenine ilişkin standardizasyon yaklaşımı, tasarım nesnesinin üretim süreci ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda antropometrik standardizasyon, seri üretim yaklaşımının gerekliliği olarak karşılık bulmaktadır. Seri üretim yaklaşımı doğrultusunda, tasarım nesnesinin hızlı üretilebilir ve az maliyetli olması fikri, insan bedenine ve insanın tasarım nesnesinin kullanım şekillerine ilişkin genellemelerin yapılması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Başka bir deyişle bu yaklaşımın özünde, “ortalama insan” için “ortalama tasarım ürünü” üretme fikri bulunmaktadır. Ancak, bu yaklaşımın temelinde bulunan ortalama insan kavramının kapsayıcılığı problemlidir. Hertzberg’e (1970) göre, herhangi bir grubun yarısı, ellinci yüzdilik dilime kadar boyutlandırılmış bir tasarımdan zarar görebilir; çünkü bu durum, grubun daha küçük olan yarısının, ortalama tasarıma erişemeyeceği anlamına gelir. Bu bağlamda, antropometrik olarak ortalama insan kavramının gerçek hayatta karşılığının olmadığı ve bunun bir yanılgı olduğu fikri ortaya çıkmaktadır (Behara & Das, 2012). **Şekil 4**’te görüldüğü üzere, fiziksel olarak ifade edilen insan çeşitliliğinin, tek bir profile indirgenmesi ve o profil için tasarım nesnesinin üretilmesi yanlıştır; çünkü “İnsanlar çeşit çeşit şekil ve boyutta gelir” (Franco, 2019). Başka bir deyişle, ortalama insan kavramı kadar kapsayıcı bir tanımın olması, ortalama insan için tasarlanan ortalama tasarım ürünlerinin özünde “hiç kimse” için olduğunun ispatı niteliğindedir.



Şekil 4: Sandalye ergonomisi için insan vücut tiplerine dair yapılan bir araştırma (A research on human body typologies for chair ergonomics) (Franco, 2019).

Ürün kullanıcılarının farklı bireysel ve demografik özelliklerine rağmen ortak ürünleri kullanıyor olması, seri üretim yaklaşımının sonuçlarından birisidir. Kullanıcıların kendi kullanacakları ürünleri kişiselleştirememeleri, bu yaklaşımın bir diğer problemleri tarafıdır. Bu noktada, üretici ve tüketici kavramlarının birleşimi sonucu oluşan “üreten tüketici (prosumer)” kavramı, üretim sürecinin değişimini ve “kitlesele bireyselleştirme (mass customization)” kavramını işaret etmektedir (Toffler, 1970). Khalili-Araghi ve Kolarevic’e göre (2020), kitlesele bireyselleştirme, tasarımcıların ve ürün kullanıcılarının birlikte tasarım ve üretim süreçlerine dahil olduğu, ürün kullanıcılarının ortak tasarımcı olduğu bir üretim sürecidir. Başka bir deyişle, kitlesele bireyselleştirme yaklaşımı üretilen ürünün niceliğine değil niteliğine odaklanmaktadır. Bu üretim yaklaşımı, Garip ve diğerleri (2021) tarafından, “standart bir ürünü çok daha az maliyetle üreterek çok kâr etmek yerine, üreticilerin son aşamada müşterilerinin kendi istekleriyle ürünlerini özelleştirmelerine izin verdiği ve çok daha az ürünün üretildiği bir süreç” olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar doğrultusunda, seri üretim yaklaşımının aksine kitlesele bireyselleştirme yaklaşımı, üretim sürecinin şeffaflaşması ve kullanıcıların üretim sürecine katılarak ürünleri bireyselleştirebilmesini teşvik etmektedir. Bu teşvikin üretim alanındaki karşılığı ise dijital fabrikasyon araçlarının gelişimi ile paralel ilerlemektedir. Dijital fabrikasyon teknolojilerinin gelişmesi ve bu teknolojilere erişimin kolaylaşması, tasarım ürününe ilişkin çıktının standartlaşmasını engellemektedir. Dijital üretim yöntemleri, standart dışı nesnelerin ve bileşenlerin üretilmesine izin vermekte ve bu üretim sürecini olumlu bir şekilde teşvik etmektedir (Dunn, 2012). Kendi ürününü üretebilen bir ürün kullanıcısının, üretim sürecine hiç dahil olmadığı veya bireyselleştiremediği hazır bir ürünü

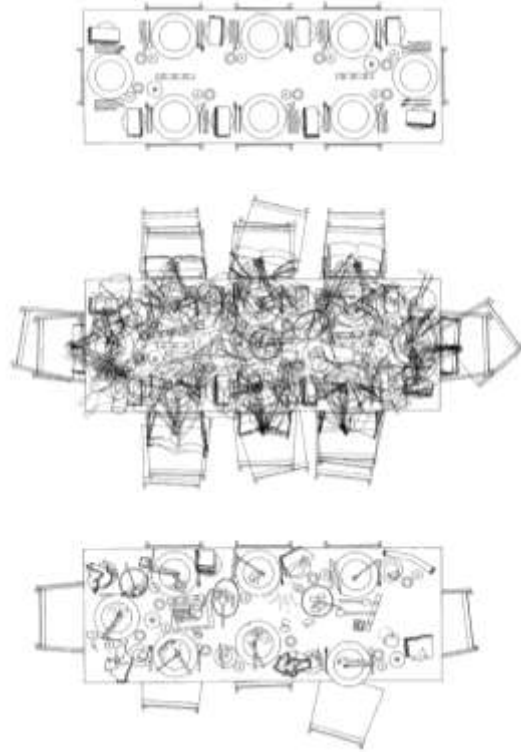
kullanması da geleceğin üretim yaklaşım ve biçimleri ile paralellik göstermemektedir. Bu durum, seri üretim yaklaşımının gelecek üretim senaryoları içerisinde kendisine yer bulamayacağı öngörüsünü ve yeni üretim yaklaşım ve biçimlerine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, dijital fabrikasyon araçları ve kitlesel bireyselleştirme kavramlarının ara kesitinde bulunan bu çalışma alanında, kullanıcı-üretici diyalogunu arttıracak yöntemlerin ve arayüzlerin potansiyellerinin incelenmesi ve geliştirilmesi önem taşımaktadır.

3. TASARIM SENARYOLARININ GELİŞTİRİLMESİ (DEVELOPMENT OF DESIGN SCENARIOS)

Geleceğin şeffaf ve katılımcı tasarım sürecini kurgulayabilmek adına dijital fabrikasyon sürecinde kullanılacak araçların incelenmesi önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında “sanal gerçeklik”, ürün kullanıcılarının tasarım ürününü üretim aşamasından önce deneyimleyebilecekleri ve bireyselleştirebilecekleri araç olarak belirlenmiştir. Bahsedilen deneyim ve bireyselleştirme süreci, ürünün fiziksel olarak deneyimi sonrasında sanal gerçeklik teknolojisinin sürece dahil olmasını kapsamaktadır (**Şekil 2**). Kullanıcıların sanal gerçeklik ortamında ürünü fiziksel olarak deneyimlediği bir sürecin aksine sadece sanal model üzerinden kişiselleştirebildikleri bir süreç tanımlanmaktadır. Bu noktada, ürünün fiziksel olarak gerçek dünyada deneyimi sonrası, aynı ürünün 1/1 ölçekli olarak sanal gerçeklik ortamındaki model üzerinden kişiselleştirilebilir olması (boyut, renk, doku, malzeme, vb. biçimsel özellikler) sanal gerçekliğin çalışma aracı olarak seçim sebebidir. Kullanıcının kendi fiziksel bedenini 1/1 ölçekli olarak kişiselleştirme sürecine dahil edebilmesi, arttırılmış gerçeklik veya karma gerçeklik teknolojilerine kıyasla etkileşimi yüksek bir süreç potansiyeli barındırmaktadır. Fiziksel olarak başlayan deneyim sürecinin sanal gerçeklik ortamına aktarılması sonucunda ortaya çıkabilecek zaman ve maliyet kazancı, üretim çeşitliliği gibi durumlar bu seçimin diğer temel sebeplerindedir. Fuchs ve Guitton’a (2011) göre, teknolojik deneyimler genellikle kullanıcıya sadece bir seyirci olma imkanı tanımaktadır; ancak sanal gerçeklik, kullanıcıyı “seyirci” konumundan çıkarıp bu deneyimlerin “aktörü” haline getirmektedir. Kullanıcının deneyimin aktörüne dönüşmesi ise kitlesel bireyselleştirme sürecinde, kullanıcının üretici ile kolektif çalışması ve üretim sürecinin aktörüne dönüşmesi fikrine paraleldir. Bu paralellik, tasarım ve üretim sürecinin kullanıcı odaklı ilerlemesi bakımından potansiyel

barındırmaktadır. Belirtilen potansiyelin incelenebilmesi için, çeşitli tasarım senaryoları kurgulanmıştır. Bu senaryolar, bir tasarım nesnesinin fiziksel ortamda denenmesini ve sonrasında sanal gerçeklik ortamında antropometrik olarak bireyselleştirilmesi aşamalarını içermektedir.

Tasarım nesnelerinin kullanıcı ve kullanım odaklı bir şekilde tasarlanması gerekliliği, tasarım senaryolarının ana konusunu oluşturmaktadır. Bir yemek masasının mimari temsili ve gerçekteki kullanımı arasındaki farklılığı gösteren eskizler, bu durumun özeti niteliğindedir (**Şekil 5**). Tasarım nesnelerinin mimari temsilleri, o tasarım nesnelerinin tasarım ve üretim sürecine ilişkin ipuçları barındırabilir. Francalanci (2012) tarafından, “Masanın çevresinde tam olarak eşit dört sandalyenin bulunması ürünlerin seri halinde üretilmesine kaçınılmaz bir teslim olmaya mı karşılık gelir?” sorusu tasarım senaryolarının ana çerçevesini ortaya koymak anlamında önem taşımaktadır.



Şekil 5: “The Rituals of Eating”,
Sarah Wigglesworth (The
Architectural Review, 2018).

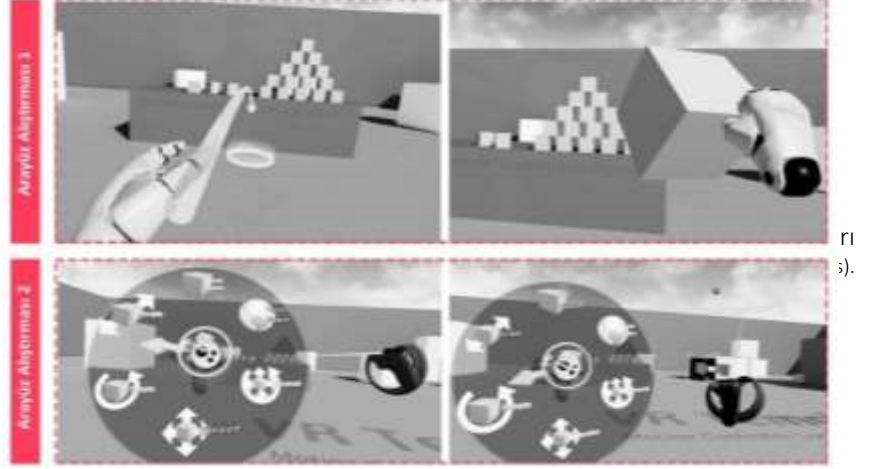
Tasarım senaryolarına ilişkin belirtilen ana çerçeve kapsamında incelenecek olan tasarım nesnesi ise sandalye olarak belirlenmiştir. İnceleme kapsamının sandalye ölçeğine indirilmesi, sandalyelerin mevcut tasarım kültürü içerisindeki konumlandırılışı ile ilişkilidir.

Mevcut tasarım kültürü içerisinde, sandalyelerin işlevselliğinin yanı sıra ona sahip olmanın verdiği haz duygusu, sandalyeleri birer “ikon- nesnelere” dönüştürmektedir. Bu durum sandalyeleri yatırım, üretim, kazanç, kullanma ve değerden oluşan bütün ticaret zincirinin simgesine dönüştürmektedir (Francalanci, 2012). Bu bağlamda tasarım senaryoları, ticaret ve seri üretim zincirinin simgelerinden biri olan sandalyenin, ironik bir şekilde, işlev odaklı ve kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı doğrultusunda boyutsal olarak kişiselleştirilmesi sürecini konu etmektedir.

3.1 Yöntem ve Süreç (Method and Process)

Tasarım senaryolarına ait ortamların oluşturulmasından önce, çalışmada kullanılacak yazılım ve donanımlar belirlenmiştir. Çalışmada donanım olarak, bir adet dizüstü bilgisayar ve bir adet sanal gerçeklik gözlüğü (Oculus Rift S), yazılım olarak ise üç boyutlu modellemenin yapılması ve üretilen modellerin sanal gerçeklik ortamına aktarılabilmesi amacıyla Unreal Engine programı kullanılmıştır. Buna ek olarak, çalışmanın katılımcı grubunu, eğitimine lisans düzeyinde devam eden, İstanbul Teknik Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü ikinci sınıf öğrencilerinden oluşan on kişi oluşturmaktadır. Katılımcıların seçiminde, sanal gerçeklik teknolojisine ilişkin bir deneyime sahip olmama kriteri göz önünde bulundurulmuştur. Sanal gerçekliğin dijital fabrikasyon sürecinde bir araç olarak kullanılmasını araştıran bu çalışmada, sanal gerçeklik teknolojisinin donanımsal anlamda öğrenim ve kullanım kolaylığının incelenmesi amacıyla bu kriter belirlenmiştir. Çalışma ortamının hazırlanması sırasında katılımcıların güvenliğini sağlama amacıyla, ilk olarak uygun boyutta zemin alanı tanımlanmıştır (2,5x5 metre). İkincil olarak, katılımcıların fiziksel mekandaki objelere çarpmasını engellemek amacıyla üçüncü boyutta koruyucu sanal sınırlar oluşturan “Oculus Guardian” kullanılmıştır. Bu aşama sonrasında, donanımlar çalışma mekanına yerleştirilmiştir.

Şekil 6: Çalışma öncesi kullanılan alıştırma arayüzüne ilişkin görseller (Interface images for training which were shown to participants before the protocol study begins).



Çalışma mekanının oluşturulması sonrası, kullanıcıların sanal gerçeklik donanımlarına ve arayüzüne ısınması amacıyla, arayüz alıştırmaları yapılmıştır (**Şekil 6**). Arayüz alıştırmalarının ilkinde, Unreal Engine programında hazır olarak bulunan sanal gerçeklik altlığı kullanılmıştır. Bu ortam içerisinde, katılımcıların hareket etmesi (teleport), nesnelere etkileşim kurabilmesi (kavrama, fırlatma, üst üste dizme, vb.) gibi sanal gerçeklik ortamına ait temel kullanım becerilerinin edinilmesi amaçlanmıştır. İkinci olarak, Unreal Engine programında hazır olarak bulunan sanal gerçeklik altlığı içerisinde, program arayüzünde bulunan “VR Mode” ile ortam içerisinde bulunan nesnelere ait özelliklerin nasıl değiştirilebileceğine dair bir alıştırma yapılmıştır. Bu alıştırma ile sanal gerçeklik ortamında, nesnelere büyüklüklerinin değiştirilmesi, hareket ettirilmesi, döndürülmesi, vb. gibi temel düzenleyicilere ait kullanım becerilerinin edinilmesi amaçlanmıştır. Çalışma mekanının oluşturulması ve arayüz araştırmaları sonrasında tasarım senaryoları, katılımcılar tarafından değerlendirilmiştir. Dijital fabrikasyonun bilgisayar ortamında başlayan bir süreç olması bağlamında sanal gerçeklik, ürünün fiziksel olarak deneyiminden sonra ve üretim sürecinden önce, bireyselleştirme amacı ile bu sürece dahil olmaktadır. Sanal gerçekliğin, dijital fabrikasyon sürecinde bireyselleştirme amacı ile kullanılmasının, kullanıcı merkezli kolektif tasarım sürecine sunacağı katkıları incelemek amacıyla oluşturulan tasarım senaryolarında, iki farklı ortam kurgulanmıştır. İki ortamdan ilki fiziksel mekanın kendisi olup, burada katılımcıların sandalyeyi boyutsal anlamda deneyimlemesi istenmiştir. Bu noktada boyutsal deneyim, kullanıcının kendi bedeni ve

sandalye arasında ölçeksel bir ilişki kurmasını ve sandalyeye ilişkin yükseklik, genişlik, derinlik gibi boyutsal değerlerin antropometrik uygunluğunu test etmesini içermektedir. Başka bir deyişle, sandalyeyi deneyimleme süreci, katılımcıların kendi bedenleri ve sandalye arasındaki ergonomik ilişkiyi değerlendirebilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. İkinci ortamda ise, fiziksel ortamda deneyimlenen sandalyenin modeli sanal gerçeklik ortamına aktarılmış ve katılımcıların deneyimlemesi istenmiştir. Başka bir deyişle, tasarım nesnesinin boyutsal anlamda bireyselleştirilmesi çalışmanın bu aşamasında gerçekleşmektedir. Boyutsal bireyselleştirme sonucu elde edilen birbirinden farklı on adet sandalye ve mevcut tasarım ile kişiselleştirilmiş tasarım arasındaki boyutsal farklılıklar çalışmada değerlendirilecek veriler olarak kaydedilmiştir.

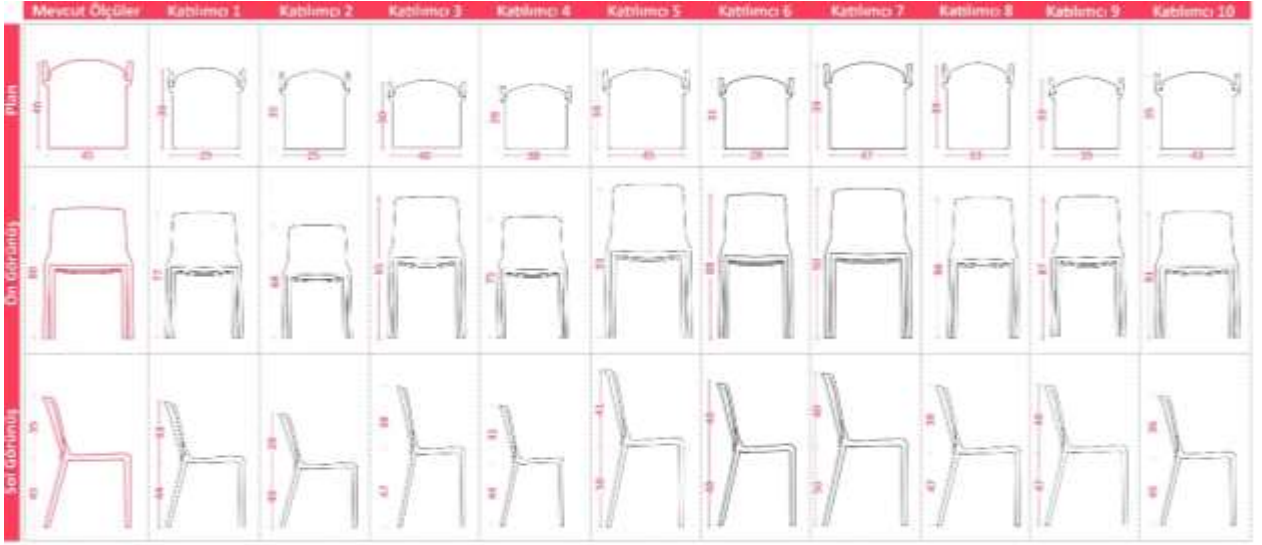
3.2 Verilerin Toplanması ve Analizi (Data Collection and Analysis)

Çalışma kapsamında, katılımcıların sandalyeye ilişkin belirledikleri özellikler, çalışmanın çıktısı ve gelecek çalışmaların girdisi olması anlamında önemlidir. Bu noktada, katılımcılardan fiziksel mekanda sandalyeyi deneyimlemesi sonucu, kendi bedenleri ve sandalye ile ilişkileri bağlamında sandalyeye ilişkin bireyselleştirmek istediği boyutsal özellikleri belirtmeleri istenmiştir. Bu özellikler:

- Katılımcı 1, 2, 4, 9, 10 tarafından, sandalyenin oturma genişliği, sırt yüksekliği ve oturma yüksekliğinin fazla olduğu,
- Katılımcı 3, 5, 6, 7, 8 tarafından sandalyenin oturma genişliği, sırt yüksekliği ve oturma yüksekliğinin az olduğu şeklinde belirtilmiştir.

Bu aşama sonrasında verilen modelin boyutsal özelliklerinin değiştirilmesi sonucunda fiziksel ortamda deneyimlenen sandalyeden boyut olarak farklı ve her kullanıcının kendi antropometrik uygunluğuna göre oluşturduğu 10 adet farklı sandalye modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan sandalyelere ilişkin boyutlar (genişlik, yükseklik, derinlik), mevcut tasarım ile kişiselleştirilmiş tasarım arasındaki boyutsal farklılıklar çalışma kapsamında değerlendirilecek veriler olarak belirlenmiştir. Bu verilerin nicel olarak analiz edilebilmesi için görselleştirmeler yapılmıştır. Yapılan görselleştirmeler ile, deneyimlenen sandalyenin gerçek boyutu ve katılımcıların oluşturduğu boyutlar arasındaki fark, grafik anlatı şeklinde ortaya konulmuştur. **Şekil 7**'de görülebilecek bu grafik anlatı, çalışma katılımcılarının boyutsal olarak bireyselleştirdikleri sandalyelerin plan ve görünüşlerini

göstermektedir. Grafik anlatı ile, farklı katılımcılardan elde edilen verilerin tekil olarak gözlemlenmesine ek olarak, karşılaştırmalı bir şekilde analizlerinin yapılması amaçlanmaktadır.



Şekil 7: Katılımcılar tarafından sandalyeye ilişkin üretilen farklı boyutsal varyasyonlar (Different dimensional variations of the chair produced by the participants).

Buna ek olarak çalışma kapsamında elde edilen verilerin analizi, sanal gerçeklik ortamında elde edilen sandalye varyasyonlarının, sandalyenin fiziksel mekânda deneyimlenmesi sonucu belirtilen özellikler ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. Belirtilen karşılaştırma, antropometrik uygunluk analizi ve kullanıcının bireyselleştirme eylemlerinin gözlemine dayanan tasarım senaryoları sonucu elde edilen bulgular aşağıda listelenmiştir:

- Katılımcı 1, 2, 4, 9, 10 tarafından, sandalyenin oturma genişliğinin, sırt yüksekliğinin ve oturma yüksekliğinin fazla olduğunun belirtilmesi sonucu, katılımcıların bireyselleştirme yaklaşımlarının sandalyeyi küçültmeye yönelik olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, sanal gerçeklik ortamında istenen küçültme oransal olarak yapılmıştır.
- Katılımcı 3, 5, 6, 7, 8 tarafından sandalyenin oturma genişliği, sırt yüksekliği ve oturma yüksekliğinin az olduğunun belirtilmesi sonucu, katılımcıların bireyselleştirme yaklaşımlarının sandalyeyi büyütme yönelik olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda sanal gerçeklik ortamında istenen büyütme genel anlamda yapılmıştır.

- Katılımcı 3, 5, 7, 8 tarafından sandalyeye ilişkin oransal büyütmelemlerin, X-Y-Z eksenlerinde bütüncül olarak yapılan bir oransal büyütmelemleri içermemiştir; aksine bazı eksenlerde büyütmelemlerin bazı eksenlerde ise küçültmelemlerin yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, çalışma kapsamında sandalyeye ilişkin parçaların ayrı bileşenler olarak modellenmesi ve birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesinin sonucu olup, bireyselleştirme çerçevesinde, genel geçer arketiplerin yorumlandığı özelleştirilmiş öneriler geliştirebilme fırsatı sunmuştur.
- Katılımcı 3, 5, 6 ve 8 tarafından çalışma öncesinde sandalyenin oturma genişliği az olarak belirtilmiş ancak çalışma sonucunda oturma genişliği daha da azaltılmıştır. Bu durum, fiziksel ortamda ve sanal gerçeklik ortamında sandalyenin farklı algılanabildiğine ilişkin bir bulgu olarak değerlendirilebilir.
- Katılımcı 1 ve 10 tarafından bireyselleştirilen sandalyelerin, bireyselleştirmeye dönük olarak görece daha az müdahale ve tasarım eylemi içerecek biçimde, mevcut sandalyelerin 3 ekseninde (x, y, z) de eş oranda küçültülmesinden öte bir iddiası bulunmamaktadır ve sandalyenin parçalarına ilişkin tekil oransal değişimlerin yapılmadığını göstermektedir.
- Katılımcı 2 tarafından bireyselleştirilen sandalyenin, boyutsal anlamda kullanılmayacak kadar küçültülmüş olması, sandalyenin sanal ortamda deneyimlenememesi sonucu boyut algısının kaybolduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, boyutsal algının kaybolmaması için bireyselleştirilmek istenen nesneye ek olarak boyutsal olarak referans verebilecek nesnelere arttırılmasının, boyutsal kavrayışı etkileyebileceği öngörülebilmektedir.
- Kullanıcı 9 tarafından çalışma öncesinde sandalyenin sırt yüksekliği fazla olarak belirtilmiş ancak çalışma sonucunda sırt yüksekliği daha da arttırılmıştır. Bu durum, fiziksel ortamda ve sanal gerçeklik ortamında sandalyenin farklı algılanabildiğine ilişkin bir bulgu olarak değerlendirilebilir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Çalışma kapsamında sanal gerçeklik teknolojisinin, dijital fabrikasyon sürecinde kitlesel bireyselleştirme aracı olarak kullanımı, antropometrik uygunluk analizine ve kullanıcının bireyselleştirme eylemlerinin gözlemine dayanan tasarım senaryoları üzerinden, katılımcı ile yapılan çalışmalar sonucu elde edilen görsel tasarım çıktıları eşliğinde değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonrasında elde edilen verilerin analizi sonucu ortaya çıkan bulgular şu şekilde maddelenebilir:

- Çalışma katılımcıları, tasarım senaryolarına ilişkin ilk ortam olan fiziksel mekanda sandalyeyi deneyimledikten sonra, kendi antropometrik ve ergonomik uygunluklarına göre sandalyenin boyutuna ilişkin değiştirmek istedikleri özellikleri tespit etmişlerdir. Bu özelliklerin her kullanıcı özelinde değişmesi ve her kullanıcının farklı şekillerde bu değişikliği yapmak istemesi, antropometrik standardizasyonun kapsayıcı olmadığı savını destekler niteliktedir. Bu sav, her kullanıcıya uygun tasarım çözümleri üretmesi bakımından kitlesel bireyselleştirme yaklaşımının kullanım potansiyelini yansıtmaktadır.
- Çalışma katılımcılarının, sanal gerçeklik teknolojisine ilişkin bir kullanım deneyimlerinin olmamasına rağmen, verilen sandalyeyi sanal gerçeklik ortamında boyutsal olarak bireyselleştirebilmiş olması, öğrenim ve kullanım kolaylığı sağlaması bağlamında, sanal gerçekliğin geleceğin katılımcı tasarım ortam ve pedagojilerinde kitlesel bireyselleştirme aracı olarak kullanılma potansiyeli için önemli bir çıktıdır.
- Sanal gerçeklik ortamı ve fiziksel mekan arasındaki algı farklılığının azaltılabilmesi için, katılımcıların ölçülerini tahmin edebildiği ve doğrudan ilişki kurabildiği referans nesnelerin kullanımının artırılmasının boyutsal kavrayışa olumlu etki edeceği öngörülmektedir.
- Algısal sürecin sadece mekan odaklı değil, ayrıca egosantrik de bir durum olması, kullanıcı odaklı bir araç olan sanal gerçeklik teknolojisi, tasarım ve üretim süreçlerine dahil olmasını kolaylaştırmaktadır.

- Bitmiş ürünün deneyimlendiği statik bir sistem yerine dijital fabrikasyon sürecinde sanal gerçeklik kullanılarak dinamik bir süreç önerilmiştir. Öte yandan, çalışma kapsamında, katılımcıların tasarım nesnesine ilişkin müdahalesini sınırlayan birtakım kuralların veya parametrelerin belirlenmemesi, kullanılmayacak ürünlerin üretilmesiyle sonuçlanmıştır. Bu bağlamda, tasarımcı tarafından belirlenen bazı parametrelerin sabit tutulması, kullanıcı merkezli bireyselleştirme sürecinin verimliliğini arttırabilir.
- Katılımcılardan bazılarında, boyutsal anlamda kullanılmayacak kadar küçük veya büyük ürünlerin oluşturulması, kullanıcının sanal gerçeklik ortamındaki kişiselleştirme sürecine belirli alt ve üst limitler eklenmesi gerekliliğine işaret etmektedir. Katılımcıların kişiselleştirme sürecinde tamamen özgür olmamaları ve belirli kısıtlamaların getirilmesi, ortaya çıkabilecek nihai ürünün kullanıcıya olan uygunluğunu ve bireyselleştirme sürecinin verimliliğini arttırabilir.

Bu araştırmanın sonuçları, ürünün kitlesel olarak bireyselleştirilmesi ve dijital olarak üretimi arasında kullanıcının sürece daha fazla dahil olabilmeye dönük bir araç olarak, sanal gerçeklik teknolojisini geliştirilerek kullanılabileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda, kullanıcıların, tasarım ürününü prototipleme aşamasından önce deneyimleyebilecekleri ve kişiselleştirebilecekleri araç olarak sanal gerçeklik teknolojisini kullanabilmeleri, tasarım sürecinin katılımcı ve kullanıcı merkezli bir sürece evrilmesi açısından dijital fabrikasyon teknolojileri ile doğrudan ilişki içerisindedir. Tasarım sürecinin katılımcı ve kullanıcı merkezli sürece evriminde, bilişim teknolojilerinin gelişimi ve bu gelişim paralelinde dijital fabrikasyon ve kitlesel bireyselleştirme alanlarının ara kesitinde yapılacak çalışmaların sürekliliği önemlidir. Elde edilen tüm bu bulgular neticesinde, sanal gerçeklik teknolojisini dijital fabrikasyon sürecinde kitlesel bireyselleştirme aracı olarak kullanımına ilişkin çalışmaların sayısının arttırılması gerekliliği açıktır. Bu bağlamda, potansiyel çalışma alanları: sanal gerçeklik teknolojisi kullanılarak, kitlesel bireyselleştirme sürecinin farklı tasarım nesnelere ve mekan ölçeklerinde çalışılması; boyutsal parametrelere ek olarak, farklı işlevsel ve estetik parametrelerin sanal gerçeklik teknolojisi kullanılarak kitlesel bireyselleştirme süreci içerisinde değerlendirilmesi ve sanal gerçeklik ortamında kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı doğrultusunda arayüzlerin ve yazılımların geliştirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Sonuç olarak, dijital fabrikasyon teknolojilerinin gelişimi, ürün kullanıcılarının tasarım ve üretim sürecine dahil olmasını ve sürecin daha katılımcı bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır. Bu noktada kullanıcılar açısından, tasarım ve üretim sürecinin nihai ürün üzerinden okunmasını sağlayan ve statik bir yapıya sahip seri üretim yaklaşımı yerine tüm sürecin dinamik olarak deneyimlenebildiği kitlesel bireyselleştirme yaklaşımı, dijital fabrikasyon teknolojileri ile daha uyumludur. Çalışmanın kavramsal altyapısında ortaya konulan kitlesel bireyselleştirme döngüsü hem sürecin hem de final ürününün önemini ve dinamik yapısını göstermesi anlamında bu savı destekler niteliktedir. Üretim sürecinin, kullanıcının özellikleri, kullanım şekli ve istekleri doğrultusunda kullanıcı odaklı bir yapıya dönüşmüş olması, üretim araçlarının da bu doğrultuda kullanılmasını veya değerlendirilmesini gerektirmektedir. Tasarım ve üretim sürecinin katılımcı ve dinamik yapısına uygun bir araç olarak ortaya çıkan sanal gerçeklik teknolojisi ise, ürün kullanıcısının bu sürece 1/1 ölçekte dahil olabildiğini sağladığı için, sürecin tamamen katılımcı bir yapıya evrilmesini sağlamaktadır. Bu yapı, tasarım nesnelere ilişkin sayısız alternatifin üretilmesini sağlamaktadır. Sayısız alternatifin üretilmesi ise sadece kullanıcıların kendisine en uygun ürüne ulaşması anlamında değil, tasarımcıların yaratma süreçlerinin ve öğrenme ortamlarının gelişmesi anlamında da değerlidir.

Referanslar (References)

- Behara, D. N. & Das, B. (2012). Structural anthropometric measurements of the Canadian adult population: the fallacy of the 'average person' concept. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 13(3), 380-392. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2010.505271>
- Burke, E. (1909). *On the sublime and beautiful*. P.F. Collier & Son Company, <https://www.bartleby.com/24/2/>
- Caan, S. (2011). *Rethinking design and interiors*. Laurence King Publishing.
- Crane, T., & Patterson, S. (Eds.). (2012). *History of the mind-body problem*. Routledge.
- Desirenhos. (2014, Feb 9). Disturbing Neufert. Retrieved Jan 21, 2022, from <https://desirenhos.wordpress.com/2014/09/02/disturbing-neufert-2/>
- Dunn, N. (2012). *Digital fabrication in architecture*. Laurence King Publishing.
- Françalanci, E. L., (2012). *The aesthetic of the objects [Nesnelerin estetiği]*. Dost Bookstore Publishing.

- Franco, T. F. (2019). Understanding the human body: designing for people of all shapes and sizes. *Archdaily*. Retrieved Jan 21, 2022, from <https://www.archdaily.com/903027>
- Fuchs, P., Moreau G. & Guitton, P. (2011). *Virtual reality: Concepts and technologies*. CRC Press.
- Gallagher, S., & Zahavi, D. (2013). *The phenomenological mind*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429319792>
- Garip, E., Onay, N. S. & Garip, S. B. (2021). A model for mass customization and flexibility in mass housing units. *Open House International*, 46(4), 636-650. <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2021-0053>
- Gürer, E. (2014). *The phenomenology of computational thinking in design*. (Thesis No. 355967) [Doctoral dissertation (355967), Istanbul Technical University]. Council of Higher Education Thesis Center [Yükseköğretim Kurumu Başkanlığı Tez Merkezi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
[Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurumu Başkanlığı.
- Hertzberg, H. T. E. (1970). *Avarage man is a fiction: Range of sizes is key to efficient workplaces*. Contract Publishing.
- Husserl, E. (1970). *The crisis of European sciences and transcendental phenomenology*. Northwestern University Press.
- Khalili-Araghi, S. & Kolarevic, B. (2020). Variability and validity: flexibility of a dimensional customization system. *Automation in Construction*, 109, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102970>
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Spon Press.
- Panero, J. & Zelnik, M. (1979). *Human dimension & interior space*. Watson-Guptill Publications.
- R. Duray, P.T. Ward, G.W. Milligan. & W.L. Berry. (2000). Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operational Management*, 18(6), 605–625. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(00\)00043-7](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00043-7)
- Shirazi, M. R. (2014). *Towards an articulated phenomenological interpretation of architecture*. Routledge Taylor and Francis Group.
- The Architectural Review. (2018, Sep 26). Folio: Sarah Wigglesworth's dining tables. Retrieved Jan 21, 2022, from <https://www.architectural-review.com/essays/folio/folio-sarah-wigglesworths-dining-tables>,
- Toffler, A. (1970). *Future shock*. Bantam Books.

Digital Integration of Cultural Heritage Objects Using Voronoi-Based Generative Design Methods

İpek Akbaylar Hayreter¹

ORCID NO: 0000-0001-8976-0951¹

¹ Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Integrating the missing parts of damaged cultural heritage objects with original or contemporary materials is an important restoration technique that directly effects the perception of the artifacts. In the conservation of cultural heritage, when an integration is to be made to the original object, the new material to be added should have a different surface texture so that it can be distinguished from the original. Within the scope of this study, it is aimed to digitally integrate the missing parts of the damaged cultural heritage objects with a generative design method. Developing technologies support the digital documentation and effective presentation of cultural heritage. The artifact can be integrated digitally without the risk of damaging its original state, and in the following stages, it can be experienced by people in museums through different ways of representation when supported by tools such as augmented reality. Such current practices can contribute to the increase of interest in cultural heritage by strengthening people's interaction with the historical artifacts. In this study, the Cellular Automata approach is taken as a basis, in which Voronoi diagrams are used as a generative design method, considering that the new formation, which will take in charge as a representative binder in the missing parts of the objects, will adapt to the organic form of the space to be filled. In the selection of this method, which is based on more irregular neighborhood relations of cells in different sizes and shapes, it is taken into account that it allows the type of production aimed in the study. The missing parts of the objects are modeled in three dimensions, and the gaps are digitally integrated with Voronoi diagrams with different cell sizes. It is among the aims of this study to draw attention to the disappearing cultural heritage values with different representations of cultural heritage objects integrated with generative design-based digital methods and to contribute to the field of cultural heritage conservation. When the related leading studies in the literature are evaluated, it is considered that experiencing the outcomes of this study through different current technologies such as augmented and virtual reality will increase the interaction of people with cultural heritage.

Received: 22.01.2022

Accepted: 27.03.2022

Corresponding Author:

ipekabaylar@gmail.com

Akbaylar Hayreter, İpek (2022). Digital Integration of Cultural Heritage Objects Using Voronoi-Based Generative Design Methods. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 39-52. <https://doi.org/10.53710/jcode.1061733>

Keywords: Computer Aided 3D Modeling, Digital Presentation of Cultural Heritage, Digital Integration, Delaunay Triangulation, Voronoi Based Generative Design

Kültürel Miras Objelerinin Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Dijital Bütünlenmesi

İpek Akbaylar Hayreter¹

ORCID NO: 0000-0001-8976-0951 ¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Hasar görmüş kültürel miras objelerinin parçalanıp yok olmuş olan eksik kısımlarının özgün veya çağdaş malzemelerle bütünlenmesi eserlerin algılanmasını birebir etkileyen önemli bir restorasyon müdahale tekniğidir. Kültürel mirasın korunması alanında, özgün esere bütünleme yapılacağı zaman, yeni eklenecek malzemenin özgün olandan ayrılabilmesi için farklı yüzey dokusunda bir malzeme ile müdahalenin belirgin kılınması gözetilir. Bu çalışma kapsamında, hasar görmüş kültürel miras objelerinin günümüze ulaşamamış olan eksik kısımlarının bir üretken tasarım yöntemiyle dijital olarak bütünlenmesi amaçlanmıştır. Gelişen teknolojiler, kültürel mirasın dijital olarak belgelenmesini ve etkin bir şekilde sunulmasını desteklemektedir. Eser, özgün haline zarar verme riski olmadan dijital olarak bütünlenebilmekte ve sonraki aşamalarda ise artırılmış gerçeklik gibi araçlarla desteklendiğinde müzelerde ziyaretçiler tarafından farklı temsil yollarıyla deneyimlenebilmektedir. Böyle güncel uygulamalar, insanların tarihi eserlerle etkileşimini güçlendirerek kültürel mirasa olan ilginin artmasına katkı sunabilmektedir. Bu çalışmada, objelerin eksik kısımlarında temsili olarak bağlayıcı görev üstlenecek olan yeni oluşumda, doldurulacak olan boşluğun organik formuna uyum sağlayacağı gözetilerek üretken tasarım yöntemlerinden Voronoi diyagramlarının kullanıldığı Hücresel Özdevinim yaklaşımı esas alınmıştır. Farklı boyutlarda ve biçimlerde hücrelerin daha düzensiz komşuluk ilişkilerine dayanan bu sistemin seçiminde çalışmada amaçlanan üretime olanak tanınması göz önünde bulundurulmuştur. Objelerin eksik kısımları üç boyutlu olarak modellenmiş olup, boşluklar farklı hücre boyutlarına sahip Voronoi diyagramlarıyla dijital olarak tamamlanmıştır. Üretken tasarım temelli dijital yöntemlerle bütünlenmiş kültürel miras objelerinin farklı temsilleriyle yok olan kültürel değerlere dikkat çekmek ve mirasın korunması alanına katkı sağlayabilmek bu çalışmanın amaçlarındandır. Literatürde konuyla ilgili önde gelen çalışmalar değerlendirilince, bu çalışmanın sonuçlarının artırılmış ve sanal gerçeklik gibi farklı güncel teknolojilerle deneyimlenmesinin insanların kültürel mirasla etkileşimini arttıracığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar Destekli 3B Modelleme, Kültürel Mirasın Dijital Sunumu, Dijital Bütünleme, Delaunay Üçgenlemesi, Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım

Received: 24.01.2022

Accepted: 18.03.2022

Corresponding Author:
ipekabaylar@gmail.com

Akbaylar Hayreter, İpek (2022). Kültürel Miras Objelerinin Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Dijital Bütünlenmesi. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 39-52. <https://doi.org/0.53710/jcode.1061733>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kültürel miras alanlarında ve müzelerde karşılaştığımız çeşitli eserlerin ve objelerin hasar görme, parçalanma veya bazı bölümlerinin yok olmasına sebep olan etken çoğunlukla uzun yıllar içinde maruz kaldıkları doğal aşınmalardır. Buna ek olarak, tarih içinde savaş ve vandalizm gibi insanların sebep olduğu etkenlerden dolayı da tahrip olabilmektedirler (Vesna et al., 2017). 1980’de UNESCO Dünya Mirası Listesi’ne dâhil edilmiş olan Palmira Antik Kenti’ndeki pek çok heykel ve anıtsal yapı saldırılar sonucu neredeyse yerle bir olmuştur (Çakırca, 2015). Yok olan kültürel miras değerlerini yerine getirmek mümkün olamasa da, benzer olayların tekrarlanmaması amacıyla önlemlerin artırılmasının yanı sıra en temel ve öncelikli olarak kültürel miras bilincini inşa etmeye ve yaygınlaştırmaya yönelik etkinliklerin küçük yaşlardan itibaren eğitim sistemine dâhil edilmesi, insanların arkeolojik alanlar, müzeler gibi yerleri ziyaret etmelerini teşvik eden daha dikkat çekici çalışmaların yapılması önem kazanmaktadır.

Kültürel miras algısı, insanın yer ve aidiyet duygusunu şekillendiren önemli kavramların arasında yer alır. Gelişen dijital teknolojiler, bu algıyı besleme ve güçlendirme yolunda güçlü katkılar sunmakta olup kültürel mirası belgelemenin ötesinde artık onu tecrübe etme yollarımızı dönüştürmektedir (Economou, 2015). Kültürel mirasın daha görünür ve bilinir kılınması amacıyla konuya duyarlı farklı disiplinlerce çalışmalar artmakta olup; çevrimiçi oyunlar, animasyon, artırılmış gerçeklik gibi hızla geliştirilen dijital uygulamalar bu çalışmaları destekleyen araçlara dönüşmüştür. Kültürel miras eserlerini sanal müze gibi dijital ortamlarda deneyimleme imkanı, bu değerleri ve mekanları algılayış şeklimizi de dönüştürerek güçlendirir (Margetis et al., 2020). Çevrimiçi mirasın evrensel boyutta ulaşılabilirliği özgünlük, aidiyet, kimlik gibi mimariyi şekillendiren kavramların yeniden yorumlanmasına sebep olmuştur. Dijital özgünlük, artırılmış özgünlük gibi ilginç yeni yaklaşımlar ortaya atılırken, dijital replikaların orijinalini ne kadar temsil edebildiği de bir soru olarak karşımıza çıkar (Hermon & Niccolucci, 2018). Artırılmış ve sanal gerçeklik uygulamaları, özgün eserlere bir zarar gelmeden algılanma düzeyini arttırmaya yönelik fırsatlar sunmaktadır.

Antik kentlerden çıkarılan yapı, heykel ve buluntular, detaylı olarak belgelendikten sonra çeşitli restorasyon teknikleriyle temizlenip

sağlamlaştırılmaktadır. Antik yapılar gibi taşınmaz kültürel miras öğeleri yerinde korunurken, heykel gibi taşınabilir kültürel miras objeleri uygun atmosfer koşullarında sergilenmeleri için genellikle müzelerde veya yine buldukları yerde korunmaktadırlar. Arkeolojik alandan taşınıp müzelerde daha uygun şartlarda sergilenen heykellerin bazen replikaları üretilerek orijinal konumunda da sergilenmesi sağlanmaktadır. Tarihi eserin mevcut durumunun detaylı modelinin üretilerek belgelenmesi korumada önemli bir aşamayken eserin etkili yöntemlerle temsil edilerek toplumla buluşturulduğu yaratıcı çalışmalara ilginin artmakta olması alanın gelişimi konusunda umut vericidir.

2. RESTORASYONDA BÜTÜNLEME TEKNİĞİ (COMPLETION METHOD IN RESTORATION)

Hasar görmüş olan tarihi yapı, heykel ve objelerin parçalanmış veya günümüze ulaşmamış bölümlerinin özgün veya çağdaş malzemelerle tamamlanması, bütünleme olarak tanımlanan ve eserlerin algılanmasını doğrudan etkileyen önemli restorasyon tekniklerindedir. Koruma yasalarına göre fiziksel bütünleme yapılabilmesi için ilk tasarıma dair yeterli ve güvenilir veri olması gerekir. Bütünlemede öncelikle tekrar eden öğelerin varlığından veya geometri uygunsuz simetriden yararlanır. Bütünleme için eserin özgün malzemesiyle aynı veya içeriğiyle örtüşen benzer bir malzeme kullanılabilirdiği gibi sonradan yapılan müdahalenin fark edilebilir olması amacıyla özgününden farklı bir malzeme kullanımı da tercih edilmektedir. Yeni eklenen malzemenin orijinalinden farklılaşması olumlu bir yaklaşım olarak görülmeyle birlikte fiziksel olarak özgün malzemeyle uyum sağlamazsa uzun vadede kalıcı olmayabilir (Duran & Kaya, 2020).

Mimari eserlerin veya heykellerin statik olarak ayakta durabilmesi için bütünleme aşamasında taşıyıcı elemanlarla desteklenmesi gerekebilmekte olup, eksik kısımlar analizler sonucu belirlenen uygun malzemeyle doldurulmakta veya kısmi bir tamamlama tercih edilerek bilinçli olarak boş bırakılabilmektedir. Tamamlama aşamasında cam gibi şeffaf malzemelerden yararlanan güncel örnekler dikkat çekicidir. Gelişen dijital teknolojiler, kültürel mirasın dijital olarak daha etkili sunumunu desteklemekte olup özgün esere hasar verme riski olmadan eserin dijital olarak belgelenip bütünlenebilmesine, gerektiğinde

artırılmış ve sanal gerçeklik gibi teknolojilerle farklı ortamlarda deneyimlenmesine olanak verir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

Kültürel mirasın korunması alanında, tarihi eserlere sonradan yapılan müdahalelerde son dönemlerde kullanılan malzeme ve tekniklerdeki çeşitlilik farklı bakış açıları ortaya çıkarmıştır. Strüktürel ve malzeme özelinde fiziksel olarak yapılan ve çoğunlukla şeffaflık gibi özgün malzemeyle zıt yaklaşımların benimsendiği alternatif uygulamalar tarihi esere olan ilgiyi arttırabilmektedir. Örneğin, yok olmuş olan antik Siponto bazilikasının geometrisinin tel örgülerle yeniden canlandırıldığı sanatsal uygulama alandaki kalıntılara olan ilgiyi yoğunlaştırmıştır (Tresoldi, 2016). Fiziksel müdahalelerin sakınıldığı kültürel miras eserleri söz konusu olduğunda ise eserlerin dijitalleştirilerek farklı araçlarla temsil edildiği çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu dijital uygulamaların başlıca motivasyonları arasında özgün esere hasar verme riskinin olmaması, sanal müzelere dijital veri sağlayarak kültürel miras değerlerine ilginin arttırılması, eserlerin replikalarının üretilebilmesi ve orijinal eserden elde edilmesi zor olan geometrik ve doku bilgilerinin tamamlanması yer alır. Eserlerin üç boyutlu lazer ölçümü gibi yöntemlerle elde edilen modellerinde teknik aksaklıklardan dolayı çalışmalarda sayısallaştırılamamış sorunlu alanlar çıkabilmektedir. Modeldeki sorunların giderilmesinde Delaunay üçgenleme, parametrik yüzey oluşturma ve deliklerin doldurulması gibi çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir (Gomes et al., 2014).

Hasar görmüş tarihi eserlerin dijital bütünleme aşamalarının adım adım temsil edildiği çalışmalarda eserlerin geometrik olarak daha kolay algılanabildiği ve gerçek bütünleme aşamasına ciddi bir altlık oluşturduğu görülür. Yapılan bir çalışmada seçilen objeler üç boyutlu olarak modellendikten sonra simetri kurallarına göre bütünlenerek eksik parçaların geometrileri imalata yönelik olarak modelden parça çıkarma yoluyla ayrıştırılmıştır. Objenin eksik kısımlarının özgününden ayrışacak bir renkte tamamlandığı modelinin, objenin bütünlenmemiş orijinal modelinin ve ayrıca eksik parçanın modelinin yanyana sunulduğu temsiller, objenin algılanmasına katkı sağlamaktadır (Papaioannou et al., 2017).

Arkeolojik objelerin onarımı ve korunmasına yardımcı olmak için 3b taranmış arkeolojik miras objelerinin veriye dayalı iterasyon yöntemiyle dijital tamamlamasının yapıldığı bir başka çalışmada, kırıklara sahip hasarlı objeleri 3b olarak analiz ederek eksik geometriyi tahmin edebilecek derin öğrenmeyi esas alan bir algoritma kullanılmıştır. Simetrik olan objelerde çok daha doğru çıktılar elde edilirken, objelerin daha hasarlı olup simetrinin kaybolduğu durumlarda derin öğrenme tekniklerinin 3b vokselleştirilmiş girdileri işleme özelliğinden yararlanılmıştır (Heremoza & Sipiran, 2018).

Bütünleme yönteminin dijital olarak farklı bir formatta ele alındığı güncel bir çalışmada ise, 'The Trace' ve 'Missing Duppa' isimleriyle geliştirilen dijital oyunlarda tarihi bir bölge canlandırılmıştır. Sanal oyunların ilkinde oyunculardan dijital modeldeki eksik parçaları tamamlaması istenirken diğerinde oyuncular bir gizemi bulmaya yönelik mümkün olduğunca mimari elemanı yıkmaya yönlendirilir (Aydin, et al., 2017). Birbirine etkileşimli olarak oynanan oyunlarda yaratılan dijital miras ortamlarında oyuncuların yıkılan veya yeniden oluşturulmuş eksik dokuları fark etmeye başladığı bilişsel süreçler takip edilmektedir. Kültürel mirasla farklı etkileşim yollarının arandığı yenilikçi çalışmalar teknoloji ile iç içe büyüyen yeni neslin alana ilgisini artırmak açısından da kıymetlidir.

4. YÖNTEM (METHOD)

Matematikte, iki boyutlu düzlemde veya üç boyutlu uzayda yer alan sonlu sayıda dağılmış noktaları merkez alan farklı boyutlardaki çemberler büyüüp çemberlerin kesişim noktaları birleştirildiğinde oluşan çokgen hücreler bir Voronoi diyagramı oluşturur. Bir noktalar kümesinin Voronoi diyagramıyla bu noktaları merkez alan çemberlerin kesişim noktalarının birleştirilmesiyle oluşan Delaunay üçgenlemesi birbirinin grafiksel eşleniği olarak tanımlanır. Bu çalışmada, dijital olarak bütünlenmesi amaçlanan miras objesindeki sınırları belirli olan boşluğun organik formuna uyum sağlayabilecek ve gerektiğinde belli kurallara bağlanabilecek bir örüntüde doldurulması hedeflenmiş olup, üretken tasarım yöntemi olarak Voronoi diyagramlarının kullanıldığı Hüresel Özdevinim yaklaşımı esas alınmıştır. Aynı şekil ve büyüklükte hücrelere sahip olan düzenli bir Hüresel Özdevinim modelinin aksine farklı boyutlarda ve biçimlerde hücrelerin daha düzensiz komşuluk

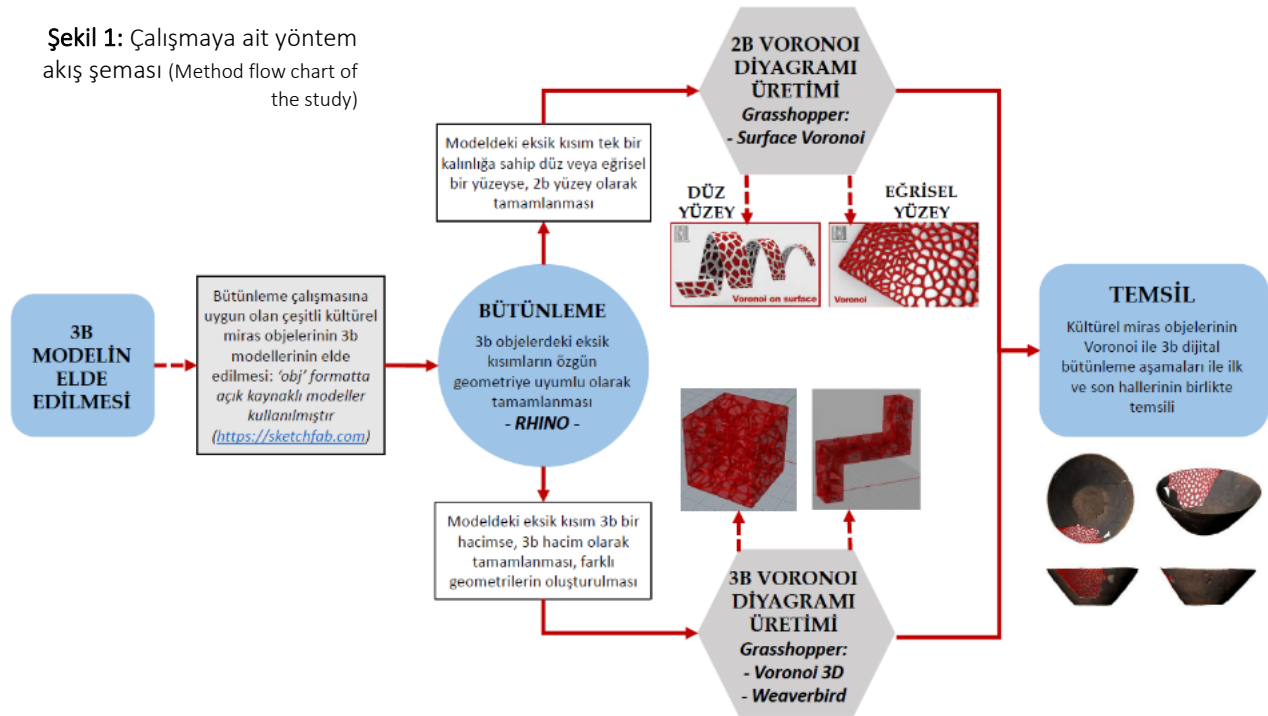
ilişkilerine dayandığı Voronoi diyagramları (Navid & Akhababa, 2013) doğadaki tasarımlarda da sıkça karşımıza çıkmaktadır.

5. YÖNTEMİN UYGULANMASI (IMPLEMENTATION OF THE METHOD)

Bu çalışmada yöntem olarak belirlenmiş olan Voronoi diyagramlarının örüntü algoritmasının çift kavisli yüzeyler, katı kütleler, paraboloid ve tonozlar gibi çok çeşitli geometrilere uygulanabiliyor olması (Ağkathidis, 2015), çalışmada hedeflenen boşluğun doldurulmasını esas alan üretime olanak tanımaktadır. Voronoi diyagramı örüntüsünden yararlanarak geliştirilecek bütünleme çalışmalarına yönelik objeler seçilirken, öncelikle koruma yasalarına göre bütünleme yapılabilmesi için ilk tasarıma dair yeterli geometrik bilginin olması şartı göz önünde bulundurulmuştur.

Araştırma süresince devam eden pandemi koşulları sebebiyle çalışmanın uygulama aşamasında çevrimiçi materyaller değerlendirilmiştir. Seçilen üç boyutlu obje modellerinin eksik kısımlarında temsili olarak bağlayıcı görev üstlenecek olan yeni dijital oluşumlar için, öncelikle doldurulacak olan boşluğu çevreleyen sağlam kısımların sınırları ve onu tanımlayan noktalar belirlenmiştir. Boşluğu tanımlayan yeterli sayıda nokta belirlendikten sonra, organik formuna

Şekil 1: Çalışmaya ait yöntem akış şeması (Method flow chart of the study)



uyum sağlayacağı gözetilerek boşluğun belli kurallara bağlı olan bir Voronoi diyagramı örüntüsüyle doldurulması esas alınmıştır.

Çalışmaya ait yöntem akış şemasında takip edilebileceği gibi, öncelikle obje modellerinin eksik kısımları Rhino uygulamasında orijinal geometriye uygun üç boyutlu hacim olarak modellenerek tamamlanmıştır. Ardından eksik kısımlarda oluşturulan modeller üretken tasarımı destekleyen Grasshopper uygulamasıyla Voronoi diyagramlarına dönüştürülmüştür (Şekil 1).

5.1 Prototip Çalışma (Prototyping Study)

1. Koruma yasalarına göre bütünlemede simetriden yararlanılabileceği ilkesi bütünlemeyi geçerli kılacak güçlü bir gerekçe sağladığı için, eksik kısım modellenirken simetriden yararlanılabilecek bir obje seçilerek ilk deneme çalışması yapılmıştır. Stiliz edilmiş antik kemerli bir girişi temsil eden örnek objenin 'obj' formatta modeli Sketchfab açık kaynaklı web sayfasından elde edilmiştir (Şekil 2).



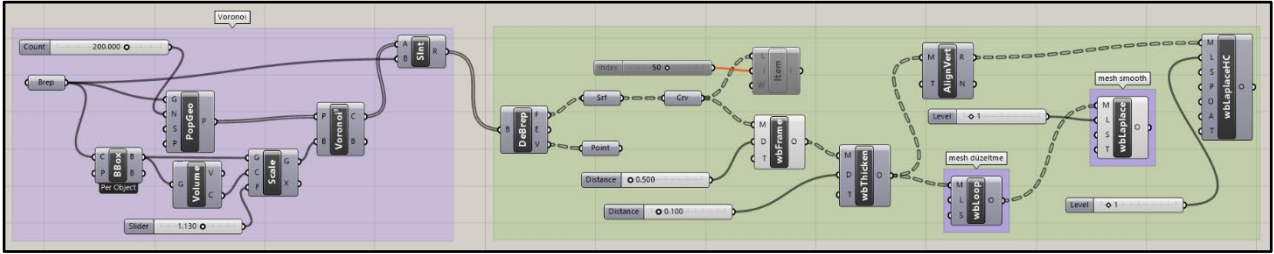
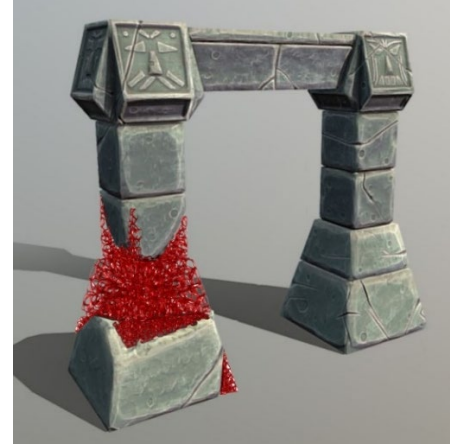
Şekil 2: Stylized Ancient Archway (Yakovenko, V., n.d.)

Deneme çalışmasını hızlandırmak için öncelikle modeldeki poligon sayısı belli oranda azaltılarak model hafifletilmiştir. Eksik olan kısımların tam simetriği olan kısımlar modelde var olduğu için, Rhino uygulamasındaki 'Boolean Difference' aracı kullanılarak tam olan hacimden hasarlı olan simetrik parçanın çıkarılmasıyla eksik hacimler elde edilmiştir. Aracın düzgün çalışmadığı bazı noktalarda, eksik hacim mevcut geometriyle uyumlu formda üç boyutlu kapalı hacim olarak modellenerek tamamlanmıştır. Tamamlanan kapalı hacimler ikinci aşama olarak Grasshopper uygulamasında '3d Voronoi' eklentisi kullanılarak 3b

Şekil 3: Voronoi Bütünleme
Prototip Çalışma: Stilizе edilmiş antik kemerli giriş modeli (Voronoi Completion Prototype Work: Stylized antique arched entrance model)

Şekil 4: Voronoi 3d eklentisinin çalışmaya uyarlanması (Adaptation of Voronoi 3D plugin to the study) (Voronoi 3d in Brep | Grasshopper3d, n.d.)

hacimsel Voronoi'ye dönüştürülmüştür ve Voronoi geometrisinin yoğunluğu modelin ölçeğine uyum sağlayacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3) (Şekil 4).



5.2 Kültürel Miras Objelerinin Dijital Bütünleme Çalışmaları (Digital Completion Studies of Cultural Heritage Objects)

Uygulamanın ikinci aşamasında, gerçek kültürel miras objelerine odaklanılmış olup, pandemi koşulları devam ettiğinden çevrimiçi olarak ulaşılabilen ve bütünleme çalışmasına uygun olabilecek objeler belirlenmiştir. Grasshopper Voronoi eklentilerinin farklı geometrilere uygulanabilirliğinin de test edilmesi için ilki 3b hacimsel tamamlama, ikincisi ise 2b eğrisel yüzey tamamlama olmak üzere iki farklı geometri üzerinde çalışılmıştır. Suriye'nin UNESCO Kültür Mirası listesinde yer alan Palmira Antik Kenti'ndeki Zafer Kemer'i'nin üç boyutlu taratılmış modeli (Şekil 5.a) ile Amerika'nın Güney Karolayna eyaletinde çıkarılmış olan antik bir seramik yassı kabin üç boyutlu taratılmış modeli (Şekil 5.b) Sketchfab açık kaynaklı web sayfasından elde edilmiştir.



a.



b.

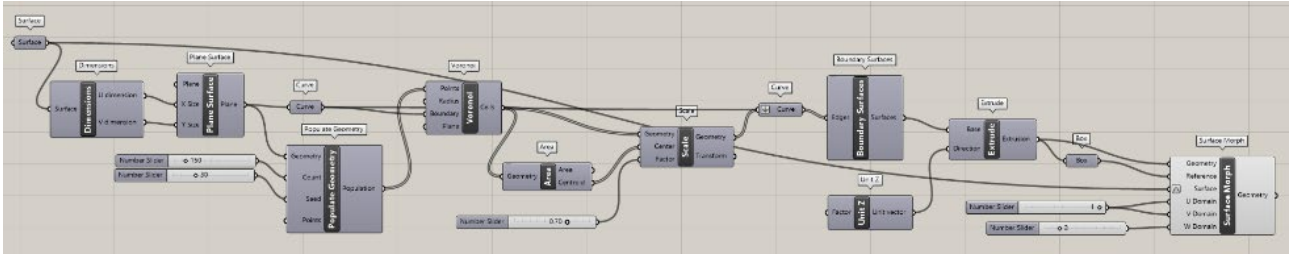
Şekil 5: a. 'Palmyra's Arch of Triumph' (Flynn, T., n.d.). b. 'Catawba Earthenware Pan' (RLA Archaeology, n.d.).

Palmira Antik Kenti'ne ait Zafer Kemerinin yıkılmadan önceki durumunu yansıtan 3b modeldeki eksik kısım modelde mevcut olan taşların sınırlarından yararlanarak Rhino'da yüzey oluşturma ve 'Extrude' aracıyla modellenmiştir. Elde edilen kapalı hacim 'Voronoi 3d in Brep' Grasshopper eklentisiyle hacimsel Voronoi'ye dönüştürülmüştür (Şekil 3) (Şekil 6).

Şekil 6: : Voronoi Bütünleme No.1: Suriye'nin Palmira Antik Kenti'ndeki Zafer Kemerini (Voronoi Completion No.1: The Arch of Triumph in Palmyra Ancient City, Syria)



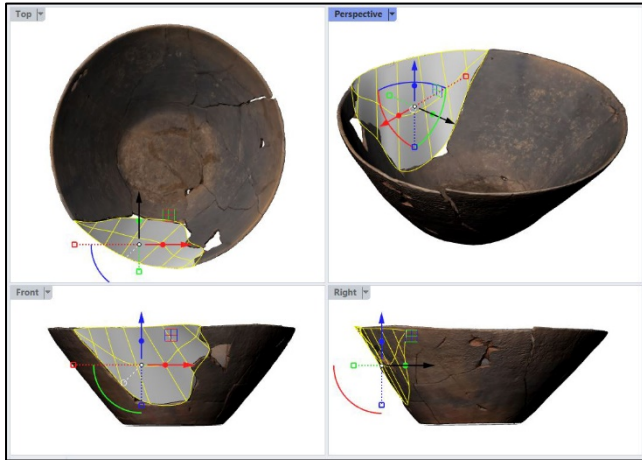
İkinci bütünleme kullanılan antik seramik yassı kap modelinde ise eksik olan eğrisel yüzey, Rhino'da iki eğri arası yüzeye dönüştüren 'Loft' aracıyla iki boyutlu yüzey olarak tamamlanmıştır. Farklı boyutlarda hücrelere sahip Voronoi hücreleri 'Surface Voronoi' Grasshopper eklentisiyle eğri yüzey üzerinde oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7: Voronoi on Surface eklentisinin çalışmaya uyarlanması (Adaptation of Voronoi on Surface Grasshopper plugin to the study) (Voronoi on Surface | Parametric House, n.d.).

Şekil 8: Voronoi Bütünleme No.2: Catawba seramik kap, Güney Karolayna, ABD. (Voronoi Completion No.2: Catawba earthenware pan, South Carolina, USA)

Bütünlenen seramik kaptaki yeni üretimin daha iyi algılanması için Rhino'da elde edilen farklı görünüşleri düzenlenerek bir arada sunulmuştur (**Şekil 8**). Fizikten kentsel planlamaya kadar çok çeşitli disiplinlerde kullanılan Voronoi diyagramlarının bilgisayar destekli üç boyutlu modelleme alanında geliştirilen eklentilerle farklı geometrilere istenilen hacim ve yoğunlukta uygulanabilme olanağı bu çalışmada tercih edilme sebebi olmuştur. Kültürel miras objelerinin bütünlenmesi konusunu inceleyen bu ve benzeri çalışmalar için hem dijital uygulama hem de olası fiziksel uygulamalara katkı sağlayabilecek bir üretken tasarım yöntemi olarak kabul edilebilir.



6. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışma kapsamında, kültürel miras objelerindeki eksik kısımların alternatif dijital bir üretken tasarım yöntemiyle tamamlanması, elde edilen iki ve üç boyutlu görselleştirmeler ile objenin algılanma düzeyinin artırılması hedeflenmiştir. Objenin bütünleme aşamasında kullanılan Voronoi örüntü algoritmasının farklı geometrilere uygulanabilir olması hem iki boyutlu yüzeylerde hem de üç boyutlu hacimlerde

uygulamalara olanak tanır. Koruma yasalarının işaret ettiği bütünlemede yeterli veriye sahip olma gerekliliğine dikkat edilerek seçilmiş olan objelerde eksik kısımların geometrisinin mevcut geometriyle uyum sağlayacak şekilde modellenmesine dikkat edilmiştir.

Dijital bütünleme uygulamalarının özgün esere zarar vermeden yapılması, evrensel koruma ilkeleriyle ters düşmeden farklı malzemelerle deneysel çalışmalar yapabilmeyi olanaklı kılar. Çalışılan miras objelerinin eksik kısımlarının kapalı hacim olarak modellenip Voronoi hücrelerine dönüştürüldüğü bu dijital bütünleme çalışmasında elde edilen modeller bir sonraki aşamada üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla üretilebilir. Bu aşamada eksik kısımları dolduran Voronoi hücrelerini strüktürle uyumlu olacak şekilde farklı noktalarda farklı yoğunluklarda ayarlamak ve çeşitli malzemeler deneyerek üretimi çeşitlendirmek, miras objesinin değişik ölçeklerdeki temsillerine olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen Voronoi diyagramlarıyla bütünleme pratikleri gibi başka üretken tasarım temelli dijital bütünleme yöntemleriyle geliştirilecek çalışmalar kültürel miras objelerinin farklı temsil yollarıyla algılanabilmesine olanak verecektir. Eserlerin dijital olarak bütünlenen kısımlarının net olarak ayırt edilebildiği ve eserin yok olmuş parçalarıyla birlikte bir bütün olarak algılanabildiği benzer çalışmaların yaratıcı temsillerle insanlara ulaştırılması, ortak kültürel mirasın savaş ve vandalizm gibi çeşitli sebeplerden yaşadığı kayıplara dikkat çeken bir yol olabilir. Üretken tasarım yöntemleriyle geliştirilen dijital bütünlemeler, kültürel mirasın sanal olarak deneyimlendiği dijital oyun ortamlarına dâhil edilebileceği gibi artırılmış gerçeklik gibi araçlarla yerinde ve müzelerde deneyimlenebilir. Kültürel miras eserlerinin güncel teknolojiler aracılığıyla toplumla etkileşime geçirildiği böyle çalışmalar koruma alanındaki bilincin gelişimine katkı sağlayacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Doktora Programı, 2021 Bahar dönemi Mimari Tasarımda Evrimsel Yaklaşımlar dersi kapsamında tamamlanmıştır. Dersin yürütücüleri Prof. Dr. Gülen Çağdaş ile Dr. Öğr. Üyesi Ethem Gürer'e, dersin asistanı Araş. Gör. Özlem Çavuş'a ve sınıf arkadaşlarım Araş. Gör. Sena Kaynarkaya ile

Araş. Gör. Nur Sipahiođlu'na çalışmayı geliştirme sürecimdeki değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Referanslar (References)

Agkathidis, A. (2015). *Generative Design*. Laurence King Publishing. ISBN: 978-1780676913.

Aydin, S., Schnabel, M. A. & Sayah, I. (2017). Association Rule Mining to Assess User-Generated Content in Digital Heritage: Participatory Content Making in 'The Museum of Gamers'. In ađdař, G., Gl, L. F., zkar, M. & Gürer, E. (Eds.), *Computer-Aided Architectural Design, Future Trajectories, CAADFutures 2017, Communications in Computer and Information Science, Vol 724* (231-251), Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5197-5_13.

akırca, D. (2015). Savaşın Savunmasız Düşmanı-Kültürel Miras. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (MSBİD)*, 4(6), 16-35. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tusbd/issue/40551/486659>.

Duran, E. K., & Kaya, N. K. (2020). Arkeolojik Alanlarda Uygulanan Bütünleme (Tamamlama) Müdahalelerinin Değerlendirilmesi: Metropolis rneđi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (50), 255-274. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sufesosbil/issue/56641/679685>.

Economou, M. (2015). Heritage in the Digital Age. In Logan, W., Nic Craith, M. & Kockel, U. (Eds.), *A Companion to Heritage Studies* (215-228), Series: Blackwell companions to anthropology (28), Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118486634.ch15>.

Flynn, T. (n.d.). Palmyra's Arch of Triumph, Trafalgar Sq, London. Retrieved March 22, 2022, from <https://sketchfab.com/3d-models/palmyras-arch-of-triumph-trafalgar-sq-london-573c9943d0bd467a98422829ccd8863b#download>

Gomes, L., Bellon, O. R. P. B., Silva, L. (2014). 3D Reconstruction Methods for Digital Preservation of Cultural Heritage: A Survey. *Pattern Recognition Letters* 50, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.03.023>.

Hermon, S. & Niccolucci, F. (2018). Digital Authenticity and the London Charter. In Franco, P. D. G. D., Galeazzi, F., Vassalo, V. & Miltiadous, N. (Eds), *Authenticity and Cultural Heritage in the Age of 3D Digital Reproductions* (37-47), McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.17863/CAM.27036>.

- Hermoza, R., & Sipiran, I. (2018). 3D Reconstruction of Incomplete Archaeological Objects Using a Generative Adversarial Network. Arxiv: 1711.06363.
- Margetis, G., Apostolakis, K. C., Ntoa, S., Papagiannakis, G., & Stephanidis, C. (2020). X-Reality Museums: Unifying the Virtual and Real World Towards Realistic Virtual Museums. *Applied Sciences*, 11(1), 338.
- Navid, A. H. F., & Aghababa, A. B. (2013). Cellular Learning Automata and Its Applications. In Salcido, A. (Ed.), *Emerging Applications of Cellular Automata* (85-111), INTECH.
- Papaioannou, G., Schreck, T., Andreadis, A., Mavridis, P., Gregor, R., & Sipiran, I., Vardis, K. (2017). From Reassembly to Object Completion: A Complete Systems Pipeline. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 10(2), 1-22. <https://doi.org/10.1145/3009905>.
- RLA Archaeology (n.d.). Catawba Earthenware Pan, Old Town, Lancaster County, South Carolina- Period: Historic (1780-1800). Retrieved March 22, 2022, from <https://sketchfab.com/3d-models/catawba-earthenware-pan-2499p14041-f9c267feef34309941db34ae90e054a>
- Tresoldi, E. (2016, March). Permanent Installation of Basilica di Siponto. Retrieved March 22, 2022, from <https://www.edoardotresoldi.com/works/basilica-di-siponto/#&gid=1&pid=1>
- Vesna, S., Budak, I., Obradovic, R., Crkvenjakov, D. K., & Santosi, Z. (2017). Parametric Modeling Applied to the Virtual Reconstruction of the Damaged Sculpture of St John Nepomuk in Petrovaradin. *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe) 35* (389-398), Rome, Italy. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_052.pdf
- Voronoi3d in Brep | Grasshopper3d (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from <https://www.grasshopper3d.com/forum/topics/constraining-a-voronoi-skeleton-inside-a-brep>
- Voronoi on Surface | Parametric House (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from <https://parametrichouse.com/voronoi-on-surface/>
- Yakovenko, V. (n.d.). Stylized Ancient Archway by Vladyslav Yakovenko. Retrieved March 22, 2022, from <https://sketchfab.com/3d-models/stylized-ancient-archway-c0ce836f20054484850866c7385b750c>

Re-questioning the Role of Froebel Blocks in Design Pedagogies through Digital Fabrication

Nilhan Kaya¹, Ethem Gürer²

ORCID NO: 0000-0002-8006-9299¹, 0000-0002-3482-2526²

¹ Istanbul Technical University, Architecture Faculty, International Interior Architecture Master Program, Istanbul, Turkey.

² Istanbul Technical University, Architecture Faculty Interior Architecture Department, Istanbul, Turkey.

Nowadays, with the increasing digitalization and the increase in digital fabrication production technologies, the dialogue between the digital and physical world is accelerating and strengthening. The effects of digital fabrication, which is the transition of design with computational design tools in the digital environment to production with 3D printers in the physical environment, on design education pedagogy are widely discussed. This study covers the reinterpretation and production of Froebel blocks, which is an educational tool in the intersection of digital and physical production, in contemporary conditions and the discussion of its impact on educational pedagogy. The process of determining the technology to be used in the production phase of digital fabrication and the material to be used is another aim. In this context, Froebel blocks designed by Fredrich Froebel and used in his own educational pedagogy were redesigned with digital computing tools and produced with fabrication tools. In this study; it was carried out in 2 stages as design and application. During the design phase, Froebel blocks were redesigned with a contemporary interpretation with digital computing tools and produced with a 3D printer from digital fabrication tools. Due to the total weight and calibration problems in the production process, 3D printing with wood, filament and 3D printing with resin were tried in terms of material selection, and 3D printing with resin was preferred. In the application step, postgraduate students who did not have a design education made operational sequences on the design problem given with Froebel blocks and contemporary Froebel blocks, and these stages were recorded visually and audibly. Records were divided into protocols and analyzed on the basis of block type and actions. It is visualized with the linkography visualization technique. In the analysis process, it was observed that the design activity with contemporary Froebel blocks took longer than the design activity with Froebel blocks, and the participant performed more and additionally different types of actions. During their designs, the participants "adjoining", "overlapping", etc. with the Froebel blocks. In addition to these actions with contemporary Froebel blocks, they performed actions such as "inserting to gap", "removing from gap" and "rotating". It has been observed that the action connection between the blocks has increased thanks to the gaps and auxiliary elements found in contemporary Froebel blocks. It is thought that the enrichment of the operational sequences in contemporary blocks compared to the original Froebel blocks will contribute to the richness of the design operational repertoire. In addition, basic manipulations to existing block geometries offer important possibilities for customizing and replacing the individualized products of the future with digital fabrication tools.

Keywords: Froebel Blocks, Design Pedagogies, Digital Fabrication, Linkography, Design Actions.

53

Received: 24.01.2022

Accepted: 17.03.2022

Corresponding Author:

kayani@itu.edu.tr

Kaya, N. (2022). Re-questioning the Role of Froebel Blocks in Design Pedagogies through Digital Fabrication. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 53-80. <https://doi.org/10.53710/jcode.1062400>

Froebel Bloklarının Tasarım Pedagojilerindeki Yerini Dijital Fabrikasyon Teknolojileri Ekseninde Yeniden Sorgulamak

Nilhan Kaya¹, Ethem Gürer²

ORCID NO: 0000-0002-8006-9299¹, 0000-0002-3482-2526²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimari Tasarım Uluslararası Yüksek Lisans Programı, İstanbul, Türkiye.

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü İstanbul, Türkiye.

Günümüzde artan dijitalleşme ve dijital fabrikasyon üretim teknolojileriyle dijital ve fiziksel dünya arasındaki diyalog hızlanmakta ve kuvvetlenmektedir. Dijital ortamda hesaplamalı tasarım araçlarıyla tasarımın, fiziksel ortamda 3 boyutlu yazıcılarla üretime geçişi olan dijital fabrikasyonun, tasarım pedagojisine etkileri çokça tartışılmaktadır. Bu çalışma, dijital ve fiziksel üretim arakesitinde, bir eğitim aracı olan Froebel bloklarının çağdaş koşullarda yeniden yorumlanması, üretilmesi, tasarım pedagojisine olabilecek etkisinin tartışılmasını ve üretim sacayağında kullanılacak malzemenin belirlenme sürecini kapsamaktadır. Fredrich Froebel'in eğitim pedagojisinde kullandığı Froebel blokları, dijital hesaplama araçlarıyla yeniden tasarlanıp fabrikasyon araçlarıyla üretilmiştir. Çalışma; tasarım ve uygulama olarak 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Tasarım aşamasında, Froebel blokları dijital hesaplama araçlarıyla çağdaş bir yorumla yeniden tasarlanmış, toplam ağırlık ve kalibrasyon problemleri nedeniyle dijital fabrikasyon araçlarından reçine bazlı 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Uygulama aşamasında, tasarım eğitimi almamış lisansüstü öğrencileri, Froebel blokları ve çağdaş Froebel bloklarını kullanarak verilen tasarım problemi üzerine eylemsel dizgeler gerçekleştirmiştir. Uygulamalar, görsel ve işitsel kaydedilmiştir. Kayıtlar, blok çeşidi ve eylemler bazında protokollere ayrılıp analiz edilmiş, linkografi tekniğiyle görselleştirilmiştir. Uygulamalarda, çağdaş Froebel blokları kullanımının daha uzun sürdüğü, katılımcıların daha fazla ve farklı türde eylem gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Katılımcılar, Froebel bloklarıyla "yan yana koyma", "üst üste koyma" eylemlerini, çağdaş Froebel bloklarıyla ek olarak "boşluğa yerleştirme", "boşluktan çıkarma", "döndürme" eylemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çağdaş Froebel bloklarında bulunan boşluklar ve yardımcı elemanlar sayesinde bloklar arasındaki eylem bağlantısının arttığı görülmüştür. Eylemsel dizgelerin, orijinal Froebel bloklarına kıyasla çağdaş bloklarda zenginleşmesiyle özellikle tasarım eylemsel repertuar zenginliğine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak, mevcut blok geometrilerine yapılan temel manipülasyonlar, geleceğin bireyselleşmiş ürünlerini dijital fabrikasyon araçları ile biçimlendirme yönünde önemli olanaklar sunmaktır.

Teslim Tarihi: 24.01.2022

Kabul Tarihi: 17.03.2022

Sorumlu yazar:

kayani@itu.edu.tr

Kaya, N. (2022). Froebel Bloklarının Tasarım Pedagojilerindeki Yerini Dijital Fabrikasyon Teknolojileri Ekseninde Yeniden Sorgulamak. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 53-80.

<https://doi.org/10.53710/jcode.1062400>

Anahtar Kelimeler: Froebel Blokları, Tasarım Pedagojileri, Dijital Fabrikasyon, Linkografi, Tasarım Eylemleri.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde dijitalleşmenin her alanda kullanımının artması ve dijital fabrikasyon üretim teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte gerek fiziksel, gerek dijital tasarım araçları üretilmiştir. Bu durum, tasarım süreci ve eğitimini etkilerken, aynı zamanda bu alanda yapılan üretim aşamalarında kullanılan yöntemler ve araçlarda da önemli etki bırakmıştır. Tasarım araçlarının gelişmesi, tasarım sürecine dinamizm katmaktadır (Güzelci, 2015). Tasarım pedagojisinde kullanılan üretim yöntemlerinin fiziksel ve dijital ortam arasında ölçeksel ve süreçsel gidış gelişlerin, yani tasarım ortamının değışiminin tasarım sürecine katkıları konusundaki araştırmalar, teknoloji alanındaki bu gelişmelerin hızına yetişememektedir. Teknolojik gelişimler tasarım eğitimi pedagojisine, kavramsal ve fiziksel olarak üretimi destekleyen ve bu ilişkiyi güçlendiren bir ortam sağlamıştır. Bilgisayar ve nümerik kontrollü üretim araçları, teknolojinin gelişmesi ile bu ilişkiyi güçlendirmiştir (Kolarevic, 2004). Bu noktada; dijital ortamda sanal üretimden fiziksel ortamda gerçek üretime geçişin olduğu dijital fabrikasyonun, tasarım pedagojisindeki öneminin kavranması ve dijital fabrikasyonun uygulanmasının yanında bilimsel anlamda eğitim perspektifinde kullanılmasının uygunluğu, olumlu ve olumsuz etkisinin sorgulanması noktasında yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, dijital fabrikasyon olarak adlandırılan dijital üretim ve devamında gerçekleşen fiziksel üretimi içeren arakesitte, tasarım pedagojisine katkı sağlayacak bir tasarım aracı geliştirmektir. Bu bağlamda dijital fabrikasyonun üretim sacayağında kullanılacak teknoloji doğrutusunda kullanılacak malzemenin belirlenme süreci de bir diğer amaçtır.

Dijital fabrikasyonun eğitim pedagojisine olabilecek katkısını araştırmak adına Froebel blokları bir başlangıç noktası olarak değerdendirilmiştir. Çalışmanın yöntemi, bir eğitim aracı olan Froebel bloklarının çağdaş koşullarla dijital fabrikasyon ile yeniden yorumlanması, üretilmesi ve eğitim pedagojisine olabilecek etkisinin karşılaştırmalı analizi ile tartışılmasını kapsar. Bu bağlamda, Fredrich Froebel tarafından tasarlanan bloklar ve yazarlar tarafından dijital hesaplama ve fabrikasyon araçları ile çağdaş bir yorum getirilen yeni bloklar aracılığı ile, tasarım eğitimi almamış lisansüstü öğrencileri ile verilen tasarım problemi üzerinden yaptıkları eylemsel dizgeler karşılaştırılmıştır. Eylemsel dizgelerin, orijinal Froebel bloklarına kıyasla çağdaş bloklarda

zenginleşmesi ile özellikle tasarım eğitiminde eylem repertuarını zenginleştirmeye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Froebel blokları, Friedrich Fröbel tarafından anaokulu öğrencileri için tasarlanan, yaş gruplarına göre farklılık gösteren fakat en temelde geometrik cisimlerden oluşan bir oyuncak olarak tanımlanabilir (Tovey, 2016). Bu bloklar en temelinde küp, dikdörtgenler prizması, silindir, küre gibi ideal geometrilerden oluşmaktadır. Bloklar ile oynanan oyun, oyuncunun üç boyutlu düşünme yetisini arttırmakta ve düşünsel olarak tasarlananın, maddi ortamda gerçekleştirilmesine olanak vermektedir. Froebel blokları, Bauhaus hareketine ilham olmanın yanında Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, Buckminster Fuller gibi birçok mimarın çocukken oynadığı oyuncaklardan biridir. Wright, Froebel blokları ile oynaması sayesinde zamanla her şeyi bir blokların örüntüsü halinde gördüğünü ve “görmeyi” öğrendiğini söyler (MacCormac, 1974).

Teknolojinin gelişimi ile nümerik kontrol sistemlerinin geliştiği CNC, Lazer kesim ve 3 boyutlu yazıcılar tasarım eğitimi pedagojisinde kullanılabilir. Özellikle 3 boyutlu yazıcılar, tasarım aşamasında farklı programlar, üretim aşamasında farklı malzemeler kullanılabilirliğinden ve hızlı prototipleme imkanı sağladığından dolayı tasarım eğitiminde çokça kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Froebel bloklarının biçimsel özelliklerine sadık kalarak çağdaş bir anlayışla dijital ortamda hesaplamalı araçlar ile yeniden tasarlanmasının ardından 3 boyutlu yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sürecinde toplam ağırlık ve kalibrasyon problemleri nedeni ile malzeme seçimi bakımından ahşap, filamet ile 3 boyutlu basım ve reçine ile 3 boyutlu basım denenmiş, reçine ile 3 boyutlu basım tercih edilmiştir.

Bu çalışma, temel olarak **tasarım** ve **uygulama** olmak üzere **2 adımdan** oluşmaktadır. Temel alınan Froebel blokları, biçim analizine göre temel geometrik şekillerden oluştuğu; eylemsel analizine göre üst üste – yan yana koyma vb. hareketler içerdiği olarak tanımlanmıştır. Tasarım sürecinde, bu sonuca sadık kalarak Froebel blokları dijital ortamda yeniden yorumlanmış ve 3 boyutlu yazıcı ile reçine malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Üst üste – yan yana koyma vb. eylemlerine ek, oyuncuya hareket güdüsü katmak ve tasarım elemanları arasında yeni topolojik ilişkiler türetmek için yeniden yorumlanan bloklara dijital ortamda farklı büyüklüklerde boşluklar açılmış ve aynı çapta silindir ve çubuk elemanlar (ara elemanlar) eklenmiştir. Bu geometrik yorum,

eylemsel dizgeyi; yeni eylemlerin türemesi, yeni ilişki biçimlerinin türemesi, yeni detay ve birleşimlerin türemesi, bloklara yeni geometrik biçimlerin yanında, işlevsel (ara bağlantı, köprü vb.) görevler de yüklenebilmesi, strüktürel kompozisyonlara daha fazla olanak tanınması gibi nedenler ile zenginleştirmektedir. Uygulama sürecinde ise üretilen Froebel blokları ve çağdaş Froebel blokları ile tasarım egzersizi yapılmıştır. İlk durumda Froebel blokları üst üste koyma, yan yana dizme gibi eylemleri içerirken, çağdaş olarak yorumlanan froebel blokları ise bu eylemlerin yanında, döndürme, boşluktan geçirme gibi eylemlere de olanak vermiştir.

Çalışmada, Froebel blokları ile tasarım sırasında ortaya çıkan olası eylem mekanizmalarını saptamak için protokol analizleri yürütülmüştür. Protokollerde tespit edilen eylemler, nitelik ve nicelik bakımından derlenmiş ve linkografi yöntemi ile temsil edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken, fiziksel/ dijital arakesitinde üretilen yeni blokların tasarımcının eylem repertuarını geliştirmeye yönelik katkıları tartışmaya açılmaktadır.

2. FROEBEL BLOKLARI (FROEBEL BLOCKS)

Froebel blokları, Frederich Froebel tarafından “doğada bulunan fiziksel formlar ve ilişkilerle tanıştırmayı amaçlayan uygulamalı bir müfredat sistemi” olarak tanımladığı okul öncesi eğitim için tasarlanmış çeşitli geometrik şekiller ve renklerden oluşan oyuncaklar bütünüdür. Bu oyuncaklar çocukların sayılar, kesirler, renkler gibi temel öğretileri öğrenmelerini sağlamanın yanı sıra çeşitli geometrik şekiller arasındaki ilişkileri kavrayabilmelerini de amaçlamaktadır (Economou, 1999). Froebel’e göre bu oyuncaklar, doğada bulunan birçok canlı ve cansız varlıkları refere etmekte ve çocuklarda doğayı tanımada ve yorumlamada araç olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir (Provenzo, 2009). Bu sayede çocuklar doğaya ait somut ve soyut olarak nitelendirilebilecek unsurları, somut ve basit geometrik şekillerle kolayca anlayabilmektedirler. Froebel blokları, erken çocukluk döneminde, onların bilişsel ve motor gelişimlerini arttıracak nitelikte oyuncaklardır (Stiny, 1980).

Her bir oyuncak, bir alt seviyedeki oyuncağın devamı niteliğindedir. Bu devam, beraberinde farklılaşan malzeme, sayı, büyüklük ve renklere

göre karmaşıklığı da arttırmaktadır. Farklı yaş gruplarına göre, farklı oyuncak türü belirlenmiştir.

Oyuncak 1 / bebeklik ya da erken çocukluk dönemi (gift 1): Oyuncak 1, çocuğun kavrayabileceği büyüklükte kırmızı, sarı, mavi, mor, yeşil ya da turuncu renklerde olabilen yumuşak iplerden oluşan, çeşitli şekillerin oluşturulmasını sağlayan top şeklinde Froebel oyuncaklardan ilkidir. Yuvarlaklık, yumuşaklık, yukarı, aşağı, etrafında, gel, git, yakın ve uzak kavramlarını öğretmek kullanılan bir oyuncaktır (Clements, 1981). İpler sayesinde farklı şekiller yaratabilen çocuk, zihnindeki şekilleri yaratabilir ve bu sayede hareket, hız, zaman, renk ve kontrast gibi ilişkileri kavrayabilmektedir (Brosterman, 1997).

Oyuncak 2 / 1 - 2 yaş (gift 2): Oyuncak 2, şekil itibari ile oyuncak 1'e referans veren ahşap bir küre, delikler içeren bir silindir ve bir küpten oluşur. *Ahşap küre*, bulunduğu yerde sabit durmaması ve farklı bakış perspektifinde aynı görünmesi; *ahşap silindir* konulduğu yerde sabit durması, farklı bakış perspektifine göre aynı görünmesi; *boşluklar içeren ahşap küp* ise konulduğu yerde sabit durması, deliklerden çubuk ya da iplik geçirilebilmesi, bakış perspektifi açısından farklı görünüş vermesi açısından farklılık göstermektedir. Bu sayede üç farklı geometrik şekil aracılığıyla çocuk, farklı oyunlar yaratabilir ve bu çalışmanın da odağındaki tasarım eylemlerini zenginleştirebilir. Kazanılan eylemsel dağarcık, yaratıcı ve üretken tasarım süreçlerini destekler niteliktedir.

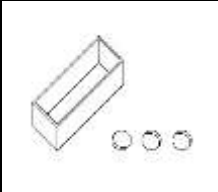
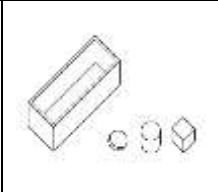
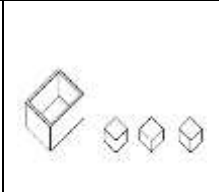
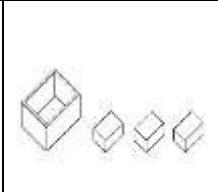
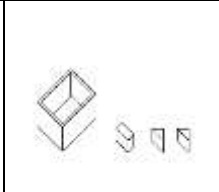
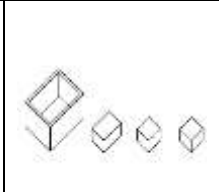
Oyuncak 3 / 2 - 3 yaş (gift 3): Bir ahşap küp kutu içerisinde her bir kenarı 1 inç, içerisinde ahşap 8 adet küpten oluşan oyuncak 3, yaratılan oyuna göre parçalara ayırma ve birleştirme gibi aksiyonlara yönelik üst üste – yan yana koyma gibi eylemsel mekanizmalara olanak sağlar.

Oyuncak 4 / 2 – 3 yaş (gift 4): Oyuncak 4, oyuncak 3 gibi ahşap bir kutudan oluşmakta fakat parçaları oyuncak 3'te bulunan küplerin 2 katı uzunluğunda ve yarısı genişliğinde 8 adet dikdörtgenler prizması şeklindedir. Bu farklılık ile parçaların uzun ya da kısa kenarına dik konumlandırıldığında farklı biçimler oluşabilmektedir. Bu oyuncak, ayırma, birleştirme, gibi aksiyonlara yönelik üst üste – yan yana koyma gibi eylemsel mekanizmalara olanak sağlar.

Oyuncak 5 / 3 – 4 yaş (gift 5): Oyuncak 3 ve 4 gibi ahşap fakat daha büyük bir kutu içerisinde, 0.5 inç küpler, bu küplerin ikiye ve dörde bölünmüş halleri ile toplam 39 parça bulunmaktadır. İçerisindeki küp sayılarının artması, ölçüleri itibari ile birbirlerinin tam katı olarak şekillerinin farklılaşması sayesinde, farklı oyun yaratımlarına olanak sağlamaktadır.

Tablo 1: Froebel Oyuncakları
1, 2, 3, 4, 5 ve 6
(Froebel Gift 1, 2, 3, 4, 5 and 6).

Oyuncak 6 / 4 – 5 yaş (gift 6): Oyuncak 5 boyutunda ahşap bir kutu içerisinde oyuncak 4 ve 5'deki küp ve dikdörtgenler prizmalarını içeren, toplam 36 parçadan oluşan daha karmaşık bir oyuncaktır. **Tablo 1**'de oyuncak 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 diyagramatik olarak gösterilmiştir.

Oyuncak 1	Oyuncak 2	Oyuncak 3	Oyuncak 4	Oyuncak 5	Oyuncak 6
					

Çalışma kapsamında 3, 4, 5 ve 6 numaralı oyuncaklar referans alınmıştır. Bu oyuncaklarda bulunan küp ve dikdörtgenler prizmaları, şekil ve birbirleri ile olabilecek eylemsel konfigürasyonları üzerinden incelenmiştir. Her bir blok türü, sezgisel ya da planlı olarak yan yana ve üst üste koyma eylemlerini tetiklemeye yöneliktir.

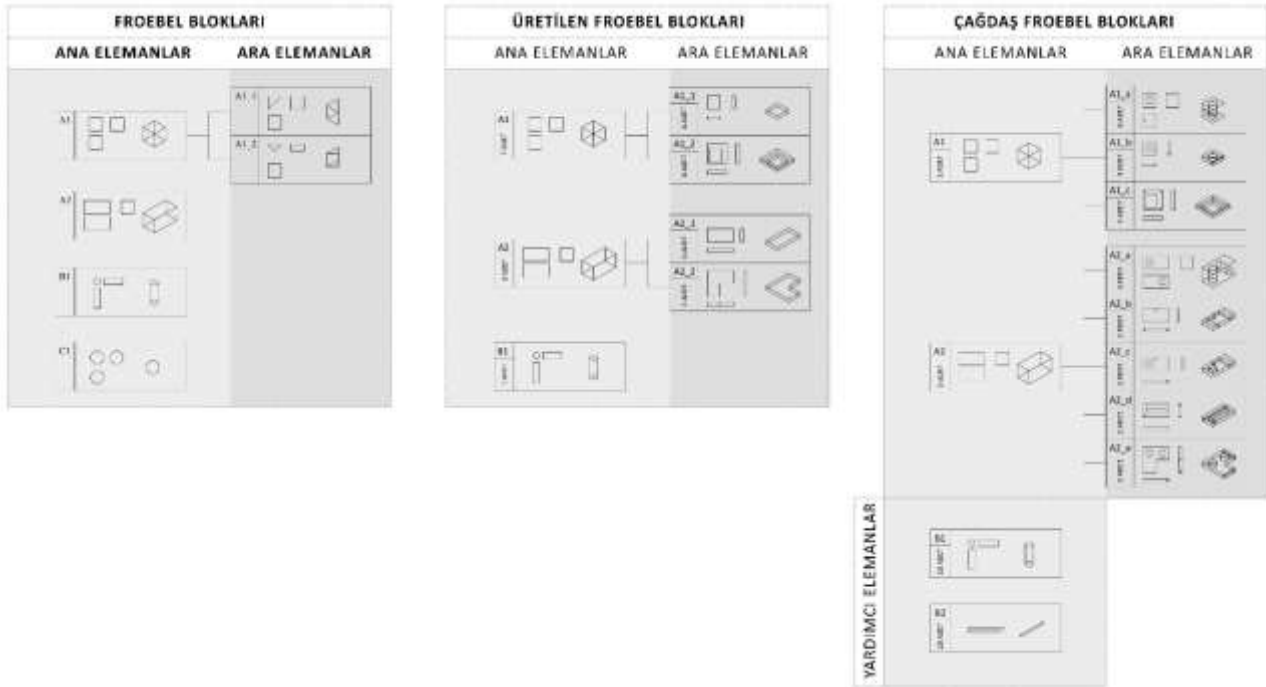
3. ÇAĞDAŞ FROEBEL BLOKLARI (CONTEMPORARY FROEBEL BLOCKS)

Okul öncesi eğitimde geometrik ilişkiler ve şekiller gibi görsel içerikli konularda kullanılan Froebel blokları, soyut ile gerçek dünya arasındaki bağı çeşitli eylemler ve bağlantılar mantığına dayanarak çocuğun kavramasını sağlamak üzerine tasarlanmıştır. Bu eylemler yan yana koyma, üst üste koyma, bitişik koyma gibi eylemlerdir (MacCormac, 1974). Froebel blokları aynı zamanda matematik gibi sayısal becerilerin gelişmesinde de etkili bir araçtır (Luecking, 2013). Bunlara ek olarak Froebel bloklarının sahip olduğu geometrik şekil ve ölçülere bağlı olarak biçim grameri kuralları ile form türetmeyi amaçlanan algoritmalar günümüzde geliştirilmektedir (Keskin, 2008). Gökhan Keskin, çalışmasında Farklı kompozisyonlarda konut özelinde formlar geliştirmiştir. Bu bağlama göre, Froebel blokları, birçok tasarım araştırmalarında kullanılmaktadır. Froebel blokları biçimsel ve eylemsel

potansiyelleri bakımından incelenmiştir. Günümüzde dijital tasarım ve fiziksel üretim birlikteliğinde Froebel blokları üzerinden çıkacak yaklaşım ile dönüştürülmesi yorumlanması ile çağdaş Froebel blokları oluşturulması amaçlanmış ve eylem mekanizmalarının kişiselleştirilmesi, çoğaltılması amaçlanmıştır.

Mevcut Froebel blokları oyuncak 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 kapsamında tam, yarım ve çeyrek küp, dikdörtgenler prizması, küre ve silindirden oluşmaktadır. Bu elemanlar Froebel tarafından olmasa da yazarlar tarafından ana ve ara elemanlar olarak isimlendirilmektedir. Bu gruplandırma, çalışmanın analiz kısmında kullanılmak üzere önem taşımaktadır. Ana elemanlar, temel geometrik şekillerden oluşmakta iken; ara elemanlar, ana elemanlardan türetilen geometrik şekilleri ifade etmektedir. **Şekil 1**'de **Froebel blokları**, filament kullanarak 3D printer ile **üretilen Froebel blokları** ve reçine kullanarak 3D printer ile üretilen **çağdaş Froebel blokları** gösterilmiştir.

Şekil 1: Froebel Blokları, Üretilen Froebel Blokları, Çağdaş Froebel Blokları (Froebel Blocks, Produced Froebel Blocks, Contemporary Froebel Blocks).



Froebel blokları, ana elemanları A1 -4cmx4cmx4cm küp, A2 - 8cmx4cmx4cm dikdörtgenler prizması, B1 - 2 cmØx4cm silindir ve C1 - 4cmØ küre ve A1 ana elemanından türeyen ara elemanları A1_1 yarım küp ve A1_2 çeyrek küpten oluşmakta ve **Şekil 1**'de görülmektedir.

Üretilen Froebel blokları ise ana elemanları A1 - 4cmx4cmx4cm küp, A2 - 8cmx4cmx4cm dikdörtgenler prizması, B1 - 2 cmØx4cm silindir ve ara elemanları A1 ana elemanından türeyen A1_1 4cmx4cmx1cm kare prizma, A1_2 6cmx6cmx1cm içi 4cmx4cm boşluklu dikdörtgenler prizması, A2 ana elemanlarından türeyen A2_1 4cmx4cmx1cm dikdörtgenler prizması ve A2_2 8cmx8cmx4cmx4cmx1cm çokgen prizmadan oluşmakta ve **Şekil 1**'de görülmektedir. Bu üretimin temel amacı, bir sonraki üretim adımında, geometriler arası eylem mekanizmalarını arttırmak için yapılacak müdahaleye zemin hazırlamaktır. Çalışma kapsamında yapılan uygulamanın 1. adımında bu bloklar kullanılmıştır.

Şekil 1'de üst üste – yan yana koymak eylem mekanizmalarını arttırmak amacıyla yeniden yorumlanan çağdaş Froebel blokları görülmektedir. Ana elemanlar; A1- 4cmx4cmx4cm küp, A2- 8cmx4cmx4cm dikdörtgenler prizmasından oluşmaktadır. Ara elemanlar, A1_a 4cmx4cmx1cm kare prizma, A1_b 6cmx6cmx1cm içi 4cmx4cm boşluklu dikdörtgenler prizması, A2_a 4cmx8cmx4cm dikdörtgenler prizması, A2_b 4cmx4cmx1cm dikdörtgenler prizması, A2_c 4cmx4cmx1cm dikdörtgenler prizması, A2_d 4cmx4cmx1cm dikdörtgenler prizması, A2_e 8cmx8cmx4cmx4cmx1cm çokgen prizmadan oluşmaktadır. Bunlara ek olarak B1 2 cmØx4cm silindir ve 0.5 cmØx10cm çubuklar yardımcı elemanlardır. Yardımcı elemanlar, ana elemanlar ile ara elemanlar arasındaki bağlantıyı sağlamak için kullanılır.

4. YÖNTEM (METHOD)

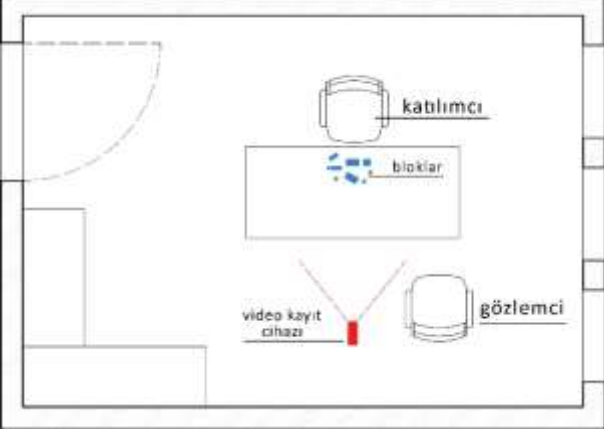
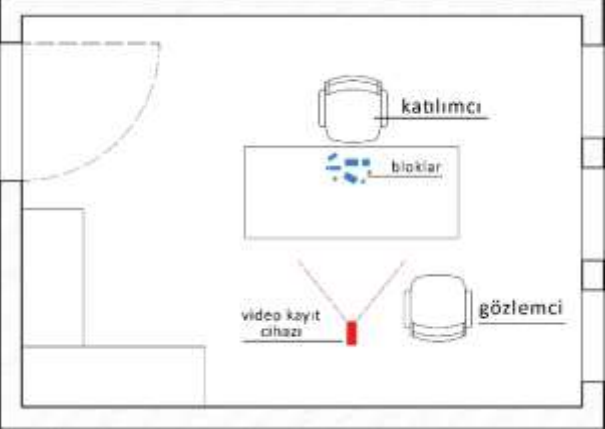
Çalışmanın yöntemi, tasarım ve uygulama olmak üzere 2 aşamadan oluşmaktadır. Tasarım aşaması 2 adımdan oluşmakta olup ilk adımda Froebel blokları 3, 4, 5, 6'nın biçimsel ve eylemsel analizlerine bağlı olarak üretilmesini kapsar. Diğer adımda ise üretilen Froebel bloklarının dijital fabrikasyon ile üretimini yani dijital ortamda yeniden yorumlanmasını ve fiziksel ortamda üretilmesini içermektedir. Üretim sürecinin sonunda uygulama aşamasında ise katılımcıların, verilen tasarım problemi ile Froebel blokları ve çağdaş Froebel bloklarını deneyimlemelerini içermektedir.

Çalışmanın uygulama aşamasında, Froebel blokları ve çağdaş Froebel blokları ile yapılan adımlarda aynı 4 kişinin katılımı sağlanmıştır. Katılımcılar 25 – 30 yaş arası tasarım eğitimi almamış yüksek lisans ve

Tasarım aşaması 2. adımda çağdaş Froebel blokları, Froebel bloklarının eş biçim grameri ve eylemlere sadık kalınıp, yeni eylem mekanizmalarına olanak verecek şekilde boşluklar açılarak dijital ortamda tasarlanması ve 3 boyutlu yazıcı ile reçine kullanarak üretilmesini kapsar. Yeni eylemsel mekanizmaları gözlemlemek amacı ile yardımcı elemanlar olan B1 silindir ve B2 çubuklar ek olarak üretilmiştir. Sonuç olarak tasarımın bu aşamasında ana elemanlar, ara elemanlar ve yardımcı elemanlardan oluşan çağdaş Froebel blokları üretilmiştir.

4.2 Uygulama Aşaması (Application Phase)

Tasarım aşamasına bağlı olarak uygulama aşaması 2 adımdan oluşmaktadır. Uygulamalar, kontrol grubu olan daha önce tasarım disiplini yer almamış 4 adet lisansüstü öğrenci ile yapılmıştır. Katılımcılara öncesinde çalışmanın konusu ve yapılacak olan tasarım çalışması planı hakkında bilgi verilmiştir. Froebel blokları ve çağdaş Froebel blokları tanıtılmış, ellerine alıp 3 dakika incelemeleri istenmiştir. Froebel bloklarının okul öncesi eğitimde kullanılacak gerçeğine bağlı olarak, okul öncesi çocukların soyutluk idrakının olmadığı ve zamanla kazandığı dolayısı ile soyut bir tasarım problemi yerine somut anlama gelen, ortak kabul edilen bir kavramın tasarlanması amaçlanmıştır. Bilindik, ortak kabul edilen bir nesnenin soyutlanması istenmiştir. Bu durumu destekler biçimde, 3 boyutlu tasarım becerisi kazanmaya dönük özel bir görsel soyutlama eğitim almamış katılımcılar tercih edilmiştir. Mekan ve mekânsal öğeler gibi kişiler arası farklı anlama gelebilen tasarım problemleri yerine, aynı kabul edilen figüratif bir problem verilmiştir. Bu tasarım problemi, “hayalinizdeki kediye tanımlayın” olarak belirlenmiş ve tasarımın yatayda veya düşeyde olabileceği açıklanmıştır. Doğanın basit geometrik şekillerden oluştuğu anlatılmış, bu bağlamda hayali bir kedi yaratımı katılımcılardan istenmiştir. **Tablo 2’de** uygulama adım 1 ve uygulama adım 2’ye ait çalışma prosedürü ve çalışma ortamı gösterilmiştir.

Sıra	Uygulama Adım 1	Uygulama Adım 2
1	Katılımcının (yaş, mezun olduğu okul, geçmiş deneyim ve becerileri vb.) genel özelliklerini anlayabilmek için ön görüşmenin yapılması	Uygulama adım 2 hakkında bilgi verilmesi, verilen tasarım probleminin incelenmesi, katılımcının sorularının yanıtlanması için 5 dakikalık zaman tanınması
2	Çalışmanın içeriğine dair kısa bir açıklama yapılması	Katılımcının uygulama adım 2 için tasarım önerisi geliştirmesi
3	Uygulama adım 1 hakkında bilgi verilmesi, verilen tasarım probleminin incelenmesi, katılımcının sorularının yanıtlanması için 5 dakikalık zaman tanınması	Uygulama adım 2 sonrasında, katılımcıdan sözel geri bildirim alınması
4	Katılımcının uygulama adım 1 için tasarım önerisi geliştirmesi	
5	Uygulama adım 1 sonrasında, katılımcıdan sözel geri bildirim alınması	
	Uygulama Adım 1 Çalışma Ortamı	Uygulama Adım 2 Çalışma Ortamı
		

Uygulamanın 1. adımı 20 dakika ile kısıtlanmış olup, çalışma ortamında video ile görsel kayıt alınarak yapılmıştır. Uygulama çalışmaları genellikle, katılımcıların performansına bağlı olarak 5 dakika ile 10 dakika arasında değişiklik göstermektedir. Gözlemci tüm uygulamalarda, katılımcıyı gözlemlemek, kayıt tutmak ve gerekli olduğu durumlarda katılımcının sorularını yanıtlamak üzere hazır bulunmuştur. Uygulamanın sonucunda süreç ile ilgili sözel geri bildirim alınmıştır. Sınıf ortamında yapılan tasarım çalışmasının protokol analizi sonucunda nicel veriler elde edilirken, sözel geri bildirim sonucunda nitel geri dönüşler elde edilmiştir.

Uygulamanın 2. adımı 20 dakika ile kısıtlanmış olup, çalışma ortamında video ile görsel kayıt alınarak yapılmıştır. Uygulama çalışmaları genellikle, katılımcıların performansına bağlı olarak 10 dakika ile 15 dakika arasında değişiklik göstermektedir. Gözlemci tüm uygulamalarda, katılımcıyı gözlemlemek, kayıt tutmak ve gerekli olduğu durumlarda katılımcının sorularını yanıtlamak üzere hazır bulunmuştur. Uygulamanın sonucunda süreç ile ilgili geri bildirim alınmıştır. Katılımcılar, uygulamayı aynı gün, aynı sınıf ortamında, sıralı olarak

Tablo 2: Uygulama adımları protokolleri
(Protocols of Application Steps).

yapmışlardır. Bu şekilde katılımcının, uygulamada yapacağı tasarım hakkında düşünmesi olasılığının mümkün olduğu kadar azaltılması edilmesi amaçlanmıştır. Uygulama adım 1 ve adım 2’de katılımcıların tasarım problemine verdikleri cevap sırasında yaptıkları eylemler video ile görsel olarak kayıt edilmiştir. Bu sayede yapılan eylem analizi ile eylemlerin neler olduğu ve hangi sıra ile gerçekleştirdikleri kaydedilmiştir.

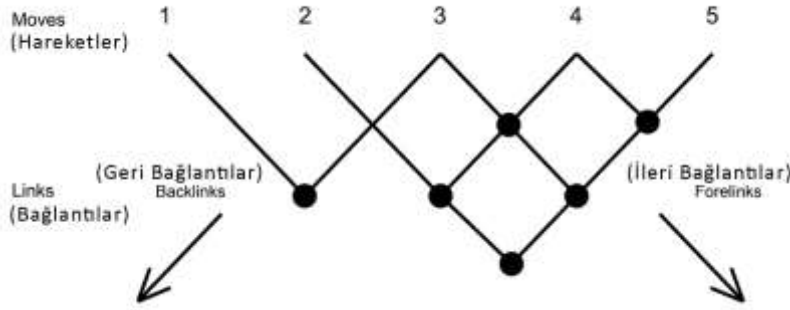
Çalışma sonucunda katılımcıların sıralı eylemlerinin görsel kayıtları, çalışmanın deney sürecinin verilerini oluşturmaktadır. Kayıtlardan katılımcıların eylemleri protokollere ayrılıp, eylem niteliği ve sayısı saptanmıştır. Bu sayede Froebel blokları ile ortaya çıkacak potansiyel eylem sayıları ve türleri ile çağdaş Froebel bloklarından ortaya çıkabilecek potansiyel sayıları ve türleri karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonrasında katılımcılardan istenen tasarım problemine özgü eylemsel dizge raporu çıkarılmış ve sözel geri bildirimler alınmıştır. Elde edilen geri dönüşler doğrultusunda uygulama 1 ve uygulama 2 arasındaki eylemsel potansiyel fark nitel olarak, geri bildirimler nicel olarak yorumlar kısmında değerlendirilmiştir.

5. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER (FINDINGS and EVALUATION)

Uygulama 1 ve uygulama 2 kapsamında katılımcılardan elde edilen bulgular, protokollere ayrılıp değerlendirilmiştir. Yöntem bölümünde gösterilen protokoller sonucu elde edilen bulgular linkografi grafiğinden yola çıkarak görselleştirilmiştir. Linkografi, tasarım hareketleri ve bu hareketler arasındaki ilişkilere odaklanan, bu sürecin analizini ve işaretlenmesini içeren görsel bir strüktürdür (Goldschmidt, 2014). Tasarım hareketlerinin birbiri ile olan ilişkisi bağlantıları (links) oluşturur. Özbaki, Çağdaş ve Kilimci’ye (2016) göre tasarımcının tasarım uzamının tasvir edilmesi, linkografi yönteminde hareketlerin birbiri ile olan ilişkileri ile oluşan ağ ile ifade edilir. Bağlantılar, ileri bağlantılar (forelinks) ya da geri bağlantılar (backlinks) olarak sınıflandırılır. Hareketler kronolojik olarak sıralanarak, bağlantıları ile birlikte dikey ve yatay uzamda bir matris oluşturur. **Şekil 3**’te tasarım hareketi, bağlantılar arasındaki ilişki, ileri ve geri hareketler gösterilmiştir.

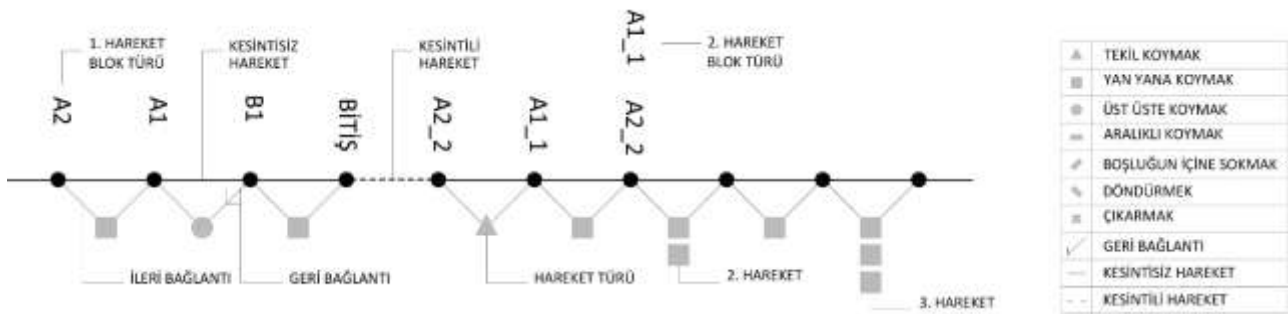
Linkografi ile görsel anlatım tekniği, tasarımcının tasarım eylemi sırasında yaptığı hareketler ve bunlar arasındaki ilişkileri göstermektedir. Bunun da ötesinde, bu hareketlerin örüntüsü linkografi grafiğinde incelendiğinde, tasarımcının hangi aşamasında denemeler yaptığını, yeni bir fikir üzerinden tasarımını geliştirdiğini, ya da geliştirdiği tasarım düşüncesinde ilerlediğini görülebilmektedir (Goldschmidt, 2014).



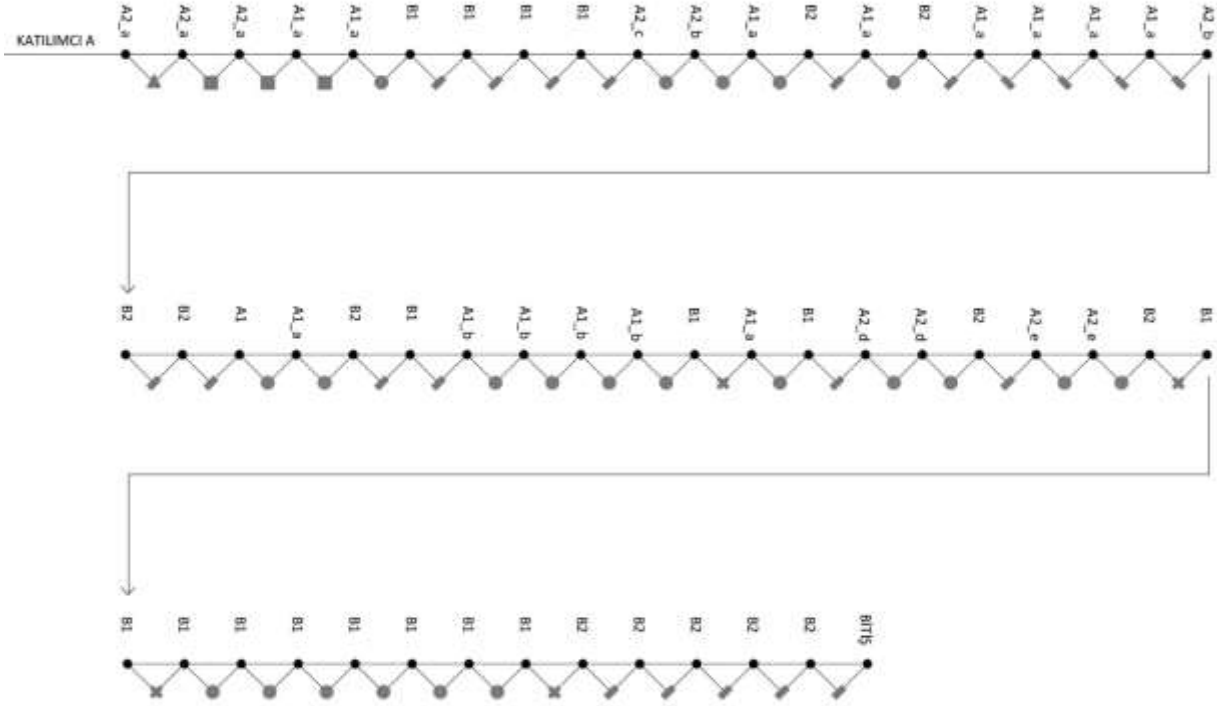
Şekil 3: 5 hareket ve 6 bağlantıdan oluşan bir linkografi örneği. Düzgümler bağlantıları, çizgiler grid sistemini göstermektedir. (An example of a linkograph consisting of 5 motions and 6 links. Nodes connections, lines show the grid system) (Translated from Goldschmidt, 2014b, p.49).

Linkografi tekniği, katılımcının Froebel blokları ve çağdaş Froebel blokları ile tasarım sırasında yaptığı hareketleri göstermek ve arasındaki örüntüyü aktarmak için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında bloklar ve hareketler arasındaki ilişkiyi daha anlaşılır olarak anlayabilmek için Goldschmidt'in (2014) tanımladığı linkografi tekniğinde düzenlemeler yapılmıştır. Şekil 4'te çalışma analizlerinin temsil şeması ve hareket türleri gösterim lejandı verilmiştir.

Şekil 4: Çalışma Analizlerinin Temsil Şeması (Presentation scheme of study analyzes).



Katılımcı A, B, C ve D'nin uygulama 1 ve uygulama 2'de tasarım problemlerine ilişkin Froebel blokları ve çağdaş Froebel blokları ile yaptıkları tasarımlar bu temsil şeması ve hareket türleri gösterim lejantına göre şematize edilmiştir.



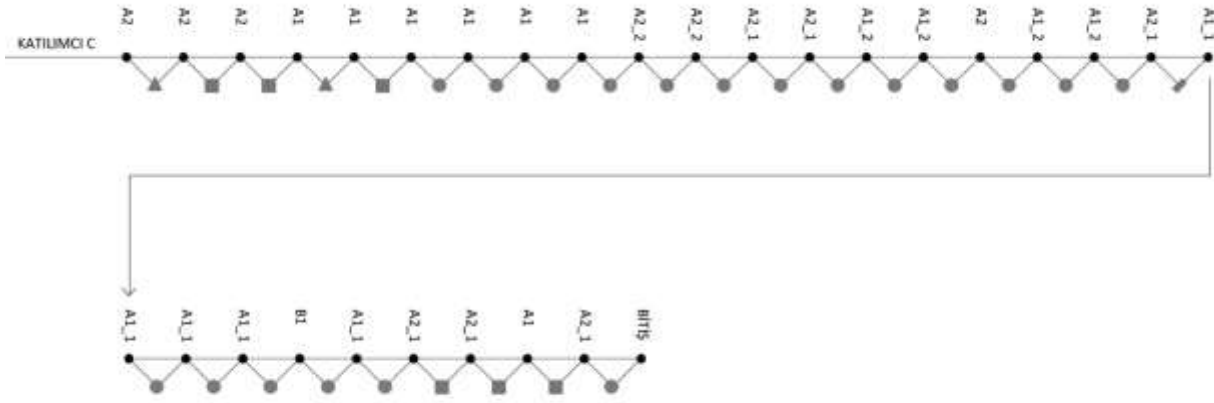
Katılımcı A'nın verilen uygulama 2'de tasarım problemi için yaptığı hareketleri içeren linkografi grafiği incelendiğinde, eylemlerin kesintiye uğramadığı görülmektedir. Katılımcı A, uygulama 2'de blokları 1 kez tekil koyma, 3 adet yan yana koyma, 23 kez üst üste koyma, 18 kez boşluğun içine sokma, 4 kez döndürme, 4 kez çıkarma, 53 kez kesintisiz hareket yaptığı görülmektedir. Uygulama 8 dakika 5 saniye sürmektedir (Şekil 6).

Şekil 6: Katılımcı A'nın Uygulama 2'deki tasarım eylemleri linkografi grafiği (Participant A's design actions in Application 2 linkography chart)

Katılımcı A'nın uygulama 1 ve uygulama 2 hareketleri karşılaştırıldığında, uygulama 2'nin uygulama 1'den daha fazla hareket içerdiği görülmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamında incelemek istenen boşluğun içine sokma ve döndürme hareketlerini içerdiği görülmektedir. Bunun nedeni, Uygulama 2'de kullanılan çağdaş Froebel bloklarının boşluklar içermesi ve bağlantı elemanları olan B1 ve B2 bloklarını içermesidir (Şekil 6).

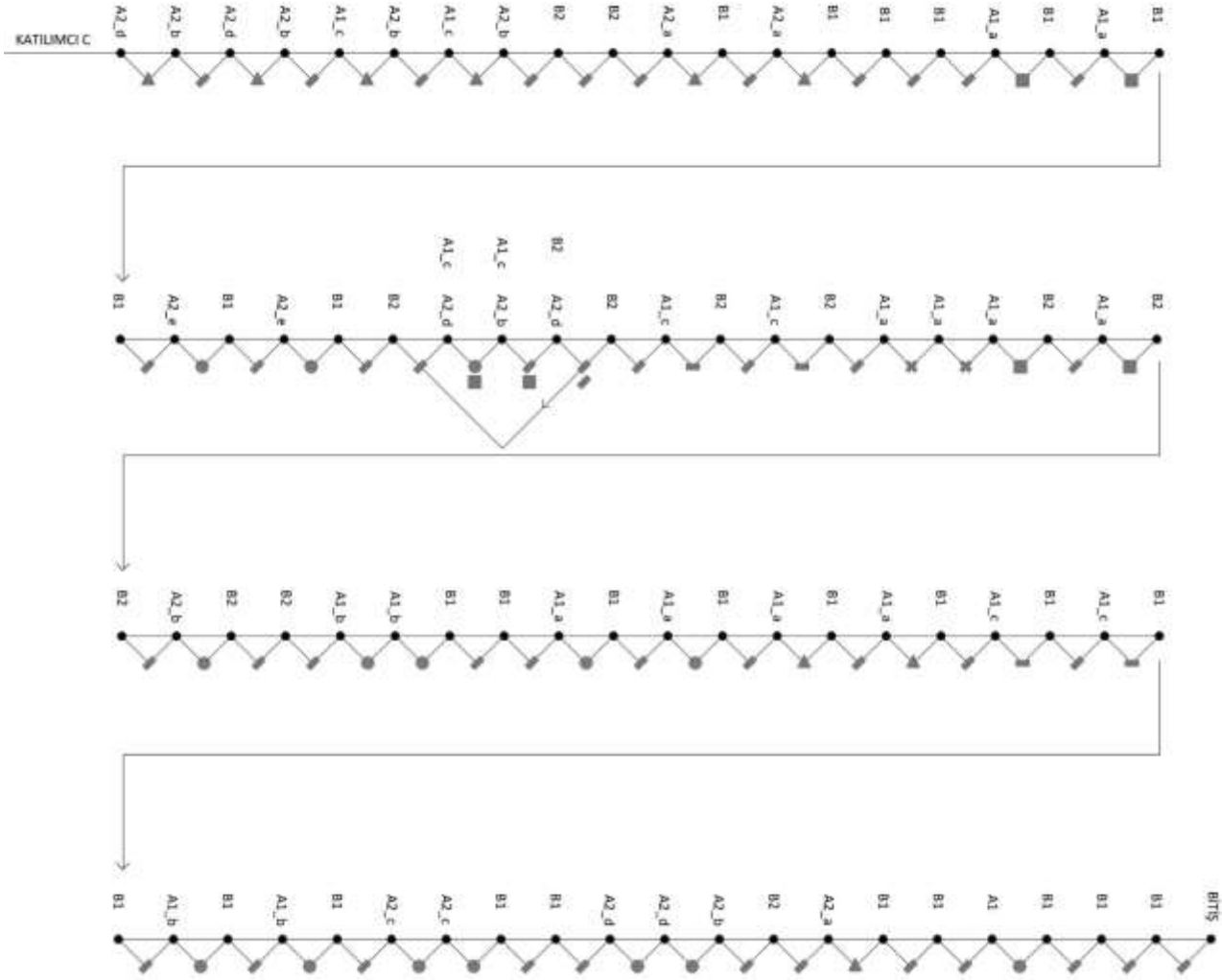
Katılımcı B'nin uygulama 1 ve uygulama 2 hareketleri karşılaştırıldığında, uygulama 2'nin uygulama 1'den daha fazla hareket içerdiği görülmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamında incelemek istenen boşluğun içine sokma ve döndürme hareketlerini içerdiği görülmektedir. Bunun nedeni, Uygulama 2'de kullanılan çağdaş Froebel bloklarının boşluklar içermesi ve bağlantı elemanları olan B1 ve B2 bloklarını içermesidir (Şekil 8).

Katılımcı C:



Katılımcı C'nin verilen uygulama 1'de tasarım problemi için yaptığı hareketleri içeren linkografi grafiği incelendiğinde, eylemlerin sıralı olarak ilerlediği görülmektedir. Katılımcı C, uygulama 1'de blokları 2 kez tekil koyma, 6 kez yan yana koyma, 19 kez üst üste koyma, 1 kez boşluğun içine sokma, 28 kez kesintisiz hareket yaptığı görülmektedir. Uygulama 4 dakika 57 saniye sürmektedir (Şekil 9).

Şekil 9: Katılımcı C'nin Uygulama 1'deki tasarım eylemleri linkografi grafiği (Participant C's design actions in Application 1 linkography chart)



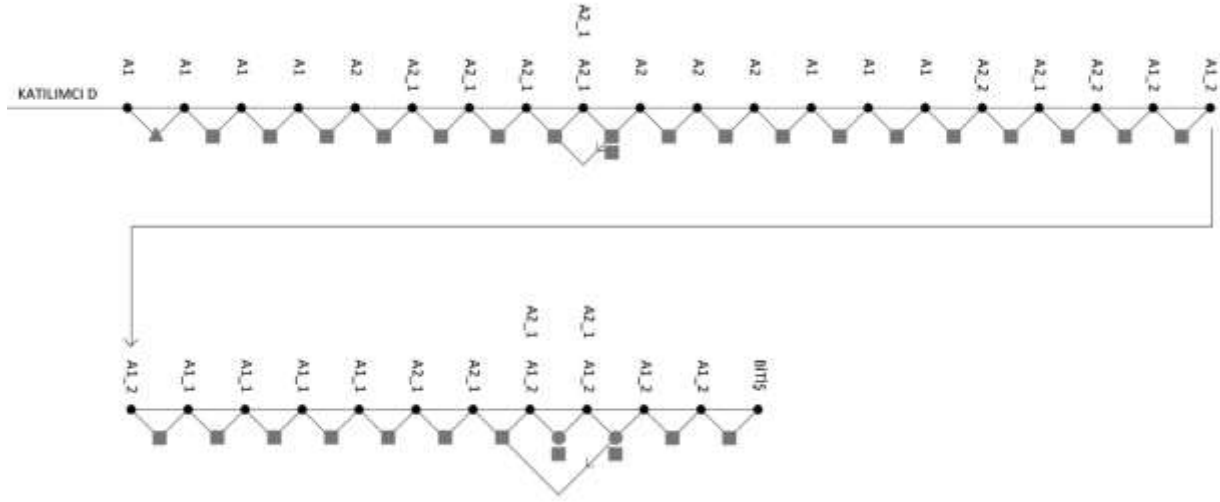
Şekil 10: Katılımcı C'nin Uygulama 2'deki tasarım eylemleri linkografi grafiği (Participant C's design actions in Application 2 linkography chart)

Katılımcı C'nin verilen uygulama 2'de tasarım problemi için yaptığı hareketleri içeren linkografi grafiği incelendiğinde, eylemlerin kesintiye uğramadığı görülmektedir. Katılımcı C, uygulama 2'de blokları 9 kez tekil koyma, 6 kez yan yana koyma, 15 kez üst üste koyma, 3 kez aralıklı koyma, 44 kez boşluğun içine sokma, 2 kez çıkarma, 1 kez geri bağlantı, 80 kez kesintisiz hareket yaptığı görülmektedir. Uygulama 16 dakika 30 saniye sürmektedir (Şekil 10).

Katılımcı C'nin uygulama 1 ve uygulama 2 hareketleri karşılaştırıldığında, uygulama 2'nin uygulama 1'den daha fazla hareket içerdiği görülmektedir. Ayrıca, çalışma kapsamında incelemek istenen boşluğun içine sokma hareketini içerdiğini fakat döndürme hareketini

içermediği içerdiği görülmektedir. Bunun nedeni, Uygulama 2’de kullanılan çağdaş Froebel bloklarının boşluklar içermesi ve bağlantı elemanları olan B1 ve B2 bloklarını içermesidir (Şekil 10).

Katılımcı D:











Katılımcı D’nin verilen uygulama 1’de tasarım problemi için yaptığı hareketleri içeren linkografi grafiği incelendiğinde, eylemlerin sıralı olarak ilerlediği görülmektedir. Katılımcı D, uygulama 1’de blokları 1 kez tekil koyma, 30 kez yan yana koyma, 2 kez üst üste koyma, 2 kez geri bağlantı, 33 kez kesintisiz hareket yaptığı görülmektedir. Uygulama 3 dakika 27 saniye sürmektedir (Şekil 11).

Şekil 11: Katılımcı D’nin Uygulama 1’deki tasarım eylemleri linkografi grafiği (Participant D’s design actions in Application 1 linkography chart)

boşluğun içine sokma hareketini ve döndürme hareketini içerdiği görülmektedir. Bunun nedeni, Uygulama 2’de kullanılan çağdaş Froebel bloklarının boşluklar içermesi ve bağlantı elemanları olan B1 ve B2 bloklarını içermesidir (Şekil 12).

Katılımcı A, B, C ve D’nin uygulama 1 ve uygulama 2 sonucunda ortaya çıkan tasarımları **Tablo 3**’te verilmiştir.

	UYGULAMA 1	UYGULAMA 2	UYGULAMA 1	UYGULAMA 2	
KATILIMCI A			KATILIMCI B		
KATILIMCI C			KATILIMCI D		

Katılımcı A, B, C ve D’nin uygulama 2’yi tamamlama süreleri uygulama 1’yi tamamlama sürelerinden fazladır. Ayrıca, uygulama 2’de tasarım süreci boyunca bloklarla yapılan hareketler, uygulama 1’de tasarım süreci boyunca bloklarla yapılan hareketlerden sayıca fazladır. Çalışma kapsamında, yardımcı elemanlar B1 ve B2 blokları ve ana elemanlar ile olan boşluk içine sokma hareketi ve döndürme hareketinin uygulama 1’de yapılmadığı, uygulama 2’de yapıldığı görülmektedir.

Tablo 3: Katılımcı A, B, C ve D’nin Uygulama 1 ve Uygulama 2 Tasarımları
(Designs of Application 1 and Application 2 of Participant A, B, C and D)

6. DEĞERLENDİRMELER (EVALUATION)

Froebel blokları, okul öncesi eğitimde çocukların bilişsel ve motor becerilerini geliştirmek için tasarlanmış ve günümüzde halen kullanılmaktadır. Bunun yanında bu bloklar, çocukların 3 boyutlu geometrik şekilleri anlamak ve aralarındaki ilişkileri kavramak, bu ilişkilerle birlikte kendi tasarımlarını oluşturmaya yardımcı olur. Froebel bloklarının birbiri ile olan ilişkileri ve bloklar arası eylem repertuarı genişletilirse, 3 boyutlu geometrik şekilleri anlamak ve aralarındaki ilişkiyi çeşitlendirmek mümkün olabilir mi? Buna ek olarak çağdaş Froebel blokları tasarım eğitimi pedagojilerinde kullanılırsa, tasarım öğrencilerine 3 boyutu anlama ve kullanma konusunda katkısı olur mu ve bu süreç hangi üretim aracı ile sağlanabilir, bu üretime hangi malzeme uygun olabilir soruları doğrultusunda Froebel blokları dijital ortamda yeniden tasarlanıp, fiziksel ortamda yeniden üretilmiştir. Froebel blokları ve yeniden tasarlanan çağdaş Froebel bloklarının birbiri ile olan ilişkisi ve hareket mekanizmalarını deneyimlemek çalışmanın yöntemini oluşturmaktadır. Uygulama, daha önce tasarım eğitimi almamış 4 adet katılımcı ile yapılmıştır. 2 aşamadan oluşan Froebel blokları ve Çağdaş Froebel blokları ile yapılan uygulamanın protokolleri sonucunda Froebel blokları ile “tekil koymak”, “yan yana koymak”, “üst üste koymak”, “aralıklı koymak”, “çıkarmak” gibi hareketler yapılırken, çağdaş Froebel blokları ile bu hareketlere ek olarak “boşluğun içine sokmak” ve “döndürmek” hareketleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlama eyleminin çağdaş Froebel blokları ile daha uzun sürdüğü dolayısı ile katılımcıların tasarım aşamasında daha fazla düşündüğü ve bloklarla daha fazla tasarım hareketi gösterdikleri gözlemlenmiştir. Tasarım eylemlerinin artması, deneme yanılma yolu ile farklı tasarım sonuçlarına ulaşılması dolayısı ile üretkenliğin artmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda blokların birbiri ile olan ilişkisine ek yeni bağlantılar (boşluğa ekleme, döndürme) eklendiğinden ötürü 3 boyutlu üretim mantığını da arttırmaktadır. Fakat çalışmanın asıl amacı, bloklarla oyunun yaratıcılığa olan etkisi değil, tasarım eylem mekanizmalarını arttırmaya yöneliktir. **Tablo 4**'te katılımcı D'ye ait uygulama 1 ve uygulama 2 tasarım kompozisyonları görülmektedir. Görsellerden anlaşılacağı gibi, çağdaş Froebel blokları ile yapılan tasarım eylemleri, mevcut Froebel bloklarına göre zenginleşmektedir.



Tablo 4: Katılımcı D'nin Uygulama 1 ve Uygulama 2 Tasarımları (Designs of Application 1 and Application 2 of Participant D)

Froebel blokları ile yapılan uygulama 1'de çoğunlukla "üst üste koyma" ve "yan yana" koyma eylemleri yapılırken, çağdaş Froebel blokları ile yapılan uygulama 2'de çoğunlukla "üst üste koyma" ve "boşluğun içine sokma" eylemleri yapılmıştır. Eylemler arası ilişkilere bakıldığında, Froebel blokları ile yapılan uygulama 1'de "üst üste koyma" ve "yan yana koyma" eylemleri sıralı gelirken, uygulama 2'de ise bu sıra bozulmuş, "boşluktan geçirme" eylemleri gerçekleşmiştir. Bu durum tasarım sürecinin uzamasına neden olmuştur. Uygulama 1'de "tek kullanım" eylemi tek başına kullanılırken, uygulama 2'de tek kullanma eylemini "boşluktan geçirme" eylemi izlemiş ve bu eylem kümesi başlangıçtan itibaren çoğunlukla ilk 6 adımda gerçekleşmiştir. Çalışma kapsamında çağdaş Froebel bloklarının, Froebel bloklarından farklı olarak, eylem sayısını arttırdığı ve eylemler arasındaki ilişkiyi çeşitlendirdiği gözlemlenmiştir.

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Froebel blokları, tasarım eğitiminde kullanılan, blokların birbiri ile olan ilişkisinin tasarımcı tarafından gerçekleştirilen eylem mekanizmasına göre değiştiği geometrik şekillerdir. Bu çalışmada tasarım eğitim pedagojisinde kullanılan Froebel bloklarına çağdaş bir yorum getirerek, Froebel bloklarının tasarım eylemlerini arttırmak ve farklı eylemler katabilmek amaçlanmıştır. Froebel bloklarının birbiri ile olan ilişkileri ve bloklar arası eylem mekanizmaları repertuarı genişletilip, 3 boyutlu geometrik şekilleri anlamak ve aralarındaki ilişkiyi çeşitlendirmek tasarım eğitimi açısından yararlı olacaktır. Bu durum, Froebel bloklarına boşluklar açılarak ve boşluklara uyumlu yardımcı elemanlar eklenerek oluşturulan çağdaş Froebel blokları ile 3 boyutta farklı geometrik

kompozisyonlar ve eylemler gerçekleştirerek mümkün olabilir. Tasarım eğitiminde çağdaş Froebel bloklarının kullanımı, doluluk boşluk, şekil zemin, ritim, denge, kontrast ilişkileri, mekanlar arası kurgu gibi tasarım konularının kavranmasına yardımcı olabilir.

Çağdaş Froebel blokları, dijital fabrikasyon ile Froebel bloklarının eylemsel repertuarını geliştirmek üzere tasarlanmıştır. Bu noktada dijital ortamda hesaplama araçları ile tasarlanan ve fiziksel ortamda üretimi sağlayan dijital fabrikasyon ile mevcut geometrik şekillerden yeni bloklar üretilebilmesi sağlanabilir ve bu sayede tasarıma repertuarına yeni eylemler eklenebilir. Tasarlanan yeni bloklar aynı zamanda anlık olarak üretilebilir ve bloklarla olan ilişkisi deneyimlenebilir. Dijital fabrikasyon dijital ortamda tasarlanıp, dijital ortamda üretimi kapsayıp, tasarım problemine özgü modellerin üretilmesini sağladığından, üretim sisteminin daha devingen olmasını sağlamakta ve tasarım eylemlerini zenginleştirmek için bir olanak sağlamaktadır.

8. GELECEK ÇALIŞMALAR (FURTHER STUDIES)

Tasarım eğitiminde kullanılması amaçlanan çağdaş Froebel blokları, sadece bu çalışma kapsamında değil, farklı çalışmalarda da kullanılması, potansiyellerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çağdaş Froebel bloklarının gerek biçimsel özellikleri değiştirilerek gerek bu parçalara ek bloklar eklenerek, tasarım eylem dizgisini arttırmak ve eylem tiplerini arttırmak hedeflenmektedir. Çalışma, daha önce tasarım eğitimi almamış 1 yüksek lisans 3 doktora öğrencisi olmak üzere 4 lisansüstü katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar kontrol grubu olarak seçilmiş, çağdaş Froebel blokları ile tasarım eylemleri arttırdığı sonucu ile tasarım eğitimi pedagojilerde ilerleyen çalışmalarda kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda gelecek çalışmalarda, tasarım eğitimine yeni başlayan öğrenciler ile bu çalışma gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Çağdaş Froebel bloklarının, tasarım eğitimine yeni başlayan öğrencilerle ritim, kontrast, denge vb. temel tasarım öğelerinin kavranmasını kolaylaştıracağı, tasarım eylem repertuarını zenginleştirecek üretkenlik ve yaratıcılığı destekleyeceği ve kişiselleştirilmiş yeni bloklar ile kompozisyonel varyasyonların giderek artacağı öngörülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Dijital fabrikasyon konusunda yardımlarını esirgemeyen Necmettin Sancak, ITU Racing Takımı ve ITU Ironbees Takımına ve ayrıca, çalışma kapsamında yapılan uygulama katılımcılarına teşekkürlerimi sunarım.

Referanslar (References)

Brosterman, N. (1997). *Inventing kindergarten* (1st edition). Harry N. Abrams.

Clements, R. D. (1981). Modern architecture's debt to creativity education: A case study. *Gifted Child Quarterly*, 25(3), 119–122. <https://doi.org/10.1177/001698628102500307>

Economou, A. (1999). The symmetry lessons from Froebel building gifts. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(1), 75–90. <https://doi.org/10.1068/b260075>

Goldschmidt, G. (2014). *Linkography: Unfolding the design process*. MIT Press.

Güzelci, O. (2015, November 5-6). Tasarım eğitime ve araştırmalarına etkileri bağlamında dijital fabrikasyon laboratuvarları. *İç Mimarlık Eğitimi 3. Ulusal Kongresi (İÇMEK)*.

Keskin, G. (2008). Dijital form üretici (Froebel form üretici) ile bir konut yerleşkesinin tasarım süreci (Publication No. 237187) [Master Thesis, Yıldız Technical University]. YTU DSpace Institutional Archive.

Kolarevic, B. (2004). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Taylor & Francis.

Luecking, S. (2013). Mathematics education and early abstract art. In G. W. Hart, and R. Sarhangi (Eds.), *Proceedings of the Bridges: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture* (pp. 27–31). <http://archive.bridgesmathart.org/2013/bridges2013-35.html>

MacCormac, R. C. (1974, June 1). Froebel's kindergarten gifts and the early work of Frank Lloyd Wright. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Sciences*, 1974(1), 29-50. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/b010029>

Provenzo, E. F. (2009). Friedrich Froebel's Gifts: Connecting the spiritual and aesthetic to the real world of play and learning. *American Journal of Play*, 2(1), 85–99. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1069222.pdf>

Stiny, G. (1980). 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>

Tovey, H. (2016). *Bringing the Froebel approach to your early years practice* (2nd Edition). Routledge.

Machine as the Designer of Generative Solutions in Chair Design

Çağrı Uludüz¹, Çağlar Aydın²

ORCID NO: 0000-0002-9951-855X¹, 0000-0001-6481-9523²

¹ Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, Erzurum, Turkey

² Karadeniz Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Trabzon, Turkey

The use of artificial intelligence in design processes has become highly visible. The utilitarian use of this new technology in design raises questions about the relationship between man and machine and its contribution to the final product. This study, which was carried out specifically for chair design, analyzes the design outputs obtained from Autodesk's Fusion 360 software, and examines how far the generative system can realize the chair design without the contribution of the designer. The contribution of generative design to the design process has been examined in terms of form, material and manufacturing technology. In this context, it reveals that the role of the designer in creating a complex design product cannot be ignored.

Received: 11.08.2021

Accepted: 18.03.2022

Corresponding Author:

cagri.uluduz@erzurum.edu.tr

Uludüz, Ç., Aydın, Ç. (2022). Machine as the Designer of Generative Solutions in Chair Design. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 81-104.

<https://doi.org/10.53710/jcode.1070450>

Keywords: Artificial Intelligence, Computational Design, Design Tools, Design Research, Furniture Design.

81

Sandalye Tasarımında Üretken Çözümlerin Tasarımcısı Olarak Makine

Çağrı Uludüz¹, Çağlar Aydın²

ORCID NO: 0000-0002-9951-855X¹, 0000-0001-6481-9523²

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Erzurum, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon, Türkiye

Günümüz tasarım ürünlerinde, yapay zeka kullanımı oldukça görünür olmaya başlamıştır. Fakat, bu yeni teknolojinin tasarım alanında faydacı kullanımı, insan-makine arasındaki ilişkinin yanında elde edilen son ürüne katkısıyla ilgili soru işaretlerini de beraberinde getirmektedir. Sandalye tasarımı özelinde gerçekleştirilen bu çalışma, yapay zeka olgusunun tasarımcı katkısı olmadan bir sandalye tasarımını ne kadar ortaya koyabileceğini üretken tasarım sistemine sahip bir yazılımdan elde edilen sonuç tasarım çıktıları üzerinden yapılan analizlerle ele almaktadır. Bunun yanında, üretken tasarımın tasarım sürecindeki katkısı form, malzeme ve üretim teknolojisi bağlamında irdelenmiştir. Bu bağlamda, çok yapı/kompleks bir tasarım ürününü oluşturmada tasarımcının rolünün göz ardı edilemez olduğunu ortaya koymaktadır.

Teslim Tarihi: 11.08.2021

Kabul Tarihi: 18.03.2022

Sorumlu Yazar:

cagri.uluduz@erzurum.edu.tr

Uludüz, Ç., Aydın, Ç. (2022). Sandalye Tasarımında Üretken Çözümlerin Tasarımcısı Olarak Makine. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 81-104.

<https://doi.org/10.53710/jcode.1070450>

Anahtar Kelimeler: Sayısal Tasarım, Tasarım Araçları, Tasarım Araştırması, Mobilya Tasarımı, Yapay Zeka

1. INTRODUCTION

The design and manufacturing styles of chairs are changing with the developing technology throughout history. It is an undeniable reality that the computer has become an indispensable part of the design process with the computer technology that has developed. This study questions to what extent computer technology can contribute to the design of a chair without designer intervention.

Especially in the industrial revolution, innovative materials and manufacturing technologies showed themselves in every field of design. For this reason, the years of the industrial revolution have been a period that can be called the breaking point in which innovative approaches in furniture design were introduced. In the history of furniture design, although the shaping of furniture was done with traditional methods until this period, the idea of using steam, the most important energy power of the period, brought innovation to these methods (Postell, 2012). This innovative production technology, called the steam bending technique, was first used by Samuel Gragg in 1808 in the chair design called Elastic Chair. This technology led to the emergence of Michael Thonet's No.14 chair, which is considered the most successful mass production product in the history of furniture design (Thompson, 2011).

In the 20th century, the technology that developed with the help of machines in the previous century gave birth to the emergence and development of artificial intelligence, which could take over the mental workload of humans with the information processing power of computers (Li & Du, 2007). Joris Laarman's Bone Chair (2006), Autodesk's Elbo Chair (2016) produced with the Dreamcatcher project, and AI Chair (2019) which is jointly designed and produced by Philippe Starck and Autodesk, are chair designs from the recent period with the undeniable contributions of generative design (**Figure 1**).



No.14¹
1859
Michael Thonet



Bone Chair²
2006
Joris Laarman



Elbo Chair³
2016
Autodesk
Dreamcatcher
Project



A.I. Chair⁴
2019
Philippe Starck &
Autodesk Fusion
360

Figure 1: Chair Design from the Industrial Age to the Age of Artificial Intelligence Phaidon,2006; Laarman, 2015; Harsuvanakit, 2016; Jordahn, 2019).

Generative design is a design process that helps to discover unknown or unclear alternatives to a design with the help of mathematical and logical methods. Mathematical and logical methods describe algorithms comprising design parameters and objectives. These algorithms search for the most appropriate parameters such as material, manufacturing method and manufacturing cost among many design alternatives during the design process. As a result of this process, alternatives that cannot be obtained with traditional design are achieved. These generative design products' general characteristics are (McKnight, 2017):

- Reduced weight
- Maintained or improved performance
- Reduce development time
- Increased creativity
- Increased efficiency
- Customized product development.

With the use of generative systems in today's product design, we encounter two different design processes outside the traditional process: generative design and data-driven generative design (**Figure 2**). Among these, the designer takes an active role and makes the most contribution to a design product in the traditional design process. Especially in furniture design, the choice of creative ideas for the solution of the determined function, and the presentation of form and construction in design are completely realized by the decision of the designer. In generative and data-driven generative design, it is seen that the role of the designer is quite small. In these processes, the designer leaves the final product design outputs in the hands of the

machine by entering the parameters (design area, material, production technology, etc.). The designer makes the choice of the final product proposals and can decide to repeat the design process by choosing one of the traditional, generative or data-driven generative design processes for their development. Considering all this, the level of the designer's contribution in the design process of generative and data-driven generative design, which proceeds in partnership of machine and human, cannot be clearly expressed. With the advancing technology, artificial intelligence somehow challenges the designer in the field of design, so we need to question today's design approaches (Giaccardi & Redström, 2020).

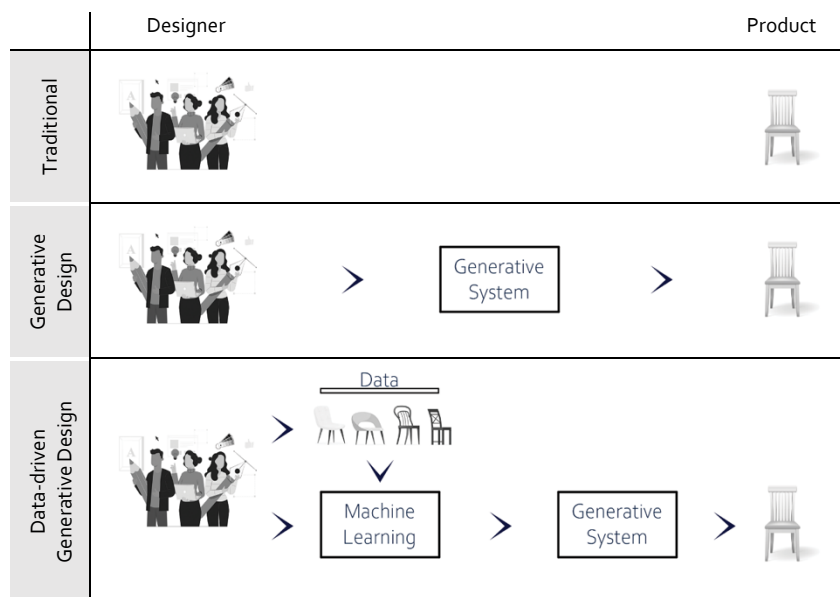


Figure 2: Generative Design Systems (Bidgoli & Veloso, 2018).

Although there are many furniture designs produced with generative design methods, scientific studies in this context are very few. In their study, Barros, Duarte & Chaparro (2015) discuss the generation of chair designs with shape grammars and their improvement with optimization tools offered in CATIA. Bidgoli & Veloso (2018) enabled the designer to design by interfering with the chair design generated as a point cloud by the DeepCloud system they created using the machine learning method. In this method, system learns from a database and sets inputs and constraints instead of the designer. Apart from these, Li and Lachmayer (2018) discussed generative design approaches for modeling creative designs; Liu et al. (2019) created chair design images with the support of artificial intelligence using generative adversarial

network and finally Ramesh et al. (2021) created an application in which they used text as data and transformed it into furniture visuals.

The chair, which is one of the furniture that people use every day, has been tried to be generated in the “Autodesk Fusion 360” software with the generative design method. In the study, it is aimed to question the design outputs generated with the ready-made generative system without the intervention of the designer. It seeks answers to the questions of whether a chair design can be created by artificial intelligence alone or how much it contributes to the design.

2. MATERIAL AND METHOD

Chairs have been the subject of innovative studies and they have become the first objects designed and mass produced in cooperation with artificial intelligence (AI Chair by Philippe Starck & Autodesk, 2019). This study, which examines the relationship between design and artificial intelligence through furniture design, has been discussed in terms of chair design for these reasons.

Various software have been examined to observe the generative design solutions of artificial intelligence. Currently, Solidworks Simulation (Dassault Systèmes), xDesign (Dassault Systèmes), Functional Generative Design (Catia, Dassault Systèmes), xGenerative Design (Dassault Systèmes), Siemens NX and Autodesk Fusion 360 software offer generative design support. As can be seen in **Figure 3**, Autodesk Fusion 360 is the software that includes the most features, offers free use, and is used in chair design (AI Chair, 2019) has been chosen for this study.

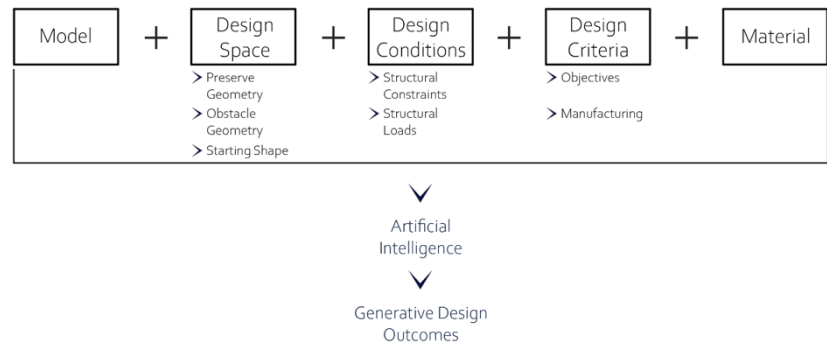
This study was carried out with the Generative Design plugin, which allows the use of artificial intelligence in Fusion 360 software. In order to obtain a design output in the Generative Design plugin (**Figure 4**), a 3D model must be defined. This model should consist of three different parts; Preserved geometry, which is the masses that will be connected with each other and will not change, obstacle geometry that allows us to determine the area that artificial intelligence should not particularly interfere with, and the starting shape that is desired to be processed (**Figure 5**). According to the design problem which we expect from

artificial intelligence to be solved, at least two of them must be defined as preserved geometries.

Figure 3: CAD software packages using Generative Design (Westerveld, 2021). (CAD: Computer-Aided Design, CAE: Computer-Aided Engineering, AM: Additive Manufacturing)

	Solidworks Simulation	xDesign	Functional Generative Design	xGenerative Design	Siemens NX	Autodesk Fusion 360
Nonstructural parameters			✓		✓	✓
Iterative algorithms	✓	✓	✓		✓	✓
Remove and add material		✓		✓		✓
Incomplete CAD model		✓				
Accurate CAE analysis	✓		✓		✓	✓
Multiple results				✓		✓
AM controls	✓		✓		✓	

Figure 4: Generative Design Process of Autodesk Fusion 360.



After the 3D model is created, it is necessary to specify the design conditions for this model. The design conditions include the data of two main values: structural constraints, which masses are selected as fixed, pin or frictionless, and structural loads, where force, pressure, momentum and bearing load are determined.

After determining the 3D model and design conditions that artificial intelligence will analyze, the design criteria should be selected. In the design criteria, objective (minimizing mass or maximizing stiffness) and manufacturing types (unrestricted, additive, milling, 2-axis cutting or die casting) to be used should be specified. Finally, the material selection should be made for the 3D model to be used in generative

design analysis, then it is sent to the cloud network of the software for artificial intelligence to process the data and generate design outputs.

2.1 Identification of Design Problem

Model proposals have been developed to examine the artificial intelligence-design relationship. The parts that make up the chair are divided into three: the seat, the backrest, and the legs. Since these parts are generally rectangular or circular in shape, the seat, backrest, and foot elements are first defined with 2x2, 3x3, and 5x5 points, and in the next stage with rectangular planes instead of points. The use of anthropometry and ergonomic data is inevitable when designing a chair, which is a product that interacts with the human body. In order to answer the question of whether the machine can develop such a solution in the generative design process, ergonomic and anthropometric values are ignored. In this respect, only anthropometric data defining the standard dimensions of the elements that should be in a chair design in the developed problem models are discussed. The standard dimensions are 40x40 cm for the seating surface, 40x40 cm for the backrest, and 40 cm for the foot heights (Panero and Zelnik, 1979).

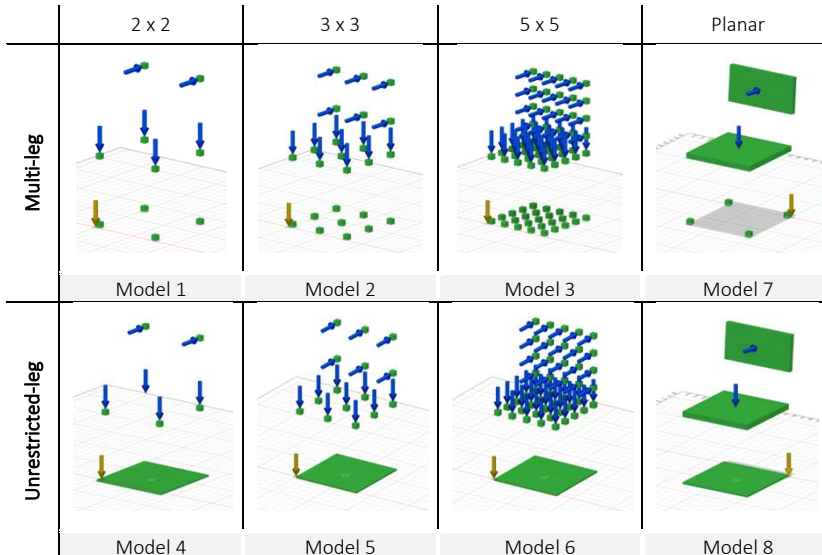


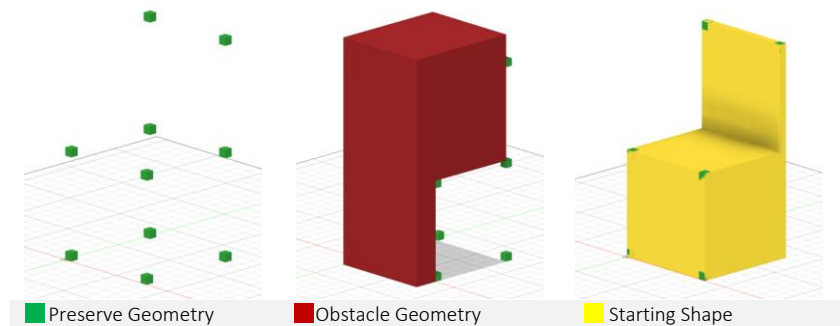
Figure 5: 3D design models

First, model proposals called Model 1, Model 2 and Model 3 are created to examine what kind of seat, backrest and leg formations will be produced by artificial intelligence. Chair parts are defined with points in these models. In Model 4, Model 5 and Model 6, the leg parts are

defined as planes in order to examine the shape formation in the leg part of the chair without limiting it to points. In Model 7, the seat and backrest part of the chair are defined as rectangular planes and the legs are defined as points. For unrestricted leg formation, the leg part is defined as a plane in Model 8 (Figure 5).

In every chair design that is expected to be created by artificial intelligence, the 3D model is made ready for analysis by placing obstacle geometry so that the artificial intelligence does not interfere with the volume that will allow a person to sit (Figure 6).

Figure 6: Creation of Generative Design Model (Autodesk Fusion 360)



The following values were kept constant in all 3D models, and the analyzes to be performed by artificial intelligence were carried out in the gravitational environment ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$):

- *Structural Loads:* A force of 1100 Newtons, which corresponds to 110 kg of weight, is applied to the seat surface of the chair, and 450 Newtons, which is approximately equivalent to 45 kg of weight, is applied to the backrest. These force sizes are applied based on the ISO 7174-2 coded "Furniture - Chairs - Determination of stability" standard.
- *Objectives:* It is aimed to minimize the mass for minimal material use in the design outputs. The safety factor value is based on the program's standard value of 2.00.
- *Manufacturing:* By using two different options as unrestricted (both additive and reductive) and additive only, it is desired to monitor the differences between the design outputs that artificial intelligence will obtain without any limitation or by imposing a limitation on the use of manufacturing technology.
- *Materials:* Titanium 6Al-4V and Orgasol Invent Smooth-PA12 offered by the program were selected for the design masses in

each 3D model in terms of their suitability for the selected production technologies. These two different choices also aim to observe the effect of material use in artificial intelligence analyzes performed on the same model.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the study, the contribution/functionality of the Generative Design plugin of Autodesk Fusion 360 to a design problem was tested. In this context, it has been examined whether the artificial intelligence of the program can design a chair on its own without the need for a designer. In the first stage of the study, the seating surface and backrest of the chair were defined with dots. In the second stage, these elements are given as surfaces. The results and feedback produced by the Fusion 360 software are evaluated and explained below (**Table 1; Table 2; Table 3; Table 4; Table 5; Table 6; Table 7; Table 8; Table 9**).

In the first stage of the study, designs with fixed and non-fixed number of legs were produced. When the produced design outputs are evaluated;

For generated designs with fixed number of legs (Model 1, Model 2 and Model 3):

1. In Model 1, where the number of points forming the planes of the chair (seating, backrest, leg/s) is the least, it has been concluded that the similarity ratio in terms of form in the design outputs created by artificial intelligence is the least and the design outputs differ in mass.
2. It has been observed that the design outputs created for Model 2 and Model 3 have a very high similarity ratio in terms of form.
3. While the backrests create more hollow structures in Model 1; a solid surface formation was observed in Models 2 and 3.
4. While there is monolithic leg formation in Models 2 and 3; It has been determined that more free leg forms are formed in Model 1.
5. In Model 2 and Model 3, no difference was observed in terms of form formation between additive and unrestricted manufacturing technologies. It can be said that this form difference occurred only in Model 1.

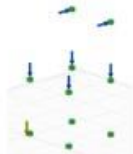













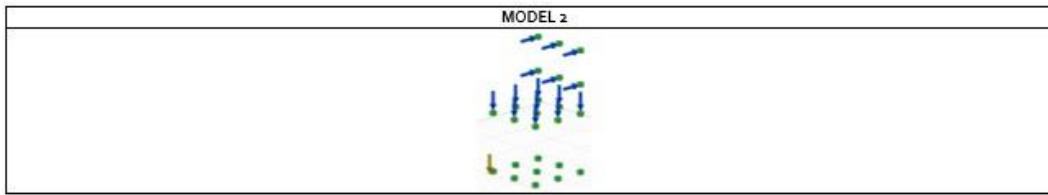
MODEL 1															
															
Manufacturing Methods															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	3,511	15,557	185.2	44	1		Titanium 6Al-4V	-	7,184	31.828	5.4	27
2		Titanium 6Al-4V	Y+	10,269	45,492	18.7	22	2		Orgasol Invent Smooth-PA12	-	7,233	6,945	4.2	27
3		Titanium 6Al-4V	Z+	9,684	42,903	57.8	24								
4		Titanium 6Al-4V	X-	1,908	8,452	190.2	58								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	3,616	15,219	11.2	44								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	-	-	-	-								
7		Orgasol Invent Smooth-PA12	X+	3,445	3,397	23.5	44								
8		Orgasol Invent Smooth-PA12	Y+	10,123	9,719	23.4	23								
9		Orgasol Invent Smooth-PA12	Z+	3,601	3,457	23.5	45								
10		Orgasol Invent Smooth-PA12	X-	3,445	3,279	23.3	45								
11		Orgasol Invent Smooth-PA12	Y-	3,428	3,291	23.3	45								
12		Orgasol Invent Smooth-PA12	Z-	3,426	3,29	11.6	46								

Table 1: Design outcomes of Model 1.



Manufacturing Methods															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	54,494	221.42	5.7	5	1		Titanium 6Al-4V	-	45,445	205.257	3.8	9
2		Titanium 6Al-4V	Y+	51,158	225.534	6.4	7	2		Organoel Invent Smooth-PA12	-	44,094	42.33	3.7	10
3		Titanium 6Al-4V	Z+	50,387	223.217	4.2	7								
4		Titanium 6Al-4V	X-	52,259	231.51	6.3	6								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	55,080	544.009	6.2	5								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	50,322	222.925	4.2	7								
7		Organoel Invent Smooth-PA12	X+	54,215	51.971	5.5	5								
8		Organoel Invent Smooth-PA12	Y+	49,855	47.862	5.5	7								
9		Organoel Invent Smooth-PA12	Z+	50,124	48.12	4.5	7								
10		Organoel Invent Smooth-PA12	X-	52,272	50.182	5.8	6								
11		Organoel Invent Smooth-PA12	Y-	52,444	50.328	6.3	6								
12		Organoel Invent Smooth-PA12	Z-	47,957	45.049	3.7	8								

Table 2: Design outcomes of Model 2.







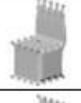
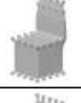
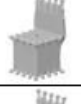
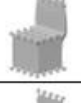
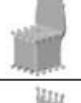
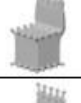
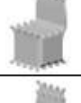
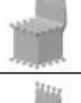
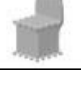
MODEL 3															
															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	54,751	242,547	17,3	5	1		Titanium 6Al-4V	-	50,990	225,886	16,6	7
2		Titanium 6Al-4V	Y+	52,721	233,554	18,8	6	2		Orgasol Invent Smooth-PA12	-	50,981	48,942	15,2	7
3		Titanium 6Al-4V	Z+	50,767	224,902	14,5	7								
4		Titanium 6Al-4V	X-	54,490	241,394	19	5								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	54,904	243,227	18,5	5								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	52,830	234,037	14,9	6								
7		Orgasol Invent Smooth-PA12	X+	54,742	52,553	16,7	5								
8		Orgasol Invent Smooth-PA12	Y+	52,331	50,238	22,7	6								
9		Orgasol Invent Smooth-PA12	Z+	50,728	48,599	15,9	7								
10		Orgasol Invent Smooth-PA12	X-	54,428	52,251	17,7	5								
11		Orgasol Invent Smooth-PA12	Y-	54,906	52,71	16,1	5								
12		Orgasol Invent Smooth-PA12	Z-	52,805	50,593	14,3	6								

Table 3: Design outcomes of Model 3.

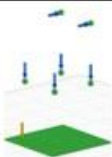














MODEL 4															
															
Manufacturing Methods															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	5,518	24,447	441.2	37	1		Titanium 6Al-4V	-	7,346	32,546	93.6	31
2		Titanium 6Al-4V	Y+	6,330	28,043	441.2	31	2		Orgasol Invent Smooth - PA12	-	17,536	16,835	17.4	62
3		Titanium 6Al-4V	Z+	11,794	51,984	441.2	20								
4		Titanium 6Al-4V	X-	5,685	25,188	251	33								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	5,620	24,898	441.2	34								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	14,948	66,314	221.4	25								
7		Orgasol Invent Smooth - PA12	X+	5,630	5,405	23.5	47								
8		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y+	11,497	11,038	23.4	63								
9		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z+	12,127	11,632	23.5	31								
10		Orgasol Invent Smooth - PA12	X-	5,460	5,262	23.5	35								
11		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y-	6,226	5,977	23.5	42								
12		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z-	17,063	16,381	23.4	12								

Table 4: Design outcomes of Model 4.












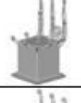
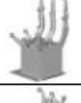


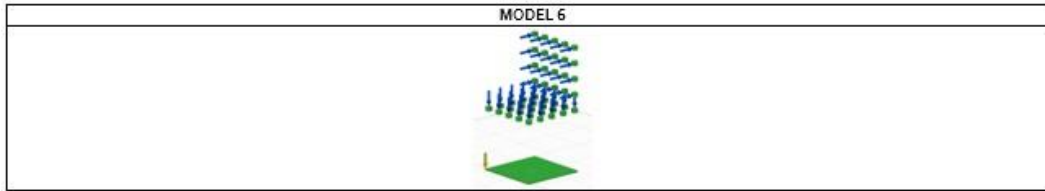
MODEL 5															
															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max. von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max. von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	58,728	260.159	441.2	5	1		Titanium 6Al-4V	-	5,479	24.274	26.9	59
2		Titanium 6Al-4V	Y+	51,572	228.908	441.2	8	2		Orgasol Invent Smooth - PA12	-	5,468	5.592	20.6	64
3		Titanium 6Al-4V	Z+	57,879	256.406	321.3	6								
4		Titanium 6Al-4V	X-	58,725	260.111	441.2	5								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	55,002	243.659	435.6	6								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	58,514	259.22	441.3	5								
7		Orgasol Invent Smooth - PA12	X+	45,682	44.814	23.5	27								
8		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y+	33,910	32.554	23.5	22								
9		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z+	37,863	36.349	39.4	24								
10		Orgasol Invent Smooth - PA12	X-	31,087	29.844	23.5	25								
11		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y-	44,154	42.398	26.5	28								
12		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z-	35,600	35.237	23.5	21								

Table 5: Design outcomes of Model 5.





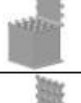

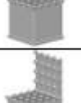
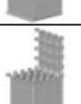

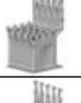
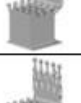
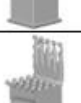




Manufacturing Methods															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	58,360	258.536	441.3	5	1		Titanium 6Al-4V	-	16,085	71.257	25	31
2		Titanium 6Al-4V	Y+	52,672	233.339	441.2	8	2		Orgasol Invent Smooth - PA12	-	15,328	24.725	23.2	32
3		Titanium 6Al-4V	Z+	58,907	260.962	441.2	5								
4		Titanium 6Al-4V	X-	60,837	269.511	441.3	4								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	55,990	248.036	407.7	6								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	56,137	248.689	441.3	5								
7		Orgasol Invent Smooth - PA12	X+	47,719	45.811	23.5	15								
8		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y+	40,782	39.151	23.5	14								
9		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z+	52,366	50.272	23.5	9								
10		Orgasol Invent Smooth - PA12	X-	58,038	55.727	23.5	12								
11		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y-	43,199	41.472	23.5	19								
12		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z-	48,305	46.373	23.5	16								

Table 6: Design outcomes of Model 6.

For generated designs without number of legs constraint (Model 4, Model 5 and Model 6):

1. Compared to models with leg constraints, less material is used and more hollow forms are generated.
2. Although there is a similarity with the first stage in the design outputs in which the additive manufacturing method is used, differentiation is observed in all three elements (seating, backrest, leg/s) that make up the chair.
3. In the design outputs where the unrestricted manufacturing method is used, more structural solution suggestions are encountered instead of a massive form formation.
4. Although the formation of the legs are not fixed in Model 4, the formation of four legs can be explained by the fact that it is the form that will best realize the portability of the forces applied to the surfaces.
5. A monolithic leg form is formed in Models 5 and Model 6.
6. In Model 5 and Model 6, we can talk about a fixed seating element, not a portable chair.

Examining the design outputs created by artificial intelligence through all the problem models (Models 1, 2, 3, 4, 5 and 6) of the first stage;

1. The use of different materials does not create significant differences on the design outputs in terms of form.
2. Unrestricted manufacturing method reduces material usage.
3. As the number of points on the planes (seating, backrest and leg/s) forming the chair in the problem models increased, the design outputs produced by artificial intelligence created more massive and closed forms. While 2x2s create open forms; Models with 3x3 and 5x5 created more closed forms. The most monolithic state is observed as Model 3.
4. Model 1 and Model 4 have a more delicate structure compared to the others, which can be explained by the decrease in the number of points where the load is applied.
5. Some design outputs are in forms that we can call chair design away from human ergonomics.
6. As the number of iterations increases, the use of materials decreases regardless of the manufacturing technique, and more hollow forms are formed.

7. Where leg form wanted to be analyzed as unrestricted; Models 1, 2 and 3's design outputs have a solid backrest, while Models 4, 5 and 6's have more open. Beside, when the manufacturing and leg types are unrestricted in Model 4, 5 and 6, the leg profile has been observed that it becomes thinner.
8. In Models 1 and 4, the fact that the points to be connected by the artificial intelligence or the load to be applied by the person sitting on the chair are only on the corners of the seating and backrest surfaces did not create any planar form on the seating and backrest surfaces in these models. In this respect, for a surface to be formed within the program, there must be preserved geometry in at least one coordinate on this surface where the load will be applied. Because of this situation, in the second stage, the seat and backrest elements that make up the chair design are defined as planar and the final products are obtained.

In the second stage, models with defined seating and backrest surfaces were given to the software. When the generated design outputs are evaluated;

1. In Model 7, the leg element consists of a closed volume. In Model 8, where we wanted the leg to be non-fixed, we can observe the free-form formations for it. This can be associated with the low number of iterations.
2. On the contrary, we encounter a reduced volume in the design output number 12, which is produced on the Z- axis with the additive manufacturing technology in Model 7. Since the number of iterations did not increase in the titanium-produced derivative number 6, the volume did not decrease. It emphasizes the importance of the axis in the additive method.
3. It has been observed that the design outputs generated with unrestricted manufacturing in Model 7 and the design outputs 6 and 12 generated on the Z- axis in additive manufacturing of all models have the same form characteristics.

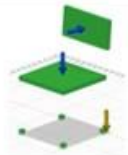














MODEL 7															
															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	34,709	453,796	1.9	28	1		Titanium 6Al-4V	-	47,573	122,152	1.2	24
2		Titanium 6Al-4V	Y+	34,751	440,664	1.2	23	2		Orgasol Invent Smooth - PA12	-	44,364	10,921	1.2	41
3		Titanium 6Al-4V	Z+	47,211	420,545	2.3	23								
4		Titanium 6Al-4V	X-	34,883	454,533	1.9	29								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	44,387	408,038	1.8	26								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	28,326	335,488	1.3	23								
7		Orgasol Invent Smooth - PA12	X+	57,213	54,925	1.1	8								
8		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y+	64,726	59,257	1.3	9								
9		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z+	57,022	54,742	1.2	8								
10		Orgasol Invent Smooth - PA12	X-	60,034	57,633	1	7								
11		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y-	56,382	54,127	1.1	9								
12		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z-	44,597	44,134	1.3	42								

Table 7: Design outcomes of Model 7.

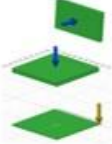














MODEL 8															
															
Unrestricted							Additive								
Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration	Design Output	Material	Orient.	Volume (cm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Iteration		
1		Titanium 6Al-4V	X+	13,103	58,047	2,5	51	1		Titanium 6Al-4V	-	12,458	55,236	2,2	43
2		Titanium 6Al-4V	Y+	13,431	59,501	2,6	45	2		Orgasol Invent Smooth - PA12	-	13,310	12,787	2,2	39
3		Titanium 6Al-4V	Z+	10,417	90,45	99,3	28								
4		Titanium 6Al-4V	X-	12,672	56,338	44	54								
5		Titanium 6Al-4V	Y-	12,375	54,823	3	38								
6		Titanium 6Al-4V	Z-	18,242	125,115	43,8	23								
7		Orgasol Invent Smooth - PA12	X+	11,821	12,308	2,8	50								
8		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y+	12,616	12,111	2,7	49								
9		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z+	20,444	19,627	23,5	31								
10		Orgasol Invent Smooth - PA12	X-	12,516	12,016	4,3	43								
11		Orgasol Invent Smooth - PA12	Y-	12,843	12,329	2,9	39								
12		Orgasol Invent Smooth - PA12	Z-	20,795	19,964	23,5	30								

Table 8: Design outcomes of Model 8.

As a general review is made for all the result products;

- It is clearly observed that the addition axis (x+ ... z-) creates constraints on the final outputs in the additive manufacturing method (Model 1, Model 4 and Model 7). In general, this situation is due to the nature of the additive manufacturing method. However, design outputs 6 and 12 of Model 1 and Model 7 produced on the Z-axis with this manufacturing technology show that there are deviations in the results of the program.
- As the number of iterations increases, the program decreases the mass volume as it is intended; we can observe the formation of forms with voids. In addition, due to the material difference, there is an insignificant change in the forms.
- Although the design outputs were solved in accordance with the aim of minimizing mass, the size of solid volumes reached high weights in contrast to a chair design which should be portable.
- In the generative design analysis, material selection did not provide any remarkable difference in form formation in the design output. Therefore, it can be mentioned that material reactions should also contribute to this design process.
- The whole model is made of a single material and there is no possibility to choose different materials.

Table 9: Design outcomes for all models.

MODEL 1		MODEL 2		MODEL 3		MODEL 4		MODEL 5		MODEL 6		MODEL 7		MODEL 8	
Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive	Unrestricted	Additive
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															

4. CONCLUSION

The approaches of designers to new designs are changing with the developing new technologies. Generative design offers designers opportunities such as saving time, alternative design solutions, customizing the design, and better performance in the final design. Despite these, the generative design plugin is insufficient in its current state contrary to design a whole product by itself and the designer's experience is the most important input of this design process.

When we look at the design outputs generated by the generative design method;

- The software tries to optimize the structural forms it creates for the given purpose by reducing the use of materials. In parallel with this, the resulting products are very close to each other in terms of form, within the possibilities given by the manufacturing methods.
- Considering the form formation obtained in both stages; The low number of inputs in the model proposals given for the analysis of the software supports the presence of more alternative forms. Defining chair elements with planes instead of point inputs provides better results in order to create a chair design. When the seating and backrest surfaces were defined, it was possible to reach chair designs in various forms with generative design.
- The design outputs obtained against the given design problem require reconsideration within the designer-generative system relationship. The generative design method can be used as a support system for the designer to find the optimum structure in the design process, rather than being a system that produces a design product on its own
- In the generative design process, the software lacks material diversity and the combined use of production technologies due to the use of a single material and/or manufacturing technology. These constraints necessitate the design product to be in a monolithic structure or separate consideration of elements/parts of a design product.

Generative design plugin needs to be developed in order to be used as a valid design tool. In this context, visual inputs similar to the desired product may be given at the beginning of the design process, and it can be expected to allow the designer to intervene through the results. When the software is evaluated as an artificial intelligence, it can be expected that data such as ergonomics, anthropometry and culture can be processed by the software in addition to visuals.

References

- Anonymous. (2020, January 24). A.I. - *Introducing The First Chair Created With Artificial Intelligence*. Philippe Starck. <https://www.starck.com/a-i-introducing-the-first-chair-created-with-artificial-intelligence-p3801>.
- Barros, M., Duarte J. P. and Chaparro, B. M. (2015). A grammar-based model for the mass customisation of chairs: Modelling the optimisation part. *Nexus Network Journal*, 15, 875-898. <https://doi.org/10.1007/s00004-015-0265-5>
- Bidgoli, A. and Veloso, P. (2018). Deepcloud the application of a data-driven, generative model in design. *ACADIA 2018: Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, 176-185. <https://arxiv.org/abs/1904.01083>
- Bruno, C. (2020). Creativity 4.0. A method to explore the influences of the digital transition on human creativity within the design process. In L. Rapino & I. Mariani (Eds.), *Design Research in Digital Era*, 75-90. FrancoAngeli.
- Buonamici, F. et al. (2020). Generative design: An explorative study. *Computer-Aided Design and Applications*, 18(1), 144–155. <http://doi.org/10.14733/cadaps.2021.144-155>
- Giaccardi, E. and Redström, J. (2020). Technology and More-Than-Human Design. *Design Issues*, 36(4), 33-44.
- Harsuvanakit, A. (2016, October 12). *Elbo Chair- Generated in Project Dreamcatcher, Made with Fusion 360*. <https://gallery.autodesk.com/fusion360/projects/elbo-chair--generated-in-project-dreamcatcher-made-with-fusion-360>.
- Jordahn, S. (2019, April 11). *Philippe Starck, Kartell and Autodesk unveil "world's first production chair designed with artificial intelligence"*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/04/11/ai-chair-philippe-starck-kartell-autodesk-artificial-intelligence-video/>
- Laarman, J. (2015, June 25). *Bone chair*. Joris Laarman. <https://www.jorisljaarman.com/work/bone-chair/>

- Li, D. and Du, Y. (2007). *Artificial Intelligence with Uncertainty*. CRC Press.
- Li, H. and Lachmayer, R. (2018). Generative Design Approach for Modeling Creative Designs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 408(1), 012035. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/408/1/012035>
- Liu, Z., Gao, F. and Wang, Y. (2019). *A Generative Adversarial Network for AI-Aided Chair Design*. <http://dx.doi.org/10.1109/mipr.2019.00098>
- McKnight, M. (2017). Generative Design: What it is? How is it being used? Why it's a game changer. *KnE Engineering*, 176–181. <http://doi.org/10.18502/keg.v2i2.612>
- Panero, J. and Zelnik, M. (1979). *Human Dimension and Interior Space*. The Architectural Press Ltd.
- Phaidon. (2006). *Pioneers: Products from Phaidon Design Classics Volume One*. Phaidon Press.
- Postell, J. (2012). *Furniture Design*. John Wiley & Sons.
- Ramesh, A. et al. (2021). Zero-shot text-to-image generation. *In International Conference on Machine Learning*, 8821-8831
- Thompson, R. (2011). *The Manufacturing Guides: Product and Furniture Design*. Thames & Hudson.
- Westerveld, C. E. (2021). *Generative Design: Recommended actions to smooth the way for production of generative designs with additive manufacturing* [Master's thesis]. <http://essay.utwente.nl/85976/>

A Proposal for Classification of Additive Manufacturing in Architecture

Yeşim Ünal¹, Gülen Çağdaş²

ORCID NO: 0000-0002-3327-4855¹, 0000-0001-8853-4207²

^{1,2} Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

The increasing pace of developments in computational design has caused a massive paradigm shift in contemporary architecture. While the power of the new computational tools allows the designers to design fluid and dynamic transformational forms replacing the rigid norms of current processes, it also accelerates the integration of design and making. Digital manufacturing and in particular Additive Manufacturing (AM) has shown to have a big impact on how designers think of complex mechanisms and geometries while designing. This article is motivated by the latest developments in Additive Manufacturing (AM) in large scale structures and the opportunities arising from manufacturing components, modules and even monolith buildings. This paper is part of a larger research on Additive Manufacturing (AM) and has evolved organically out of necessity while trying to map out the latest developments about large scale AM processes. The aim of this paper is to better understand and position the developments happening in the last decade therefore challenges on a number of diverse subjects through a proposed classification method.

Received: 24.01.2022

Accepted: 21.03.2022

Corresponding Author:

nl.yesim@gmail.com

Ünal, Y., Çağdaş, G. (2022). A Proposal for Classification of Additive Manufacturing in Architecture. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 105-134. <https://doi.org/10.53710/jcode.1062155>

Keywords: Additive Manufacturing, 3D Printing, Computational Architecture, Building Construction

105

Mimaride Eklemeli Üretim Sistemlerinin Sınıflandırması için bir Öneri

Yeşim Ünal¹, Gülen Çağdaş²

ORCID NO: 0000-0002-3327-4855¹, 0000-0001-8853-4207²

^{1,2} İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Dijital ve hesaplamalı tasarımdaki hızla sayısı artan çalışmalar çağdaş mimarlıkta paradigma kaymasına sebep olmuştur. Yeni hesaplamalı tasarım araçları mimarın tasarım esnasında kullandığı form yelpazesini genişletmiş ve rijit formlar yerine daha akışkan ve dinamik formlar kullanmasına imkan sağlamıştır. Ancak yeni hesaplamalı tasarım araçları çağdaş mimarının sadece form yelpazesini genişletmekle kalmamış aynı zamanda tasarlama ve yapma eylemlerinin arasındaki kopuşu sonlandırma gücüne sahip olmuştur. Dijital üretim teknikleri ve özellikle de Eklemeli Üretim teknikleri karmaşık geometrilerin üretimini kolaylaştırdığı için tasarımcıların tasarım esnasında düşünme biçimlerini de etkilemiştir. Yapı ölçeğinde Eklemeli Üretim sistemlerinde kaydedilen gelişmeler ve bu gelişmelerden doğan fırsatlar bu makalenin arkasındaki ana itici güç olmuştur. Makale Eklemeli Üretim sistemleri üzerine yürütülmüş daha geniş kapsamlı bir araştırmanın parçası olup, en son gelişmelerin anlaşılması ve daha büyük resimde sağlıklı bir şekilde konumlandırılabilme ihtiyacı sonucu ortaya çıkmıştır. Önerilen sınıflandırma ile son on sene içinde kaydedilen gelişmelerin ve uygulamadaki örneklerin incelenmesi hedeflenmiştir.

Teslim Tarihi: 17.08.2021

Kabul Tarihi: 21.03.2022

Sorumlu Yazar:

nl.yesim@gmail.com

Ünal, Y., Çağdaş, G. (2022). Mimaride Eklemeli Üretim Sistemlerinin Sınıflandırması için bir Öneri. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 105-134.

<https://doi.org/10.53710/jcode.1062155>

Anahtar Kelimeler: Eklemeli Üretim, 3B Yazıcılar, Hesaplamalı Tasarım, Yapı Üretimi

1. INTRODUCTION

The latest developments in computational design have caused a massive paradigm shift in contemporary architecture. The power of the new computational tools allows the designers to design fluid and dynamic transformational forms replacing the rigid norms of current processes. Kolarevic (2003) in his book of “Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing” argues that “The topological, curvilinear geometries are produced with the same ease as Euclidean geometries.” Therefore, declaring the end of widely accepted use of grids, repetitions, and symmetries in architecture which opens up new doors to infinite variability and mass-customization.

Integrating design and manufacturing around digital technologies restructures the roles of the architect, the engineer and the builder and creates a more seamless organic way of doing things eliminating the dichotomy between designing and making.

Digital Manufacturing (DM) and in particular Additive Manufacturing (AM) significantly impact how designers think of complex mechanisms and geometries while designing. This article is motivated by the fast-paced changes in Additive Manufacturing (AM) in large-scale structures and the opportunities arising from manufacturing components, modules and even monolith buildings.

AM commonly known as 3D printing has been identified as a truly disruptive innovation, and as one of the five emerging technologies (among AI, Robotics, Augmented Humans, Internet of Things) that are believed to significantly impact the future (Prentice, 2014). The widely accepted definition of Additive Manufacturing is the automated building of physical models, layer by layer from three-dimensional (3D) computer aided design data. Whilst additive manufacturing can refer to any process where a product is created by a layering principle, it predominantly indicates technologies and processes involving 3-D printing with scale and precision in mind. (Ngo et al., 2018). When we look at the developments in second decade of 21st century 3D printing technologies are implemented for very different products, such as jewelry, biological implants, automotive parts, bridges and houses.

This article is part of a research on Additive Manufacturing (AM) and has evolved organically out of necessity while trying to map out the latest developments about large scale AM processes. Due to the ever-increasing interest on the subject both in academia and private sector there is an immense number of applied researches. Since the subject matter involves several disciplines i.e. material science, robotics, architecture, engineering, business etc., the research area is also very diverse. This aims to better understand and position the latest developments therefore challenges on a number of diverse subjects through a proposed classification method.

This article predominantly evolves through three stages. After the introduction chapter the authors give a brief overview of the subject and then introduce the methodology on classification of large-scale Additive Manufacturing, moving on to the proposed classification through case studies and finally in the last chapter we discuss the current challenges and future potentials.

2. A BRIEF OVERVIEW AND METHODOLOGICAL APPROACH

2.1 A Brief Overview

Additive Manufacturing is a term that encompasses several varying technologies of layered production of artifacts. The American Society for Testing and Materials (2009) defines Additive Manufacturing as “the manufacturing of objects through the deposition of a material using a print head, nozzle, or another printer technology”.

In the early 1980’s 3D printing was being discussed in the academic circles, it was not called 3D printing but Rapid Prototyping (RP). Though Dr. Hideo Kodama applied for the first patent RP technology in 1980, Charles Hull was the one who both took the credit for stereolithography, and also patented the technology in 1984 (Paull, 2017). 1999 was a milestone year in terms of printing biological materials. Scientists at Wake Forest Institute printed synthetic scaffolds of a human bladder and then coated them with human patients’ cells (Moon, 2014). In 2005, the Rep Rap movement, an open-source initiative enabled the users to print parts of a 3D printer by another 3D printer (Goldberg, 2018). This was the breaking point for desktop 3D printers. This development marked the beginning of the maker movement. In the early 2010’s, large scale robotic 3D printers emerged

and experimented on pavilions and other small-scale structures. In 2017, already several projects were competing with time to become the first 3D printed house (Varotsis, 2018).

The main principle of Additive Manufacturing is universal for all of the different methods and scales: layering of a 3D CAD model by a software. The layering process is also called slicing and the device used to manufacture the output is called the printer. Different methods require different curing processes; it can either be by exposition, heating, or bonding.

The size and the preferred resolution of the model determines the number of layers on the model. The resolution of the 3D printed object is ruled by the thickness of layers.

Before the actual printing process starts which material will best suit the needs required for the object should be decided. Materials used in 3D printing has a broad spectrum which will be discussed later. Some materials work with specific AM technologies therefore when choosing the material, the technology is also chosen simultaneously. On the other hand, the main determining factors in surface quality are the chosen manufacturing method and the materials used.

Menges, in his 2015 article, *Material Synthesis: Fusing the Physical and the Computational*, states that the material technologies and construction methods have always shaped architecture, making it impossible to separate architectural design from advancements in production, fabrication, assembly and construction. Nonetheless the developments in cyber-physical production systems in the manufacturing industry created a paradigm shift in conceptual transformation of design thinking.

Although AM, as a Digital Manufacturing technology has been around since the 80's its potential in large-scale architectural typologies is being explored only for the last decade. The AEC industry has always been slow to adapt technological advancements due to difficulties in changing the traditional way of designing and making things.

2.2 Methodological Approach

Due to the novelty of the subject, the research on AM especially on Large Scale Structures proved to be rather challenging. Since AM is deeply connected with real life experiments and applications both in the industry and the academia, it was difficult to bring together all the research in a meaningful and a coherent manner. Therefore, specific case studies are chosen based on their significance in order to map the necessary approach for classification of architectural scale AM applications. As Yin (2003) argues case study is a deliberately chosen method when the observation of a recent phenomenon within its real-life context, has blurry limits between that phenomenon and its context. This method allows researchers to keep the coherent characteristics of real-life events while analyzing a specific phenomenon.

The lack of a widely accepted classification method led to merging a few of the methods and creating a new hybrid one. In the proposed method, the categories are determined based on the general literature review of the subject but also equally inspired by the necessity of not having an all-encompassing classification system to better position each and every one of the case studies chosen from a large group of project pool. While each category in the proposed system, on its own is a thorough research area and has several in depth studies on them, it is very rare to find a comparative study based on classification of different and broad applications.

During the research for the subject matter several academic databases and other online resources are screened including Elsevier, Science direct, Ebsco, Proquest, YÖK Ulusal Tez Merkezi etc. The keywords used in literature review is defined in **Table 1**. Duplicate entries and articles outside the scope of the article are removed, ensuing 45 articles and 15 other resources being used in the final version (**Figure 1**).

Both in database and other online resource researches nine additive manufacturing terms, ten construction terms and twenty eight other related viable terms have been used.

Category	Included terminology
Additive manufacturing	3D printing, [3-D printing], additive construction, direct digital manufacturing, automation in construction, concrete printing, clay printing, contour crafting, binder jetting, material extrusion
Architecture & Construction	Building, pavilion, architecture, cement, clay, civil engineering, concrete, construction, large-scale, computational
Viability	Classification, types, typology, structure, load-bearing, reinforcement, sustainability, material, technology, mould, formwork, module, component, joint, monolith, form, materiality, building code, cost, design, economics, efficiency, energy, in-situ, optimization, productivity, strength, time

Table 1: Keywords.

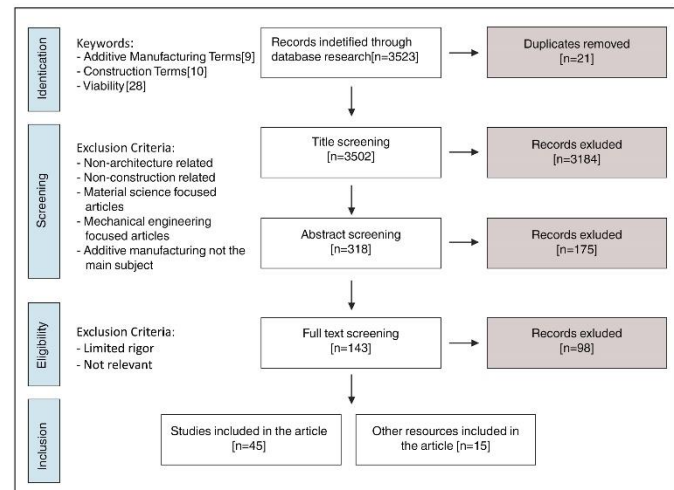


Figure 1: The Flow Diagram for the research conducted is summarized

The finding from the resources eased determining some of the main categories of the proposed classification in this article due to them being accepted by large institutions like The American Society for Testing and Materials (ASTM). On the other hand some subcategories were more open to discussion. When we move on to our proposed classification approach, under each category these discussions will be mentioned if there is any.

The main categories of the proposed classification are; Technology used, Materials Used, Type of Process, Site of Manufacturing, Deposition gear, Structure type, and Reinforcement type. Each category defines a different aspect of an application without going into

too much detail for the purposes of creating a broad basis that enables a comparative study.

3. THE PROPOSED CLASSIFICATION

The evaluation of case studies in a comparative perspective through the lens of existing methods led to a merging of a few different approaches and rewording some of the categories to create a consistency of the language used. The main seven categories and their subcategories which constitute the classification criteria are described below:

3.1 Categories

- **Classification of Additive Manufacturing based on the Technology used:** Although several new technologies are introduced every year there has not been a new technology that would shift the widely accepted existing classification done by The American Society for Testing and Materials (ASTM) (2009). All the new technologies introduced can be classified under one of the seven technologies that are widely accepted. The seven technologies determined by ASTM are; Vat photo polymerization (VP), Powder bed fusion (PBF), Material extrusion (ME), Material jetting (MJ), Binder jetting (BJ), Directed energy deposition (DED), Sheet lamination (SL). In this article the AM technologies defined by ASTM and summarized in the Table2 will be utilized. The Table adapted from Tofail et. al. briefly summarizes the advantages, disadvantages and the materials used in different AM technologies.

- **Classification of Additive Manufacturing based on Materials:** Additive Manufacturing is possibly the most direct method of bringing forms into material world. As the digital design is able to house every bit of information, the designer can control every detail manufactured by AM technologies. With such control over fabrication it is possible to generate every kind of form without any additional costs. This creates the possibility of optimization both in form and material distribution. In macro scale, with topology optimization the layout of the material is being organized based on the load the design receives and in micro scale it allows the designer to control material heterogeneity. In order to better understand the process around materials it is in our best interest to understand the scope of the materials used in AM processes. The classification of Additive Manufacturing materials has been a long

disputed subject. The main discussion on the classification of materials is whether they should be classified based on their initial state or based on their deposition state. To go deeper into discussion would be inconclusive but most importantly would derail the general subject matter. Therefore, in this article the widely accepted classification of Kruth et al (1998) will be used. Kruth et al (1998) classifies the materials based on their deposition states; liquid based, solid based, and powder based. Whilst the main classification method for materials are based on three states, we also find it valuable to dedicate a separate discussion for advanced materials even though taxonomically they can be classified under any one of the three states.

Solid based materials: All solid-state materials either in the form of a sheet or a roll fall under the category of solid based materials. Solid-based AM systems work with selective gluing / joining methods. These processes are different from one another, though some of them use the laser in the process of fabricating prototypes. They all utilize solid in one form or the other, as a material to create the final product. Laminated object Manufacture (LOM), Selective Deposition Lamination (SDL), Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) are the most common technologies using solid based materials.

Powder based materials: Powder based AM systems work on the principle of transforming a material from a powder to a solid state by melting or binding. The method of melting or binding differs for all the systems, some employ a laser and others use a binder/glue to achieve the joining effect. Binder based powder systems work on the basis of depositing a binder material on to the selective regions of powder particles to produce a layer of bonded particles. Since the process uses a powder bed usually the protruding parts do not need a support. To remove the unbonded powder particles a cleanup process is required. Some of the most used powder-based AM processes are Laser Sintering, Power Binding Printing, Selective Laser Melting and Selective Laser Sintering.

Liquid based materials: Liquid based AM systems involves transforming a material from a liquid to a solid state. The solidification process can happen either by photo curing or curing by itself. If the chosen method

is deposition of a liquid state material via a printing nozzle solidification of the material is achieved by curing by itself. The material can be in solid state before extrusion like a polymer and can be melted via a heated nozzle only to solidify again in the desired form. Some of the extrusion-based processes are Fused Deposition Modelling, Inkjet and PolyJet.

Table 2: ASTM categories of AM Summarised. Abbreviations: Vat photo polymerization (VP), Powder bed fusion (PBF), Material extrusion (ME), Material jetting (MJ), Binder jetting (BJ), Directed energy deposition (DED), Sheet lamination (SL). (Adapted from: Tofail et. al., 2018)

ASTM category	Basic principle	Example technology	Advantages	Disadvantages	Materials
BJ	Liquid binder/s jet printed onto thin layers of powder. The part is built up layer by layer By glueing the particles together	3D inkjet technology	Free of support/substrate Design freedom Large build volume High print speed Relatively low cost	Fragile parts with limited mechanical properties May require post processing	Polymers Ceramics Composites Metals Hybrid
DED	Focused thermal energy melts materials during deposition	Laser deposition (LD) Laser Engineered NetShaping (LENS) Electron beam Plasma arc melting	High degree control of grain structure High quality parts Excellent for repair applications Widespread use	Surface quality and speed requires a balance Limited to metals/metal based hybrids	Metals Hybrid
ME	Material is selectively pushed out through a nozzle or orifice	Fused Deposition Modelling (FDM)	Inexpensive Scalable Can build fully functional parts	Vertical anisotropy Step-structured surface Not amenable to fine details	Polymers Composites
MJ	Droplets of build materials are deposited	3D inkjet technology	High accuracy of droplet deposition Low waste Multiple material parts Multicolour Relatively inexpensive Small footprint	Support material is often required Mainly photopolymers and thermoset resins can be used	Polymers Ceramics Composites Hybrid Biologicals
PBF	Thermal energy fuses a small region of the powder bed of the build material	Direct Metal Laser Sintering (DMLS) Selective Laser Sintering/Melting (SLS/SLM)	Powder bed acts as an integrated support structure Large range of material options	Relatively slow Lack of structural integrity Size limitations High power required Finish depends on precursor powder size	Metals Ceramics Polymers Composites Hybrid
SL	Sheets/foils of materials are bonded	Laminated Object Manufacturing (LOM) Ultrasound consolidation/Ultrasound Additive Manufacturing (UC/UAM)	High speed Low cost Ease of material handling	Strength and integrity of parts depend on adhesive used Finishes may require post processing Limited material use	Polymers Metals Ceramics Hybrids
VP	Liquid polymer in a vat is light-cured	Stereo Lithography (SLA) Digital Light Processing (DLP)	Large parts Excellent accuracy Excellent surface finish and details	Limited to photopolymers only Low shelf life, poor mechanical properties of photopolymers Expensive precursors/Slow build process	Polymers Ceramics

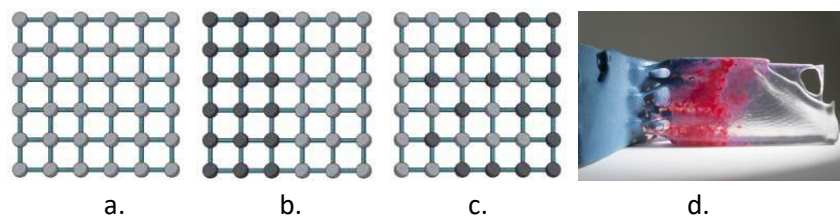
Advanced Materials: As mentioned previously different advanced materials can classified under different states of deposition (solid, liquid or power based) yet it is worth mentioning some of the latest developments in material science. Though these advanced materials have not found their place in large scale applications yet with the fast

pace of ever-changing developments we can expect to see their application in near future. Since early 80's the number of materials produced by AM has increased immensely and comparatively advanced materials have seen a rise in interest for the last decade. (Khooa, et al, 2015) We will be focusing on two types of advanced materials; (i) Functionally Graded Materials and (ii) Smart Materials.

Sometimes FGM and Smart Materials can be confused with each other. FGMs can be simply defined as gradient materials whereas the definition of smart materials is more disputed and vary between different researchers. Leo (2007) argues that in order for a material to be accepted as smart it has to demonstrate a conversion of energy between two psychical states such as conversion of thermal energy into mechanical. Varadan et al (2006) further defines smart materials as materials that can sense an external stimulus, respond to it changing their material properties or geometries and return to its original state as soon as the stimulus is removed. On the other hand, Khooa et al (2015) defines a category of passive materials, which lack the inherent capability to transduce energy.

Functionally Graded Materials (FGMs) are defined by the variation in composition and structure in a controlled gradient resulting in different material properties in a single part (**Figure 2**). The materials can be designed for specific function and applications.

Figure 2: a. Homogenous material, b. Joined material, c. Functionally Graded Material (FGM) (Strauss, 2013), d. Close up interior view of the fabricated multi-material mullion interface (Grigoriadis, 2019)



The material properties allocated in the CAD file help different resolutions of the material particles to be manufactured. The AM process used is based on Ink jetting, which sprays viscous plastic droplets onto a building platform at high-speed enabling different materials to be melted together to form a true gradient. (Strauss, 2013) The variation can be from flexible to rigid or soft to hard enabling the user to design an object in one manufacturing process (**Figure 2.d**).

As Grigoriadis (2019) puts it “Discrete boundaries will be replaced by gradients. For example, this method is targeted to the area in the

facade where glass and aluminum frame connect in a unitized curtain wall panel. The component-based make-up of the facade system is associated with problems such as environmentally hazardous production processes, and post-installation failures. A component-less, continuous FGM connection would eliminate these issues.”

Khoo et al (2015) classifies Smart Materials based on the number of materials used in the printing process: with a combination of multiple materials or with a single material.

Both in single material or combination material components the most important thing is the inherent properties of the raw material being used. It is this material that defines the self-adaptability, self-sensing, shape memory and decision making (Varadan et al. 2006).

Another term that is used predominantly within the smart materials context is 4D printing. Pei (2014) defines 4D printing as the process of making of an object using AM technologies with inherently responsive materials. The final object reacts to stimuli from its surroundings resulting in a physical or chemical change of state through time.

In 4D printing with single material smart nanocomposites and shape memory alloys are most commonly known materials. Nanocomposites is a very specialized subject and we will not go into detail. On the other hand, shape memory alloys (SMA) is used in a wide variety of sectors; from dental wires to helicopter blades. SMA is a type of smart material that can convert thermal energy into mechanical work, remembering their original shape and returning to it after deformation from a stimulus.

Among the leading 4D printing companies and research labs are MIT's Self-Assembly Lab, Stratasys, and Autodesk. In 2014, one of the leading researchers of MIT, Skylar Tibbits, started working with Autodesk on creating a computer system that allows geometry inputs to measure how 3D printed objects will be able to change post-print

Another important institution working on Smart Materials is Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). DARPA's Engineered Living Materials (ELM) program are working on 4D technology to create a micro scale self-building army and “living biomaterials” that has the

structural properties of traditional building materials with the ability to rapidly grow, self-repair, and adapt to the environment.

▪ **Classification of Additive Manufacturing based on the Type of**

AM Process: The selected case studies are classified first based on whether they are manufactured as a mould or not. After the first division the categories are subdivided once again based on their scale; whether the printed structures are modules or monolith structures. The first division is based on a study of Martins and Jose (2014) in which they analyze several digitally fabricated structures whether they are moulds or not. They classify the mould making process as the Indirect Intervention and manufacturing of the final product as the Direct Intervention. In this article the same classification method will be used only using the word “manufacturing” instead of “intervention” to ensure consistency in wording.

- Indirect Additive Manufacturing: Formwork / Moulds

Additive manufacturing technology in construction industry is still in its infancy stage. Although there several breakthroughs, currently available AM techniques may not answer some of the needs of the construction process. It may seem like the logical procession to assume that directly printing the structure or parts of it is the most economically efficient way to go, in some cases using a mould might be the best available option. On the other hand, using a mould does not necessarily mean limiting the three-dimensional freedom. This is where AM technology creates an opportunity not only the giving the designer 3D freedom but also increases the structural efficiency with more economic and sustainable solutions.

- Direct Additive Manufacturing: Modules/components, joints and monoliths

In AEC industry scale is an important issue. Depending on the project’s needs the structure may be planned either based on modules/components or in a monolithic manner.

Usually the manufacturing of modules/components or joints takes place in a controlled environment. Both crane and cable-based solutions can be used. The only limitation is the transportation of the

manufactured part. The same robot manufacturing the part can also be used to assemble the pieces together, in this case the whole process will be fully automated from CAD data to final product (Labonnote, 2016).

Monolithic structures based on their scale are mostly on site in situ fabrications.

▪ **Classification of Additive Manufacturing based on the Site of Manufacturing:**

Due to environmental and economic concerns the site of manufacturing carries a great importance. In order to lower the carbon foot print of the construction it is always ideal to be able realize the manufacturing process on site with the least amount of material and minimum necessity for transportation of components. Therefore, identifying whether the application is an in-situ (on site) or ex-situ (off site) helps determine the efficiency of the project. Currently the 3d-printing gear, especially in experimental projects, do not allow them to be used in an environment that is exposed to elements.

▪ **Classification of Additive Manufacturing based on the Deposition Gear:**

The first attempt to adopt AM in large scale applications has been by using cement-based materials by Pegna in 1997. Consecutively three large scale AM processes have been introduced to construction and architecture industry: Contour Crafting (Khosnevis, 2006), D-Shape and Concrete Printing (Lim, 2009). All three technologies have been widely adopted and are further developed by several researchers both from the academia and the industry.

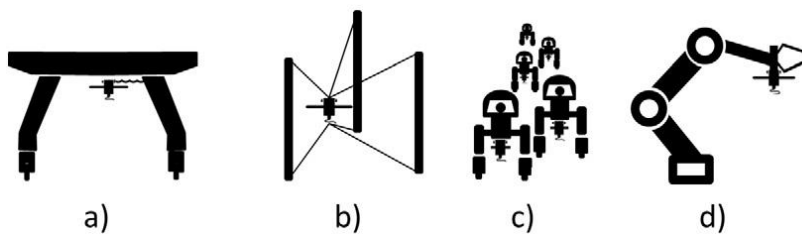


Figure 3: Different technological solutions. **a.** Frame, **b.** cable-suspended crane, **c.** swarm, **d.** robot arm (Labonnette et al, 2016)

The above technologies uses three different deposition head mounting gear; it is either frame, robot or crane (**Figure 3**). Labonnette et al (2016) adds a fourth approach, swarm robotics.

‘Contour crafting’ and ‘concrete printing’ by means of a crane or cable suspension are developed to manufacture monolithic structures.

Although both techniques have many advantages, 3D freedom is not one of them therefore lacking one of the main advantages AM brings. However, swarm and robotic arm methods prove to be more efficient due to its greater efficiency in every scale and mobility. Some of the methods involved in traditional construction like damp proof membranes or sound insulation etc. are still addressed through traditional methods. Also, Paoletti (2018) states the fact that the trade-off between printing resolution and speed is another potential problematic area: although the hierarchy among elements as to their functional relevance allows the user to choose more high accuracy and isotropy prone areas, the techniques should be further developed to allow further detailed control in the 3D printing process. Multiple material nozzles or Functionally Graded Materials for construction might answer some of the above problems.

- **Classification of Additive Manufacturing based on the Structure**

Type: The structures can be divided into load-bearing and self-supporting. Load-bearing structures are those that carries and transfer the loads to the next load bearing element and finally to foundation. By providing a spatial rigidity it guarantees the strength and stability of the structure. Load-bearing walls, columns, beams, slabs are among the elements of a load bearing structure. Due to the fact that AM is presented as a manufacturing technique that will enable a fully automatized construction process, the manual placement of steel reinforcement bars in concrete is a problem waiting to be resolved. Although in some research-based applications, mixture of steel fibers and concrete is experimented to increase the rigidity of concrete against tensile forces, the result cannot rival the conventional method of reinforced concrete. Self-supporting structures can transfer the loads received from its own weight to foundation. In most applications either the designed structure can only transfer the load of its own weight or the structure is rigid enough under compression but not tension which again constitutes a problem for a fully automatized process.

- **Classification of Additive Manufacturing based on**

Reinforcement technique: As previously mentioned due to the low tensile strength of concrete without reinforcement is a problematic area. To resolve the issue about tensile performance of 3d printed concrete, several reinforcement techniques had been tested in

research-based AM processes (Sartipi, 2020). These are; External reinforcement, internal reinforcement installed within 3D-printed formwork, internal reinforcement encased by printed concrete, internal reinforcement installed during printing, additively manufactured reinforcement. In the below table (Table 3) the proposed classification system has been tested with a wide range of AM Applications.

Table 3: Proposed Classification Matrix for Large Scale AM

CLASSIFICATION MATRIX										
Project Name		1	2	3	4	5	6	7	8	
		Deep Facade	Organic Column	Concrete Formwork	DFab House Smart Slab	Yhnova	Arup 3d Print Joints	The Radiolaria Pavilion	Apis Cor House	
Technology Used	Binder Jetting (BJ)	X			X		X	X		
	Directed Energy Deposition (DED)									
	Material Extrusion (ME)		X	X		X				X
	Material Jetting (MJ)									
	Powder Bed Fusion (PBF)									
	Sheet Lamination (SL)									
	Vat Photopolymerization (VP)									
Material (s) Used	Solid based									
	Liquid based		X	X		X				X
	Powder based	X			X		X	X		
Type of AM Process	Direct AM Process									
	Components						X			
	Module									
	Monoliths							X	X	
	Indirect AM Process									
	Formwork/Moulds Discarded Stayed On	X		X	X					
		X	X			X				
Site of Manufacturing	In-situ					X				X
	Ex-situ	X	X	X	X		X	X		
Deposition Gear	Large Scale									
	Portal (Gantry)				X			X		
	Boom (Robotic arm)		X	X		X				X
	Swarm									
	Crane									
	Small Scale	X					X			
Structure Type	Load bearing				X	X	X			X
	Self Supporting	X	X	X				X		
Reinforcement (R.)	External R.	n/a	n/a	n/a				n/a		
	Internal R. installed within 3d_printed formwork					X				
	Internal R. encased by printed concrete				X					
	Internal R. installed during printing									X
	Additively manufactured R.						X			

CLASSIFICATION MATRIX									
Project Name		9	10	11	12	13	14	15	16
		Mini Builders	Saltygloo	Load-Respon. Cellular Envelopes	Tecla	The Metal Bridge	Fiberbots	Striatus	Polymer Lattice Reinforcement
Technology Used	Binder Jetting (BJ)								
	Directed Energy Deposition (DED)					X			
	Material Extrusion (ME)	X	X	X	X		X	X	X
	Material Jetting (MJ)								
	Powder Bed Fusion (PBF)								
	Sheet Lamination (SL)								
	Vat Photopolymerization (VP)								
Material (s) Used	Solid based								
	Liquid based	X	X	X	X		X	X	X
	Powder based					X			
Type of AM Process	Direct AM Process								
	Components		X				X		
	Module			X				X	X
	Monoliths	X			X	X			
	Indirect AM Process								
	Formwork/Moulds Discarded Stayed On								
Site of Manufacturing	In-situ				X		X		
	Ex-situ	X	X	X		X		X	X
Deposition Gear	Large Scale								
	Portal (Gantry)								
	Boom (Robotic arm)			X	X	X		X	
	Swarm	X					X		
	Crane				X				
Small Scale		X						X	
Structure Type	Load bearing					X		X	X
	Self Supporting	X	X	X	X		X		
Reinforcement (R.)	External R.	n/a	x	n/a	n/a		n/a	n/a	
	Internal R. installed within 3d_printed formwork								
	Internal R. encased by printed concrete								
	Internal R. installed during printing								
	Additively manufactured R.					X			X

Table 3 (Continued):
Proposed Classification
Matrix for Large Scale AM

3.2 Case Studies

A study of the major additive manufacturing processes constituted a basis of technological framework for this article. In the following chapter relevant case studies will be explored. Every project carries a significance either due to its production technique, materials or its

scale. The fact that it is difficult to find two projects that carry same characteristics proves that the technology is in its very early stages.

Though a particular importance is given to explore a wide variety of case studies, as expected not all of them have innovative approaches. One of the largest additive manufacturing companies in AEC sector is a Chinese company called WinSun. In 2013 it has realized a first and like a factory belt line printed 10 single story houses consecutively in 24 hours with \$4800 cost per house. Since then, the company was able to develop methods to build larger scale structures from 3 story villas to 5 story buildings.

There are several other companies working on AM technologies. Though some of them have significant contributions to the development of the method mostly their contributions are relatively limited. The following case studies are chosen based on their significance either because of the technology they use or because they are pioneers in the methods they utilize.

- Zurich Deep Facade – ETH Zurich

ETH – Zurich Deep Facade, a six-meter-high aluminum structure is significant because the molten aluminum is cast in a mould made of sand (**Figure 4.a**). The mould is 3D printed using binder jetting technology. It is said to be the first metal based structure cast in a 3D-printed mould. The significance of the method is that it allows the designer to realize complex forms relatively cost effective and in a short period of time. Designed with a differential growth algorithm and topologically optimized panel is cast in 26 articulated modules and combined on site (URL – 1).

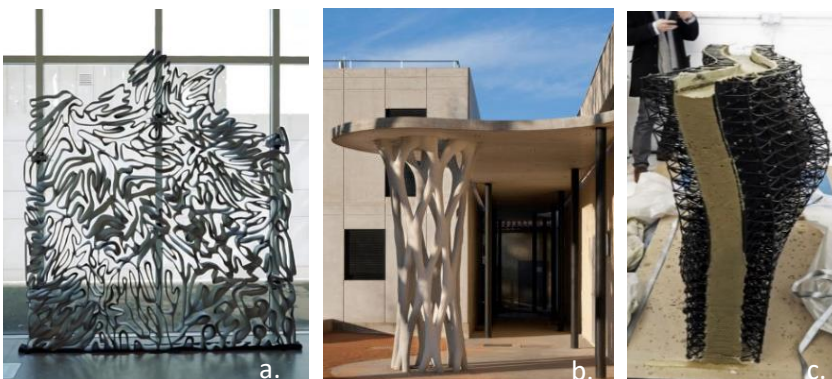


Figure 4: From left to right; **a.** Zurich Deep Facade – ETH Zurich (Dbt, 2019), **b.** Organic Column – XtreeE, (Material District, 2017) **c.** Concrete Formwork – AI Build (AI-Build, n.d.)

- Organic Column – XtreeE

This 4m-high column in the playground of a school in France have semi-load bearing properties (**Figure 4.b**). They are designed with topological optimization tools in two parts; the formwork, and the concrete that is cast inside the formwork. The printer is an extrusion based printer using two types of cement mixture; one for the formwork and the other for the structure. The modules are assembled on site (Material District, 2017).

- Concrete Formwork – AI Build

The custom mould uses and extrusion based printing technology (**Figure 4.c**). The aim of the project is to explore different moulds for concrete work to give the designer increased flexibility. The significance of the project is that to create the 3D printed mould any recycled material can be used with zero waste manufacturing (AI-Build, n.d.).

- Smart Slab – ETH Zurich

The Smart Slab project as a part of the DFAB House Project is the first concrete slab fabricated with a 3D-printed formwork (**Figure 5.a**). The lightweight concrete slab is cast into a 3D printed sand mould using binder jetting technology. The design of the concrete slab is topologically and structurally optimized meaning less material is used with increased structural strength. The cantilevering slab is placed on a s shaped load bearing wall and carries another two story unit above itself. It is manufactured in eleven modules and assembled on site using post tensioning cables. The largest cantilevering point is 4.5 meters with varying depth between 30 and 60 centimeters. As a result, the weight of the slab is 70% less than a traditional slab (DFAB HOUSE, n.d.).



Figure 5: From left to right; **a.** Smart Slab – ETH Zurich (DFAB HOUSE, n.d), **b.** Yhona-NantesE, (Batiprint3D, n.d.), **c.** 3D Optimised Joints-Arup (ARUP, n.d.)

- Yhnova - Nantes

The 3D print house project led by University of Nantes have 5 rooms with an area of 95 m² (**Figure 5.b**). The patented BatiPrint3D technology uses a laser-guided, four-meter-long robotic arm to deposit layers of different construction materials. The extrusion based 3D printer has the capacity to print 3 different materials; foam like material for formwork, an insulation layer, and a concrete mixture (Batiprint3D, n.d.).

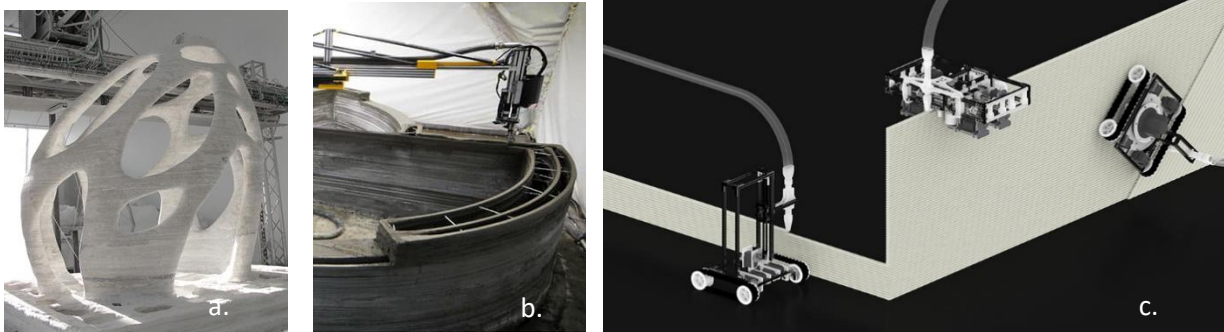
- 3D Optimised Joints – Arup

Arup Group has developed the optimized 3D printed joints for a trio of large tensegrity structures used as street lighting, in a shopping street in The Hague (**Figure 5.c**). The highly irregularly shaped design required 1,600 nodes to connect the cables to the struts. They have used selective laser sintering to print sand moulds and use molten steel to cast the parts. The 3D printing of sand moulds lowers the cost of manufacturing in comparative perspective to direct 3D printing of metal parts (ARUP, n.d.).

- The Radiolaria Pavilion – D Shape

The Radiolaria Pavilion is one of the very first attempts to 3D print in architectural scale and ‘print’ entire buildings as a unique piece printed at once (**Figure 6.a**). In 2004 Enrico Dini an Italian engineer developed a manufacturing technique on an area of 6 by 6 m and limitless height. As technique uses selective binder jetting it does not need any supports and allows complex geometries. Though the pavilion represents a “first” in large scale 3D printing the binder jetting method is mostly not preferred due to difficulties in creating large scale powder bed manufacturing environment (Turner, 2009).

Figure 6: From left to right; **a.** The Radiolaria Pavilion – D Shape (Turner, 2009), **b.** Apis Cor House, Apis Cor, (Apis Cor, n.d.), **c.** Minibuilders – IAAC (Sttot, 2014).



- Apis Cor House – Apiscor

The house is said to be the first 3D printed house on site (**Figure 6.b**). The technique used is extrusion based with a cement based material. The bot left a small gap between the interior and exterior walls in which

the team then placed fiberglass reinforcements and sprayed a polyurethane-based mixture for insulation. Though the house carries significance due being the first fully functional in situ large scale AM we still cannot talk about a fully automated process. Since the reinforcements are placed by the team it can be accepted as a hybrid process (Apis Cor, n.d.).

- Minibuilders – IAAC

The researchers at The Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) observed that the construction robotics all share one limitation that the size of the object printed is limited with the size of the system. **(Figure 6.c)**. They develop a family of small-scale mobile construction robots who are assigned different tasks, working independently towards a single goal (URL – 10). There are three types of printing robots whose functions are differentiated. The first robot is able to print the foundation while the second one can attach itself to the already built structure and print more nonlinear forms. The third one has a vacuum apparatus and can directly attach itself to the wall of the structure printing vertically to increase the strength of the horizontally printed layers. All the multidirectional robots work on an extrusion based technique using fast setting artificial marble as material and use hot air to fasten the curing process (Sttot, 2014).

- Saltygloo – Emerging Objects

The Saltygloo is one of the earlier projects of Emerging objects. The project carries a significance due to the material experimented in 3-D printing. The group used locally harvested salt and designed component based pavilion with computational design tools **(Figure 7.a)**. The material used is a combination of salt and glue creating a strong, waterproof, lightweight and inexpensive material. The structure has 336 translucent panels supported with lightweight aluminum rods flexed in tension (Emerging Objects, n.d.).

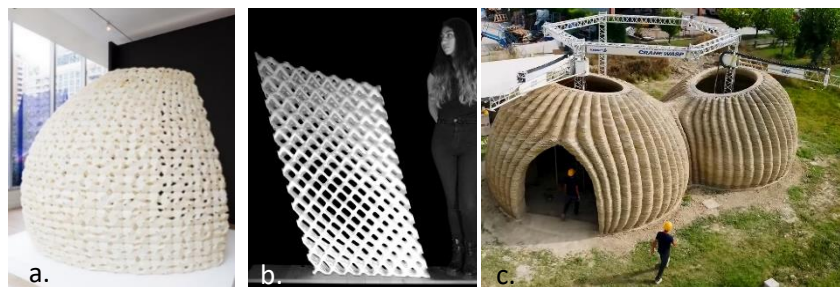


Figure 7: From left to right; **a.** Saltygloo – Emerging Objects (IAAC, 2018), **b.** Load-Responsive Cellular Envelopes (Naboni, 2017), **c.** Tecla - WASP (3D Wasp, 2021).

- Load-Responsive Cellular Envelopes – Politecnico di Milano

The researcher from Politecnico di Milano ties the motivation behind their latest work to increasing concerns over environment and a need to find a solution through nature inspired design. Using principles of morphogenesis and biological materials they have designed a load responsive cellular envelope (**Figure 7.b**). With a design to fabrication workflow the approach encompasses the use of computational tools, Additive Manufacturing, and material experiments (Naboni, 2017).

- Tecla - WASP

The project combines a traditional material, unfired clay, with state of the art computational design tools and 3D printing technologies (**Figure 7.c**). In large scale additive manufacturing in order to increase structural capabilities several infill patterns are used. In this study by designing infill patterns the researchers were able to embed thermal properties in the wall section to control conductance. Extrusion based 3D printing technique allowed the researchers to create complex geometries (3D Wasp, 2021).

- The Metal Bridge – MX3D

The bridge is 6 meters wide and 3D printed with six-axis robots that control the welding machines using molten steel (**Figure 8.a**). The project adheres to local council’s regulations allowing it to be used on a real life canal. The bridge is also equipped with sensors in collaboration with Arup Group to test its performance by collecting data such as strain, rotation, load, displacement and vibration. The collected data will be tested continuously on the virtual twin of the bridge (MX3D, n.d.).



Figure 8: From left to right; **a.** Metal bridge – MX3D (MX3D, n.d.), **b.** Fiberbots - MIT (Hitti, 2018).

- Fiberbots – MIT

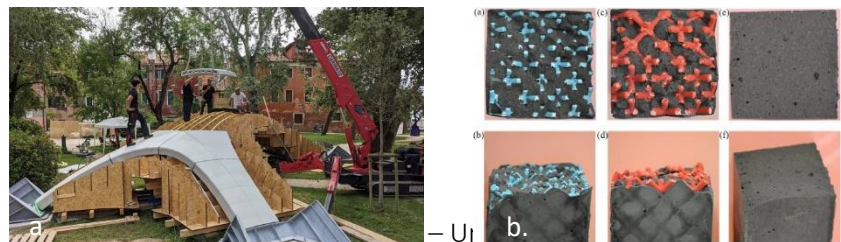
Neri Oxman in her 2013 work examined cocoons built by silk worms to better understand their weaving method. Robotically fabricated metal structure has been used as a scaffold to weave cotton threads to prepare a surface for the silkworms are attached. After the installation the metal scaffold has been removed and the silk worms are observed with the tiny sensors attached to their foreheads. In her seminal work she has observed that the silkworms are in a way working like a multiaxis 3D multi-material printer depositing silk fiber (Oxman, 2014). This observation has led to a second research which is based on a swarm of robots “designed to rapidly build high-strength tubular structures by winding fiberglass filament around themselves.” (Kayser, 2018). The experiment’s innovative approach comprised of 16 robots. The robots are identical, working simultaneously depositing fiberglass to fabricate self-supporting composite tubes (Figure 8.b).

The robots feed a mixture of fiberglass thread and resin and cured by the UV light attached to the robots’ body. The tubular structures are made of fibers but also in macroscale the structures themselves can be considered as part of a fibrous structure, each of them carrying load bearing properties themselves. Though fiberglass is used in this study, for further studies smart fibers made of natural materials are being developed (Hitti, 2018).

- Striatus – ETH Zurich/Zaha Hadid Architects

This is a 16 metre long 3d-printed bridge realized by ETH Zurich in collaboration with the Computation and Design Group at Zaha Hadid Architects, Holchim (concrete manufacturer) and incremental3D (Figure 9.a). Due to the fact that the bridge is made of hollow blocks and is held in place by solely compression, it uses 70% less material and does not need any reinforcement or binders. It can be disassembled and recycled. The main difference from other printing gears is that, it uses a six axis robotic arm with a special printing head allowing to form non-uniform, non-parallel layers (Striatus, n.d.).

Figure 9: From left to right; **a.** Striatus – ETH Zurich/Zaha Hadid Architects (Striatus, n.d.), **b.** Polymer Lattice Reinforcement – University of California, Berkeley (Salazar et. Al, 2020)



Reinforcing concrete with polymer fiber particles is not a new development, yet the researchers were able to improve the efficiency of polymer reinforced concrete by a 3D printed lattice reinforcement which is designed to act as a series of trusses (**Figure 9.b**). This design is able to support heavy loads from all directions. These polymer reinforcements are printed with material extrusion technology and in modules (Salazar et. Al, 2020).

5. CURRENT CHALLENGES AND FUTURE POTENTIALS

Although Additive Manufacturing technologies in AEC gained quite a bit of momentum in the last decade it has still several challenging limitations to overcome.

As of 2021 the tallest building built today is a five story building 3D printed in modules and assembled on sight by Winsun in China. This is a challenge due to the limitations of the printers in large scale manufacturing. Though there are promising studies on swarm printing (IAAC Minibuilders, 2014; Oxman, 2018) they are still in their infancy stage.

Material development is another challenge AM is facing. Concrete mixes that are compatible with 3D technologies should further be studied to resolve issues on durability and stress resistance. Reinforcement is another disputed subject to be resolved in order to fully automatize the fabrication process. As of 2019 the automatized rebar system developed in ETH Zurich by Gramazio Kohler seems to be best available option. Last but not least though there are multi material printers for small scale manufacturing they are not introduced in large scale applications. The multimaterial printers in large scale would resolve issues around the component based assembly system.

The understanding of matter has changed with the invention of electron microscope. The micro scale structure of matter in nature showed that the materials is rather fibrous than monolithic which in

return led the architectural researchers to reconsider architectural systems (Snooks, 2012).

Menges (2015) also makes a case for fibrous systems and argues that in nature almost every load bearing biological structure carries very similar properties with fibrous composites. The fibrous nature of biological structures can be replicated through various manufacturing methods. Robotic manufacturing and AM technologies being one of these technologies allows further exploration of structural systems found in nature. Considering the current research focuses AM technologies have not been able to exploit morphological characteristics of biological structures. Though progress has been in increasing the efficiency in material use through topologically and structurally optimized designs still most of the researches are dictated by conventional way of construction.

We believe the real potential of Additive Manufacturing has not been explored in full depth. The forms and the methods that AM is experimented with mostly belong to the industrialized production system. Innovative architectural thinking coupled with technology has the power to transform the architectural landscape. At first glance the AM techniques promise a more sustainable, economically efficient and an easily built mass customizable future but in our opinion the greatest opportunities lie in the fact that it enables the architects/designers to explore new ways of thinking and designing.

6. DISCUSSION AND CONCLUSION

To an outsider Additive Manufacturing technologies may seem like an all-purpose, one size fits all technology. In reality it is very important to choose the right (or the most suitable) technologies for the right project. In this sense designers should be very well informed with capabilities and limitations of each technology and also the material associated with the said technology.

In this study we offer a classification through case studies to provide a unified and systematic characterization of large scale AM applications. This classification will help in identifying AM processes, provide guidance to better locate the gaps in future research topics. Some of the gaps can be listed as follows; there are seven identified AM technologies yet only three of them are being explored for their

potential in large scale structures consequently the types of materials being used is again limited due to the fact that they are inherently connected to the chosen AM technology. On the contrary, the types of AM processes (direct/indirect) and site of manufacturing which are again inherently connected subcategories are fully explored. Another category that is explored maybe most vigorously is a cross section of robotics and mechanical engineering that is the deposition gear. Yet, one of most critical issues waiting to be explored further is how to automate the integration of structural reinforcement in AM processes.

On the other hand due the fast pace of technological developments on the subject, the categories of classification might need to altered. Another important issue is that though the main focus of this study has always been to create a broad classification system that would encompass all the latest developments it lacks focus of an in-depth study on every category or sub category would require. A further study through a computational mid mapping technique based on the current categories would better show the correlation between different technologies and case studies.

References

- 3D Wasp. (2021, January 21). *3D printed house TECLA - eco-housing - 3D printers*. <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla>
- AI-Build. (n.d.). *Concrete Formwork*. <https://ai-build.com/concreteformwork.html>
- Apis Cor. (n.d.). *3D printer*. <https://www.apis-cor.com/3dprinter>
- ARUP. (n.d.). *Lighting design for The Hague's Grote Marktstraat*. <https://www.arup.com/projects/grote-marktstraat>
- Batiprint3D. (n.d.). *Shaping tomorrow*. <https://batiprint3D.fr/en>
- Bogue, R., (2014). Smart materials: a review of capabilities and applications. *Assembly Automation*, 34, 3–7.
- Chen, D., Heyer, S., Ibbotson, S., Salonitis, K., Steingrímsson, J. G., & Thiede, S. (2015). Direct digital manufacturing: Definition, evolution, and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production*, 107, 615-625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.009>
- DFAB HOUSE. (n.d.). *Smart Slab*. <https://dfabhouse.ch/smart-slab>

- Dbt. (2019, May 6). *Digital metal: Deep facade*.
<https://dbt.arch.ethz.ch/project/digital-metal-deep-facade/>
- D-shape. (n.d.). Retrieved March 2, 2019, from <https://www.d-shape.com>
- Emerging Objects. (n.d.). Saltygloo.
<https://www.emergingobjects.com/project/saltygloo>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Gardiner, J. B. (2011). *Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing* [Doctoral dissertation].
<https://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/doctoral/Exploring-the-emerging-design-territory-of/9921861544001341>
- Goldberg, D., (2018) *History of 3D Printing: It's Older Than You Are*, Redshift by Autodesk. Retrieved March 2, 2019, from <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3D-printing/>
- Gramazio, F., Kohler, M., (2008) *Digital materiality in architecture*. Lars Müller Publishers, Baden
- Grigoriadis, K., (2019). Computational Blends: The Epistemology of Designing with Functionally Graded Materials, *The Journal of Architecture*, 2019
- Hack, N., Lauer, W., Langenberg, S., Gramazio, F., & Kohler, M. (2013). Overcoming repetition: Robotic fabrication processes at a large scale. *International Journal of Architectural Computing*, 11(3), 285-299.
<https://doi.org/10.1260/1478-0771.11.3.285>
- Hitti, N. (2018, October 5). *Neri Oxman's swarm of Fiberbots autonomously build architectural structures*. Dezeen.
<https://www.dezeen.com/2018/10/05/neri-oxman-fiberbots-mediated-matter-lab-mit-architectural-structures>
- IAAC. (2018, October 11). *Minibuilders - Institute for advanced architecture of Cataloni*. <https://iaac.net/project/minibuilders/>
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, I. A., Espinosa, M. D., & Domínguez, M. (2019). Additive manufacturing technologies: An overview about 3D printing methods and future prospects. *Complexity*, 2019, 1-30.
<https://doi.org/10.1155/2019/9656938>
- Kayser, M., Cai, L., Falcone, S., Bader, C., Inglessis, N., Darweesh, B., & Oxman, N. (2018). Fiberbots: An autonomous swarm-based robotic system for digital fabrication of fiber-based composites. *Construction Robotics*, 2(1-4), 67-79. <https://doi.org/10.1007/s41693-018-0013-y>

- Khoo, Z. X., Teoh, J. E., Liu, Y., Chua, C. K., Yang, S., An, J., Leong, K. F., & Yeong, W. Y. (2015). 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(3), 103-122. <https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1097054>
- Khoo, C.K., Shin, J. W. , (2018) Designing with Biomaterials for Responsive Architecture A soft responsive “bio-structural” hydrogel skin. *Material Studies*, 2.
- Khoshnevis, B., Hwang, D., Yao, K. T., & Yeh, Z. (2006). Mega-scale fabrication by contour crafting. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(3), 301. <https://doi.org/10.1504/ijise.2006.009791>
- Kidwell, J. (2017). *Best Practices and Applications of 3D Printing in the Construction Industry*, California Polytechnic State University San Luis Obispo, California
- Kolarevic, B., (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Taylor & Francis.
- Kruth, J.P., Leu, M.C., Nakagawa, T., (1998). Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 47 (2), 525-540.
- Labonnote, N., Rønquist, A., Manum, B., & Rütger, P. (2016). Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*, 72, 347-366. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>
- Leo, D.J., (2007). *Engineering analysis of smart material systems*. Hoboken, NJ, Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Lim, S., Le, T., Webster, J., Buswell, R., S. Austin, R. Gibb, A., Thorpe, T., (2009) Fabricatin construction components using layer manufacturing technology, *Global Innovation in Construction Conference*, Loughborough University, 9, 13–16 .
- Lim, S., Buswell, R., Le, T., Austin, S., Gibb, A., & Thorpe, T. (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*, 21, 262-268. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.06.010>
- Martins, P. F., José P. S. (2014) Digital Fabrication Technology in Concrete Architecture., In Fusion, Proceedings of the 32nd International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 475-484. Vol. 1. eCAADe: Conferences 1.
- Material District. (2017, April 5). *Complex concrete column made using 3D printed formwork*. <https://materialdistrict.com/article/complex-concrete-column-3d-printed-formwork>
- Menges, A. (2015). Fusing the computational and the physical: Towards a novel

material culture. *Architectural Design*, 85(5), 8-15.
<https://doi.org/10.1002/ad.1947>

Monzón, M. D., Ortega, Z., Martínez, A., & Ortega, F. (2015). Standardization in additive manufacturing: Activities carried out by international organizations and projects. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 1111-1121.

<https://doi.org/10.1007/s00170-014-6334-1>

Moon, M., (2014) *What you need to know about 3D-printed organs*, *Engadget*, Retrieved March 2, 2019, from <https://www.engadget.com/2014/06/20/3D-printed-organ-explainer/>

MX3D. (n.d.). *Bridge - Introducing the advantages of 3D metal printing to new high-impact industries*. <https://mx3d.com/projects/bridge-2>

Naboni, R., Kunic, A., Breseghello, L., Paoletti, I., (2017). *Load-Responsive Cellular Envelopes with Additive Manufacturing*.

Ngo, T., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyena, K., Hui, D. (2018) Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges, *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.

Oxman, N., Laucks, J., Kayser, M., Duro-Royo, J., & Uribe, C. G. (2017). Silk pavilion: A Case Study in Fiber-based Digital Fabrication. *Fabricate 2014*, 248-255. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1tp3c5w.34>

Paoletti, I., Ceccon, L. (2018) *The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques*, *3D Printing*, Milan.

Paull, B., (2017) *The Evolution of 3D Printing*, *Separation Science: The State of the Art*, LC-GC Europe.

Pegna, J., (1997). Exploratory investigation of solid freeform construction, *Automation in Construction*, 5(5), 427-437

Prakash, K. S., Nancharaih, T., & Rao, V. S. (2018). Additive manufacturing techniques in manufacturing -an overview. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3873-3882.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.642>

Prentice, S. (2014). *The five SMART technologies to Watch*. Retrieved March 2, 2019, from <https://www.gartner.com/doc/2669320?ref=unauthreader>.

Salazar, B., Aghdasi, P., Williams, I. D., Ostertag, C. P., & Taylor, H. K. (2020). Polymer lattice-reinforcement for enhancing ductility of concrete. *Materials & Design*, 196, 109184.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109184>

Sartipi, F., & Sartipi, A. (2020). Brief review on advancements in construction

additive manufacturing. *Journal of Construction Materials*, 1(2).
<https://doi.org/10.36756/jcm.v1.2.4>

De Schutter, G., Lesage, K., Mechtcherine, V., Nerella, V. N., Habert, G., & Agusti-Juan, I. (2018). Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. *Cement and Concrete Research*, 112, 25-36.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.001>

Snooks, R. (2013). *Fibrous Assemblages and Behavioral Composites*. RMIT University.

Stott, R. (2014, June 17). *IAAC invents a family of robots to 3D print structures of any size*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/517378/iaac-invents-a-family-of-robots-to-3D-print-structures-of-any-size>

Strauss, H. (2013). *AM envelope: The potential of additive manufacturing for facade constructions*. TU Delft.

Striatius. (n.d.). *3D Concrete Printed masonry*. <https://www.striatusbridge.com>

Tamke, M., Stasiuk, D., Thomsen, M.R., (2014) *The Rise: Building With Fibrous Systems, Fabricate 2014*, UCL Press

The American Society for Material and Testing, (2009) *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, F2792(12a), ASTM International, West Conshohocken, USA.

Tibbits, S. (2014). 4D printing: Multi-material shape change. *Architectural Design*, 84(1), 116-121. <https://doi.org/10.1002/ad.1710>

Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: Scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 21(1), 22-37. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>

Turner, B. (2009, June 22). *Radiolaria pavilion by Shiro Studio*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2009/06/22/radiolaria-pavilion-by-shiro-studio>

Varadan, V.K., Vinoy, K. J., Gopalakrishnan, S. (2006) *Smart Material Systems and MEMS: Design and Development Methodologies*, Wiley and Sons.

Varotsis, A. B., (2018) *Manufacturing Processes Explained*, 3D Hubs, Retrieved March 5, 2019, from <https://www.3Dhubs.com/knowledge-base>

Yin, R. K. (2003). *Case study research: design and methods*. London, Sage.

Plan Generation with Generative Adversarial Networks: Haeckel's Drawings to Palladian Plans

Merve Akdoğan¹, Özgün Balaban²

ORCID NO: 0000-0003-3758-3548¹, 0000-0002-7270-2058²

¹ Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

² Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment, Chair of Design Informatics, Delft, Netherlands.

In this study the application of deep learning networks in architectural design is explored via experimental plan generation. With image processing abilities of deep learning networks such as GAN (generative adversarial network), training generative models with architectural visual data is possible. One type of GANs called CycleGAN is specially chosen for the purposes of this study because of its flexibility on visual datasets and low requirement of preliminary labor. In the scope of this study, 2D plans and visuals are selected as datasets to train the CycleGAN model. Instead of training the model with only one dataset of plans and let it generate similar but novel outcomes, in this study two datasets are used to experiment on translations into plan-like images from a different dataset. For the dataset that consists of plans, Palladio's plans are selected. Because the embedded spatial organizational data can be easily decoded and used as a training set for the CycleGAN algorithm, thanks to their potent and symmetrical representations on 2D. Second dataset is formed by Haeckel's microorganism drawings, in order to investigate new possibilities of spatial organization when they are emerged from the visual data of organism structures. Instead of original microorganism images, Haeckel's drawings are selected because of their idealized plan-like figures with rotational symmetry. The model was trained with these two datasets to perform image translation between them. Although the model can work both ways, this paper focused on and evaluated the translations from Haeckel's microorganism drawings to Palladian-like plans. Eventually the model translated Haeckel's drawings into plan-like images which shows the features of the forming patterns of Palladian plans. The outcomes can be beneficial and inspiring for the conceptual and preliminary design processes as well as studying the visual transformations between architectural and out of field visuals. This study, contributes to the field in terms of the application of AI methods -specifically GANs- in experimental plan generation tasks.

Received: 27.01.2022

Accepted: 17.03.2022

Corresponding Author:

merve.akdogan@itu.edu.tr

Akdoğan, M., Balaban, Ö. (2022). Plan Generation with Generative Adversarial Networks: Haeckel's Drawings to Palladian Plans. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 135-154.

<https://doi.org/10.53710/jcode.1064225>

Keywords: AI in Architecture, CycleGAN, Deep Learning, Plan Generation, Spatial Image Processing.

135

Çekişmeli Üretken Ağlar ile Plan Üretimi: Haeckel'in Çizimlerinden Palladyan Planlara

Merve Akdoğan¹, Özgün Balaban²

ORCID NO: 0000-0003-3758-3548¹, 0000-0002-7270-2058²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

²Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment, Chair of Design Informatics, Delft, Netherlands.

Bu çalışmada, derin öğrenme ağlarının mimari tasarımdaki uygulamaları deneysel plan üretimi yoluyla araştırılmıştır. GAN (çekişmeli üretken ağ) gibi derin öğrenme ağlarının görüntü işleme yetenekleriyle, mimari görsel verilerle üretken modellerin eğitimi mümkündür. GAN türlerinden biri olan CycleGAN, görsel veri seti esnekliği ve ön işçilik gereksiniminin düşük olması nedeniyle bu çalışma için seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında CycleGAN modelini eğitmek için veri seti olarak 2B planlar ve görseller seçilmiştir. Modeli yalnızca planlardan oluşan bir veri setiyle eğitmek ve benzer ancak yeni çıktılar üretmek mümkünken, bu çalışmada farklı bir veri setindeki görselleri plan benzeri görsellere dönüştürmek amacıyla iki veri seti kullanılmıştır. Planlardan oluşan veri seti için Palladio'nun planları seçilmiştir. Çünkü bu planların iki boyuttaki güçlü temsil dili ve simetrik özellikleri sayesinde, mekansal organizasyona dair gömülü veriler CycleGAN algoritması tarafından kolayca çözümlenebilir ve bir eğitim seti olarak kullanılabilir. İkinci veri seti ise, organik yapıların görsel verilerinden mekansal organizasyon oluşturma olasılıklarını araştırmak için Haeckel'in mikroorganizma çizimlerinden oluşturulmuştur. Haeckel'in çizimleri asıl mikroorganizma görselleri yerine, idealize edilmiş ve rotasyonel simetriye sahip plan benzeri figürler oldukları için seçilmiştir. Model, aralarında görsel dönüşüm yapmak için bu iki veri seti ile eğitilmiştir. Model her iki yönde de çalışabilmesine rağmen, bu makale Haeckel'in çizimlerinden Palladyan benzeri planlara dönüşümlere odaklanmış ve bu dönüşümlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda model, Haeckel'in çizimlerini Palladio'nun planlarındaki biçimsel özelliklere sahip plan benzeri görsellere çevirmiştir. Sonuç ürünler, ön tasarım sürecine ve mimari ile alan dışı görseller arasındaki görsel dönüşümleri araştırma konusuna fayda ve ilham sağlayabilir. Bu çalışma, yapay zekâ yöntemlerinin -özellikle GAN'ların- deneysel plan üretimlerinde kullanımı açısından alana katkı sağlamaktadır.

Teslim Tarihi: 27.01.2022

Kabul Tarihi: 17.03.2022

Sorumlu Yazar:

merve.akdogan@itu.edu.tr

Akdoğan, M., Balaban, Ö. (2022). Çekişmeli Üretken Ağlar ile Plan Üretimi: Haeckel'in Çizimlerinden Palladyan Planlara. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 135-154.

<https://doi.org/10.53710/jcode.1064225>

Anahtar Kelimeler: CycleGAN, Derin Öğrenme, Mekansal Görüntü İşleme, Mimarlıkta Yapay Zeka, Plan Üretimi.

1. INTRODUCTION

With the rapid increase in computer science developments especially in AI field, new architectural design approaches are a topic of discussion and exploration. Parametric design methods and computation have been used by architects for decades and the computer is considered as a partner instead of just the medium, more and more each day. But autonomy and adaptivity, which are features of AI methods, bring out new possibilities and discussions in architecture field. Shortly, autonomy is performing tasks without guidance and adaptivity is improving the performance by learning from the medium.

In this vast AI field, architectural design process can be approached in many ways. But particularly, 2D visual generation -plan generation- is focused on, in this study. In the context of 2D and 3D visual generation problems, a deep learning network -which is a subfield of machine learning that is a subfield of AI- called GAN mostly dominated the field since its proposal by Goodfellow et al. in 2014. GANs' popularity has been gained by their generative features which also show great potential for architectural image generation.

GAN, generative adversarial network, includes two different units with different tasks but work together as a team. These models are called generator and discriminator. Generative model generates novel outcomes by learning from the dataset. The discriminator on the other hand, evaluates the outcomes from the generator in order to get a good enough result in the end, by eliminating the inadequate outcomes. After these evaluations and many training repetitions the outcomes get better and appear as real as possible (Goodfellow et al, 2014). After the proposal of GAN, many types of it emerged such as CycleGAN (Zhu et al, 2017) and pix2pix (Isola et al, 2017).

In the scope of architectural plan generation with GANs, the embedded spatial organizational data can be decoded and learned by the network and used to build a generative model. This model can perform the task of novel plan generation without a guidance with its autonomous ability. The process is mostly performed by the trained model but the selection of data is done by the user and is crucial because the input directly affects the model and the outcomes as a consequence. These networks learn from the data by recognizing the forming patterns and

develop their own generative model accordingly. Therefore, the dataset should be formed carefully to serve the purpose of the study. Following the selection of the datasets, a preliminary work to prepare the data for the training is also necessary. In example, for the supervised training of conditional adversarial networks such as pix2pix labelling the distinguished parts of the images and pairing the images in the datasets are needed for image to image translation (Isola et al, 2017). However, there are also unsupervised methods such as CycleGAN –cycle consistent adversarial network- which is proposed by Berkeley AI Research Lab. and does not require labelling or image pairing (Zhu et al, 2017). CycleGAN only requires datasets to resemble each other for sufficient outcomes. In this way, CycleGAN distinguishes from the other GAN types by its low requirement of labor and flexibility on datasets. A CycleGAN model which is trained by two different datasets, transform the images from the first dataset to the second dataset-like images and, vice versa. The model can work both ways in terms of translation with the same datasets. However, without image pairings and labelling, CycleGAN has some constrains on the outcomes and does not give elaborate results.

For the image to image translation purposes of this study, firstly the focus was on selecting the proper datasets. The study is planned around the task of image translation between architectural visuals and organism visuals in order to see the spatial formations when they are emerged from natural forms. For both datasets, selecting data within the same style or context was important. Thus, the architectural visual dataset is composed of Renaissance architect Palladio's architectural plans due to their potent representation and symmetrical organizations on 2D that make them prone to be easily decoded and used for the training by CycleGAN algorithm. The architectural visual data is taken from Palladio's book "I Quattro libri dell'architettura" (The Four Books of Architecture) that is written in 1570. Second dataset is formed by the visual data of microorganism structures. However, instead of using the visual data of original microorganism structures, zoologist and marine biologist Ernst Haeckel's drawings are selected because of their idealized figures. The images are taken from Haeckel's book "Kunstformen der Natur" (Art Forms of Nature) that firstly published in 1899 and consist of hundreds of microorganism and animal drawings. In selection process, the figures that have rotational symmetry are chosen in order to achieve a matching dataset which has organized and plan-like images for the Palladian plan dataset.

The purpose of building an image to image translation model with natural and architectural forms requires a network that is flexible on datasets. Because identical image pairings between datasets and element labelling was not the case for the datasets in question since one of them consists of architectural plans and the other one consists of microorganism drawings. Moreover, the dataset images have some restrictions in both quality and quantity because of time and hardware limitations, as well as original image qualities. In this case, Palladian plans dataset consists of 100 and Haeckel's drawings dataset consist of 105 images in 256*256 pixels size and grayscale setting. Considering these constraints, a CycleGAN algorithm which is an unsupervised learning method is selected in order to train the model and generate plan-like visuals from microorganism images by accepting the possible visual restrictions on the outcomes. Also, although the resemblance of the datasets is enough for CycleGAN in general, the only resemblance of the datasets of this study is their symmetrical and organized figures. Thus, the model would not be able to generate clear and rigorous Palladian plans. Another reason for this is, without supervising, the model would not possibly be trained on the spatial relations and functions of the plans. Thus, an elaborate visual generation, such as realistic plans in this case, is not possible. The model however, even without knowing the context, would be able to learn from the features of the images such as the forming principles of the lines, how these lines repeat, collide and surround the void areas, if these features are clear and distinguishable enough, which is the case for Palladio's plans. With this much information, the model in question is expected to generate plan-like visuals from microorganism figures by image to image translation. Eventually, the outcomes, the differences on formations and training values are evaluated.

1.1 Related Works

Recent related work differs from each other in terms of the GAN type they use and the aim of their studies. On **Table 1**, the difference on their preference on datasets can be seen as well. The authors selected proper datasets to train their GAN models and generated novel outcomes out of the model (Zhao et al, 2021; Çeliker et al, 2020; Balci et al, 2020; Uzun et al, 2020; As et al, 2018).

Authors	Year	Study	GAN types	Datasets
Zhao, C. W., Yang, J., & Li, J. T.	2021	Generating the layouts of hospital emergency departments	DCGAN, pix2pix, CycleGAN	A selection of hospital emergency departments' layouts
Çeliker, Y. E., Efendioğlu, G. & Balaban, Ö.	2020	Exploring new spatial formations	CycleGAN	Modern interior and sci- fi movie visuals
Balcı, O., Terzi, Ş.B. & Balaban, Ö.	2020	Generating game maps	CycleGAN	Satellite images and game maps.
Uzun, C., Çolakoğlu, M. B., & İnceoğlu, A.	2020	Generating Palladian plans	DCGAN	Palladio's original plans and Palladian plans generated with Palladian grammar rules
As, I., Pal, S., & Basu, P.	2018	Generating conceptual design	InfoGAN	Architectural drawings in axonometric and graph view

Table 1: Some of the related works.

In the research conducted by Zhao et al. (2021), three different GAN types are used to train generative models for layout generation and the results are compared. They focused on generation of plans from a dataset of plans, instead of translation to plans from another set of data. Thus, the authors used 120 hospital emergency departments' layouts to train the model. According to them, CycleGAN was the most applicable one for the layout generation in terms of the flexibility on datasets and low requirement of labor, also the generation of proper and applicable results.

The researches Çeliker et al. (2020) and Balcı et al. (2020) resemble to this study in terms of the GAN type they use and their approach. Both studies used CycleGAN to perform image to image translation with the model that is trained by two different but similar datasets. Çeliker et al. trained the model with modern interior and science fiction movie interior visuals and evaluated the results of the translations from modern interior visuals to sci-fi movie atmospheric visuals. Balcı et al. on the other hand, studied in a bigger scale and focused on maps in their studies. They trained their model with two datasets which are formed by real satellite images and game maps and evaluated the outcomes of the translations from satellite images to game maps.

Another study that is conducted by Uzun et al. (2020) focused on automating the plan generation process with a DCGAN model that is trained by Palladio's original plans and another set of Palladian plans

which is generated with the Palladian grammar rules, as a case study. Eventually, the authors evaluated the efficacy of the DCGAN model for architectural plan generation. They stated that the DCGAN model which was trained by Palladio's original plans were not successful in terms of proper plan generation due the heterogenous data. However, the second DCGAN model that is trained by the dataset which is formed by Palladian grammar rules, showed better quality results because of the homogeneous data.

2. STUDY

The proposers of CycleGAN, Zhu et al. (2017), offered different image to image algorithms with their network. In this study, one of their CycleGAN algorithms, called "Summer to Winter Yosemite", is used. The existing algorithm and datasets of Summer to Winter Yosemite are changed according to the needs of the study. It is trained by two datasets formed by Palladio's architectural plans and Haeckel's microorganism drawings in order to perform translations from microorganism drawings to plan-like visuals.

First dataset consists of 105 images of Haeckel's microorganism drawings while second dataset consists of 100 images of Palladio's architectural plans. Dataset visuals, obtained from books, cleaned and prepared manually one by one in a 256*256 pixels size and grayscale setting (Figure 1 and 2).

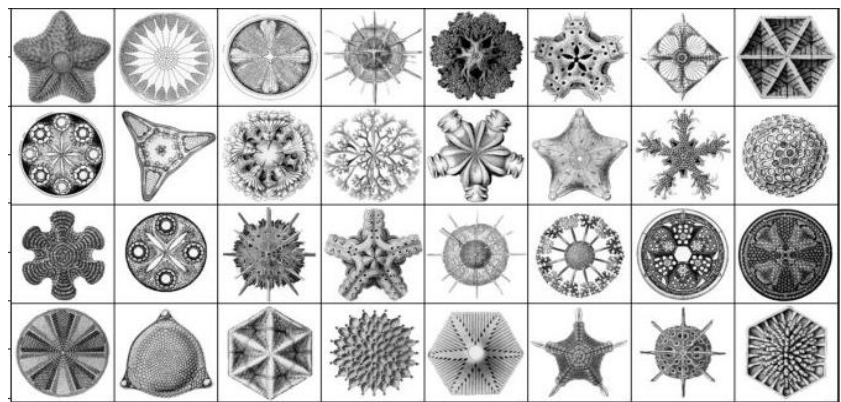


Figure 1: Some of Haeckel's microorganism drawings in the first dataset.

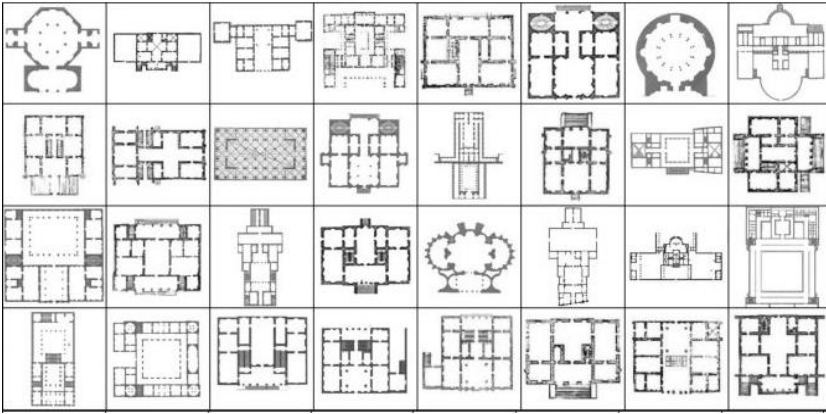


Figure 2: Some of the Palladio's plans in the second dataset.

For the training, the dataset images are needed to be split into two as training and test sets by 4 to 1 ratio. The training set is used to train the model and test set is used to test the trained model. Then the algorithm is trained by these datasets by decoding the visual formation principles and patterns on the images. Eventually the trained model translated the images from the first dataset which is formed by Haeckel's selected drawings into the images which follows the forming principles of the visuals from second dataset that is formed by Palladio's plans.

Algorithm is run many times with different batch size and number of epochs to see the difference in results and reach a satisfying training point. Python programming language and Google Colab notebooks are used for the process. After each generation, the outcomes are evaluated while considering their training values within both objective and subjective perspectives. On **Figure 3**, image translation from microorganism drawings to plan-like visuals can be seen after different number of epochs (**Table 2**). 1 epoch refers to 1 training of the whole dataset. However, many iterations are needed to train the whole dataset. The dataset was split into batches to train one by one. The batch size for the training in this study was 16.

Figure 3: The results of the translation from microorganism drawings to plan-like visuals with Palladio's plan dataset, with gradually increasing epochs. 1000 epochs in total.

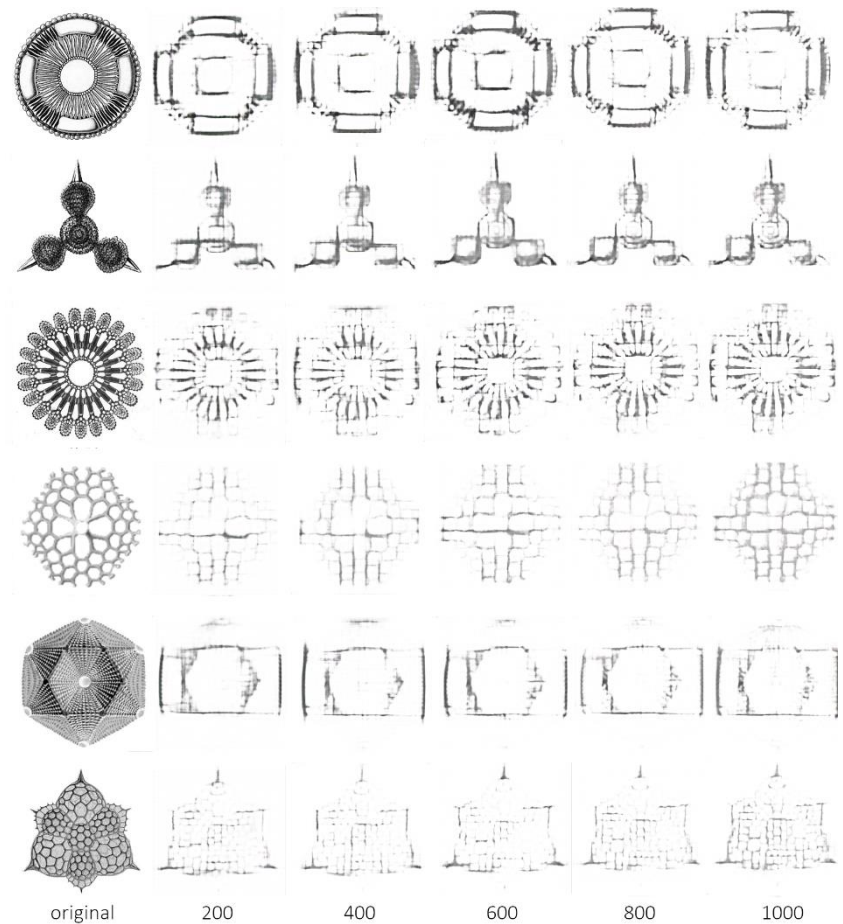


Table 2: Number of epochs and loss values of discriminator and generator for the outcomes on Figure 3.

n_epochs	200	400	600	800	1000
d_X_loss	0.3056	0.1851	0.1389	0.3908	0.0315
d_Y_loss	0.1850	0.4289	0.1777	0.2405	0.0913
g_loss	3.2833	4.9128	4.3460	3.7329	3.9413

Table 2 shows the loss values after the trainings. These loss values for discriminator and generator are used by the model to change the weights for their functions to optimize the outcome. Discriminator tries to be better at distinguishing real images which are from the dataset and fake images which are generated, while the generator tries to be better at generating more realistic images and fooling the discriminator. The loss graphic can be seen on **Figure 4** shows the fluctuations on training losses while the generator and discriminator try to get better at their tasks. It can be seen that while the discriminator

losses (blue and red lines) decreased in the end of the training with 1000 epochs, the generator loss (green line) showed a slight increase in the end which means there can be a better training point with more reasonable and satisfying visuals. However, the visual outcomes also need to be evaluated in terms of the visual quality and expectancy in order to achieve a good training point.

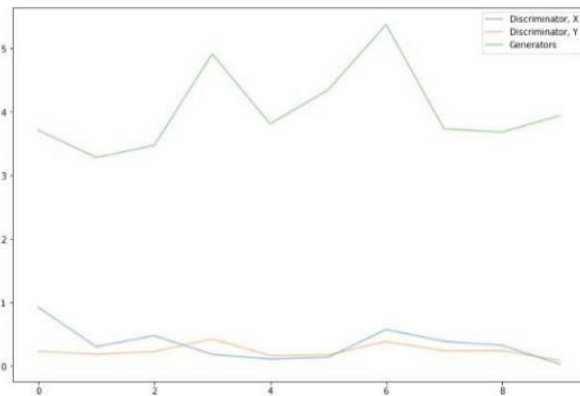


Figure 4: Training losses graphic generated with the algorithm for the outcomes on Figure 3.

After seeing the first results, a third dataset is included to this experimental phase in order to see the differences that datasets can cause on the visual outcomes. Instead of Palladio’s plans dataset, another dataset that is formed by 100 random plans taken from an online source (ArchDaily, 2017) is used to train the model with Haeckel’s drawings. The purpose was to train the model with a plan dataset that is not homogeneous and does not have potent representation features like Palladio’s plans have. In comparison to the potent representation of Palladio’s structures with load bearing thick walls and void areas they surround, the random plans obtained have much lighter structures and are kept as they are with all their furnishings. The images are prepared in 256*256 pixels size and grayscale setting (**Figure 5**).

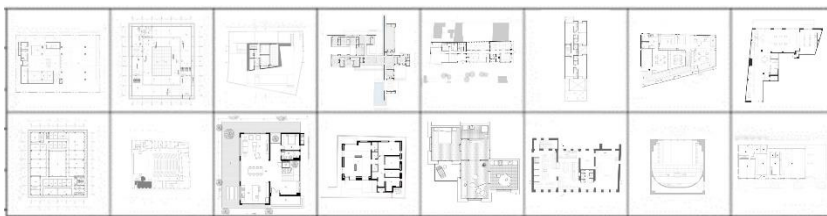


Figure 5: Some images from random plans dataset.

The training happened this time for the datasets of random plans and Haeckel’s microorganism drawings. The visual results were not

satisfying in comparison to the previous training with Palladio’s plans. Because the random plan dataset consists of heterogeneous data which are plans with not much symmetry and weak representation with their light structures (Figure 6). Table 3 shows the number of epochs and loss values for this training. Although the loss values reached similar points with the previous training with Palladio’s plans dataset, the outcomes were not successful in terms of visual quality. This shows the importance of evaluation of the results in both objective and subjective manners in this study as well as using proper datasets to train the CycleGAN algorithm.

Figure 6: The results of the translation from microorganism drawings to plan-like visuals with random plan dataset, with gradually increasing epochs. 1000 epochs in total.

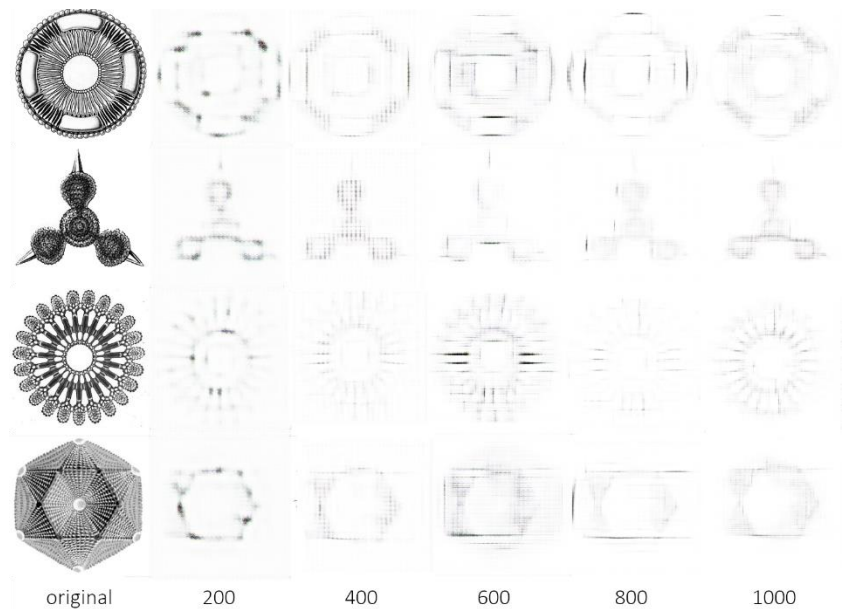


Table 3: Number of epochs and loss values for the outcomes on Figure 6.

n_epochs	200	400	600	800	1000
d_X_loss	0.4470	0.4132	0.4341	0.2480	0.1658
d_Y_loss	0.3111	0.3556	0.0745	0.1157	0.1989
g_loss	3.8440	4.6403	3.6422	3.7899	3.9976

After this experiment, more trainings are done with Palladio’s plans and Haeckel’s drawings datasets with a greater number of epochs in order to achieve a better training point (Figure 7 and 9).

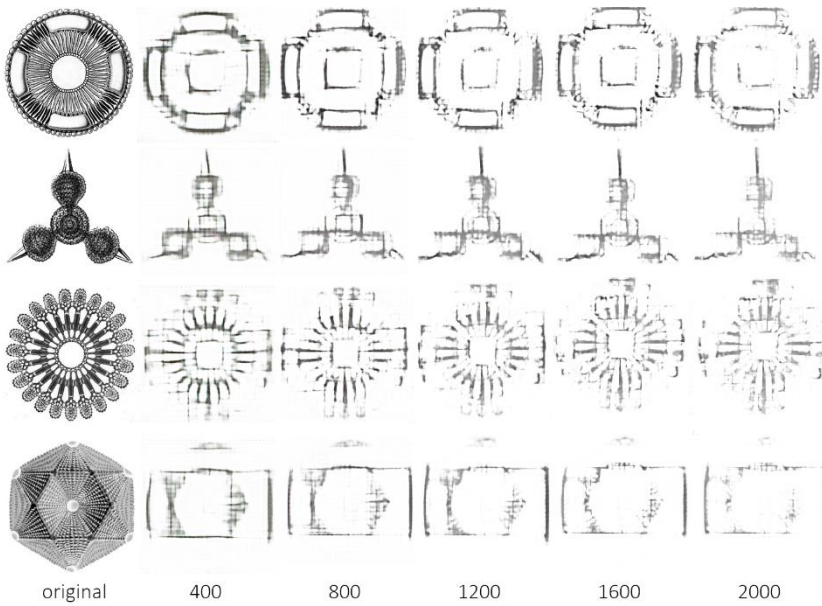


Figure 7: The results of the translation from microorganism drawings to plan-like visuals with Palladio's plan dataset, with gradually increasing epochs. 2000 epochs in total.

n_epochs	400	800	1200	1600	2000
d_X_loss	0.3263	0.2723	0.2792	0.1931	0.1454
d_Y_loss	0.1636	0.1028	0.2311	0.3464	0.1014
g_loss	3.7101	3.9390	3.5056	3.9218	3.2578

Table 4: Number of epochs and loss values for the outcomes on Figure 7.

Table 4 shows the number of epochs and loss values for the training. The loss graphic which shows the fluctuations can be seen on **Figure 8**. It can be seen on graph that all of the three loss values decreased in the end of the training with 2000 epochs. However, the visual results differ in terms of visual quality and satisfying the expectancy.

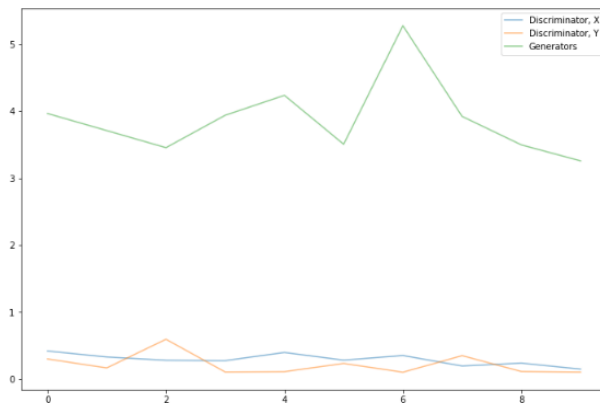


Figure 8: Training losses graphic generated with the algorithm for the outcomes on Figure 7.

Figure 9: The results of the translation from microorganism drawings to plan-like visuals with Palladio's plan dataset, with gradually increasing epochs. 3000 epochs in total.

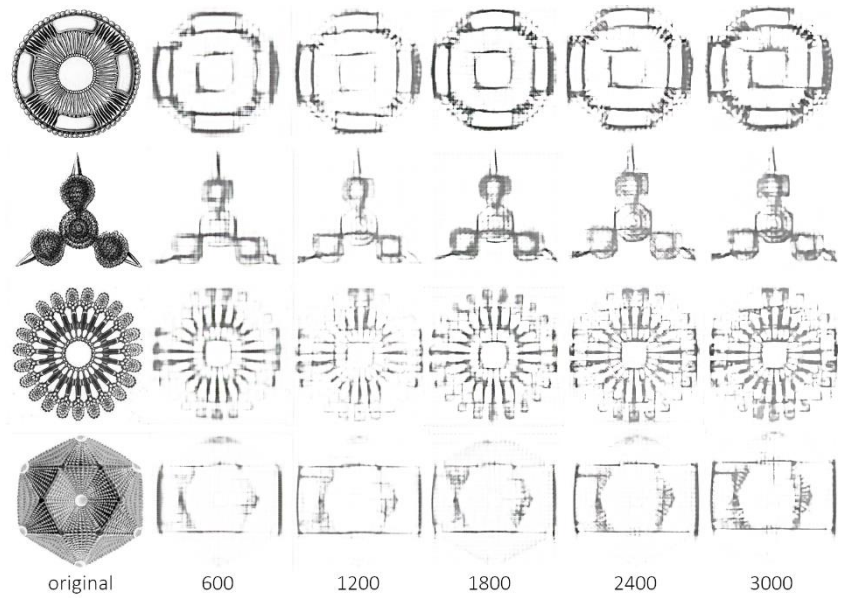
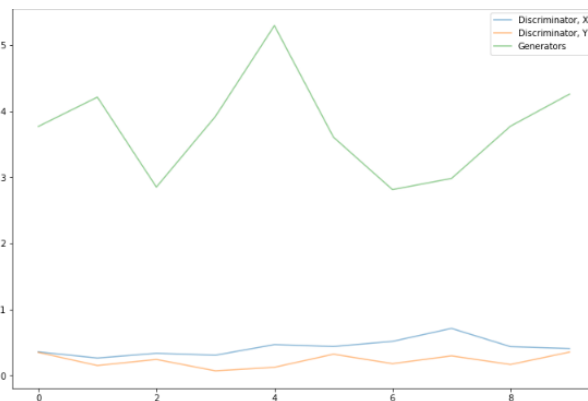


Table 5: Number of epochs and loss values for the outcomes on Figure 9.

n_epochs	600	1200	1800	2400	3000
d_X_loss	0.2641	0.3065	0.4385	0.7124	0.4070
d_Y_loss	0.1507	0.0705	0.3223	0.2969	0.3538
g_loss	4.2142	3.9209	3.6080	2.9825	4.2599

Figure 9 shows slightly better visual outcomes in terms of visibility of the structures and spaces after more training with greater amounts of epochs. However, it can be seen that the visual quality optimized after the half of the process and then decreased through the end. **Table 5** shows the number of epochs and loss values for this training. The related loss graphic can be seen on **Figure 10**.

Figure 10: Training losses graphic generated with the algorithm for the outcomes on Figure 10.



Sharply increasing trend of the generator loss value can be seen on the graph in the end of the process which also corresponds to the quality decrease on the visuals. The training experiments with greater amounts

of epochs stopped from this point because of the decrease trend in both visual quality and loss values. After the experiments on training with different number of epochs it is seen that the points in between 2000-3000 epochs was optimal for the generated visuals.

3. DISCUSSION

In this study, the algorithm is trained with the Palladio's plans' load bearing walls and the spaces defined by them without knowing the functions and relations of these elements and spaces. However, the embedded data about forming these spaces is revealed partly on these 2D images which appear to have dark and thick lines which have symmetrical setting and surround the white and perpendicular areas. This data used to transform the microorganism drawings into plan-like visuals. When the outcomes are evaluated, it can be seen that, the model translated the images from the Haeckel's microorganism drawings dataset into the images which follows the forming principles of the visuals from Palladio's plan dataset. The trained model turns the organic curvilinear lines into linear lines as it is learned from Palladio's plans (**Figure 11**). Also, the lighter shades of gray and voids in Haeckel's drawings turned into empty spaces; and darker shades of gray are kept as filled areas or lines. However, if the darker and filled area is big, then the algorithm also turned it into void areas. Because the Palladian plans does not have that big filled areas.

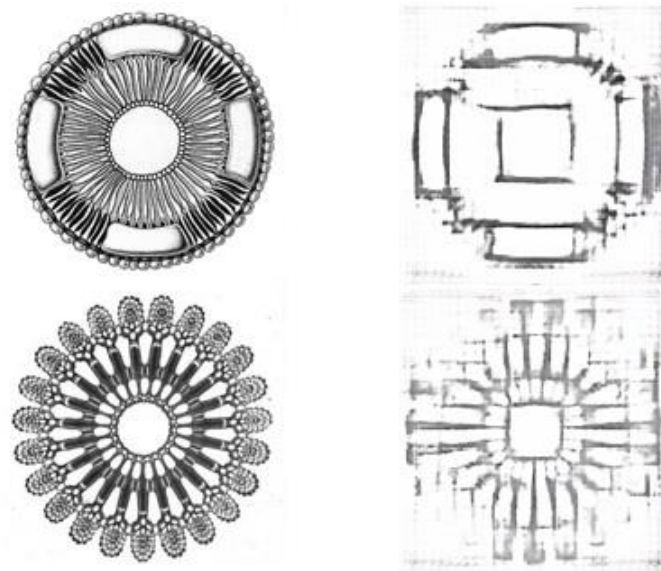


Figure 11: The results of the training with 2100 epochs. Translation from microorganism drawings (on the left) to plan-like visuals (on the right).

The results also showed limited visual quality which was expected due to the constraints of the study such as low quality of the original dataset images, difference of the formations on images in two datasets, limited potentials of unsupervised training as well as limited time and hardware. It is seen that the quality and the quantity of the content of datasets are crucial. Meticulously prepared images with higher resolution and potent expression on 2D give better results in terms of training the CycleGAN model. Pixels size could be increased to get more satisfying visual quality, however then the visual data which needs to be processed will also increase and thus the amount of time for the training will increase and more computer processing power will be needed. Low requirement of labor and time was important for. Therefore 256*256 pixels size is selected because it gives results with good enough resolution for the scope of the study.

From the training with random plans dataset, it can be seen that unclear and faded images which consist of mostly non-symmetrical plans with lighter structures than Palladio's, resulted in unsatisfying outcomes. The difference between Palladio's plans with their potent symmetrical expressions and randomly gathered heterogenous plans without any common style was the reason for that unsuccessful training. Comparison of this training with random plans and the training with Palladian plans dataset showed the importance of introducing decent and proper datasets to the CycleGAN algorithm for training, in terms of visual quality and also coherence in style (**Figure 12**).

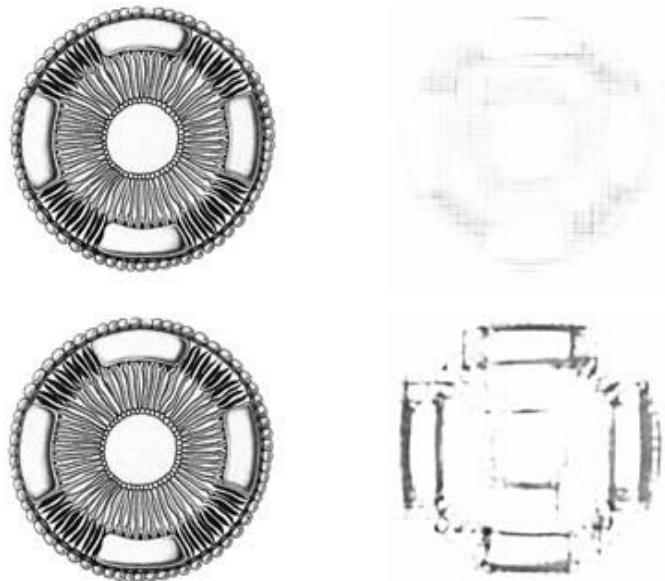


Figure 12: The outcome of the training with random plans above and with Palladio's plans below.

The CycleGAN model does not require the datasets to be paired or labelled, however it requires them to resemble each other. The previous translation works, in example, were between modern interior images and sci-fi interior images, and satellite maps and game maps (Çeliker et al.,2020; Balcı et al.,2020). However, in this study the second dataset was out of field and the only resemblance between the datasets was the rotational symmetry of Haeckel's drawings and the mirror symmetry of Palladian plans. This also explains the translation limits of the visuals. The training repetitions showed some difference on the outcomes, but the model could achieve only these outcomes with the existing data. The loss values also showed this limitation. The model constantly checks the loss values and differs the weights of its functions in order to get better results. However, when the loss values are good enough for the model, then the weights don't change according to values. Instead, the discriminator decides with fifty percent chance whether the image is real or fake. This explains the fluctuations on the loss function graphs.

The low requirement of preliminary labor of CycleGAN is an advantage, especially non-requirement of labelling the images. However, the colorful images can cause some problems. Because similar colors on the images can be identified as the same kind of data by CycleGAN due to not labelling the data. Thus, this misreading can be seen on the outcomes. In the study of Balcı et al. (2020) in example, the algorithm mistakes the areas with similar color as same kind of data and trains the model according to that. Thus, this mistake can be seen on the generated images. In the scope of Balcı et al.'s study, the mistake occurred as reading the water and green areas on the maps as the same kind of data which resulted in interpreting the green areas as water on the visual outcomes and turning the green areas into sea on the generated maps. This specified problem, however, didn't occur in this study. Because the data images kept or translated to grayscale. Furthermore, digitally representing and processing grayscale images are easier and quicker than processing colorful images because of the lower amount of data. Also, only expectation from the generated outcomes in this study was to form filled and void rectangular areas to generate plan-like images. Therefore, checking the translation of different texture was not necessary.

The non-requirement of labelling the images was an advantage in terms of time and labor. However, it also constrained the image translation

abilities of the model. With labelling, training the model on functions and relations of the spaces would be possible. But this training would not be possible with CycleGAN but another network with supervised learning method.

4. CONCLUSION

In this paper, an experimental study has been conducted by translating microorganism drawings into plan-like visuals with a CycleGAN model. The difference of it is that it is a study of image translation of idealized natural forms into architectural spatial organization with a deep learning network. The study is important because it shows the ability to train models with architectural data to perform within the forming principles of that data. This study demonstrates that the trained model can be trusted to generate within the forming principles of the datasets, as long as the forming patterns are decoded properly by the algorithm. Beyond being an example of usage of AI methods in architectural design, the study is also important in terms of generating architectural spatial formation from out of field visuals such as natural forms which have different forming patterns. This can be inspirational and useful for the conceptual design process as well as studying the visual transformations between architecture and out of field areas.

Apart from transformations, this study also shows the potential of an optimization tool. Taking the advantage of a tool to generate many novel architectural visual options which actually follows the established design principles as learned from the dataset can result obtaining optimized results. Moreover, these optimized results will be achieved in a short time. Otherwise manually conducting many options would take a significant amount of time and labor.

Another issue to point out is how will the design practice be affected with the developments in AI field. Moreover, which profession is going to dominate the design practice from now on with the developments in AI field? Architects should own this discussion themselves and be the leading force for these new dynamics. These dynamics will definitely question the established ways of design, research and practice. The researchers should contribute to this phase with many experimental studies which can lead to discoveries and discussions. This study, in example, can stimulate other researchers' minds for examining the

architectural image processing, translation and generation possibilities with different datasets as well as experimenting with different scales other than plans which was the focus on this study.

This study can be developed further by experimenting with different datasets, enriching the current datasets or building a model with a different GAN algorithm. In the scope of this study's datasets, the Palladian plans dataset, in example, can be enriched with other Renaissance architects' works which follows the Palladian principles. Haeckel's drawings, on the other hand, have other possibilities since Haeckel have many other drawings which can form a matching dataset with a façade dataset, in example. After the unsupervised training for this study, a supervised training can be studied next which can let the labelling the spaces on plans according to their functions and training the GAN model with it. Thus, the outcomes of this trained model will form architectural spaces according to their functions. Experimenting on whether the model can decode the patterns of spatial organization according to spatial functions and relations of them can cause more discussions and stimulations.

This study also indicated the importance of the dataset collection part. In order to achieve satisfying outcomes, the model needs to be trained well with suitable datasets. In the scope of AI in architectural design studies, this is the responsibility of the architects and needs to be done carefully in order to achieve proper results. It appears that, in the future, the architects will be using some AI method tools to help them in the design process specially to achieve optimized results. Thus, the responsibility of gathering suitable content for the datasets and specially the selection of "good" designs mostly for the optimization models should be discussed more within the architectural design field. Because there are important questions appear like whose design or which design or design of the which part of the world will be represented and which will be left out.

In conclusion, this study as with the other deep learning studies in architecture field holds many possibilities for the parts that is inclined to automation, experimentation and exploration in the design process. These new possibilities will help architects in their research and practice more and more each day. The possibilities that the AI methods offer can help architect's mind to explore within the creative field as

freely and widely as it can while leaving the computational and automated parts to the computers.

Acknowledgement

This study was developed from a project conducted in Special Topics in Architectural Design: Machine Learning, which is the 2020-2021 Spring Semester course of Istanbul Technical University, Architectural Design Computing graduate program.

References

- ArchDaily. (2017, September 3). Plans. ArchDaily | Broadcasting Architecture Worldwide. <https://www.archdaily.com/tag/plans>
- As, I., Pal, S., & Basu, P. (2018). Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, 16(4), 306–327. <https://doi.org/10.1177/1478077118800982>
- Balcı, O., Terzi, Ş. B., & Balaban, Ö. Çekişmeli Üretici Ağlar (GAN) İle Harita Üretimi ve Manipülasyonu. *Journal of Computational Design*, 1(3), 95-114.
- Çeliker, Y. E., Efendioğlu, G., Balaban, Ö. (2020). Cycle-GAN ile Modern İç Mekânların Bilim Kurgu Ortamları Olarak Yeniden Üretilmesi, *JCoDe: Journal of Computational Design*, 1(3), 71-94
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., ... & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. *Advances in neural information processing systems*, 27.
- Haeckel, E. (2013). *Kunstformen der natur*.
- Isola, P., Zhu, J., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.632>
- Palladio, A. (1965). *The four books of architecture* (Vol. 1). Courier Corporation.
- Uzun, C., Çolakoğlu, M. B., & İnceoğlu, A. (2020). GAN as a generative architectural plan layout tool: A case study for training DCGAN with Palladian Plans and evaluation of DCGAN outputs. *A/ Z ITU Journal of Faculty of Architecture*, 17, 185-198.

- Zhao, C. W., Yang, J., & Li, J. T. (2021). Generation of Hospital Emergency Department Layouts Based on Generative Adversarial Networks. *Journal of Building Engineering*, 102539.
- Zhu, J., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.244>

Proposal of the Stage and Parterre Layout Design with Parametric Shape Grammar for Experimental Theater Stages

Merve Taşdelen¹

ORCID NO: 0000-0002-3588-4104¹

¹ Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

This study aims to reinterpret and diversify the relationship between the audience and performer by creating a tool to produce stage design layouts. The project enabled diversification of the sensory relations between the audience, performer, and stage and provided a wide variety of alternative layouts. It also aims to provide diversity in the design phase to create more alternative stage layouts and possible platform movements using parametric shape grammar. Concerning the parametric shape grammar, a rule-based design model is developed and positioned on the line between analog and digital. The process starts with choosing the stage configurations; each of the three configurations, namely proscenium, thrust, and the arena, has different layout diagrams according to the rules. The rules, spatial relations, and dimensions are investigated by analyzing a well-known experimental theatre, Dee& Charles Wyly Theatre. The spatial relations determine the constraints, and the results gave parametric shape grammars. There are labels for some areas to enable matching functions that are related. The play starts when the first plan layout is chosen, which is created using parametric shape grammar. If the doors are closed, and the audience is in their seats, the parterre platforms movements start by randomly choosing the previously created layouts. The rules are created in the plugin named SortalGI in Grasshopper. The random selection and timer also are enabled in Grasshopper. The article presents a proposed design tool that can be used to gather the data with the sensors. These sensors could store the audience's data in every movement of the parterre platforms with different scenarios. Further studies can elevate by using previously stored data from the audiences. With the movement of the parterre platforms of the auditorium, the layouts will help create various experiences for its audience. In future studies, it is recommended to measure the variety of experiences that movements of the parterre enabled. The latter aims to investigate the effect of the reinterpretation of the space on the audience. Although there are no flexible and experimental theater stages with enough technical equipment to provide these features in Turkey, it can also be considered a proposal for a new theater stage design with increasing interest in recent years.

Received: 11.08.2021

Accepted: 18.03.2022

Corresponding Author:

tasdelenm20@itu.edu.tr

Taşdelen, M. (2022). Proposal of the Stage and Parterre Layout Design with Parametric Shape Grammar for Experimental Theater Stages. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 3(1), 155-176.

<https://doi.org/10.53710/icode.981647>

Keywords: Generative systems, parametric shape grammar, stage design, experimental theater stages, audience experience.

155

Deneysel Tiyatro Sahnelerine Parametrik Biçim Grameri ile Sahne ve Parter Düzeni Önerilmesi

Merve Taşdelen¹

ORCID NO: 0000-0002-3588-4104¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Bu çalışma, parametrik biçim grameri kullanarak tiyatro-parter düzeni oluşturulmasını, izleyici ve sanatçı arasındaki ilişkiyi yeniden yorumlayarak tasarım aşamasında çeşitliliği sağlamayı ve performans sırasında oluşturulan oditoryum düzenlerinin hareket akışı ile birlikte seyirciye her defasında yeniden yorumlayacağı bir deneyimin belirmesini planlamıştır. İlerleyen çalışmalarda ise fiziksel değişimin yaratacağı deneyim çeşitliliğinin sunulan yöntemlerle ölçülerek, mekânın yeniden yorumlanmasının izleyici üzerindeki etkisinin araştırılması önerilmektedir. İlk olarak parametrik biçim grameri sayesinde kural tabanlı bir tasarım modeli geliştirilmiş analog ile dijital arasındaki çizgide konumlanıp, sahne tasarımlarında çeşitliliğin arttırılmasını hedeflenmiştir. Seyir deneyimi ile sahne tasarımı arasındaki biçimsel ilişkilerin ve deneyim çeşitliliğinin analiz edilmesini, üretilen alternatif düzenlerin, tek bir salonun çok çeşitli kullanılmasını sağlayarak çeşitli düzenlerin belirmesine de olanak sağlamaktadır. Beden ve mekân ilişkisinin her düzende yeniden oluşturulduğu, farklı senaryolarla verinin parter platformlarının hareketinde karşılık bulacağı bir tasarım aracı önerilmektedir. Türkiye’de bu özellikleri sağlayacak kadar teknik donanıma sahip esnek ve deneysel sahneler bulunmasa da son yıllarda artan ilgiyle birlikte yeni bir tiyatro sahnesi tasarımı için önerilebilecek bir tasarım aracı olarak da değerlendirilebilir.

Teslim Tarihi: 11.08.2021

Kabul Tarihi: 18.03.2022

Sorumlu Yazar:

tasdelenm20@itu.edu.tr

Taşdelen, M. (2022). Deneysel Tiyatro Sahnelerine Parametrik Biçim Grameri ile Sahne ve Parter Düzeni Önerilmesi. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 155-176.

<https://doi.org/10.53710/icode.981647>

Anahtar Kelimeler: Parametrik biçim grameri, üretken sistemler, sahne tasarımı, deneysel sahne, izleyici deneyimi.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

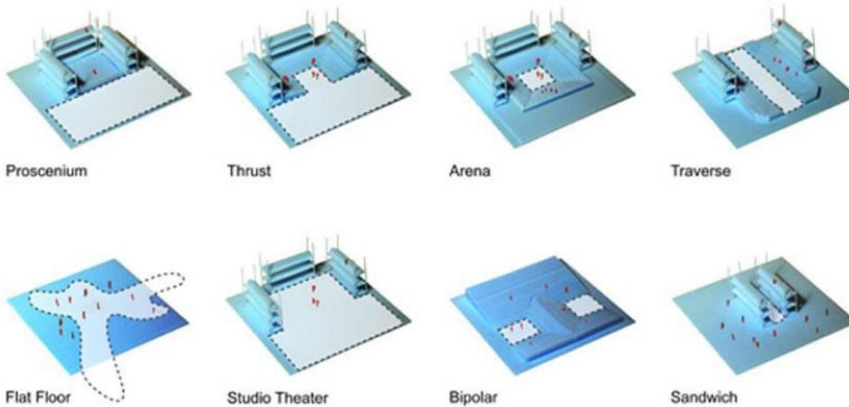
Mimarlık, kullanıcı ve mekân arasında etkileşim sonucunda beliren ve her seferinde yeniden yorumlanan bağlar kuran bir tasarım alanıdır. Bu bağın nitelendirilmesinde şüphesiz ki kullanıcının payı, yaşadıkları, görüşü, o anki düşünsel durumu ne kadar önemliyse; tasarımcının da fiziksel unsurlar kullanarak oluşturmak istediği algı o kadar önemlidir. Kullanıcının bu süreç içerisinde deneyiminin derinleştirilmesi bu bağın deney anında tekrar tekrar oluşturulması, sürekli değişmesi ve aynı zamanda mekânın yeniden yorumlanmasını sağlayacaktır. Edimsel kavramının, mimariye entegre oluşunun da özneliğin mekâna dahil olması ve performans sırasında yerin kendisinin bu sürece katılmasıyla gerçekleştiği belirtilir (Smitheram,2011). Böylece değişen şartlara adapte olarak, ona göre alternatifler sunan, belirlenen kurallar çerçevesinde izleyici ile birlikte mekânın da sürece dahil olduğu gözlemlenebilir. Nitekim sergilenen sanatın, monoton bir düzen sisteminden çıkarak izleyicisine ve sanatçısına deneyim çeşitliliği sağlaması beklenmektedir. Mekânsal anlamda ise yeni bir form ve yeni üretim biçimleri ortaya çıkararak, bu deneyimi bir üst seviyeye taşımaya çalışması 1950'lerin sonundan beri süre gelmektedir (Bengü, 2019). Geliştirilecek kural tabanlı tasarım modelinin alternatif sahne-parter düzenleri tasarlayan bir tasarım aracı olarak işlemesi, parametrik biçim gramerleri kullanarak bunu üretken sistemler çerçevesinde ele alması beklenmektedir. Parametrelerle belirlenen kural setlerine adapte olan deneysel, esnek ve uyarlanabilir; Kara Kutu Sahne gereksinimlerinden uzaklaşmayan bir tasarım aracının üretilmesi hedeflenmektedir. Sanatçı-izleyici ilişkisini temel alan ve performansa göre değişen, performans içerisinde hareketli parter düzenleri üreten bir araç ile geleneksel tiyatro sahnelerindeki döşemelerin hareketsiz olduğu sisteme alternatif bir yaklaşım önerilmektedir.

2. DENEYSEL SAHNELER VE SAHNE TEKNOLOJİLERİ (EXPERIMENTAL STAGES AND STAGE TECHNOLOGIES)

Performans alanları, sanatını icra eden sanatçı ve o performansa tanıklık etmeye gelen seyirci ile tanımlanan mekanlardır. Deneysel Sahne ya da Kara Kutu Sahneler, deneysel, esnek ve uyarlanabilir olması; sanatçı ve izleyicinin keskin bir sınırlarla ayrılmadığı ve bu ilişkinin çeşitli şekillerde kurulması sebebiyle esnek olan sahnelerdir (Özel, 2017). Temsil mekânında bulunan sanatçı ve seyirci arasında mekânda algısal farklılık yaratıp bu ilişkiyi yeniden tanımlamak için; uzaklık ve yakınlık ilişkisi,

seviye farkı, sahne düzeninin değişmesi gibi etmenler kullanılabilir. Örneğin, Mesut Arslan'ın *Betrayal* oyununda sahnedeki şeffaf duvarların, oyun sırasında hareket etmesiyle icracı ve seyirci arasındaki ilişki sürekli yeniden tanımlanır (wpZimmer, 2019).

Sanatçı-seyirci ilişkisini oyun sırasında veya oyuna özel yeniden tanımlamayan, döşemenin hareketli olduğu ve hem döşemenin hem de tavanın hareketli olduğu örneklere rastlanır. Önerilen tasarım modelinin motivasyon kaynağı olarak sayılan ve aynı zamanda ilk hareketli sahne önerisi olarak kabul edilen, "Podienklavier" 1958'de Düsseldorf Tiyatrosu Yarışması'na giren Werner Ruhnau'nun önermiş olduğu esnek sahne sistemidir. Çeşitli topografya sistemlerinin oluşturulabildiği bu tasarımla Ruhnau, tiyatronun geleceğinin mekânın içinde oynanan oyunla değil, mekanla birlikte olacağını ve bunun içinde esnek bir mimariye ihtiyaç duyulacağını savunur (Lehmann-Kopp, 2007). Önerilen tasarım sisteminin motivasyon kaynağı bu noktadan gelmektedir, artık izleyicinin oyunun bir parçası olma hevesi giderek artmış izleyici silinen sahne çizgisini geride bırakmaya başlamıştır.



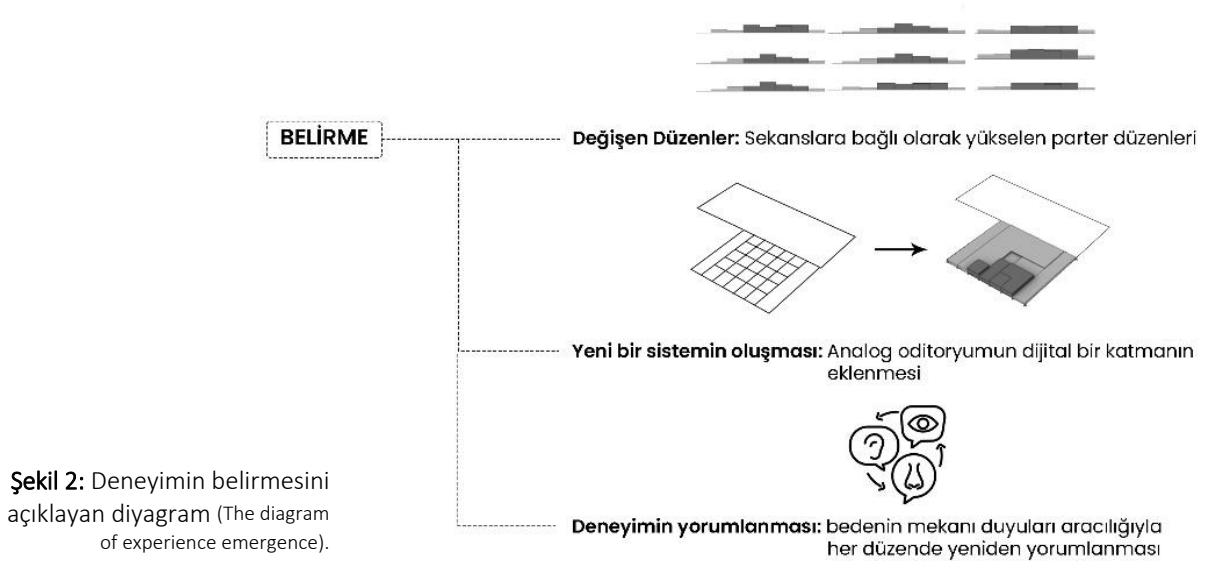
Şekil 1: Dee&Charles Wyly Tiyatrosu Esnek Sahne kullanımını gösteren görsel (The schema of the Dee&Charles Wyly Theatre flexible usage) (AT&T Performing Arts Center Dee + Charles Wyly Theater - Project, 2013).

Daha yakın zaman örneklerine bakıldığında, Dee&Charles Wyly Tiyatrosu'ndan bahsetmek gereklidir, OMA ve REX iş birliğiyle yapılan bu tiyatro sahnesinde, gelişen teknoloji ile birlikte, istenen parter-sahne ilişkisinin çok daha hızlı ve efektif bir şekilde yapıldığını, üstelik sanatçı-

izleyici-alan arasındaki ilişkinin **Şekil 1**'de görüldüğü gibi tekrar tekrar tanımlanabildiği görülmektedir (Özel, 2017). 600 kişilik seyirci kapasitesi ve hem sahnesinin hem de parterlerin esnek kullanımıyla bu çalışmada deneysel sahneler içerisinde bu teknolojiyi kullanarak bir sahne tasarımına gidildiği, hem de mekanların ilişkileri ve büyüklükleri açısından optimum bir ilişki içerdiğinden mekânsal büyüklükleri tanımlamak için altlık olarak kullanılacaktır. Tanımlı birimlerin hareketli olması sebebiyle birçok sahne çeşidine olanak sağlamasıyla tiyatro makinesi olarak adlandırılan bu örnek sahne-seyirci ilişkisini performansa bağlı olarak yeniden yorumlamasına olanak sağlar (AT&T Performing Arts Center Dee + Charles Wyly Theater- Project, 2013).

3. DİJİTAL TEKNOLOJİLER VE DENEYİM (DIGITAL TECHNOLOGIES AND EXPERIENCE)

Tek bir basit döşemenin hareketsiz olduğu ve parter düzenin değişmediği sahne platformlarından hareketli oditoryum düzenlerinin oluşturulmasıyla daha karmaşık ve sanat ürünü haline dönüşmüş bir performans alanı tasarlanması planlanmaktadır. Proje kapsamında rastgele oluşturulan farklı parter şemalarına ek olarak, analog sistemin dijitale dönüşümü de yeni bir sistemin oluşmasına olanak sağlar. Buna ek olarak mekâna dijital bir katmanın eklenmesiyle deneyimin karmaşıklaşarak, oyun sırasında her bir değişimle yeniden yorumlanması bir diğer öge olarak ele alınmaktadır.



3.1 Dijital Teknolojiler ve Beden-Mekân Deneyimi (Digital Technologies and Experience of the Body and Space)

Beden ve mekân ilişkisi bedenin mekânı duyuları aracılığıyla deneyimlemesiyle başlayan bir süreçtir. Deneyim sürecinde birey hem kendine hem de mekâna yeni anlayışlar kazandırır, kendi mekânsal algısını yaratır (Ucay, 2019). Mekân deneyiminin ölçülmesi, kullanıcısının anlamlandırması ve algılaması ile senkronize ve birbirini besleyen bir süreçtir. Mekân ile kişisel bir bağ kurması için; Altman ve Low'a(1992) göre algısal, davranışsal ve duygusal olmak üzere 3 başlık bulunmaktadır. Bunlar kullanılarak bir mekânı farklı katmanlarda algılamak mümkündür. Form ile birlikte kullanıcı geometriyi ve organizasyonu genel olarak algılar, mekânın fonksiyonu ile birlikte davranışsal olarak bir algı süreci başlatır, mekâna yüklediği anlamla birlikte ise duygusal bir anlam katarak mekânı bütüncül bir şekilde algılar. (Güzelkahraman, 2019) Proje kapsamında, önerilen hareketli oturma düzenlerinin her değişimi, seyirciye performans sırasında mekânsal algısını yeniden oluşturacağı bir fırsat sunmaktadır. Fiziksel hareket sonucunda, seyircinin bir önceki düzenden farklı bir deneyim oluşturması ön görülmektedir. Bu deneyimin objektif ve sübjektif çıktılarının ölçülmesi, bu çıktılarının da proje kapsamında sunulması planlanmaktadır.

Mekân deneyimi üzerinde yoğunlaşıp, çeşitli teknolojiler kullanarak bu deneyimi somut verilere döken örneklere bakıldığında çeşitli cihazlar kullanıldığı, kullanıcısında o zamandaki değişimlerinin ölçüldüğü görülmektedir. Beliren ve değişen deneyimin ölçülmesi için beden-algı ve deneyim üçgeninde konumlanmış bir proje olan Strata'da (2017) olduğu gibi kullanıcının oluşturduğu veriler sensor yardımıyla ölçülebilir. Bu cihazlarla beyin dalgalarını EEG ile stres seviyelerini GSR (Galvanic Skin Response), kalp atış hızı ve nefes almayı vücuda temas eden alıcılar yardımıyla ölçülmesi önerilmektedir (The Mill: STRATA, n.d.). Bunlara ek olarak 2019 yılında bitirilmiş In'in isimli yüksek lisans tezinde kullanıcının sanal gerçeklik ortamında deneyimini somut bir ortama taşımak için, kullanıcıların akıllı bileklikleri ile uyumlu bir uygulama yazılıp, bu uygulama sayesinde kullanıcıyı kalp atış hızı gibi verilerinin çekilip değerlendirilmesi önerilmektedir (Ucay, 2019). Toplanan farklı verilerin, hareket anındaki etkilerinin derlenip, somut bir çıktı elde edilmesi önerilmektedir.

4. PARAMETRİK BİÇİM GRAMERİ YÖNTEMİNİN SAHNE TASARIMINA UYGULANMA AŞAMALARI (THE PROCESS OF IMPLEMENTING PARAMETRIC SHAPE GRAMMAR FOR THE STAGE DESIGN)

Biçim grameri, 1970'li yılların başında George Stiny ve James Gips (1972) tarafından literatüre kazandırılmış ve tasarım dillerini analiz etme ve yaratma yolu olarak tanıtılmıştır. Parametrik biçim grameri, biçim kurallarının şema üzerinden tanımlanarak bu kurullarla işleyen bir üretken sistemdir. Bu biçim grameri sistemi kullanılarak literatüre kazandırılmış olan Queen Anne Evleri (Flemming, 1987) ve geleneksel Türk evleri (Çağdaş, 1996) gibi; sahne tasarımı alanında analiz ve üretim işlemlerinin sonucunda aşamaların açıklanarak literatüre kazandırılması önerilmektedir. Bu proje kapsamında belirlenen kural setleriyle parametrik bir biçim grameri ortaya konulmuştur. Mekâna yerleştirilecek tasarım elemanları dağarcığı oluşturulmuş, belirli bir önem sırası gözetilmiştir. Burada plan tipini belirleyen en önemli mekân sahnedir, üretim süreci sahnenin yerleştirilmesiyle başlayıp daha sonra diğer mekanların eklenmesi ile devam etmiştir. Tasarım elemanları ile biçim grameri arasındaki mekânsal ilişki kural setleri ile tanımlanmıştır. Daha sonra benzer elemanlar içerisinde de önem sırası belirlenmiş olup, buna göre kural sıraları gözden geçirilmiştir. Sahnenin şekli, büyüklüğü ve yeri tanımlandıktan sonra, kural setinden bir sonraki kural uygulanmıştır. Bu kurallara örnek olarak, sahne yönünün belirlenmesi, kulis tipinin ve yerinin belirlenmesi, acil çıkışlara göre gerekli hollerin tanımlanması, sahne ile kulis arasındaki akışı sağlayacak ilişkinin kurulması, parter sayısını belirlenmesi ve sahnenin yüksekliğine karar verilmesi gibi koşullar gösterilebilir.

Başlangıç olarak tek bir performans çeşidi üzerinden tanımlanan kurullarla düzenin oluşturulması öngörülmüştür. Seçilen performansa göre bazı sınırlamaların konulması gerektiğinden de bahsetmek gereklidir, örneğin dans performansı sırasında sahnenin belli kısımlarının hareketli olması dansçıyı zora sokabileceği gibi, tehlikeli olabileceği de göz önünde bulundurularak performans sırasında sahnenin hareketi göz ardı edilecek ve parter düzeninin hareketli olması önerilecektir. İkinci kısımda da bahsedilen deneysel sahne düzenleri belirli kurallara çevrilmiş, seyirci-izleyici deneyimini çeşitlendirmek için kendi kurallarını oluşturmuştur. Geliştirilen sistem için belirlenen

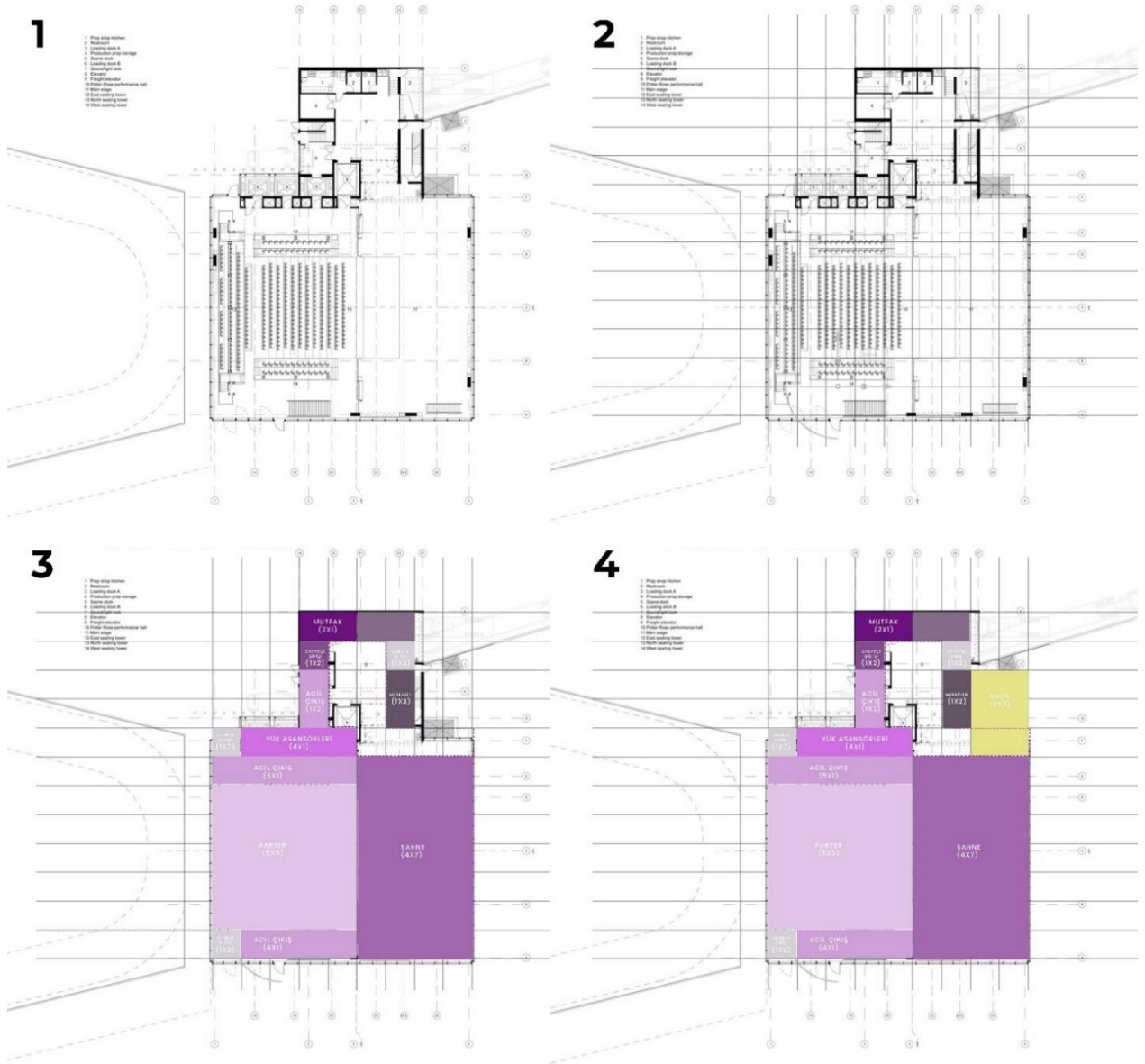
performans seçilip sanatçılarının giriş çıkış düzenleri incelenmiş, belirlenen sahnelerde ilk kuraldan başlayarak farklı parter düzenleri öneren bir tasarım aracı tasarlanmıştır. Bu tasarım sistemiyle performans esnasında kurallar çerçevesinde önceden düzenlenmiş platformların hareketiyle, oyun esnasında değişen hareketli bir parter sistemi geliştirilmiştir.

4.1 Örnek Projenin Plan Elemanlarının Tanımlanması Mekânsal İlişkilerinin ve Boyutlarının İrdelenmesi (Analyze of the Sample Project Floor Plan to Investigate Spatial Relations and Dimension)

Çalışmanın başlangıç aşamasında hiyerarşik ilişkilerin kurulup, tasarım sözlüğünün oluşturulması amacıyla, hareketli oturma alanlarına sahip Charles&Dee Tiyatro'su seçilmiştir. Sahnelenen oyuna göre, performans başlamadan önce değiştirilen oturma düzenine sahip olan projenin düzeni, çalışma alanı oluşturulması açısından incelenmiş, parter kotu planı üzerinden irdelenen ilişkilerin yardımıyla; kuralların oluşturulması ve akışın doğru kurulabilmesi için mekânsal ilişkilerin ve boyutların incelenmesini önerilmiştir. Plan elemanlarının tanımlanmasıyla başlayan inceleme sonucunda, aşağıdaki elemanların eklenmesine karar verilmiştir:

- Sahne
- Parter
- Kulis
- Sirkülasyon alanları (holler, merdiven...)
- Acil çıkış
- Teknik birim
- Yük Asansörü
- Depo
- Sanatçı girişi
- Seyirci girişi
- Mutfak

Şekil 3'de ilk aşamada planın alınıp, ızgara sisteme oturtulması ve böylece mekanların işlevlerine göre ayrılması gösterilmektedir. Daha sonra ızgara sistem üzerinde işlevlerine göre boyutları incelenen birimlere karar verilmiştir. Farklı renklerle temsil edilen işlevsel birimler, kural setleri oluşturulurken sırayla eklenerek adım sayısını oluşturacaktır. Son aşamada sarı ile gösterilen kısım normalde o kotta bulunmayan kulisi temsil eder. Bütün işlevlerin tek bir kotta tasarlanması önerileceğinden plana ekstra kulis eklenmiştir.



Şekil 3: Dee&Charles Wylie Tiyatrosu Sahne Planı üzerinden mekansal ilişkilerin ve boyutların incelenmesi. (Identification of Dee&Charles Wylie Theatre floor plan to investigate spatial relations and dimension).

4.2 Kurallar Setlerinin Belirlenmesi (Determination of the Shape Rules)

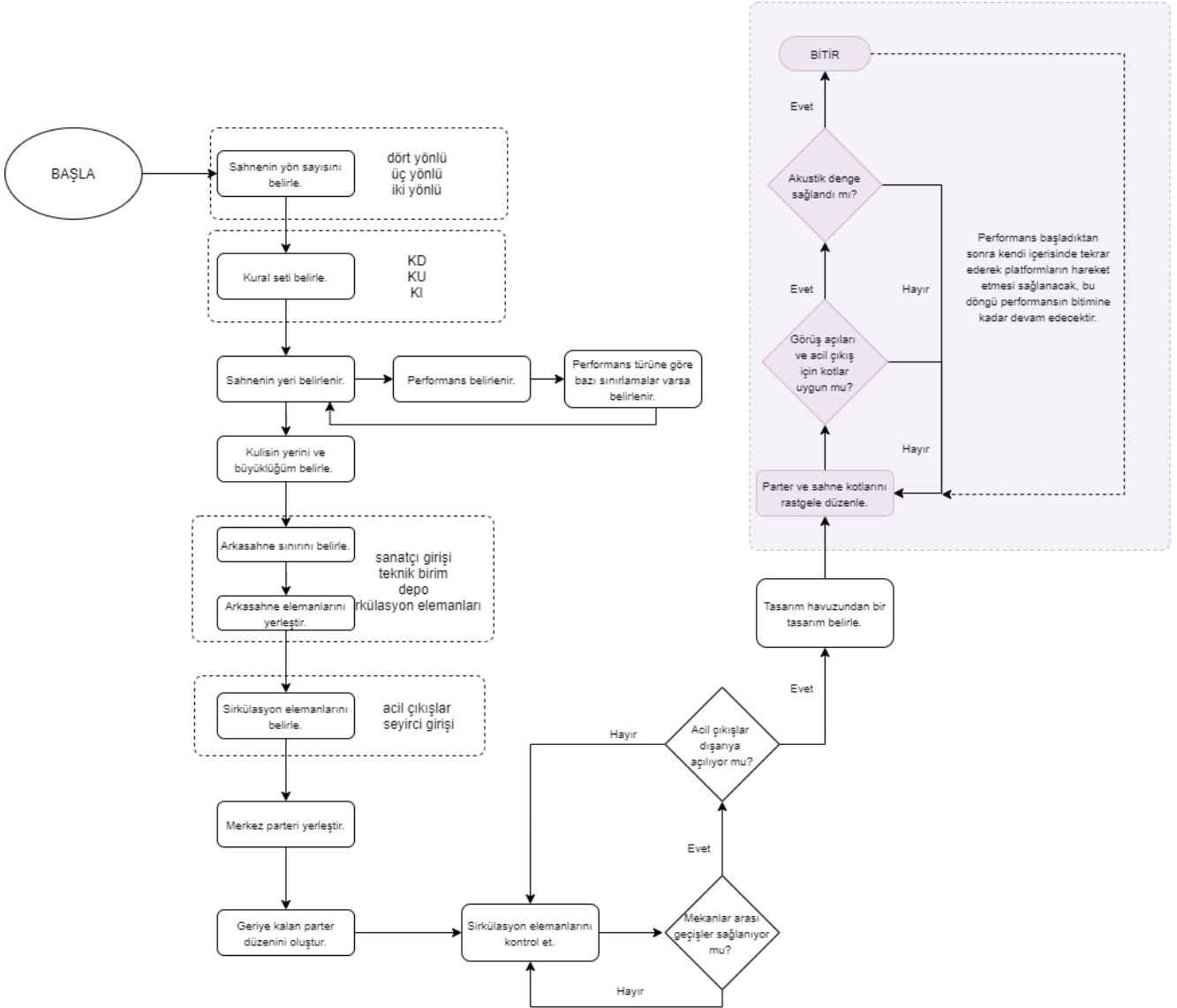
Kuralların belirlenmesi aşamasında en önemli öge olan, sahnenin yön sayısının belirtilmesiyle başlanacaktır; **Şekil 4**'te bütün sistemin çalışma prensibini anlatan bir akış şeması gösterilmektedir. Kural setleri şöyle sınıflandırılabilir:

- **Kural Seti 1:** Sahne yönü belirleme
 - Dört yönlü (KD)
 - Üç yönlü (KU)
 - İki yönlü (KI)

- **Kural Seti 2:** Kulisin yerinin ve boyutunun belirlenmesi
 - Sahne ile kulis arasında doğrudan bir bağlantı kurulması gereklidir. Bu aşamada ek olarak sahne arkasının da dış çizgisi çizilir.
- **Kural Seti 3:** Sahne ile doğrudan bağlantılı yük asansörünün yerleştirilmesi
 - Yük asansörünün eklenmesi gereklidir. Direkt sahne ve dışarı ile ilişkili olacağından kulisten geriye kalan yere yerleşecektir.
- **Kural Seti 4:** Parterin dış hatlarının çizdirilmesi ve yönüne karar verilmesi
- **Kural Seti 5:** Acil çıkışların ve hollerinin belirlenmesi
 - Parterin ve dış cephenin çizgileri çizdirildikten sonra acil çıkış hollerinin belirlenmesi gereklidir.
- **Kural Seti 6:** Sahne arkasının birimlerini yerleştirilmesi
- **Kural Seti 7:** Merkez parterin yerleştirilmesi
- **Kural Seti 8:** Genel parter düzenin oluşturulması
 - Bu aşamadan itibaren bir adet parter yönü seçilerek onun üzerinden plan üretimine başlanılmıştır.

Bütün bu setlerin bitişinin ardından sirkülasyonun akışı kontrol edilmiştir. Mekanlar arasında geçişin, acil çıkışların dışarıya açılması tamamlandıktan sonra tasarım havuzundaki planlar görüş açıları, acil çıkışlar ve akustik denge gibi konularda kontrol edilip performans başladığında uygulanacak olan ilk düzen belirlenir. Daha sonra performansın uzunluğuna göre oluşturulan sahne düzenlerinin değişme süreleri hesaplanır, süre sonunda havuzdan rastgele başka bir düzen seçilerek **Şekil 4**'te diktörtgen içine alınmış olan son kısım performans süresince döngü içinde çalışmaya devam eder.

Sahnenin yönünün belirlenmesi aşaması Kural Seti 1 olarak **Şekil 4**'te tanımlanmaktadır. **Şekil 5**'te detaylı gösterilen ikinci kurala baktığımızda dört yönlü sahne seçilerek başlatılan tasarım sürecini KD kural seti temsil ederken, üç yönlü sahneyi KU kural seti, iki yönlü sahneyi ise KI kural seti temsil edecektir. Bu çalışmada üretilen plan şemaları iki yönlü sahne kabulünün yapılmasıyla başlamaktadır. Parterin yerleştirilmesi için tiyatro sahnelerinde kabul olarak nitelendirebileceğimiz uzun kenarın seçimi gözetilecektir.

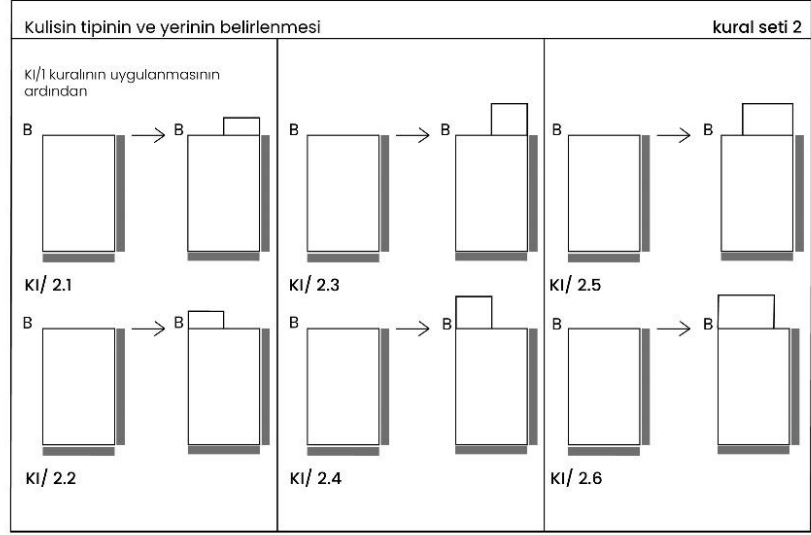


Şekil 4: Sistemin işleyişini açıklayan akış diyagramı (Flowchart of the process).

Bir sonraki aşamada sahne ile doğrudan ilişkili elemanlara geçileceğinden öncelik olarak kulis seçilmiştir. Mekânsal büyüklük açısından üç farklı kulis tanımlanmış olup, bu kulislerin yerlerinin değiştiği kural şeması 2.set olarak KI/2 olarak adlandırılmıştır. **Şekil 6**'da görüldüğü üzere bu kural şemasında ise 6 adet kural bulunmaktadır.

KI/2.4 kuralının seçildiği varsayılarak, kulisin eklenmesinin ardından sıra sahne ile ilişkili elemanlarının eklenmesine geçer. KI/3 olarak adlandırılan kural setinde yük asansörünün eklenme olasılıkları

parterlerin de birbiriyle ilişkili olması gerektiği unutulmamalı, yan yana geldiklerinde kot farklılıkları oluşturup birbirini engellemeyeceği durumlar sağlanmalıdır.



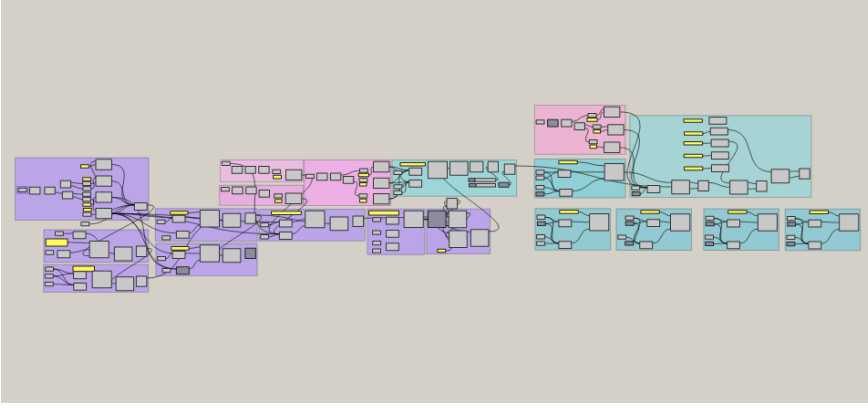
Şekil 6: Oluşturulan Kural Seti 2
(The combinations of Rule 2).

4.3 Mekânsal İlişkilerin ve Sahne Tasarımının Getirdiği Kısıtlamalar (Constraints of Spatial Relations and Stage Design Necessity)

Kural setleri oluşturulurken, çeşitli etiketlerle kısıtlamalar getirilmek durumunda kalmıştır. Bunun sebebi mekânsal hiyerarşi kaynaklı olabileceği gibi, bazı işlevlerin birlikte işlemesi, ya da mekânsal olarak bulunması gereken yer performansa bağlı olarak önceden belirlenmiş olması da olabilir. Örneğin sahne arkası, sahne ve sahne önü gibi bölgesel kısıtlamalar olabileceği gibi, acil çıkışların ya da yük asansörlerinin dışarıya açılma zorunluluğu olabilir. Sahne arkasındaki elemanların ikinci kural seti belirlendikten sonra bulunabileceği bölge belli olduğundan özellikle ilk aşamalarda sahne tasarımı oluşturulurken çeşit sayısı kısıtlı kalmış, parterlerin eklenmesiyle çeşitlilik arttırılmıştır.

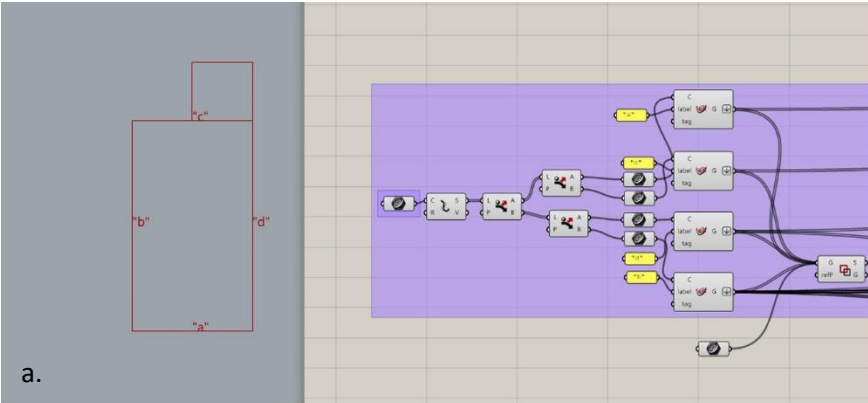
4.4 Modelin Oluşturulması (Generation of the Model)

Kurallar oluşturulduktan sonra model aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada Rhinoceros uygulaması içerisinde biçim grameri yorumlayıcısı SortalGI eklentisi kullanılmıştır (Stouffs & Dy, 2018). Bu eklentinin kullanılmasını sebebi, ayrıntılı kuralların oluşturulmasına olanak sağlaması, detaylı ara yüzü ve güncel olması ve Rhinoceros programı ile birlikte çalışabilmesidir.

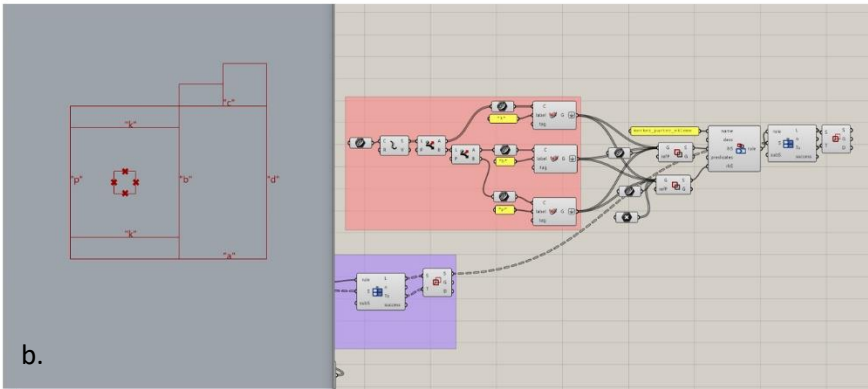


Şekil 7: SortalGI eklentisinde oluşturulan kurallar gözükmetedir (The diagram of the rules that created in the SortalGI plugin).

Şekil 7’de mor gruplar başlangıç şekillerini ve ilk kuralları, pembe gruplar kuralların doğru işleyebilmesi için eklenen etiketleri içermektedir. Mavi gruplar ise ana tasarım oluşturulduktan sonra, dış parter çizgisi içerisinde konulan birimler için oluşturulan kuralların oluşumu ve uygulanmasını göstermektedir.



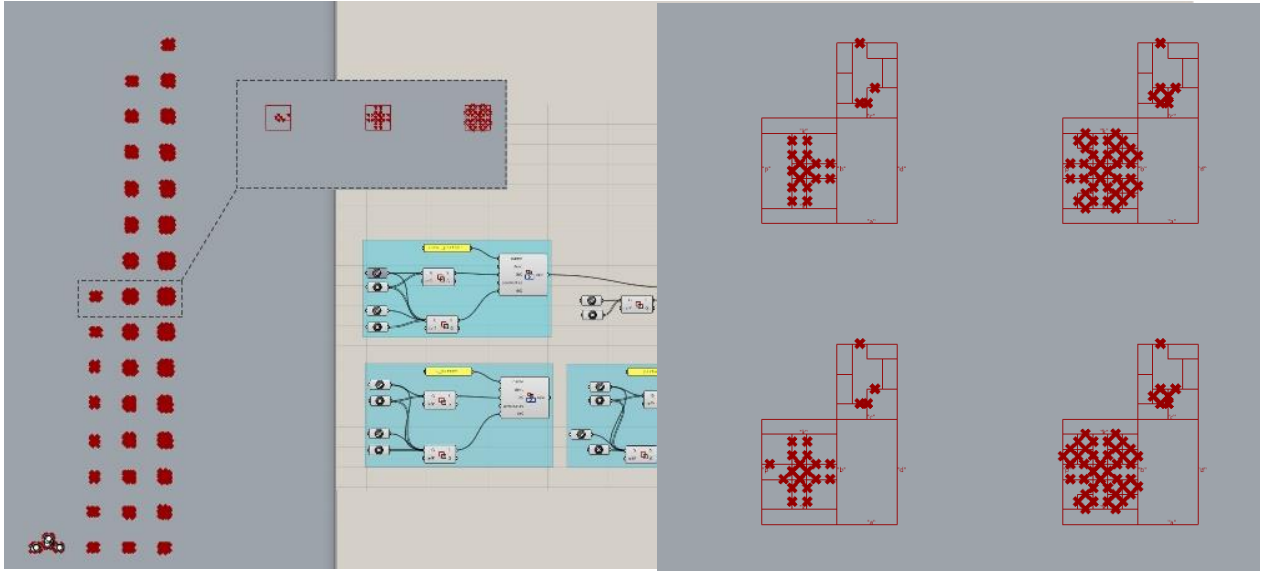
a.



b.

Şekil 8: a & b: Etiket kullanımını gösteren görseller (The figures for the usage of the labels).

Başlangıç aşaması olan sahnenin yön sayısının belirlendikten sonra oditoryum yönü belirlenmiş olacak, böylece parter, sahne arkası ve teknik birimlerin geleceği yüzeyin etiketi de karar verilmiş olmaktadır. **Şekil 8a**'da iki yönlü sahne seçildiğinden tek bir tarafa parter ekleneceği bilinmektedir, kısa kenar olan "a" ve "c" ayrıtlarından biri arka sahne olarak işleyecektir. **Şekil 8b**'de ise acil çıkışların belirlenmesinin ardından ilk merkez parterin yerleştirilmesi görülmektedir. Merkez parterin yerleştirilmesi ve diğer parterlerin dizimi sırasında "p" "k" "b" ve "k" etiketleri arasındaki dikdörtgenin içine yerleşecekleri yandaki nodüllerle tanımlandığı görülmektedir.



Şekil 9: Rhinoceros içinde SortalGI kullanarak parter düzeninin oluşturulma aşaması ve kural nodülleri (Rule nodules and parterre design process by using plugin SortalGI in Rhinoceros.)

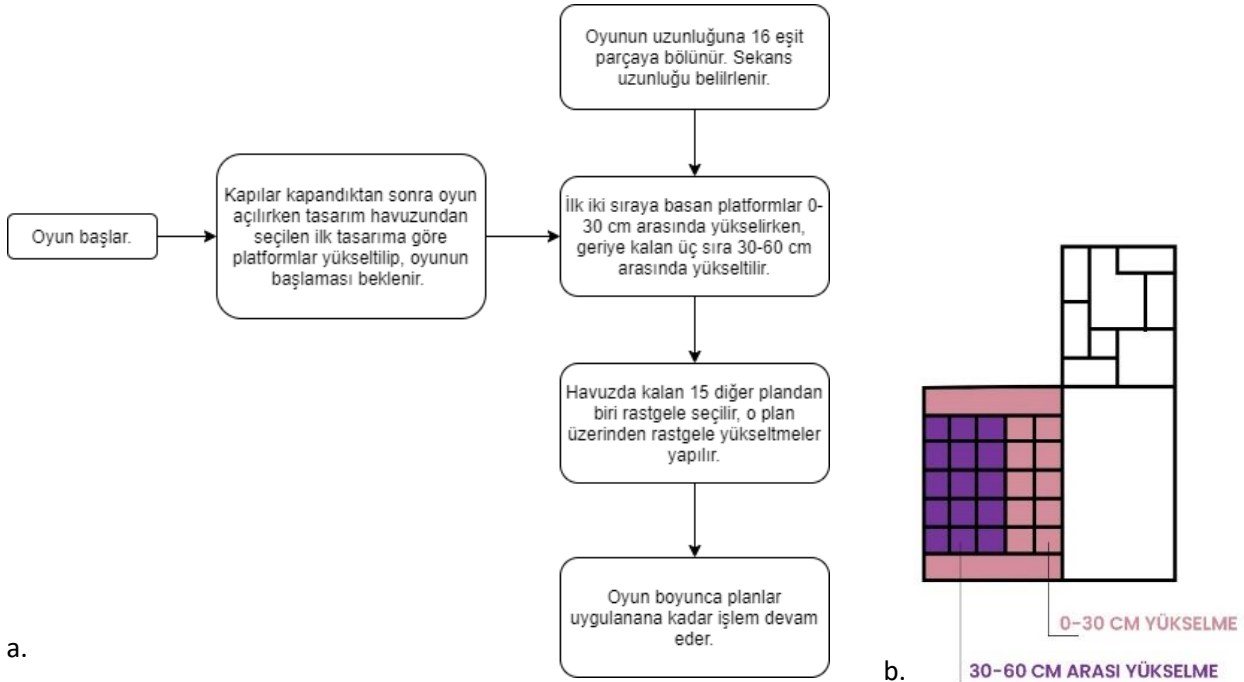
Parter oluşumu, ayrılan alan içerisinde merkeze bir parter yerleştirilmesiyle başlar. Daha sonra tanımlanan beş adet kuralın rastlantısal olarak uygulanmasıyla devam eder. Yarım birimlik noktaların tanımlanmasıyla birlikte, örneğin 1 birimlik parter elemanının 4 noktası tanımlanır, 2 birimlik elemanın 3 noktası ve 3 birimlik parter elemanının 6 noktası tanımlanır. Devam eden süreçte tanımlanan noktaların eşleşmesi süreciyle parter elemanları dizilir. Kuralların eklenmesiyle oluşturulan parter örneklerinden ikisi bir önceki adımıyla **Şekil 9**'da görülmektedir.

4.5 Oluşturulan Sahne Tasarımlarının Rastgele Yükselme Durumları (The possible situations of the Stage Elevation Layouts)

Oluşturulan sahne-parter tasarımlarının performans sırasında tehlike yaratmayacak şekilde değiştirilmesi öngörülmektedir. Sahne tasarımlarının geldiği noktaya bakıldığında otomatik sistemlerle kontrol edilen platformların, bu noktaya kadar getirilen çalışmaya göre rastgele hareket ettirilmesi önerilmektedir. İlerleyen çalışmalarda performanstan belirlenecek veriler çekilerek platformların hareketlerinin performansa dayandırılması önerilmektedir.

Çalışmanın bu aşaması için Şekil 10a'da de görülen bir akış izlenmektedir. En son oluşturulan sahne tasarımlarının bir havuzda toplanıp başlangıç tasarımı olarak bir önerinin seçilmesiyle başlaması önerilmektedir. Performans başlamadan önce sahne ve parter elemanlarının hemzemin olarak başlaması, seyircilerin yerlerini alıp; performansın başlamasıyla birlikte oyunun uzunluğuna göre oluşturulan farklı sekanslarda parter platformları hareket ederek seyirciye farklı bir deneyim yaşatması önerilmektedir.

Şekil 10: a: Parter platformlarının hareketlerini gösteren akış şeması. **b:** Son kural aşamasında oluşabilecek parter düzenlerinden birinin yükseklik temsili (a: The flowchart of the rules for movements of the parterre platforms. b: The possible elevation diagram that is created according to the last shape grammar application.)

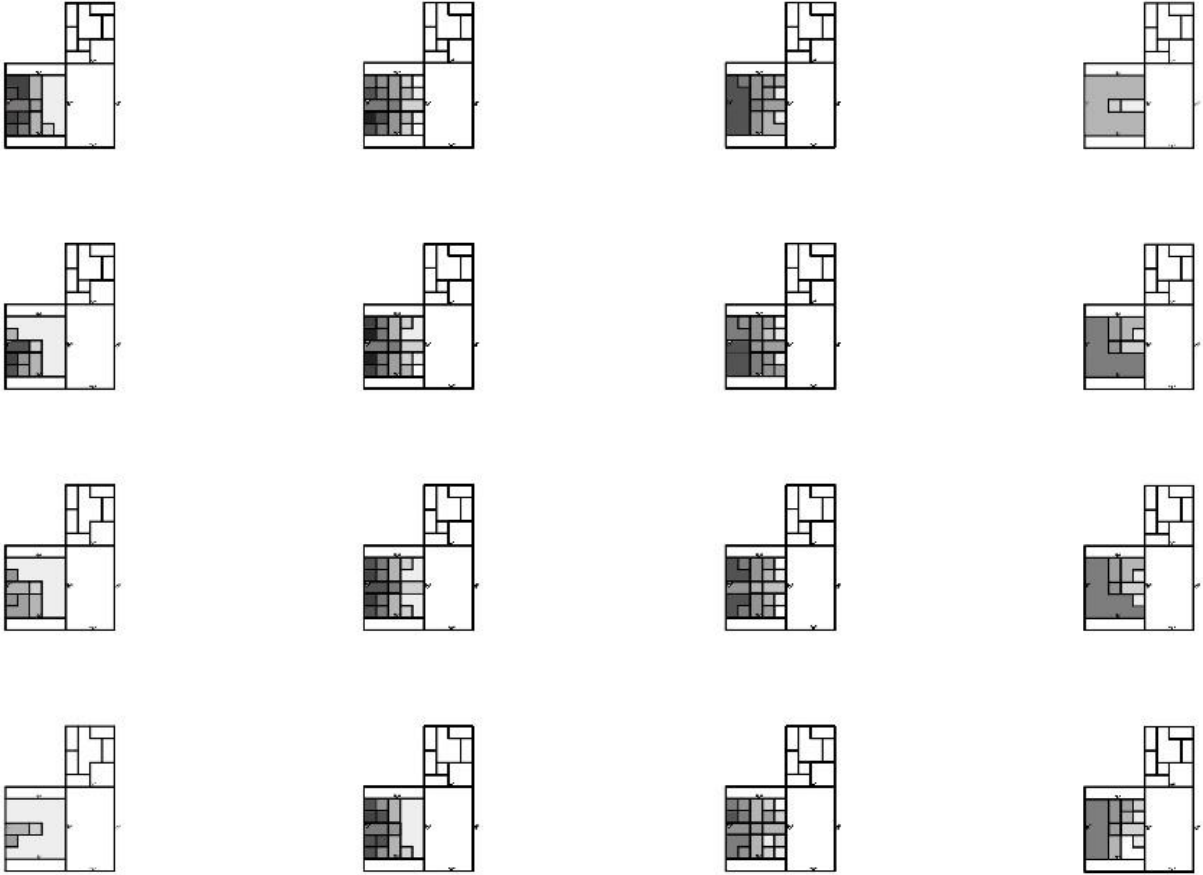


Şekil 10b'de son kural seti sonucunda elde edilen parter düzenlerinin temsili görülmektedir. Son aşamada 16 farklı düzen elde edilmiştir, yeni bir kural eklenerek ya da var olan kurallar birden çok kullanılarak farklı

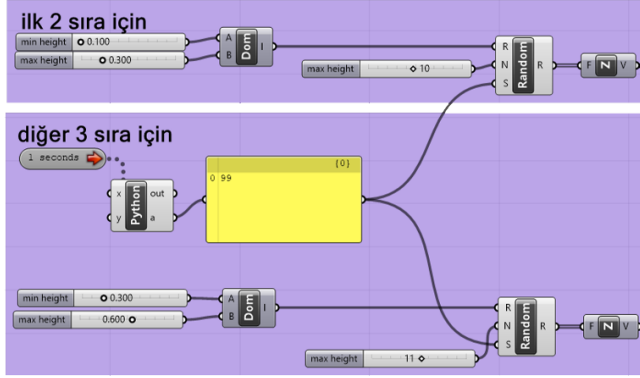
düzenler elde edilebilir. Bir parter düzeninin komşuluk ilişkilerindeki bakış açıları ve acil çıkışı engellemeyeceği gibi kısıtlamaların kontrolü ile birkaç versiyonu yapılabilmektedir.

Şekil 11: Grasshopper içerisinde oluşturulmuş rastlantısal yükselme ve platform seçimini anlatan şema (The diagram of the possible elevations and platform movements that are created by using Grasshopper).

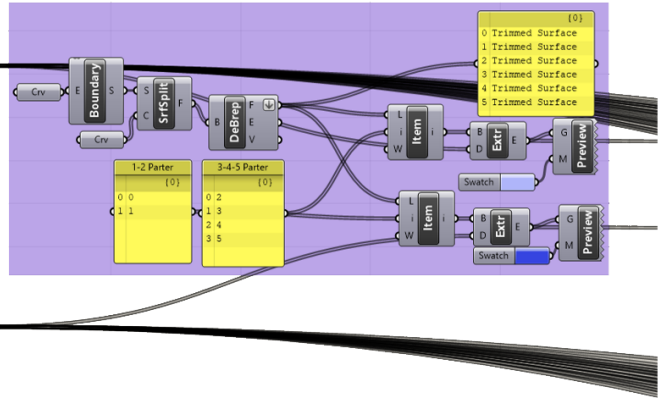
Platformlar arasındaki kot farklılıkların, tehlike yaratmayacak ölçüde tutulması, görüş açılarının engellenmemesi gibi koşulların kontrolü sağlandıktan sonra, platformlar arasında minimum 10 cm gibi hareketlenmelerin olacağını kısa süreler için bu farklılıkların 30 cm'ye kadar çıkabileceği ön görülmektedir. Kot farkının maksimum 30 cm arasında belirlenmesi acil durumlarda çıkış yapması gereken izleyicilerin hareketini engellemek ve bakış açılarının kontrolünün sağlanmasını kolaylaştırmaktır.



RASTLANTISAL YÜKSEKLİK BELİRLEME AŞAMASI

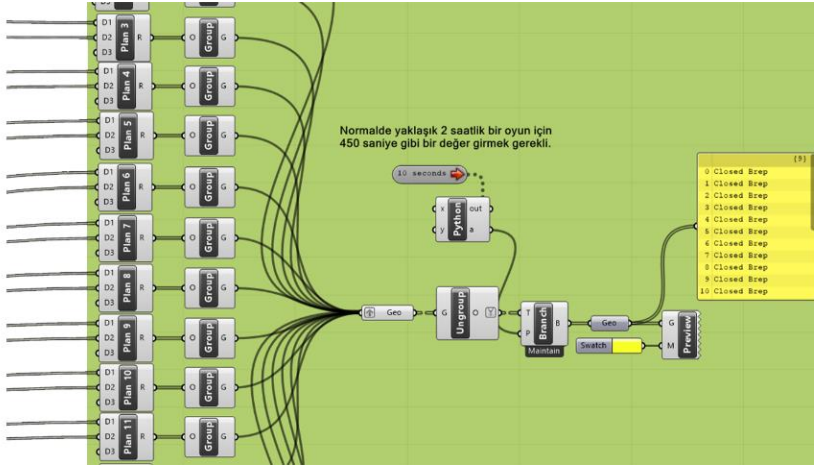


PARTER PLATFORMLARININ HAREKETİ



Şekil 11'de görüldüğü üzere 5'e 5'lik birimlerden ilk iki sıranın 0-30 cm arasında, arkadaki diğer sıraların ise 30-60 civarında yükselmesi planlanmıştır. Oyunun uzunluğunun bilinmesiyle eşit sekanslarına göre belirlenen aralıklarda rastlantı yüzdesini değiştiren bir bileşen eklenir. Belirlenen yükseklik sınırları içerisinde rastlantısal olarak yükselmesini sağlayacak olan ve Şekil 12'de tanımlanan iki ayrı hareket vektörü, biçim grameri yöntemiyle oluşturulmuş olan sahne tasarımlarının sahneye olan uzaklığına göre ön sıra ve arka sıra olmak üzere ikiye ayrılmasından sonra yükseltme hareketi için kullanılacaktır.

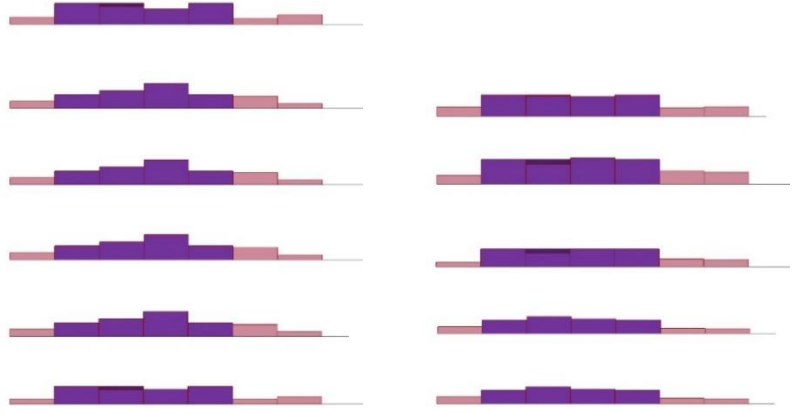
Şekil 12: Yükseltme sırasında kullanılan sınırlandırmaların tanımlanmasını gösteren şema. (The diagram of the identification constraints for the elevation of the platforms).



Şekil 13: Plan şemalarının rastgele seçimini gösteren şema (The diagram of the random selection of the plan layouts).

Son aşamada Şekil 11'de gösterilen 16 farklı planın, Şekil 13'te kullanılan bileşenlerle rastlantısal olarak döngüye sokulması üzerinden, ilk planın

Şekil 14: Şekil 11’deki 3. plan şemasının parter yükselmelerini gösteren kesit şeması (The sectional chart showing the possible elevations of the third plan layout in the Figure 13.)



6 parter düzeninin yükseltilmesiyle olasılıklar dahilinde binlerce farklı senaryo oluşturulabilir, ortalama iki perde sürecek bir oyun için 2-2,5 saat gibi bir süre boyunca çalıştırılacak olan sistemin, 7000 ile 9000 saniye üzerinden bir hesaplama yapıldığında her planın uygulanması için 450 saniye yeterli olacaktır. Bazı parter düzenlerinin bileşenden aynı rakamsal değerler çıkması sonucu tekrarlanması da mümkündür. **Şekil 14**'te ilk parter düzeninin yükseldiğinde oluşan kesitler şematize edilmiştir. Mor renkli alanlarının 3, 4 ve 5. sıradaki platformlardır, 30-60 cm arasında 10 cm'lik farklarla yükselip alçalmaktadır. Pembe renkli platformlar ise yangın kaçış ve arkaya doğru uzanan ön parter platformlardır, 0-30 cm arasında yükselmektedir. Bu sadece bir plan için 11 döngü sonucunda elde edilen kesitlerdir. Tasarım havuzunda kalan diğer plan şemaları seçilip rastgele döngü sayısı ve sırasıyla bu tasarım çeşitlendirilebilir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER (CONCLUSIONS AND CONSIDERATIONS)

Tiyatro salonları ve performans merkezleri incelendiğinde performans sırasında sahnenin ve dekorun hareketli olduğu sahneler bulunmaktadır. Fakat parter düzeninin performansa göre değiştiği örnekler bulunmasına rağmen performans sırasında bir değişimden söz etmek mümkün değildir. Ülkemizde gittikçe artan ilgiyle birlikte yeni sahneler yapılmakta ve birçoğunun teknolojik donanım, akustik, izolasyon gibi konuları göz ardı edilmeden titizlikle tasarlandığı görülmektedir. Esnek sahneler, son yıllarda izleyicisine sunduğu deneyimle birlikte tercih edilmekte, oyun yazarları ve oyuncular performanslarını bu sahnelerde sergileyerek izleyicisiyle arasındaki çizgiyi kaldırıp oyunun bir ögesi haline getirmektedir. Bu çalışmayla

birlikte hareketli salon tasarımı için bir tasarım aracının üretilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi önerilmektedir. Oluşturulan sistemin çıktıları olarak elde edilen düzenlerin, seyir deneyiminin katmanlarını detaylandıracaktır.

Daha sonraki çalışmalarda ise seyircinin alışık olduğu stabil platform algısını yıkarak parter hareketinin, vücudundaki etkisinin ölçülmesi ve bu verilerin somut çıktılarının elde edilmesi planlanmaktadır. Sonrasında parter düzenlerinin oluşturulması sırasında belirlenen rastgeleliğin yerine kullanılmasının denenmesi ilerleyen çalışmaların motivasyonu olacaktır. Verinin işlenerek, hareket vektörüne giden ve rastgele olma durumunu üreten bileşenin yerini almasıyla kullanıcının tepkilerinin tasarıma dahil edildiği bir sistem kurulabilir.

Performans sırasında başlangıç evresinde, akıllı bilekliği olan seyircilerden deneye katılmak isteyenlere telefonlarına indirecekleri bir uygulama ile kalp atış hızının takip edileceği bilgisi verilir, izin alındıktan sonra, yükseklik sınırlamaları içinde en yüksek kalp atış ortalamasının bulunduğu parterin en yükseğe/en alçağa çıkarılacağı gibi kuralların oluşturulacağı bir sistem oluşturulacaktır. Sadece kalp atışının sağlayacağı veri hassas ve yeterli olamayabileceği için, bir sonraki aşamada EEG ve GSR ölçen alıcılar yardımıyla beyin dalgaları ve stres seviyesi ölçülüp oyun öncesinde bir grubun verisinin kullanılması da planlanmaktadır. Oyunla senkron şekilde devam etmesi gereken bu uygulama için bir uygulama oluşturup kural şeması oluşturulacaktır. Somut değerlerin koşullu şartlara bağlanıp sonuçlarının yükseklik temsiline dönüştürülmesi beklenmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

İstanbul Teknik Üniversitesi Mimari Tasarımda Bilişim Programı'nın 2020-2021 güz dönemi boyunca Mimari Tasarımda Üretken Sistemler dersi kapsamında üretmiş olduğum çalışmama destek olarak emeğini esirgemeyen dersin yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, yardımları için yürütücü asistanlar Araş. Gör. Begüm Hamzaoğlu ve Araş. Gör. Burak Delikanlı'ya, çalışmanın son hale gelmesinde katkıda bulunan Araş. Gör. İnanç Şencan ve Araş. Gör. Özlem Çavuş'a teşekkür ediyorum.

Referanslar (References)

- Alley Theatre Official Website -. (n.d.). Alley Theatre. <https://www.alleytheatre.org/our-venues/neuhaus-theatre-seating-chart>
- AT&T Performing Arts Center Dee + Charles Wyly Theater- Project. (2013, May 3). Architype. http://architypereview.com/project/att-performing-arts-center-dee-charles-wyly-theater-2issue_id768/
- Çadaş, 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>
- Devran, B. (2019, Mart). Tiyatro mimarisinde “kara kutu” form ve İstanbul coğrafyasında gelişimi, *Yapı Dergisi*, 445. <https://yapidergisi.com/tyatro-mimarisinde-kara-kutu-form-ve-istanbul-cografyasinda-gelisimi/>
- Güzelkahraman, B. Ö. (2019). *Mekân ve insan ilişkisinde yer duygusunun sanal gerçeklikle deneyimlenmesi üzerine bir inceleme*, [Master’s thesis, TOBB University of Economics & Technology].
- Güzelci, O. Z. (2012). *Amasya yalıboyu evleri üzerine bir biçim grameri çalışması*, [Master’s thesis, Istanbul Technical University].
- Gero, J. S. (1996). Creativity, emergence and evolution in design. *Knowledge-Based Systems*, 9(7), 435–448. [https://doi.org/10.1016/s0950-7051\(96\)01054-4](https://doi.org/10.1016/s0950-7051(96)01054-4)
- Flemming, U. (1987). More than the sum of parts: The grammar of Queen Anne houses. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 14(3), 323–350. <https://doi.org/10.1068/b140323>
- Lehmann-Kopp, D. (2007). *Werner Ruhnu: der Raum, das Spiel und die Künste*. Berlin: Jovis Verlag.
- Low S. M., Altman I. (1992) Place attachment. In: Altman I., Low S.M. (eds) *Place Attachment. Human Behavior and Environment (Advances in Theory and Research)*, vol 12. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8753-4_1
- Mathews, S. (2005). The Fun Palace: Cedric Price’s experiment in architecture and technology. *Technoetic Arts*, 3(2), 73–92. <https://doi.org/10.1386/tear.3.2.73/1>
- Özel, M. K. (2017). Performativity of theatre architecture. *Online Journal of Art and Design*, 5(3), 66–82. <http://www.adjournal.net/articles/53/535.pdf>

- Smitheram, J. (2011). Spatial performativity/spatial performance. *Architectural Theory Review*, 16(1), 55–69.
<https://doi.org/10.1080/13264826.2011.560387>
- Stiny, G. & Gips, J. (1972). Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. *Information Processing*, 71. 1460-1465.
- Stouffs, R., & Dy, B. (2018). *Combining geometries and descriptions a shape grammar plug-in for Grasshopper*. 499–508.
- The Mill: STRATA. (n.d.). The Mill.
<http://archive.themill.com/portfolio/3409/strata?q=strata>
- Ucay, R. (2019). *Etkileşimli dijital teknolojiler bağlamında beden mekân deneyimi*, [Master's thesis, Istanbul Technical University].
- wpZimmer. (2019, July 16). Betrayal.
<https://wpzimmer.be/en/residencies/betrayal/>
- Yılmaz, A. (2019). *Mimarlık fenomenolojisi: mimarlık deneyimi ve tasarımı üzerine bir çalışma*, [Master's thesis, Istanbul Technical University].

