

Mimarlıkta Hesaplamalı Tasarım Sürecini Cebirsel Yüzeyler Üzerinden Sorgulamak

Selin Oktan, Serbüent Vural

MAKALENİN ADI **Mimarlıkta Hesaplamalı Tasarım Sürecini Cebirsel Yüzeyler Üzerinden Sorgulamak**
Searching the Computational Design Process in Architecture Through Algebraic Surfaces

MAKALENİN TÜRÜ **Araştırma Makalesi**

MAKALENİN KODU **EgeMim, 2024-4 (124), 78-87**

MAKALENİN YAZARI **Selin Oktan**, Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü;

Serbüent Vural, Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü

MAKALENİN GÖNDERİM TARİHİ **10.07.2024**

MAKALENİN KABUL TARİHİ **02.10.2024**

YAZAR İLETİŞİM BİLGİSİ **selinoktan@ktu.edu.tr;**

svural@ktu.edu.tr

ORCID **0000-0001-9190-1995; 0000-0002-4777-2839**

Öz Çalışma mimarlıkta hesaplamalı tasarım süreçlerini cebirsel yüzeyler üzerinden deneyimlemeye ve anlamaya odaklanmaktadır. Çalışmanın amacı matematiksel olarak tanımlanabilen biçimlerin sayısal tasarım ve dijital fabrikasyon süreçlerinde kullanımına yönelik bir süreç önerisi geliştirmektir. Çalışma dört aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir: Cebirsel yüzeylere ilişkin matematiksel tanımların bulunması ve parametrelerin tespit edilmesi, parametrelerin deşifre edilmesi, tasarım alternatiflerinin modellenmesi ve üretim. Çalışma lisans öğrencileri ile seçmeli ders kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan ürünler CNC lazer kesim yöntemi ve cisim açılımı, dilimleme ve örgü teknikleri ile üretilmiştir. **ANAHTAR KELİMELE**r Cebirsel yüzeyler; matematik; geometri; hesaplama; dijital fabrikasyon.

Giriş

Teknolojik, sosyal ve kültürel alanlarda yaşanan gelişmeler, tarih boyunca mimarlıkta tasarlama ve üretme biçimleri her defasında yeniden tartışılmakta ve tanımlanmaktadır. Mimarlık için yeni alanlar ve süreçler tanımlayan bu tartışmalar, tasarım ve üretim süreçleri üzerine yeni düşünme biçimlerinin ve yöntemlerinin üretilmesi gerekliliğini de ortaya çıkarmaktadır. Bunun ortaya çıkardığı hesaplamalı düşünme süreçleri, mimarlık, matematik ve geometri ilişkisinin değerinin yeniden anlaşılmasına sebep olmuştur. Hesaplamalı ortamın sezgisel yerine analitik zekâyı esas alması nedeni ile mimari tasarım sürecinin sayısal ilişkileri ile ortaya konulmasını gerektirmektedir.

Mimarlık, matematik ve geometri ilişkisi antik çağlara kadar dayanmaktadır. Aristo, matematiği nicelik bilimi olarak tanımlamış (Franklin, 2014), Heidegger (1993) ise; matematiğin zaten bildiğimiz şeyleri temsil ettiğini söylemiştir. Tarih boyunca matematik, evrenin ve güzelliğin sırlarını çözmeye yarayan bir araç olmuş, güzellik ve estetik rakamlarla ve formüllerle anlatılmaya çalışılmıştır. Görülmektedir ki uyum ve estetiğin matematiksel bir tanımı vardır. Bu sebeple mimari uğraş da yüzyıllar boyunca matematiği temel olarak gelişmiştir (Kolarevic, 2003).

Bu çalışma, matematik, geometri ve mimarlık arasındaki ilişkiyi farklı bir perspektifle ele almaktadır. Hesaplamalı tasarım sürecinde tasarlanan formun sonradan sayısallaştırılması yerine form oluşum sürecinde matematiksel

tanımların nasıl kullanılabileceği sorusu üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda çalışma, cebirsel yüzeylerin matematiksel tanımlarının tasarımın bir parçası olarak kullanılmasına yönelik bir tasarlama ve üretme deneyimini paylaşmakta ve sorgulamaktadır. Böylelikle, matematiksel olarak tanımlanabilen biçimlerin sayısal tasarım ve dijital fabrikasyon süreçlerinde kullanımına yönelik bir süreç önerisi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Daha geniş bir perspektiften bakıldığında, geometrik biçimlerin matematiksel dünyada temsilleri olduğu da vurgulanmaktadır. Çalışmada cebirsel yüzeylerin tercih edilmesinin nedenleri; matematiksel olarak tanımlanabilmeleri, dijital fabrikasyon araçları ile üretilebilmeleri ve taşıdıkları estetik potansiyelleridir.

Hesaplama, analitik düşünme ve tasarım sürecinin sayısal tanımlamalara dönüştürülmesi, dijital araçlarla iletişim kurabilmek açısından önemlidir. Bu şekilde, tasarımcının zihni, dijital ile fiziksel dünya arasındaki ilişkiyi; hesaplama ve veri dönüşümü yoluyla anlayabilmek için doğru bir biçimde kurabilir. Tasarım sürecini dijital fabrikasyon yöntemleri ile birleştirmek, yaparak öğrenme sürecini mümkün hale getirir. Bu bilgiler ışığında çalışmanın ana hedefi; her geometrik formun bir matematiksel tanımının olduğunu ve bu matematiksel tanımların form tasarlama sürecinin bir parçası olma potansiyeline sahip olduğunu deneyimlemektir. Çalışmanın bir diğer hedefi ise dijital ortamdaki başlayan süreci fiziksel ortamda tamamlamak, dosyadan fabrikaya sürecini bir bütün olarak deneyimlemektir. Üretim süreci,

cebirsal yüzeylerin matematiksel karşılıklarını anlayarak bu yüzeyleri tasarım sürecinin bir parçası haline getirme ve bu yüzeylerin göründükleri kadar karmaşık olmadıklarını göstermek açısından da değerlidir.

Mimari tasarım süreçlerinde tasarım problemlerine öncelikle sezgisel olarak yaklaşılır. Ancak, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının ortaya çıkmasıyla birlikte, daha önce sezgisel olarak oluşturulan tasarımların altında yatan matematiğin ortaya çıkarılması gerekliliği doğmuştur. Bu durum, mimarlığı matematiğe daha da yakınlaştırır ve onu daha analitik hale getirir. Emmerich (1996) her türlü formun varlığının ve yeni geometri buluşlarının yeni bir mimari bakış açısı yarattığını öne sürmektedir. Matematiksel buluşlara ek olarak, dijital medya, mimarlara karmaşık şekiller tasarlama fırsatı verir. Parametrik modelleme, görece yeni bir bilimsel yaklaşım olarak tanımlanmakta ve karmaşık geometrilerin çözümlenmesi ve modellenmesi süreçlerinde kullanılmaktadır (Megahed, 2015). Günümüzde sayısal tasarım araçlarının gelişmesiyle, Öklidyen olmayan formlar da mimarlığın ilgi alanına girmiştir. Bu formların tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesi olağan dışı bir durum olmaktan çıkmıştır. Bu bağlamda çalışma kapsamında ele alınan cebirsal geometriler de karmaşık şekilleri matematiksel tanımlamalar ile tasarlanmanın deneysel bir yolunu sunar. Cebirsal bir geometri, parametrik bir model üzerinde tanımlanabilecek denklemlerle ifade edildiği için, onu mimari bir nesne olarak görselleştirme fırsatı verir.

Mimari tasarım problemleri iyi tanımlı ve eksik tanımlı olmak üzere iki biçimde ele alınabilmektedir (Churchman, 1967; Eastman, 1969; Rittel ve Weber, 1973; Mitchell, 1975; Newell, 1967). İyi tanımlı problemler doğrusal, kararlı, rasyonel sistemlere; eksik tanımlı problemler ise doğrusal olmayan, kararsız, sezgisel sistemlere benzetilebilir (Newell, 1967). Mimari tasarım problemine üretilen çözümün doğruluğunun bir ölçütü olmadığı için bu tip problemler eksik tanımlı olarak değerlendirilir (Simon, 1973). Eksik tanımlı problemlerde, eksik olan bilgi öznal olarak tanımlanır ve problemin

çözüm süreci “yaratıcılık” olarak da bilinen bir deneyim kazanma süreci ile bağlantılı hale gelir (Eastman, 1969). Bundan yaklaşık 50 yıl öncesinde ortaya konulan çalışmaların ortak tespiti, tasarıma yönelik sayısal çözümlerinin yapılmasının ve bunun bir veri olarak tasarım süreci içerisinde işlenmesinin zor olduğu yönünde olmuştur. Yine bu çalışmaların geleceğe ilişkin ön görüşlerinde ise; tasarım süreçlerinin veri strüktürleri olarak ifade edilebilme potansiyeli taşıdıkları, olası tasarım çözümlerinin çeşitli parametreler yardımıyla geliştirilebilir olduğu (Mitchell, 1975)

“HESAPLAMA, ANALİTİK DÜŞÜNME VE TASARIM SÜRECİNİN SAYISAL TANIMLAMALARA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ, DİJİTAL ARAÇLARLA İLETİŞİM KURABİLMEK AÇISINDAN ÖNEMLİDİR. BU ŞEKİLDE, TASARIMCININ ZİHNİ, DİJİTAL İLE FİZİKSEL DÜNYA ARASINDAKİ İLİŞKİYİ; HESAPLAMA VE VERİ DÖNÜŞÜMÜ YOLUYLA ANLAYABİLMEK İÇİN DOĞRU BİR BİÇİMDE KURABİLİR”

ve yaratıcılık süreçlerinin de bilgisayar programları aracılığı ile yürütülebileceği (Eastman, 1969) üzerine çıkarımlar yapılmıştır. Günümüzde ise sayısal tasarım araçlarının da katkılarıyla eksik tanımlı olarak tanımlanan mimari tasarım problemlerinin çözüm süreçlerine ilişkin daha net tanımlamaların yapılabildiğini görmekteyiz. Bu durum, mimari tasarım süreçlerinde egemen olan kara kutu sürecinin, sayısal tasarım süreçleri sayesinde saydam kutu sürecine dönüşebildiğini göstermektedir.

Literatür bilgileri ışığında, cebirsal yüzeyler odaklı yürütülen bu deneysel çalışmada analitik düşünme, sezgisel yaklaşım ile bütünleşik olarak ele alınmaktadır. Çünkü tasarımcı, hangi cebirsal yüzeyi kullanacağını belirleme sürecinde o geometrinin tasarım problemine uygun olup olmadığını ve alternatif üretme sürecini sezgisel kararlarla yönlendirmektedir. Bu bağlamda çalışmada hem kara kutu sürecinin hem de saydam kutu sürecinin deneyimlendiği bir ara kesit

sunulduğu söylenebilmektedir.

Çalışma, lisans düzeyindeki mimarlık öğrencileriyle yürütülmüştür. İki farklı seçmeli ders kapsamında, üçüncü ve beşinci yarıyıl öğrencileri ile toplamda 52 öğrencinin katılımı ve üç veya dört kişilik öğrenci grupları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya ilişkin ürünler güz ve bahar dönemleri olmak üzere toplamda üç dönemlik ders sürecinin sonunda elde edilmiştir. Cebirsal yüzeylerin tasarım potansiyelleri, aydınlatma elemanı, geometrik heykel ve kedi evi tasarımı olmak üzere somut tasarım problemleri kapsamında belirlenmiştir.

Çalışmaya ilişkin en önemli iki kısıt ürünlerin parametrik modelleme programı ile modellenmesi ve dijital fabrikasyon araçlarından CNC lazer kesim yöntemi kullanılarak üretilmesidir. CNC lazer kesim ile üretim yöntemi, öğrencinin kendisinin, ders yürütücüsü desteği olmadan, hazırlayabileceği bir üretim süreci olması açısından seçilmiştir. Buna ek olarak CNC lazer kesim ile üretim, üç boyutlu yazıcı gibi hazır bir ürün vermemekte, üretim sürecinin de tasarlanmasını gerektirmektedir.

Cebirsal yüzeylerin CNC lazer kesim ile üretilmesine yönelik üç farklı teknik dersin yürütücü tarafından belirlenmiştir: Cisim açılımı, dilimleme ve örgü tekniği. Bunlar cebirsal yüzeylerin yüzey bütünlüğünün sağlanabilmesi, CNC lazer kesime uygunluk, öğrencinin bilgi düzeyi ile kurgulayabilmesi ölçütleri baz alınarak seçilmiştir. Süreçte 15 adet ürün üretilmiş olup bunlardan altı tanesi seçilerek çalışma kapsamında anlatılmıştır. Bu örnek



SOLDA Cebirsel yüzeylerle tasarım ve üretim süreci şeması (Yazarlar tarafından üretilmiştir) (Görsel 1).

SOL ALTTA Çalışma kapsamında ele alınan yüzeylerden örnekler (Yazarlar tarafından üretilmiştir) (Tablo 1).

çalışmalar her bir teknikten ikişer adet olmak üzere, çalışmanın amaç ve hedeflerini aktarabilecek olgunluktaki çalışmalardan seçilmiştir.

Cebirsel yüzeyler odaklı çalışma süreci dört aşamadan oluşmaktadır (Görsel 1). İlk aşama, cebirsel yüzeylerin matematiksel tanımlarının bulunması ve parametrelerinin tespit edilmesidir. Bu ilk aşamada, verilen tasarım problemine cevap verme potansiyeli taşıyan cebirsel yüzeylerin belirlenmesi için literatür araştırması yapılır. Potansiyel taşıyan cebirsel

yüzeyler belirlendikten sonra, o yüzeyleri temsil eden matematiksel tanımlama kullanılarak dijital ortamda modellenir. Parametrelerin deşifre edilmesi adımı, seçilen yüzeyin matematiksel tanımını oluşturan parametreler analiz edilir. Parametrelerde değişiklikler yapılarak parametrelerin işlevleri çözümlenmeye çalışılır. Bu parametreler, cebirsel yüzeyin biçimsel özelliklerinin ve alternatiflerinin tanımlamada önemli bir rol oynar. Tasarım alternatiflerinin modellenmesi adımı, cebirsel yüzeyin











sunduğu olanakları keşfederek alternatif tasarımlar üretmeyi içerir. Bu keşif süreci boyunca, yüzeyin çeşitli alternatifleri oluşturulur ve cebirsel yüzeye ilişkin potansiyellerin daha derinlemesine anlaşılması sağlanır. Dördüncü ve son adımda, seçilen tasarım ürünleri CNC lazer makinesi kullanılarak üretilir. Bu yapıım aşamasında cisim açılımı, dilimleme ve örme yöntemleri kullanılır. Dijital fabrikasyon süreci ilgili Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nün Sayısal Tasarım ve Dijital Fabrikasyon Laboratuvarında yürütülmüştür.

Bu çalışma, cebirsel yüzeyler üzerinden matematiksel olarak tanımlanabilen yüzeylerin tasarımın bir parçası haline getirilmesine yönelik süreci paylaşmaktadır. Deneyime dayalı yürütülen bu çalışmada sonuç üründen çok tasarım ve üretim süreci değer taşımaktadır. Bu nedenle sonuçta ortaya çıkan ürünlerin başarısına yönelik bir değerlendirme kriteri oluşturulmamıştır. Sonuç ürünlere ilişkin yorumlar tartışmalar bölümünde sunulmuştur.

Cebirsel Yüzeylerin Matematiksel Tanımlarının Bulunması ve Parametrelerinin Tespit Edilmesi

Çalışmanın ilk adımı cebirsel yüzeylerin matematiksel tanımları üzerinden belirli işlevlere yönelik formların üretimi için parametreleri belirlemektir. Çalışma bu yönü ile form üretimi çalışmaları ile (Frei ve Rasch, 1995; Goldsmith, 2014) bağlantılı olup, form üretim süreci parametrik tasarım ortamında gerçekleştirilmiştir. Parametrik tasarımın süreci, tasarım düşüncesi ile parametrik formun tasarlanması ve üretimi arasındaki gerilimle var olmaktadır (Garcia Alvarado ve Jofre Muñoz, 2012).

Parametre teriminin kökeni matematiğe dayanmakta ve ölçülebilir nitelikteki değişkenleri tanımlamak için kullanılmaktadır (Megahed, 2015).

Başlangıç Biçimi	Bul & Deşifre Et	Alternatif Üret	Sonuç Ürün
 Eliptik Koni	$x = a \cdot u \cdot \cos(v)$ $y = b \cdot u \cdot \sin(v)$ $z = h \cdot u$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	$x = 5 \cdot u \cdot \cos(v)$ $y = 5 \cdot u \cdot \sin(v) \cdot \cos(v)$ $z = 5 \cdot u$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	
 Sinüzoidal Koni	$x = u \cdot \cos(v)$ $y = u \cdot \sin(v)$ $z = k \cdot u \cdot \cos(n \cdot v)$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	$x = u \cdot \cos(4 \cdot v)$ $y = u \cdot \sin(4 \cdot v)$ $z = u \cdot (\cos(2 \cdot v))^3$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	
 Klein Şişesi & Möbius Şeridi	$x = (k \cdot \cos(v/2) \cdot 2 \cdot \sin(u) - \sin(v/2) \cdot \sin(2u)) \cdot \cos(v)$ $y = (k + \cos(v/2) \cdot 2 \cdot \sin(u) - \sin(v/2) \cdot \sin(2u)) \cdot \sin(v)$ $z = \sin(v/2) \cdot \sin(u) + 2 \cdot \cos(v/2) \cdot \sin(2u)$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$		
 Sintüs Yüzeyi	$x = a \cdot \sin(u)$ $y = a \cdot \sin(v)$ $z = \sin(u + v)$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	$x = 5 \cdot \sin(u)$ $y = 5 \cdot \sin(v)$ $z = \sin(u + v)$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	
 Helikoid	$x = u \cdot \cos(v)$ $y = u \cdot \sin(v)$ $z = h \cdot v$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	$x = x/2 \cdot (\cos(u) + \cos(v))$ $y = x/2 \cdot (\sin(u) + \sin(v))$ $z = y/2 \cdot (u + v)$ $u = \{-\pi \text{ to } \pi\}$ $v = \{-\pi \text{ to } \pi\}$	

Parametrik modellemede tasarımın CAD yazılımları ile tasarımdan farklı temel biçimlerin yanı sıra karmaşık biçimlerle tasarıma da olanak sağlayabilmesidir. Parametrik tasarım sürecinde tasarımcıya herhangi bir hazır biçim önerilmemektedir. Tüm tasarım bir noktadan başlayarak gelişmektedir. Ayrıca parametrik tasarım sayesinde tüm biçimlerin birbiriyle ilişki kurabilmesi sağlanabilmektedir (Goldberg, 2006). Böylelikle farklı parametrelerin tanımlanması ile farklı biçimler elde edilebilmektedir (Ots, 2011). Parametrik sistemler, CAD sistemlere göre; daha esnek tasarım olanakları sağlamakta, tek bir model üzerinden farklı örneklerin test edilebileceği sistemler sunmaktadır (Hernandez ve Roberto, 2005).

Hesaplamalı tasarım süreçleri, tasarım fikrinin sayısal ilişkileri ile ortaya çıkarabilmek için tasarım probleminin analiz edilmesini, elde edilen verilerin sentezlenmesini ve değerlendirilerek tasarım sürecinin bir parçası haline getirilmesi ile yürütülmektedir. Geleneksel tasarım süreçlerinde tasarımcının zihninde kara kutu olarak gerçekleşen tüm bu işlemler, hesaplamalı tasarım bağlamında ele alındığında, tasarım fikrinin veriler ile ifade edilebilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, hesaplamalı düşünmenin kara kutu sürecini saydam kutuya dönüştürdüğü söylenebilmektedir. Çalışmanın ilk aşaması olan cebirsel yüzeylere ilişkin matematiksel tanımların bulunması ve parametrelerinin tespit edilmesinde de hesaplamalı düşünme yaklaşımının ilk adımı atılmaktadır. Bu aşamada biçimin matematiksel olarak tanımlanması saydam kutu sürecine işaret etmekte iken yüzeylerin tasarım problemi kapsamında seçiminin yapılması sezgisel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle saydam kutu ve kara kutu süreçlerinin bütünleşik olarak gerçekleştiği söylenebilmektedir. Cebirsel yüzeylerin tasarım sürecinin bir parçası haline getirilebilmesi için öncelikli olarak kullanılacak yüzeye ilişkin matematiksel tanımlamaların bulunması gerekmektedir. Bu bağlamda modelleme süreci mantığına uygun cebirsel yüzeyler literatür

araştırması ile tespit edilerek (Ferréol, 2024), bu yüzeylerden tasarımcının sezgisel olarak belirlediği kısıtlara en iyi cevap verebilecek ve üretime uygun niteliğe sahip olanları belirlenmektedir.

Cebirsel yüzeyler seçildikten sonra sayısal ortamda parametrik olarak modellenmesi süreci gerçekleştirilmektedir. Bu aşamaya hazırlık için hem yüzeyin matematiksel tanımı hem de tanımın içerisinde yer alan parametreler belirlenmektedir. Cebirsel yüzeylerin sayısal ortamda modellenmesi süreci bir parametrik yazılım aracı (Rhinoceros/ Grasshopper) üzerinden yapılmıştır. Modelleme süreci, cebirsel geometriyi tanımlayan noktalar kümesinin Kartezyen sistemdeki yerlerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Daha açık bir ifade ile yüzeyin matematiksel tanımında yer alan x , y ve z eşitliklerinin noktalar kümesi olarak modellenmesi sağlanmaktadır. Bu noktalar kümesi, matematiksel eşitlik ile ya da Kartezyen parametrisasyon ile tanımlanabilmektedir. Modelleme süreci öğrenciler için örneklenirken bu iki ayrı yöntemi temsil eden iki cebirsel yüzeyin modellenmesi sürecine değinilmiştir ve örneklerle anlatılmıştır. Gyroid yüzeyi matematiksel eşitlik; asteroidal elipsoit ise Kartezyen parametrisasyon yöntemi ile modellenmiştir. Tablo 1'de de görüldüğü üzere Klein şişesi ve Mobius şeridi yüzeyleri tek eşitlik üzerinden tanımlanırken, eliptik koni, sinüzoidal koni, sinüs yüzeyi, helikoid gibi yüzeyler ise x , y ve z için ayrı ayrı olarak hesaplanmaktadır (Tablo 1).

Cebirsel yüzeyi oluşturan noktalar kümesinin matematiksel eşitlik veya Kartezyen parametrisasyon ile belirlenmesi arasındaki temel farklılık sonuç ürün olarak elde edilen yüzeyin *Mesh* ya da *Polysurface* olarak modellenmesidir. *Polysurface* yüzey bir yüzeyin bir bütün halinde modellenmesi ile oluşmaktadır. *Mesh* yüzey ise, noktaların üçgenleme yöntemi ile birleştirerek yüzeyin üretilmesini ifade etmektedir. *Mesh* yüzey birçok üçgen alt yüzeyden oluştuğu için dijital fabrikasyon ile üretim süreci *Polysurface* yüzeye göre daha zordur. Bu ikisi arasındaki fark "Üretim" başlığında detaylı olarak anlatılacaktır.

Parametrelerin Deşifre Edilmesi

Deşifre etmek, bir süreci/durumu tamamı ile keşfetmek ve açığa çıkarmak anlamına gelmektedir. Çalışma kapsamında da bu süreç tasarım sürecinin doğru bir şekilde sonuçlanabilmesi açısından kilit önem taşımaktadır. Parametrelerin deşifre edilmesi süreci yüzeylerin matematiksel tanımlarının parametrik modelleme programına aktarılmasından sonra başlamaktadır. Tasarımcılar matematiksel tanımlarda ve bu tanımları oluşturan parametrelerde değişiklikler yapmaktadır. Değişikliklerin sonuçları eş zamanlı olarak parametrik model üzerinde görülebilmektedir. Böylelikle hangi parametrenin biçimi nasıl etkilediği keşfedilerek parametreler deşifre edilebilmektedir. Bu süreç başlarda deneme yanılma yolu ile yürütülse de deneme sayısı arttıkça parametrelerin biçimi ne yönde etkileyeceğine yönelik öngörü seviyesi de gittikçe artmaktadır. Süreç içerisinde varsayımsal olarak başlayan müdahaleler, deneyim kazandıkça, bilinçli müdahalelere evrilmektedir. Bu yönüyle deşifre süreci, cebirsel geometrinin anlamlandırılabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Deşifre sürecinin sonunda tasarımcılar biçime ilişkin parametrelerin işlevlerini öğrenmektedirler. Böylelikle cebirsel yüzeyin tasarım sürecinin bir parçası haline getirilebilmesi için gerekli olan öğrenme süreci bu aşama ile tamamlanmış olmaktadır. Tablo 1'de matematiksel tanımlamalara, u ve v değerlerine ilişkin parametrelerin yeniden tanımlanması ile yüzeylerde meydana gelen değişimler görülmektedir. Parametrelerin deşifre edilme sürecinde meydana gelen değişikliklere yönelik gözlemler, tasarım alternatiflerinin modellenmesi aşaması için ön hazırlık niteliğindedir.

Tasarım Alternatiflerinin Modellenmesi

Hesaplamalı tasarım sürecinde analitik düşünme, tasarım ürününü oluşturan her türlü bilginin bir sistematik içinde ifade edilebilmesi anlamına gelmektedir (Menges ve Ahlquist, 2011). Parametrik modellemenin en önemli avantajlarında biri, modelleme süreci sonunda birden



$$\begin{aligned} x &= u \cdot \cos(v) \\ y &= u \cdot \sin(v) \\ z &= k \cdot u \cdot \cos(n \cdot v) \\ u &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \\ v &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} x &= u \cdot \cos(4 \cdot v) \\ y &= u \cdot \sin(v) \\ z &= k \cdot u \cdot \cos(2 \cdot v) \\ u &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \\ v &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} x &= u \cdot \cos(4 \cdot v) \\ y &= u \cdot \sin(4 \cdot v) \\ z &= k \cdot u \cdot \cos(2 \cdot v) \\ u &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \\ v &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} x &= u \cdot \cos(4 \cdot v) \\ y &= u \cdot \sin(4 \cdot v) \\ z &= k \cdot u \cdot (\cos(2 \cdot v))^3 \\ u &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \\ v &= \{-\pi \text{ to } \pi\} \end{aligned}$$

SOLDA Sinüzoidal koni biçiminin alternatif üretim süreçleri (Yazarlar tarafından üretilmiştir) (Görsel 2).

SAĞ ÜSTTE Cebirsel yüzeylerin modelleri, üretim süreçleri ve sonuç ürünleri (Yazarlar tarafından üretilmiştir) (Tablo 2).

fazla modelden oluşan bir çözüm uzayı elde edebilmektir. Doğru bir şekilde kurulan parametrik modelin parametreleri değiştirildiğinde, tasarım probleminin cevap veren anlamlı tasarımların elde edilmesi gerekmektedir. Bu sürecin başarısı tasarımcının tasarım sürecine ilişkin sayısal ilişkileri ve analitik çerçeveyi doğru bir şekilde kurabilmesiyle gerçekleşir. Bu durum tasarımcının bilgisayarın algoritmik dili ile konuşabilme becerisine sahip olduğunu göstermektedir (Çolakoğlu ve Yazar, 2017). Bu bağlamda matematiksel tanımları elde edilen cebirsel yüzeylerin anlamlı farklı yüzeylere dönüştürülebilir olması, tasarımcının matematiksel ifadeye yer alan parametrelerin işlevlerini anladığını göstermektedir.

Alternatif üretimleri tasarımcının sezgisel yaklaşımları ve üretim sürecinin gerçekleştirilebilir olması göz önüne alınarak yapılmıştır. Çok sayıda cebirsel geometri çalışılmış ve bu geometrilerin bir dizi alternatifleri üretilmiştir. Bu geometrilerden altı tanesi seçilerek tartışılmıştır. Bu seçim, üretim yöntemi ve yüzey çeşitliliğine göre yapılmıştır. Tablo 1'de seçilen geometrilere ilişkin başlangıç biçimler, özgün matematiksel tanımlar, alternatif matematiksel tanımlar ve sonuç ürün görselleri paylaşılmıştır.

Seçilen biçimlerin alternatif üretim aşamaları aşağıdaki gibi ele alınmıştır:

Eliptik koni biçiminin matematiksel tanımında parametresine kosinüs çarpanı eklenerek, biçimin sonsuzluk işareti gibi bir dögüsel duruma getirilmesi sağlanmıştır.

Sinüzoidal koni biçiminin alternatif üretim aşamaları Şekil 2 de özetlenmiştir. Bu bağlamda x, y ve z

parametreleri değiştirilerek oluşan sonuç ürünler modellenmiştir. Parametrelerde meydana gelen değişimler genellikle parametreye bir sabit çarpan eklenerek oluşturulmuştur. Bu sabit çarpanlar sayesinde biçimin dönüş sayısı, dönüş açısı, birimlerin tekrar sayısı gibi değişkenler dönüşmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan Klein şişesi ve Möbius şeridi, helikoid ve Clebsch yüzeyi gibi bazı yüzeyler anlamlı alternatifler üretilmesi için uygun olmayabilmektedir. Bu yüzeylerin parametreleri değiştirildiğinde birbiri içerisine geçen ve mimari tasarım açısından anlamsız yüzeyler ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, yüzey orijinal tanımına olabildiğince yakın korunmuştur. Ancak, alternatiflerin üretilmesi sürecinde gözlemlenen değişiklikler, formu tanımlayan parametrelerin işlevi hakkında bir fikir sağlamıştır.

Sinüs yüzeyi için anlamlı alternatifler üretilebilmiştir. Bu alternatifler üretim sürecinde yaşanabilecek sorunlar nedeni ile elenmiştir. Sinüs yüzeyi biçimi de bu nedenle özgün hali üretilmiştir.

Alternatif üretimleri matematiksel fonksiyonların parametreleri ile biçim oluşum süreci arasındaki ilişkiyi tanımlamak açısından önem taşımaktadır. Cebirsel geometrinin fiziksel modelinin üretilmesi süreci ile alternatif üretim süreci dönüşümlü olarak gerçekleşebilmektedir. Sayısal ortamda gerçekleştirilen üretime hazırlık sürecinde tespit edilen sorunlar olursa alternatif üretim aşamasına geri dönülerek farklı bir cebirsel yüzey üretilmektedir (Görsel 1).

Üretim

Üretim süreci hesaplamalı tasarım süreçlerinin detayları ile anlaşılabilmesinin sağlanması açısından önemlidir. Bir tasarım sürecinin yalnızca modelleme aşamasında kalmayıp, üretiminin de yapılması hesaplamalı tasarım sürecinin sayısal ilişkileri ortaya konulmasının öneminin kavranmasını sağlamaktadır. Hesaplamalı tasarım - dijital fabrikasyon süreçleri arasındaki ilişkinin bu çalışmada olduğu gibi mimarlık lisans öğrencileri ile yürütülmesi de ayrıca önem taşımaktadır. Bob Sheil (2014), tasarım ve fabrikasyon arasındaki bilgi alışverişinin artık hızlı bir akış içinde ve tasarlama ile yapma süreçlerinin eş zamanlı olarak gerçekleştirilebildiğine dikkat çekmektedir. Tasarlama ve yapma eylemlerinin bir bütün içerisinde deneyimlenebilmesi önemlidir. Bu bağlamda çalışma kapsamında modellenen cebirsel yüzeylerin de üretim süreçleri deneyimlenmiştir.

Üretim sürecinin kısıtlayıcısı dijital fabrikasyon araçlarından yalnızca CNC lazer kesim cihazının kullanılabilmesidir. Bu kısıtlamanın getirilmesinin sebebi üç boyutlu yazıcı gibi doğrudan model üzerinden üretim yapmak yerine, karmaşık geometrilerin üretilmesine yönelik özgün önerilerin geliştirilebilmesini sağlamaktır. Çalışmada cisim açılımı, dilimleme ve örme tekniği yöntemlerinden birisi seçilerek kullanılmıştır.

Kullanılacak yöntemin belirlenmesinde yüzeyin *mesh* ya da *polysurface* olarak modellenmesi belirleyici olmaktadır. *Mesh* yüzeyler noktaların ve kenarların belirli açılarla bir araya gelişi ile oluşmaktadır. *Polysurface* yüzeyler, bütün olarak bir yüzey tanımlarken, *mesh* yüzeyler nokta bulutunu oluşturan noktaların

üçgenlenmesi ile elde edilmektedir. *Mesh* yüzeyler parçalı yapıları nedeni ile yüzey açılımı gibi bütüncül yüzey hesaplaması gerektiren üretim yöntemleri ile üretilememektedir. Elde edilen yüzeylerden *polysurface* yüzey olanların üretim yöntemi ise açılımı yapılabilir ya da açılımı yapılamaz olmalarına göre belirlenmektedir. Bu bağlamda kullanılacak üretim yöntemi seçiminde şu durumlara göre karar verilmiştir (Tablo 2):


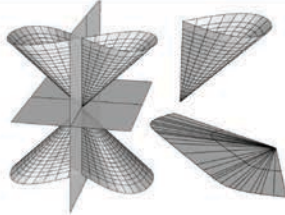
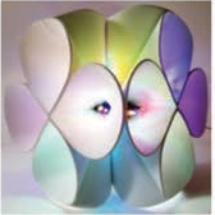

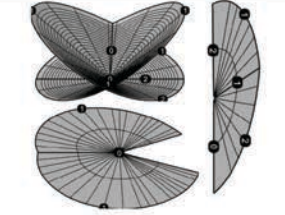








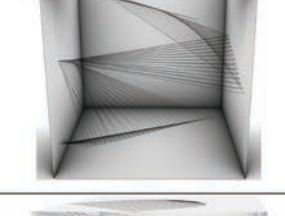




o Eğer geometri *mesh* yüzeye sahipse dilimleme ya da örme yöntemlerinden biri;

o Eğer yüzey *polysurface* olarak modellenmiş ve bu yüzey aynı zamanda açılımı yapılabilir bir yüzeyse cisim açılımı yöntemi;

o Eğer yüzey *polysurface* olarak modellenmiş ancak bu yüzey açılımı yapılamaz bir yüzeyse dilimleme ya da örme yöntemlerinden biri seçilmiştir.

Cisim açılımı yöntemi bir yüzeyin düz bir zemin üzerine çekme ya da sıkışma olmadan yansıtılabilmesini ifade etmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için biçimin açılımı yapılabilir bir yüzey olarak tanımlanması gerekmektedir. Çünkü açılımı yapılabilir yüzeyler bir kâğıdı küçültmeden veya germeden bükerek veya yuvarlayarak oluşturulabilir (Struik, 1950). Bu bağlamda çalışma kapsamında ele alınan biçimlerden eliptik koni ve sinüzoidal koni biçimleri açılımı yapılabilir yüzey özelliği taşımaktadır. Her iki biçim de koni tabanlı biçimlerdir ve koni açılımı yapılabilir bir yüzey olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle bu geometriler cisim açılımı yöntemi ile üretilmişlerdir.

Eliptik koni biçiminin üretime hazırlık aşamasında öncelikle yüzeyi oluşturan parçalar ayrıştırılmaktadır. Böylelikle açılımı yapılabilir özelliğe sahip en küçük parça elde edilebilmektedir. Bu süreçte cebirsel geometrinin simetri eksenleri tespit edilmektedir. Böylelikle yüzeyi oluşturan en küçük parça tespit edilen simetri eksenleri ile çoğaltılarak biçim oluşturulmaktadır. Çalışma kapsamında tasarlanan eliptik koni biçimi, koni biçimli en temel parçanın 16 kere çoğaltılmasından oluşmaktadır. Bu nedenle en küçük koni biçimi ayrıştırılarak buna ilişkin yüzey açılımının elde edilmesi ve bunun

		Model	Üretim Süreci	Sonuç Ürün
Cisim Açılımı	Aydınlatma Elemanı			
	Geometrik Heykel			
Dilimleme	Aydınlatma Elemanı			
	Geometrik Heykel			
Örme	Kedi Evi			
	Kedi Evi			

16 kere üretilmesi yeterlidir. Bu üretim süreci, karmaşık tasarım sürecine sahip cebirsel geometrinin aslında basit bir tekrar mantığı içerdiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Sinüzoidal koni biçimi de eliptik koniye benzer bir üretim mantığı içermektedir. Cebirsel geometri simetri eksenleri dikkate alınarak parçalanır. Böylelikle karmaşık geometriyi oluşturan en temel yüzey elde edilmektedir. Bu yüzeyler birbirleri içerisinde geçerek kenetlenmektedir.

Üretim sürecinde kullanılan bir diğer yöntem dilimlemedir. Bu yöntem için verilecek en önemli karar geometrinin dilimleneceği yönün doğru belirlenmesidir. Dilimleme yöntemi ile açılımı yapılabilir yüzeye sahip olan Klein şişesi ve Möbius şeridi biçimi ile sinüs yüzeyi biçimi üretilmiştir. Klein şişesi ve Möbius şeridi dikey yönlü, sinüs yüzeyi ise yatay yönlü olarak dilimlenmiştir. Yüzeyin yatay ya da düşey yönlü olarak dilimlenmesi, yüzeyin bütünlük algısının korunması açısından önemlidir.

Dilimleme yöntemi, cisim açılımı yöntemine göre daha karmaşık bir üretim süreci tanımlamaktadır. Karmaşık formların dilimleme yöntemi ile üretilmesinin başta gelen zorluklarından biri biçimi oluşturan dilimlerin birbirlerine göre yerlerinin tespit edilmesidir. Her bir dilimin doğru açıyla ve doğru yerde durduğundan emin olunmalıdır. Bu durum çözülmesi gereken bir detay problem yaratmaktadır. Her iki çalışmada da bu soruna farklı bir detay çözümü ile yaklaşmıştır. Klein şişesi ve Möbius şeridi biçiminin üretim sürecinde, yüzeylerin kesişen alanlarında çubuklar tasarlanarak dilimlerin birbirleri ile doğru bir biçimde ilişkilenebilmeleri sağlanmıştır. Bu detay öncelikle dijital model üzerinde işlenmiştir. Bu bağlamda kullanılacak çubuk malzemenin ölçüsünün doğru bir şekilde modellenmesi önemlidir. Sonraki aşamada bağlantı detayının geleceği boşlukların yüzey üzerindeki yerleri belirlenmiştir. Üzerinde bağlantı boşlukları açılmış olan yüzeyler üretime gönderilmeden önce numaralandırılmıştır. Böylelikle çok sayıda parçadan oluşan üretim sürecinde bir karışıklık yaşanmasının önüne geçilmiştir. Üzerinde numaralar bulunan parçalar, kullanılacak malzemenin ölçüleri dikkate alınarak üretim alanının içerisine yerleştirilmiştir.

Sinüs yüzeyinin üretim sürecinde ise parçaların birbiri ile ilişkilendirilmesine yönelik detay her bir dilimin birbirine göre durumunun çizime aktarılması ile çözülmüştür. Her dilimde bir sonraki dilimin izi bulunmaktadır. Böylelikle dilimler üst üste geldikçe doğru bir sonuç ürünün ortaya çıkması sağlanmıştır. Dilimlerin birbirlerine yapışık olmasını öneren bu üretim sürecinde dilimleri oluşturacak malzemenin kalınlığının modele işlenmesi önemlidir. Bu bağlamda kullanılacak malzemenin de üretim sürecinin oldukça önemli bir parçası olduğu ve üretime yönelik hazırlanan modele etki eden bir durum olduğu öğrenilmiştir.

Örme yöntemi, helikoit ve Clebsch yüzeyi biçimlerinin üretiminde uygulanmıştır. Önceki iki yönteme kıyasla daha deneysel bir üretim süreci olduğu söylenebilir. Bu yöntemde cebirsel yüzeyler bir küp

içerisine yerleştirilerek, soyut bir anlayış ile üretilmiştir. Bu yöntem, cebirsel yüzeylerin noktalar kümesi olarak modellenmesi mantığına atıfta bulunmaktadır. Üretim sürecinde geometrilerin küpün iç yüzeyleri ile kesişimleri belirlenmiştir. Bu kesişimler çizgisel olarak belirlendikten sonra çizgilerin üzerinde belirli aralıklarla noktalar atılmıştır. Bu ilişkiler sayısal ortamda modellendikten sonra küp yüzeylerin iç kısımlarında yer alan çizgiler ve noktalar CNC lazer kesim aracı ile işlenmiştir.

Örme mantığı iplik malzemenin belirli bir düzen içinde örülmesi ile kurgulanmıştır. Bu düzen cebirsel geometriyi biçimsel anlamda soyutlayabilecek şekilde belirlenmiştir. Örgünün düzeni oluşturulurken karşı ya da çapraz yüzeydeki noktaların birbiri ile eşleştirilmesine özen gösterilmiştir. Böylelikle ipliğin mümkün olduğunca bir hacim ve yüzey

oluşturmaktadır. Özellikle Avrupa ve Amerika'da, sayısal düşünmenin ve sayısal üretimin mimarlık alanı ile bütünleştirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Üniversiteler üretimi eğitim süreci ile bütünleştirerek bu alanı domine etmektedir. Dünyadaki bu gelişmelerin yanı sıra Türkiye'de, mimarlık alanında, lisansüstü eğitim ağırlıklı olmak üzere sayısal düşünmeye ve dijital üretime yönelik ders içeriklerinin olduğu görülmektedir. Buna karşın sayısal düşünme ve dijitalleşmeye uyum sağlama konusunda Türkiye'deki mimarlık okulları genelinde bakıldığında yeterli bir bilincin henüz oluşmamış olduğu da söylenebilir. Mimarlık okullarında, sayısal düşünme araçları olarak konvansiyonel yaklaşımla bilgisayarla çizim ve görselleştirme yöntemleri başı çekerken halen sayısal ortamda tasarımın ve üretimin rolü ve gerekliliği üzerine tartışmalar yaşanmaktadır.

“DİJİTAL ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞMESİYLE BERABER MAKİNE İLE HABERLEŞEBİLMEK, ÖĞRENİLMESİ GEREKEN BİR BECERİ OLARAK ORTAYA ÇIKMAKTADIR. MAKİNEİN KONUŞTUĞU DİLİ KONUŞABİLMEK HESAPLAMALI DÜŞÜNME BECERİSİNE VE BİR EYLEMİ SAYISAL OLARAK İFADE EDEBİLME YETİSİNE SAHİP OLMAYI GEREKTİRMEKTEDİR”

etkisi oluşturabilmesi sağlanmıştır. Örgünün biçimi ve sonuç ürünün nasıl gözükeceği öncelikle sayısal ortamda modellenmiştir. Bu süreçte tespit edilen sorunlar ve yüzey etkisine yönelik tartışmalar bağlamında üretim modeli geri dönüşlü olarak yenilenmiştir. Son karar verildikten sonra ise iplik malzeme kullanılarak küp hacim organize edilmiştir.

Tartışmalar

Teknoloji artan bir hızla gelişmekte ve ülkeler arasında giderek derinleşen bir rekabet durumuna yol açmaktadır. Bilimin ve üretimin her alanında olduğu gibi mimarlık alanında da teknoloji ile bütünleşme kavramı günümüzün önemli araştırma konularından birini

Dijital teknolojinin çıktılarında biri olan insan-makine iş birliği, birçok disiplinde olduğu gibi mimarlık disiplininde de yeni bir bakış açısı tanımlamaktadır. Mimarlık alanında yürütülmekte olan güncel çalışmalar irdelendiğinde sayısal tasarım ve fabrikasyon alanı ile ilgili yenilikçi fikirler üzerinde çalışıldığı görülmektedir. Avrupa ve Amerika'da 2000'li yılların başından itibaren bu çalışmalar günümüzde daha da hız kazanmıştır. 2001 yılında MIT Center for Bits and Atoms, 2003 yılında Katalunya İleri Mimarlık Enstitüsü (IAAC), 2008 yılında Stuttgart Üniversitesi bünyesinde Sayısal Tasarım Enstitüsü (ICD) kurulmuş, 2005 yılında ise Fab Lab fikri ortaya

çıkılmıştır. Mimari üretim ve fabrikasyon süreçlerine yönelik yeni arayışlar, mimari tasarım anlayışında hesaplamalı düşünmeyi ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda çalışmada cebirsel yüzeyler üzerinden bir matematik, geometri ve mimarlık ilişkisi okuması yapılmaya çalışılmıştır. Bu okuma sürecine mimarlık bölümü lisans öğrencileri de katkı verdikleri için tasarımcının sürece yaklaşımı gözlemlenebilmiştir.

Tasarımcıdan cebirsel yüzeyleri tasarım sürecinin bir parçası haline getirmesi istendiğinde ilk anda bunu çok karmaşık bulmuştur. Cebirsel yüzeylere ilişkin araştırma sürecinde karşılaştığı matematiksel denklemler ilk başta çok karmaşık gelmiştir. Matematiksel eşitliklerin tasarım sürecinin bir parçası haline getirilmesi fikrine kuşkuyla yaklaşmışlardır. Ancak süreç ilerledikçe ve ilk ürünler ortaya çıkmaya başladıkça bu kuşku kaybolmaya başlamıştır. Çalışmanın sonraki süreçlerinde tasarımcılar bu sefer kurguladıkları tasarım çözümünü doğru bir şekilde yansıtabilecek cebirsel yüzeyler aramaya başlamışlardır. Çalışma sürecinde aydınlatma elemanı, geometrik heykel, kedi evi tasarlama gibi somut tasarım problemlerine cevap aramaları istenmiştir. Tek başına düşünüldüğünde soyut bir niteliğe sahip olan cebirsel yüzeyler, bir tasarım probleminin çözümü kapsamında düşünölmeye başlandığında bir fikrin parçası haline gelmeye başlamıştır.

Eliptik koni biçimi ışık için yuva oluşturabilme özelliği sebebi ile aydınlatma elemanı tasarlama probleminin başlangıç biçimi olarak seçilmiştir. Eliptik koninin özgün biçimi iki adet koninin yatay simetri ekseninde bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Tasarımcılar bu tasarımda farklı renklerde ışık etkilerini yakalayabilmek için koni sayısını artırmaya yönelik alternatif denemeleri üzerinde çalışmışlardır. Sonuçta karar verilen biçim 16 adet koniden oluşmuş ve her birinin içerisine farklı renkte ışık yerleştirilerek tasarım güçlendirilmeye çalışılmıştır. Tasarımın cisim açılımı yöntemi ile üretilmesine karar verildiği için kıvrılmaya elverişli bir malzemedem imal edilmiştir. Her bir koninin açılımı sayısal ortamda elde edilerek sorunsuz bir üretim süreci yürütölebilmiştir.

Aydınlatma elemanı tasarımı için seçilen bir diğere yüzey ise Klein şisesi ve Möbius şeridi biçimidir. Bu biçim içerisinde bulundurduğu farklı yönlerdeki boşluklar sebebi ile seçilmiştir. Bu boşluklara ışık yerleştirilerek farklı niteliklerde ışık kullanımının sağlanması hedeflenmiştir. Seçilen biçimin geometrik niteliği dilimleme yöntemi ile üretilmesini zorunlu kılmıştır. Üretim yöntemine karar verilirken dilimlerin boşluklu olarak bir araya getirilmesi ve parçaların bir yardımcı çubuk eleman ile birbirlerine bağlanmaları istenmiştir. Böylelikle ortaya çıkacak boşluklu yapı sayesinde ışığın sızan ışık olarak kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Kedi evi tasarımı için seçilen yüzeylerden biri helikoid yüzeyi olmuştur. Tasarımcılar bu biçimin helezonik yapısı ile kedinin oynama ve tırmanma eylemlerini bağdaştırmışlardır. Helikoidin özgün biçimi sık helezonlardan oluşmaktadır. Tasarımcılar biçimin parametrelerini değiştirerek helezon sayısını düşürmüşlerdir. Böylelikle kedi için bir hareket alanı oluşturmaya çalışmışlardır. Bu çalışmanın üretim süreci örgü tekniği ile yürütölmüştür. Örgü tekniği niteliği gereği daha doğrusal ilişkiler içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum helikoidin sarmal ve eğrisel yapısı ile çelişse de örgü tekniği de tasarım özelinde tasarlanarak bu çelişki avantaja çevrilmeye çalışılmıştır. İplerin bir araya gelişleri mekânsal ilişkilerin örgütlenmesini sağlayabilmek üzere tasarlanmıştır. Sonuçta ortaya çıkan biçim içerisinde kedinin uyuyabileceği bir alan yaratılmış ve tırmanmasına yönelik yüzeyler üretilmiştir. Örgü tekniği soyut bir anlatım içerdiği için tasarım süreci, üretim planlaması sürecinde de devam etmiştir. Amaç belirlenen sonuç ürünün birebir üretilmesi olmamıştır.

Kedi evi tasarımı için seçilen yüzeylerden bir diğere ise Clebsch yüzeyidir. Bu yüzeyin seçilmesinin sebebi farklı nitelikte mekânlar sağlayabilecek boşluklardan oluşmasıdır. Tasarlanan sonuç ürün örgü tekniği ile üretilmiştir. Mekânı oluşturan eğrisel yüzey etkileri üretim sürecinde de korunmaya çalışılmıştır. Bu nedenle ipler birbirlerine en yakın veya karşılıklı yüzeyler arasında

örölmeye çalışılmıştır. Böylelikle kurallı bir yüzey etkisi ortaya çıkarılabilmıştır.

Sinüs yüzeyi ve sinüzoidal koni biçimleri ise geometrik heykel tasarımı için seçilen cebirsel yüzeylerdir. Bu tasarım sürecinde daha çok üretim süreçlerine odaklanıldığı için işlevsiz bir tasarım problemi öğrencilere verilmiştir. Cebirsel yüzeyler estetik ve geometrik etkilerine göre seçilmişlerdir. Sinüzoidal koni biçimin alternatif üretim süreçlerinde birçok alternatif tasarım denemesi yapılmıştır (Görsel 2). Ayakta durabilmesi ve yarattığı etki bakımından üretilmiş olan sonuç ürüne karar verilmiştir. Clebsch yüzeyinde ise yine birçok farklı alternatifler denemesine rağmen, parametrelerde yapılan değişimlerin tasarım beklentisini karşılayamamasından ötürü özgün biçimin üretilmesine karar verilmiştir.

Tasarımdan üretime gerçekleşen süreçler modelleme biçimi, malzeme seçimi, üretim yöntemine karar verilmesi, detayların çözümlenmesi gibi birçok etkeni içerisinde barındırmaktadır. Bu aşamalarda verilen her bir karar sonuç ürünün niteliğine etki etmektedir. Çalışmadan elde edilen kazanımlardan biri de tasarımın ve üretimin bir bütün halinde ele alınması gerekliliği olmuştur. Hesaplamalı tasarım süreçlerinin önemi de bu noktada daha iyi anlaşılmaktadır. Modelleme ve üretim süreçlerinin hesaplamalı bir yaklaşımla ele alınması sorunsuz sonuç ürünlerin elde edilmesi açısından önem taşımaktadır. Çünkü hesaplama rastlantısallığı ortadan kaldırmakta ve kurallı bir tasarım ve üretim sürecini beraberinde getirmektedir.

Dijital üretim teknolojilerinin gelişmesiyle beraber makine ile haberleşebilmek, öğrenilmesi gereken bir beceri olarak ortaya çıkmaktadır. Makinenin konuştuğu dili konuşabilmek hesaplamalı düşünme becerisine ve bir eylemi sayısal olarak ifade edebilme yetisine sahip olmayı gerektirmektedir. Bu nedenlerle, gelişmekte olan sayısal tasarım ve üretim teknolojilerini yakalayabilmek sayısal düşünme becerisi ile doğrudan bağlantılıdır.

Sayısal düşünme, tasarımcının zihninde hâlihazırda kurgulamakta olduğu, ancak bunun farkına makine ile iş birliği yapacağı zaman biraz daha net bir biçimde vardığı bir

durumdur. Modernizm ile ortaya çıkan Modüler aslında sayısallaştırılmış ve standartlaştırılmış bir insan bedenini ifade etmektedir. Modüler aynı zamanda bir mekânın ölçülerini de belirleyen bir öznedir. Modül kavramı ve yapı malzemelerinin standart ölçülerde oluşu da tasarım sürecinde sayısal bir kurgu oluşturmayı beraberinde getirmektedir. Daha eskiye gidildiğinde ise altın oran, kozmosun sayısallaştırılması gibi arayışlar tasarım süreçlerinde kullanılmış olan sayısallaştırma fikirleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Sayısal tasarım süreçleri söz konusu olduğunda ise, tasarım sürecine yön veren tüm sayısal ilişkilerin açık bir şekilde ortaya konulması gerekliliği doğmaktadır. Çünkü tasarım sürecini bilgisayara anlatabilme, sayısal üretim araçlarını kullanabilme gibi gereklilikler ortaya çıkmaktadır. Bu durumda tasarım ve üretim süreçlerinin adım adım ve sayısal ilişkileriyle birlikte açıklanabilmesi insan-makine birlikteliğine katkı sağlamaktadır.

İlk aşamada, cebirsel yüzeyler içinden tasarım probleminin cevap verebilecek nitelikte olanlar seçilerek başlangıç biçimi olarak belirlenmektedir. Cebirsel yüzeyler, tek başlarına düşünüldüğünde, soyut biçimler olarak algılanabilirler. Ancak bir tasarım problemi çerçevesinde düşünüldüğünde somut bir anlam kazanmaya başlarlar. Örneğin; bir cebirsel yüzeyin boşluklu bir yapıda olması ve sahip olduğu ışık etkisi nedeni ile aydınlatma elemanı tasarımının başlangıç biçimi olarak kullanılabilmesi fikrini ortaya çıkarmaktadır. Benzer şekilde bir kedinin davranışlarına uygun potansiyel barındıran bir cebirsel yüzey de kedi evinin başlangıç biçimi olarak seçilebilmektedir. İlk aşamanın sonunda seçilen başlangıç biçimine ait cebirsel yüzeyin formülü ve parametreleri elde edilmektedir.

İkinci aşamada, tasarımcılar cebirsel yüzeyin matematiksel formülüne ilişkin parametreleri değiştirerek yüzeyin matematiksel

problemi için üretilebilecek sonuç ürünler için de tasarım denemelerini barındırmaktadır. Bu süreçte matematiksel tanımlamaların tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesi deneyimlenmektedir. Bu aşamada sezgisel düşünmeyi temsil eden kara kutu süreci ile analitik düşünmeyi temsil eden saydam kutu süreci iç içe geçmektedir. Tasarımcı bir yandan tamamen matematiksel ifadelerle belirlenen ve tümüyle sayısal dünyaya ait bir tasarım nesnesi üzerinde çalışırken, bir yandan da onu belirleyen parametreleri tamamen sezgisel bir süreç içerisinde değiştirmektedir. Bu bağlamda sayısal ve sezgiselin entegre bir şekilde gerçekleştiği söylenebilmektedir. Bu aşamanın sonunda bir tasarım uzayı oluşturulmaktadır. Tasarım uzayı bir tasarım probleminin ilişkin üretilen potansiyel alternatiflerin bütünü temsil etmektedir. Tasarımcı bu tasarım uzayı içinden birini seçerek fiziksel ortamda üretim aşamasına geçilmektedir.

Dördüncü ve son adımda seçilen sonuç cebirsel yüzeyin fiziksel ortamda üretimi yapılmıştır. Çalışma kapsamında tasarımcı, tasarım sürecini bunu üreteceğini bilmeden yürütmüştür. Ürünler ortaya çıktıktan sonra bunların üretilmesi istendiğinde, tıpkı çalışmanın başında olduğu gibi tedirginlik duymuşlardır. Üretim sürecinde üç boyutlu yazıcı, robotik üretim gibi karmaşık formların nispeten daha kolay üretildiği dijital fabrikasyon araçlarının kullanılmasına izin verilmemiştir. Üretim sürecinde yalnızca CNC lazer kesim cihazı kullanılmıştır. Bu sayede cebirsel yüzey üzerine daha detaylı sorgulamalar yapmaları sağlanmıştır. Üretim aşamasında kullanılan üç farklı yöntem, cebirsel yüzeylerin açılımı yapılabilir, açılımı yapılamaz olma özelliklerini ve bir yüzeyin *mesh* olması ile *polysurface* olması arasındaki farkları tartışması açısından önemlidir. Üretim süreci cebirsel yüzeyin daha iyi anlaşılabilmesini sağlamanın yanında hesaplamalı dünya ile fiziksel dünyanın ilişkisinin kurulmasına yönelik beceriyi de artırmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel üretim denemeleri, gerçek dünyadaki üretim süreçlerinin küçük ölçekli birer yansıması olarak

“BU DENEYSEL SÜRECİN LİSANS ÖĞRENCİLERİNİN DE KATILIMI İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ, MİMARLIĞIN SALT ÖKLİDYEN BİÇİMLERDEN İBARET OLMADIĞI, ÖKLİDYEN OLMAYAN BİÇİMLERİN DE TASARIM SÜRECİNİN BİR PARÇASI HALİNE GELMESİNİN VE BUNLARIN FİZİKSEL ORTAMDA ÜRETİLMESİNİN KARMAŞIK OLMADIĞINI GÖSTERMEK AÇISINDAN ÖNEMLİDİR”

Sonuçlar

Matematik, geometri ve mimarlık ilişkisi cebirsel yüzeylerin tasarımı üzerinden incelenmiştir. Çalışma dört aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir: Cebirsel yüzeylere ilişkin matematiksel tanımların bulunması ve parametrelerin tespit edilmesi, parametrelerin deşifre edilmesi, tasarım alternatiflerinin modellenmesi ve üretim. Tasarım sürecinde tasarımcılardan bazı somut tasarım problemlerine cevaplar üretmeleri istenmiştir. Bu tasarım problemleri aydınlatma elemanı, geometrik heykel, kedi evi tasarımı gibi konular üzerine belirlenmiştir.

tanımlaması ile yüzeyin dönüşümü arasındaki ilişkiyi gözlemleyerek çözmeye çalışmaktadır. Bu aşamanın sonunda tasarımcılar matematiksel fonksiyonun parametrelerinin işlevlerini çözmektedir. Böylelikle cebirsel yüzeyin belirli bir tasarım problemi kapsamında yeniden tanımlayabilmeye yönelik bilgiyi edinmektedir.

Üçüncü aşamada tasarımcılar tasarım probleminin cevap verebilecek potansiyelle sahip bir dizi alternatif cebirsel yüzey üretmektedir. Tasarımcının parametreleri değiştirerek ürettiği cebirsel yüzey alternatifleri aynı zamanda tasarım

düşünülebilir. Gerçek üretimde fabrikasyon aracı değişse de üretime hazırlık mantığı benzer şekilde işleyecektir. Bu bağlamda özellikle dilimleme yöntemi ile yapılan üretim denemeleri dosyadan imalata sürecini tüm aşamaları ile gösteren bir örnektir. Bu tarz fabrikasyon süreçlerine mimarlıkta karmaşık biçimlerin dijital fabrikasyon yöntemleri ile üretilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Cebirsel geometrilerin üretim aşamalarına yönelik denemeler, Öklidyen olmayan biçimlerin de üretim yöntemlerine ilişkin ipuçları taşımaktadır. Sayısal tasarım süreçlerinin ve dijital fabrikasyon araçlarının getirdiği avantajlar tartışılabilir. Bu deneysel sürecin lisans öğrencilerinin de katılımı ile gerçekleştirilmesi, mimarlığın salt Öklidyen biçimlerden ibaret olmadığı, Öklidyen olmayan biçimlerin de tasarım sürecinin bir parçası haline gelmesinin ve bunların fiziksel ortamda üretilmesinin karmaşık olmadığını göstermek açısından önemlidir.

Çalışma kapsamında 15 adet sonuç ürün üretilmiş, bunlardan başarılı olan altı tanesi bu çalışma kapsamında paylaşılmıştır. Buradaki başarı ölçütü, seçilen cebirsel yüzeyin yüzey bütünlüğü içinde üretilebilmesi ve anlaşılabilir olmasıdır. Bu ürünlerden başarılı olanlar kadar, başarısız olanlar da deneyim açısından önem taşımaktadır. Bu başarısız ürünler, özellikle yüzey bütünlüğünün sağlanamaması ve seçilmiş olan cebirsel yüzeyi ifade edememesi açısından başarısız olmuşlardır. Bunlar, cebirsel yüzeyin parametrik modele aktarılması veya üretim sürecinin tasarlanması aşamalarında meydana gelen olumsuzluklar sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışmanın lisans öğrencileri ile yürütülmesi çalışmayı zorlu hale getirirse de çalışma gruplarının süreci baştan sona tamamlayabilmeleri, dijital ve fiziksel ortamda bir ürün ortaya koyabilmeleri başarı olarak tanımlanmalıdır. Çünkü bu çalışma kapsamında yapılan denemeler, farklı bir tasarım düşüncesi ile düşünmeyi gerektirmektedir.

Bu çalışma, tasarım ve üretim süreçlerinde karmaşık formların tasarım sürecinin bir parçası haline getirilmesi ile ilgili bir yöntem önermektedir.

Tasarımcılar karmaşık formları kullanmaktan çizim ve modelleme sürecinde yaşadıkları sorunlar nedeni ile kaçınmaktadır. Bu çalışma ile tasarımcılar, matematiksel bir tanımla tasarım sürecinin bir parçası haline getirme fırsatı bulmuşlardır. Böylelikle karmaşık biçimlerin modellenmesi ve üretilmesi süreçlerine ilişkin deneyim kazanmışlardır. Matematik, geometri ve mimarlık arasındaki ilişkinin tasarım süreci için yeni bakış açıları yaratma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

Gelecekteki çalışma süreçlerinde matematik, geometri ve mimarlık ilişkisi interdisipliner bir çalışma içerisinde ele alınabilir. Bu çalışmada yalnızca tasarımcının açısından matematiğe ve geometriye bakış tartışılmıştır. Bir matematikçinin tasarım sürecine dâhil olması farklı perspektifler sunabilir. Çalışmaya ilişkin bir başka öneri de tasarıma ilişkin sonuç ürünlerin belirlenmesi sürecinde sezgisel yaklaşımların değil, sayısal yaklaşımların kullanılabilirliği. Bu bağlamda tasarım probleminin de sayısallaştırılabilir olması gerekmektedir. Bu veriler, optimizasyon süreçlerinde cebirsel yüzeylerin parametreleri ile ilişkilendirilebilir. ■

KAYNAKLAR

- Churchman, C. W. (1967). Guest editorial: Wicked problems. *Management Science* 14(4), B141-B142.
- Çolakoğlu, B. ve Yazar, T. (2007). Mimarlık Eğitiminde Algoritma: Stüdyo Uygulamaları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 379-385.
- Eastman, C. M. (1969). Cognitive Processes and Ill-Defined Problems: A Case Study From Design. *IJCAI'69: Proceedings of the 1st International Joint Conference on Artificial Intelligence* içinde (ss. 669-690). Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Emmerich, D. G. (1996). From Gravitation Toward Levitation. *International Journal of Space Structures*, 11(1-2), 3-12.
- Ferréol, R. (2024, 16 Haziran). *Encyclopédie des Formes Mathématiques Remarquables* <https://mathcurve.com> adresinden 4 Ekim 2024 tarihinde erişilmiştir.
- Franklin, J. (2014). *An Aristotelian Realist Philosophy of Mathematics: Mathematics as the Science of Quantity And Structure*. Springer.
- Frei, O. ve Rasch, B. (1995). *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. Edition Axel Menges.
- Garcia Alvarado, R., ve Jofre Muñoz, J. (2012). The control of shape: Origins of parametric design in architecture in Xenakis, Gehry and Grimshaw, *METU JFA* 29(1), 107-118.
- Gavriil, K., Schiffner, A., Pottmann, H. (2019). Optimizing B-Spline Surfaces For Developability And Paneling Architectural Freeform

Surfaces. *Computer-Aided Design*, 111, 29-43. [arXiv:1808.07560](https://arxiv.org/abs/1808.07560)

- Goldberg, S., A. (2006). Computational Design of Parametric Scripts for Digital Fabrication of Curved Structures. *International Journal of Architectural Computing*, 4(3), 99-117.
- Goldsmith, N. S. (2014). Shape Finding or Form Finding? R.M.L.R.F. Brasil ve R.M.O. Pauletti (Ed.) *Proceedings of the IASS-SLTE 2014 Symposium "Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints" 15 to 19 September 2014, Brasilia, Brazil* içinde. S.I.
- Heidegger, M. (1993). *Modern Science, Metaphysics, and Mathematics*. D.F. Krell (Ed.) *Basic Writings* içinde (ss. 267-307). Harperperennial Modernthought.
- Hernandez, B. ve Roberto, C. (2005). Evaluation of Parametric Models: Two Provisos For The Sagrada Familia Columns. *SIGraDi 2005 (Proceedings of the 9th Iberoamerican Congress of Digital Graphics) Lima - Peru, 21-24 November 2005 vol.1* içinde (ss.126 - 132). SIGRA DI.
- Kolarevic, B. (2003). Digital Morphogenesis. B. Kolarevic (Ed.) *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* içinde (ss. 17-46). Taylor&Francis.
- Megahed, N. A. (2015). Digital Realm: Parametric-Enabled Paradigm in Architectural Design Process. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 4(3), 175-184.
- Menges, A. ve Ahlquist, S. (2011). *Computational Design Thinking: Computation Design Thinking*. John Wiley & Sons.
- Mitchell, W.J. (1975). The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design. *Environment and Planning B* 2(2), 127-150.
- Newell, A. (1967). Heuristic Programming: Ill-Structured Problems. J.S. Aronofsky (Ed.) *Progress in Operations Research, Volume III* içinde (ss.361-414). John Wiley&Sons.
- Ots, E. (2011). *Decoding Theoryspeak: An Illustrated Guide to Architectural Theory*. London: Routledge.
- Rittel, H.W.J. ve Webber, M.M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169.
- Sheil, B. (2014). *The Digital Generation*. Neil Spiller ve Nic Clear (Ed.) *How Tomorrow's Practitioners will Learn Today* içinde (ss. 138-144). Thames&Hudson.
- Simon, H A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3-4), 181-201.
- Struik, D.J. (1950). *Lectures on Classical Differential Geometry*. Addison-Wesley mathematics series. Addison-Wesley Press