

ACİL BARINMA ÜNİTESİ TEMİNİNDE PARAMETRİK TASARIM VE
KATMANLI ÜRETİMİN İNCELENMESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

EMEL BAŞ

TASARIM
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2020

Bu tezin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm koşulları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Serdar SAYAN
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Müdürü

Bu çalışmayı okuduğumu ve çalışmanın kapsam ve içerik olarak Sosyal Bilimler Enstitüsü Tasarım Ana Bilim Dalı'nda bir Yüksek Lisans tezi olabilecek yeterlilikte olduğuna kanaat getirdiğimi onaylıyorum.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÖZTOPRAK
(TOBB ETÜ, Endüstriyel Tasarım)

Tez Jürisi Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi A. Fatih KARAKAYA
(TOBB ETÜ, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı)

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KINAYOĞLU
(TEDÜ, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı)

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emel BAŞ

ÖZ

ACİL BARINMA ÜNİTESİ TEMİNİNDE PARAMETRİK TASARIM VE KATMANLI ÜRETİMİN İNCELENMESİ

BAŞ, Emel
Yüksek Lisans, Tasarım

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÖZTOPRAK

Bu araştırmada acil durumlarda barınma ihtiyacını sağlayan ürünlerin, üretim, depolama, taşınabilirlik ve kullanım özelliklerinden kaynaklanan sorunlarının çözümünde; hammadde stoklama ve afet alanlarında üretime olanak sağlayan katmanlı üretim teknolojisi ve parametrik tasarım yöntemi kullanımının sağlayacağı avantajları araştırmak ve bu avantajların uygulanabilmesi için tasarım kriterlerini belirlemek amaçlanmıştır.

Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden faydalanılmıştır. İlk olarak, alan yazın araştırması ile katmanlı üretim, 3 boyutlu yazıcı ile betonarme yapı üretimi, parametrik tasarım araçları, acil barınma ihtiyaçları konularında güncel bilimsel bilgiler derlenmiştir. Sonraki aşamada beton malzeme ile katmanlı üretim teknolojisi parametreleri belirlenmiş ve malzeme özellikleri bağımsız değişken olmak üzere yapı geometrisi alternatifleri çevresel koşullar, kullanım özellikleri, barınan kişi sayısı bağlı değişkenlerine göre parametrik tasarım alternatifi geliştirilmiştir.

Uluslararası literatürde, katmanlı üretim teknolojisi ile üretilen yaşam alanları bulunmakla birlikte, ülkemizde gerçekleştirilmiş bir çalışma bulunmadığı görülmüştür. Alan yazın araştırması doğrultusunda belirlenen mevcut acil durum yapılarından kaynaklı problemler; iklim ve zemin koşullarına uygunsuzluk, alev alma, kurulum için deneyimli personel gerekliliği ve bu kişilerin sayısının azlığı nedeniyle kurulum süresinin uzaması, değiştirilebilir ve kişiselleştirilebilir olmayan yapılar ve acil barınma için stoklanan ürünlerin kullanım zamanı geldiğinde yıpranmış olmalarıdır.

Acil durum sonrası barınma ünitesi tasarımlarında katmanlı üretim teknolojisi ile yerinde üretim ve parametrik tasarım araçlarının birlikte kullanımının, geleneksel yöntemler olan çadırlar ve barakalardan kaynaklı problemlerin çözümünde etkili ve verimli bir biçimde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katmanlı üretim teknolojisi, parametrik tasarım, acil barınma

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PARAMETRIC DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING IN EMERGENCY HOUSING UNIT SUPPLY

BAŞ, Emel
Master of Arts, Design

Supervisor: Asst. Prof. Aydın ÖZTOPRAK

This research focuses on the advantages of additive manufacturing applications and parametric design method for solving the problems that arise from the production, storage, transportation and utilization of emergency shelters. This study aims to investigate the applications of additive manufacturing technologies with parametric design method which provide the possibility of raw material storage and production on site in disaster areas and to propose design criteria for the application of building-scale 3D printing with parametric design method.

In this study qualitative research methods are utilized. Initially; an extensive literature review on additive manufacturing technologies, concrete construction by 3 dimensional printing, parametric design tools and emergency shelter requirements has been conducted. Subsequently; the parameters of additive manufacturing with concrete material are determined and parametric design alternatives are developed based on the variables of structural geometry alternatives, environmental conditions, usage features and sheltered inhabitants. Material properties are defined as the independent variable during this process.

Although there are sources in the literature regarding living spaces produced with additive manufacturing technology; there is a gap in the literature in Turkey. The problems of existing emergency sheltering structures determined throughout the literature review are; incompatibility to climate and ground conditions, flammability, the need for expert personel for installation, shortage of experienced staff and extended time periods for installation, non-interchangeable and non-customizable structures and deterioration of products stocked for emergency sheltering in time.

It has been assessed and concluded that the use of on-site production with additive manufacturing technology with parametric design method can be used effectively and efficiently to solve the problems arose from traditional methods.

Key Words: additive manufacturing technologies, parametric design, emergency sheltering



Aileme...

TEŞEKKÜR SAYFASI

Yüksek Lisans deneyimim boyunca sunduğu rehberlik ve akademik alandaki bilgilerimi genişletmemdeki bilgi, destek, anlayış ve yardımları için tez danışmanım Dr. Aydın Öztoprak'a teşekkür ederim.

Lisansüstü çalışma ve araştırmalarımnda teknik bilgisi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen Bülent Coşkuner'e,

Ve hayatım boyunca sevgi ve desteklerini her zaman hissettiğim sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İNTİHAL SAYFASI.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
İTHAF SAYFASI	vi
TEŞEKKÜR SAYFASI	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
GRAFİK LİSTESİ	xv
FİGÜRLER LİSTESİ.....	xvi
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
1.1. Katmanlı Üretim Yöntemi	2
1.2. Parametrik Tasarım	5
1.3. Amaç, Kapsam ve Yöntem	6
BÖLÜM II.....	10
KATMANLI ÜRETİM	10
2.1. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Kısa Tarihi ve Gelişimi.....	11
2.2. Katmanlı Üretimde Kullanılan Yazıcı Tipleri.....	14
2.2.a. Kartezyen Tip Yazıcılar	14
2.2.b. Delta Tip Yazıcılar	15
2.2.c. Polar Yazıcılar	16
2.2.d. Robotik (Scara) Yazıcılar.....	16
2.2.e. Non Planar - Düzlemsel Olmayan Yazıcılar	17
2.2.f. Yazıcı Tiplerinin Acil Durum Sonrası Barınma İçin Karşılaştırılması	18
2.3. Kullanılan Malzemelere Göre Katmanlı Üretim.....	19
2.3.a. Sıvı Bazlı Katmanlı Üretim.....	20
2.3.b. Katı Bazlı Katmanlı Üretim	21
2.3.c. Toz Bazlı Katmanlı Üretim	21

2.4. Kullanılan Teknolojiye Göre Katmanlı Üretim	22
2.4.a. Tekne Fotopolimerizasyonu (İng. Vat Photopolymerisation)	23
2.4.b. Malzeme Jeti (İng. Material Jetting)	24
2.4.c. Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (İng. Binder Jetting)	24
2.4.d. Malzeme Ekstrüzyonu (İng. Material Extrusion).....	25
2.4.e. Toz Yatağında Lazer Eritme (İng. Powder Bed Fusion).....	26
2.4.f. Sac Tabakalaşma (İng. Sheet Lamination)	26
2.4.g. Doğrudan Enerji Biriktirme (İng. Directed Energy Deposition) .	27
2.4.h. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Tasarım Kriterleri Doğrultusunda Karşılaştırılması	28
2.5. Katmanlı Üretim Teknolojisinin Avantaj ve Sınırlılıkları	31
2.6. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim	33
2.6.a. Kullanılan Yöntemler	34
2.6.b. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretimin Faydaları	39
2.6.c. Beton Malzeme İle Katmanlı Üretim	40
2.6.d. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Örnekleri	42
2.6.e. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretimin Geleceği ve Zorluklar	46
BÖLÜM III	50
PARAMETRİK TASARIM.....	50
3.1. Parametrik Tasarım Sistemi	52
3.1.a. Değişkenler.....	53
3.1.b. Kısıtlamalar ve Bağımlılıklar	53
3.1.c. Bileşenler.....	54
3.1.d. Kurallar	54
3.2. Parametrik Tasarım Yazılımları.....	54
3.2.a. Rhinoceros 3D (Grasshopper)	55
3.2.b. Dynamo (Autodesk).....	57
3.3. Yapı Ölçeğinde Parametrik Tasarım Örnekleri.....	57
3.3.a. Eden Projesi.....	58
3.3.b. Kopenhag Hayvanat Bahçesi Fil Evleri	59
3.3.c. Wasp Parametrik Evleri.....	60
3.3.d. Wasp Trabeculae Yapısı	62
BÖLÜM IV	64
YÖNTEM.....	64

4.1. Yaşam Alanının Tanımlanması.....	68
4.1.a. Acil Durum Sonrası Barınma	69
4.1.b. Yaşam Alanı Tasarımında Kullanıcı İhtiyaçları	78
4.1.c. Yaşam Alanı Tasarımında Bağlamsal İhtiyaçlar	83
4.2. Form Çalışmaları.....	85
4.2.a. Tasarlanan Modelin Özellikleri.....	86
4.3. Tasarlanan Modelin Algoritması	92
4.3.a. Değişkenler.....	94
4.3.b. Kısıtlamalar	96
4.3.c. Bileşenler.....	96
4.3.d. Kurallar	97
BÖLÜM V	98
BULGULAR VE SONUÇ	98
KAYNAKÇA.....	102
EKLER.....	117

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Deksi (2016) ve 3D Print Bureau (2018)'dan Uyarlanan Katmanlı Üretim Teknolojisinin Gelişimi	12
Tablo 2.2. FDM Üç Boyutlu Yazıcı Tiplerinin, Yapı Ölçeğinde Üretim İçin Karşılaştırılması	19
Tablo 2.3. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin, Deradjet Ve Minshall'ın (2017) Araştırmasına Dayalı Sınıflandırılması	20
Tablo 2.4. ASTM Sınıflandırmasına Göre Katmanlı Üretim Teknolojileri ve Karşılaştırması	22
Tablo 2.5. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Karşılaştırması	28
Tablo 4.1. Araştırmada Seçilen Üretim Yöntemi	65
Tablo 4.2. Katmanlı Üretim İle Parametrik Tasarımın, Kullanıcı İhtiyaçlarını Karşılama Sunduğu Olanaklar	84
Tablo 5.1. Katmanlı Üretime Uygun Acil Barınma Ünitesi Tasarımlarının Parametrik Sistemi	100

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Katmanlı Üretimde Temel Kavramlar	10
Şekil 2.2 Kartezyen Tip Üç Boyutlu Yazıcı Şeması	15
Şekil 2.3. Delta Tip Üç Boyutlu Yazıcı Şeması	15
Şekil 2.4. Polar Üç Boyutlu Yazıcı Şeması	16
Şekil 2.5. Robotik (Scara) Yazıcı Şeması	17
Şekil 2.6. Düzlemsel Olmayan Üç Boyutlu Yazıcı Şeması	17
Şekil 2.7. Tekne Fotopolimerizasyonu Süreç Şeması	23
Şekil 2.8. Malzeme Jeti Süreç Şeması	24
Şekil 2.9. Yapıştırıcı İle Katmanlı İmalat Süreç Şeması	25
Şekil 2.10. Malzeme Ekstrüzyonu Süreç Şeması	25
Şekil 2.11. Toz Yatağında Lazer Eritme Süreç Şeması	26
Şekil 2.12. Sac Tabakalaşma Süreç Şeması	27
Şekil 2.13. Doğrudan Enerji Biriktirme Süreç Şeması	27
Şekil 2.14. Kontur Dolgu Tekniği Şeması	34
Şekil 2.15. (a) Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Yöntemlerinin Benzerlikleri (b) Van Woensel (2018)'den Uyarlanan Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması	38
Şekil 3.1. Parametrik Tasarım Süreci	51
Şekil 3.2. Yazılı Algoritma ve Görsel Algoritma Kullanan Parametrik Modelleme Yazılımlarında Kodlama ve Modelleme Sekmeleri	55
Şekil 3.3. Grasshopper Parametrik Modelleme Eklentisi	56
Şekil 3.4. Autodesk Dynamo Parametrik Modelleme Yazılımı	57
Şekil 3.5. Eden Projesi	58
Şekil 3.6. Wasp Parametrik Evlerinin Parametrik Parçaları	61
Şekil 4.1. Kubbe Formu	86
Şekil 4.2. Kubbe Formu Toplu Yerleşim	87
Şekil 4.3. Kubbe İç Yerleşimi	87
Şekil 4.4. Altıgen Form ve İç Duvarlar	88
Şekil 4.5. Merkez Sütun ve Şömine Yerleşimi	89
Şekil 4.6. Pasif İklimlendirme	91
Şekil 4.7. Kapı-Pencere Tasarımları	91
Şekil 4.8. Genişletilebilme	92

Şekil 4.9. Üç Boyutlu Modelin Katmanlı Üretime Hazır Hale Getirilmesi	93
Şekil 4.10. Grasshopper Modeli	93-94
Şekil 4.11. Grasshopper Modelinde Köşegen Sayısı ve Yükseklik ve Kubbe Eğrisi Değişkenleri	94-95
Şekil 4.12. Grasshopper Modelinde Duvar Kalınlığı ve İç Dolgusu Değişkeni	95
Şekil 4.13. Yerleşim Açısına Göre Değiştirilebilir Pencere ve Kapı Açıklıkları	96



KISALTMALAR LİSTESİ

3D	: Üç Boyutlu
AFAD	: Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AM	: Katmanlı Üretim
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BJ	: Yapıştırıcı İle Katmanlı İmalat
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	: Bilgisayar Sayımlı Yönetim
DED	: Doğrudan Enerji Biriktirme
DLP	: Dijital Işık İle Kürleme
EPSRC	: Mühendislik Ve Fiziksel Bilimler Araştırma Konseyi
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
FDM	: Birleştirmeli Yığıma Modeli
HP	: Hewlett Packard
LOM	: Tabaka Yapıştırırmalı Üretim
ME	: Malzeme Ekstrüzyonu
MIT	: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
MJ	: Malzeme Jeti
MVP	: Minimum Olarak Uygulanabilir Ürünler
NASA	: Amerikan Ulusal Havacılık Ve Uzay Dairesi
NURBS	: Düzgün Olmayan Rasyonel B-Eğrisi
OSB	: Yönlendirilmiş Yonga Levha
PBF	: Toz Yatağında Lazer Eritme
REPRAP	: Kendin Yap, Kendin Geliştir
SL	: Sac Tabakalaşma
SLA	: Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği
SLM	: Seçici Lazer Eritme
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
STL	: Stereolithography
UV	: Ultraviyole
VP	: Tekne Fotopolimerizasyonu
WASP	: Dünya Gelişmiş Tasarruf Projesi

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 2.1. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Yıllara Göre Gelişim Süreci	13
--	----



FIGÜRLER LİSTESİ

Figür 2.1. Düzlemsel Olmayan Üç Boyutlu Yazıcı İle Yüzey Kalitesi	18
Figür 2.2. Kontur Dolgu Tekniği İle Baskı Örnekleri	35
Figür 2.3. D-Şekil Yazıcısı (a) ve Bağlayıcı Püskürtme İşlemi (b)	36
Figür 2.4. Fazla Malzemenin Temizlenmesi (a) ve Son Ürün (b)	36
Figür 2.5. Beton Yazıcı İle Duvar Paneli Üretimi	37
Figür 2.6. Beton Yazdırma Teknolojisi İle Üretilmiş Karmaşık Form Örneği	41
Figür 2.7. Winsun Evleri ve Yerinde Montaj Aşaması	42
Figür 2.8. Dünyanın 3 Boyutlu Yazıcı İle İnşa Edilen En Yüksek Binası	43
Figür 2.9. Üç Boyutlu Yazıcılar İle İnşa Edilen Andrey Rudenko Şatosu	43
Figür 2.10. WASP Firması Tarafından Geliştirilen Tecla Evi	44
Figür 2.11. Nantes Evi	45
Figür 2.12. Mobil 3 Boyutlu Yazıcı İle Yerinde Üretilen İlk Konut Evi	45
Figür 2.13. Üç Boyutlu Yazıcı İle Yazdırılmış Dünyanın En Büyük Binası	46
Figür 2.14. Avrupa Uzay Ajansı, Ay Yüzeyinde Katmanlı Üretim Projesi	47
Figür 2.15. AI Spacefactory Mars Yüzeyinde Habitat Oluşturulması Projesi	48
Figür 2.16. Yapı Elemanlarının Montajı	48
Figür 3.1. Eden Projesi, Cornwall, Birleşik Krallık	58
Figür 3.2. Eden Projesi	59
Figür 3.3. Kopenhag Hayvanat Bahçesi İçin Tasarlanan Fil Evleri	60
Figür 3.4. Kopenhag Hayvanat Bahçesi İçin Tasarlanan Fil Evleri	60
Figür 3.5. WASP Tarafından Geliştirilen Parametrik Ev Projesi	61
Figür 3.6. WASP Trabeculae Yapısı	62
Figür 3.7. WASP Trabeculae Yapısı Üç Boyutlu Baskı Süreci	62
Figür 4.1. Elazığ Depremi Sonrası Depremzedelerin Barınma Alanlarından Spor Salonu	70
Figür 4.2. Elazığ Depremi Sonrası Depremzedelerin Barınma Alanlarından Vagonlar	70
Figür 4.3. Türk Kızılayı Çadırlarının Depolama ve Kullanım Örnekleri	71
Figür 4.4. Bayer Firması Tarafından Yerinde Üretilen Kubbelerin Kullanım Örnekleri	72

Figür 4.5. Bayer Firması Tarafından Yerinde Üretilen Kubbelerin Yerel Kullanım Örnekleri	73
Figür 4.6. Shigeru Ban'ın Kaynaşlı'da Tasarlayıp Ürettiği Evler	74
Figür 4.7. Shigeru Ban'ın Tasarladığı Seperatörlerin Tohoku'da Kullanımı	75
Figür 4.8. Hexayurt Projesi	76
Figür 4.9. Shiftpod Üniteleri	76
Figür 4.10. 3D Yazıcı İle Basılan İzolasyon Üniteleri	77
Figür 4.11. 3D Yazıcı İle Basılan İzolasyon Üniteleri İç Yerleşimi	77
Figür 4.12. Ünitelerin Nakledilmesi	78
Figür 4.13. Elazığ Depremi Sonrası Kurulan Çadırkentlerdeki Zemin Sorunları ...	79



BÖLÜM I

GİRİŞ

Katmanlı üretim teknolojileri geleneksel üretim yöntemlerine göre tasarımcılara çok çeşitli olanaklar sunmakla beraber bu teknolojilerin tasarım süreçlerinde kullanımında çeşitli zorluklar da bulunmaktadır. Bu olanak ve zorlukların belirlenerek tasarımcılara yol gösterici kurallar ve yönergeler hazırlanması, bu teknolojilerin tasarımcıların yaratıcı fikirlerinin ürüne dönüşmesini sağlayan tasarım süreçlerinde etkili kullanımını kolaylaştıracaktır. Tasarımcıların yeni teknolojileri tasarım süreçlerinde kabullerinin artırılması için, yeni teknolojilerin kullanımının anlaşılabilir hale getirilmesi ve kullanımının hızlandırılması için rehber dokümanlara ve örnek uygulamalara ihtiyaç vardır. Alan yazın araştırması doğrultusunda, katmanlı üretim teknolojisinin birçok farklı üretim ve prototipleme alanında kullanıldığı görülmüştür. Ancak; katmanlı üretim teknolojisi, yaşam alanı tasarlayacak ve bu ölçekte yapısal tasarım geliştirecek tasarımcılar için yeni bir üretim tekniğidir. Bu araştırmada katmanlı üretim teknolojisinin yapı ölçeğinde kullanımının sunduğu olanaklar araştırılmış ve yaşam alanı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisi kullanımı için öneriler sunulmuş ve kriterler belirlenmiştir. Bu tez, katmanlı üretim yöntemi ile üretilecek yaşam alanları tasarlayacaklar için yol gösterici ve uygulama örneği olması amacıyla hazırlanmıştır.

Katmanlı üretim yöntemi, akışkan bir malzemenin katmanlar halinde üst üste eklenmesiyle üç boyutlu nesnelere oluşturulmasıdır (Ünal, 2019a). Katmanlı üretim yönteminde malzeme, form ve hedef ürünün fiziksel özellikleri gibi farklı gereklilikler için farklı teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler malzeme özelliklerine göre sınıflandırıldığında, kullanılan malzemenin eklenmesi aşamasındaki özelliğine göre, sıvı bazlı, toz bazlı ve katı bazlı olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir (Wong &

Hernandez, 2012). Katmanlı üretim, geleneksel kalıp veya talaş kaldırma yöntemlerine göre tasarımcıları çok daha serbest bırakmaktadır. Bu sebeple tasarımcılar daha önce etkili ve verimli biçimde kullanamadıkları parametrik tasarım yöntemlerini, katmanlı üretim ile çok daha yaygın biçimde kullanabilmektedirler.

Parametrik tasarımda form, tasarımı etkileyen kurallar ve bu kurallar arasındaki etkileşimli ilişkiler ile oluşturulur. Katmanlı üretim teknolojisi ile her ürün, farklı gereksinimlere göre şekillendirilip üretilebilmektedir. Bu gereksinimlerin parametrik hale getirilmesi ile de ihtiyaçlar ve ürünler, dijital ortamda yalnızca birbiri ile bağlantılı kuralların değiştirilmesi ile optimize edilebilir. Bu sayede malzeme ve enerji kaynakları verimli kullanılır. Katmanlı üretim ve parametrik tasarımın birlikte kullanımı, tasarım sürecini ve ürün optimizasyonunu hızlandırır.

1.1. Katmanlı Üretim Yöntemi

Katmanlı üretim, bilgisayar ortamında oluşturulan üç boyutlu bir nesnenin, özel yazılım paketleri kullanılarak sayısal olarak katmanlara ayrılması ve her bir katmanın akışkan bir malzeme aracılığı ile üst üste biriktirilerek fiziksel olarak oluşturulmasına dayalı bir üretim yöntemidir. Nihai ürün, prototip ve kalıp oluşturma amaçlarıyla, otomotiv, sağlık endüstrisi, havacılık ve ürün geliştirme gibi birçok alanda, katmanlı üretim teknolojilerinden faydalanılmaktadır.

Katmanlı üretim teknolojisinde, kullanılan malzemeye veya malzeme biriktirme teknolojisine göre çeşitli sınıflandırmalar vardır. Farklı kullanım alanları ve gereksinimler doğrultusunda katmanlı üretimde farklı hammaddeler kullanılabilir. Kullanılan hammaddenin biriktirme aşamasındaki yapısal özelliğine göre sıvı bazlı, toz bazlı ve katı bazlı katmanlı üretim olarak sınıflandırılmaktadır (Wong & Hernandez, 2012). Sıvı bazlı katmanlı üretimde üç

boyutlu objeyi oluşturan sıvı haldeki malzemeye yerel sertleştirme uygulamaları yapılır. Toz bazlı katmanlı üretimde toz halindeki hammadde, eritilerek ya da bağlayıcı bir malzeme yardımıyla katı halde üç boyutlu nesneye dönüştürülür. Katı bazlı katmanlı üretimde ise katı haldeki hammadde özel bağlayıcı ve birleştiriciler ile bir araya getirilir. Çıktı üründe istenilen yüzey kalitesi, form ve malzemeler doğrultusunda bu üç yöntemde kullanılan malzeme biriktirme teknolojileri de farklılaşmıştır. Katmanlı üretim teknolojileri, Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM), ASTM F42 – Katmanlı Üretim Komitesi tarafından 7 kategoride sınıflandırılmıştır (F42 Committee, 2012). Tekne Fotopolimerizasyonu (İng. Vat Photopolymerisation), Malzeme Jeti (İng. Material Jetting), Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (İng. Binder Jetting), Malzeme Ekstrüzyonu (İng. Material Extrusion), Toz Yatağında Lazer Eritme (İng. Powder Bed Fusion), Sac Tabakalaşma (İng. Sheet Lamination) ve Doğrudan Enerji Biriktirme (İng. Directed Energy Deposition) olarak adlandırılan bu kategoriler, ilerideki bölümlerde detaylandırılacaktır. Bu çalışmada, katmanlı üretim teknolojisinde sıvı bazlı yöntemlerden beton malzemenin Malzeme Ekstrüzyonu teknolojisi kullanılarak yapı ölçeğinde kullanımı araştırılmıştır.

Geleneksel üretim yöntemlerinde, karmaşık formlar, az sayıda üretim ve kişiye özelleştirilmiş ürün üretimi, parça başına maliyeti yüksektir. Ancak katmanlı üretim teknolojisi ile karmaşık ve çok parçalı yapılar düşük parça başına maliyet ile üretilebilmekte, kişiye özel üretimler kalıp gerektirmeden yalnızca bilgisayar ortamında hazırlanarak kullanıma hazır hale getirilebilmektedir. Yapı ölçeğindeyse katmanlı üretim teknolojisi, üretim yapılacak yerin çevresel şartlarına, kullanıcı özelliklerine ve yaşam standartlarına uygun üretim yapılmasına olanak sağlar. Bu çalışmada, katmanlı üretimin yapı ölçeğinde kullanımının sağlayacağı avantajlar

araştırılmış ve barınma ihtiyacı doğuran acil durumlarda kullanılacak barınma üniteleri için katmanlı üretime uygun tasarım kriterleri belirlenmiştir.

Yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisinin güncel örnekleri, Çin’de katmanlı üretim teknolojisi ile üretilen beton bloklar ile inşa edilen evler (Fung, 2014), Amsterdam’da 3D yazıcı ile üretilen köprü (Yalcinkaya, 2018) ve Andrey Rudenko’nun 3D yazıcı ile ürettiği şatosudur (Rudenko, 2014). Bu örnekler hammaddenin üretim alanında katmanlı üretim teknolojisi ile bir araya getirilerek yerinde üretim uygulamasının etkinliğini kanıtlamıştır.

Yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisi kullanımı ile yerinde üretim uygulaması, malzeme, işgücü ve nakliye gereksinimini azaltarak maliyetleri düşürür, üretim sırasında oluşan atık malzemeyi azaltarak çevreye duyarlı üretim yapar, sürekli çalışma ile hızlı üretim ve malzeme ve üretim tekniği sayesinde tasarım esnekliği sağlar (Denonain, 2018).

Katmanlı üretim teknolojisinde, tüm sürecin makine tarafından yürütülmesi, üretimin daha güvenli olmasını sağlar, uygun malzeme ve yazıcı donanımı ile zamandan ve maliyetten tasarruf edilir (Hager vd., 2016). Bu teknolojide, karmaşık yapılar tek bir malzeme ile üretilebildiğinden, bir yapıyı oluşturmak için gerekli malzeme miktarını azaltmaktadır.

Ürün ölçeğinde, ürünlerin kullanım alanına göre tasarım şekillenirken, yapı ölçeğinde yapılar, çevresel şartlar, farklı iklim koşulları ve yaşam şartlarına göre şekillenmektedir. Katmanlı üretim bu değişken şartlara uygun çözümler önermektedir. Katmanlı üretim yönteminin değişim sağlama potansiyeli en yüksek uygulama alanlarından biri de acil durum barınma ihtiyacının karşılanmasıdır. Barınma ihtiyacı doğuran acil durumlar, farklı bölgelerde, farklı iklim koşullarında, farklı yaşam koşullarında gerçekleşebilir. Yaşam standartları ve ihtiyaçlar da her acil durum

bölgesinde farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, barınma ünitesi tasarımı, üretilen yerin değil, kullanılacak olan yerin standartlarını yansıtmalı ve ihtiyaçlarını cevaplamalıdır. Katmanlı üretim teknolojisi ile yerinde ve bilgisayar kontrollü üretim yapılmaktadır ve hammadde son ürün haline getirilmemiştir. Bu sayede, kullanım zamanı geldiğinde, eşzamanlı teknolojik olanaklara uygun, her acil durum bölgesinin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde üretim yapılabilir. Örneğin; farklı iklim koşulları için farklı duvar kalınlıkları ve malzeme ile üretim mümkündür. Katmanlı üretim ile uygulanacak yer, kullanacak kişi sayısı ve ihtiyaçlarına uygun tasarım ve üretimler gerçekleştirilebilir, genişletilebilir uygulamalar yapılabilir.

1.2. Parametrik Tasarım

Parametrik tasarım, tasarımı etkileyen her türlü değişkenin dijital veri olarak girilmesi ve bu değişkenlerin birbirleri ile nasıl ilişkili olduğunun kurallar ve kısıtlamalar içerisinde bir sistem olarak oluşturulmasına dayanan bir bilgisayar destekli tasarım yöntemidir.

Parametrik tasarımın en önemli avantajı, üç boyutlu geometrik model oluşturulurken, girdi olarak tanımlanan noktalar, boyutlar veya eğriler gibi parametreler değiştirildiği anda nihai model formunun da değiştirilebilir olması ve bu nedenle, bir değişiklik gerektiğinde modelin yeniden çizilmesinin gerekmemesidir (Fu, 2018).

Parametrik tasarımda, formu ve yapıyı etkileyen değişken veriler arasında etkileşimli ilişki kurularak dijital model oluşturulmaktadır. Bu model üzerinde parametre değerleri sayısal olarak değiştirilebilmekte ve olası formlar değerlendirilebilmektedir. Bu sayede parametrik tasarım, çevresel şartlar, kullanım özellikleri ve bağlama göre tasarım alternatifleri oluşturmaya izin verir.

Tasarım yöntemi olarak parametrik tasarım, üretim yöntemi olarak ise katmanlı üretim teknolojisi kullanıldığında, güncellenebilir, doğrulanabilir, farklı yaşam alanlarının farklı çevresel şartlarına ve kullanım özelliklerine uygun çeşitli çözümler üretilebilir. Parametrik tasarım araçları ile kompleks geometriler oluşturulabilir, geleneksel yöntemlerin aksine, katmanlı üretim teknolojisi ile bu geometriler son ürün haline getirilebilir. Tasarımın alt bileşenlerinin bilgisayar kontrollü olarak değiştirilmesiyle her acil durum bölgesinin ihtiyaç ve yaşam standartları doğrultusunda tasarımda değişiklik yapılabilir, katmanlı üretim ile bu değişiklikler yerinde gerçekleştirilebilir.

1.3. Amaç, Kapsam ve Yöntem

Çalışmanın konusu, katmanlı üretim teknolojileri ve parametrik tasarım yöntemlerini yaşam alanı tasarımlarında birlikte uygulamaktır. Araştırmanın amacı yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisine uygun yazdırılabilir formlar için kurallar ve yönergeler önerilmesidir. Bu amaca ulaşmak için veri toplama yöntemi olarak doküman incelemesi yöntemi kullanılmıştır. Araştırma kapsamında yaşam alanı olarak tanımlanan yapı, barınma ihtiyacı doğuran acil durumlarda, geleneksel yapım yöntemleri yetersiz kaldığında, orta ve uzun vadede asgari yaşam şartlarını sağlayacak, tek katlı dayanıklı betonarme yapılarıdır. Katmanlı üretim teknolojilerinde yaşam alanı ölçeğinde üretim yapıldığında farklı malzemeler kullanılmakla beraber bu çalışmada beton malzeme kullanımı ele alınmıştır.

Katmanlı üretim teknolojisinde kullanılacak beton malzemenin kimyasal özellikleri ve geliştirilmesi, ayrı bir araştırma konusu olduğundan, bu araştırmanın **kapsamı dışındadır**. Yaşam alanlarında kullanılacak tesisat, atık su tahliyesi gibi mekanik sistemler ile aktif iklimlendirme sistemleri kapsam dışında olmakla birlikte, pasif

iklimlendirme sistemi (doğal havalandırma), yaşam alanı tasarımlarını etkileyen yapısal unsurlardan olması nedeniyle, çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Bu çalışma ile yaşam alanı tasarımlarında yeni üretim teknikleri ve ihtiyaçlar doğrultusunda güncellenebilir tasarım formları bilimsel olarak incelenmiştir. Faydalarına rağmen, yapı sektörünün üç boyutlu yazdırma yeniliğini kabul etmede tutucu davranması, yazdırılabilir formlar ve malzemeler konusundaki temel araştırmaların eksikliğine bağlanmaktadır (Deksi, 2016). Bu çalışma ile yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisine uygun yazdırılabilir formlar için kurallar ve yönergeler önerilmiştir.

Araştırma çıktılarının uygulama alanına da katkı sağlaması planlanmaktadır. Katmanlı üretim teknolojisinin yapısal üretim alanlarında kullanılmasına olanak sağlayın malzemelerin ve 3D yazıcıların geliştirilmesine temel oluşturacak bilimsel verilerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilecek bilgi ile yapı ölçeğinde katmanlı üretime uygun 3D yazıcılar ile tasarımların genel parametrelerinin belirlenebilmesi hedeflenmektedir. Katmanlı üretim teknolojisine uygun yaşam alanı tasarımlarında form çalışmalarının yapılarak teknolojinin tasarıma uygulanması ve elde edilecek bilgi birikimi çalışmaya **özgün değer** katmaktadır.

Bu araştırmanın en önemli **bilimsel katkısı**, katmanlı üretim teknolojisine uygun yaşam alanı tasarımlarına, yenilikçi ve yaratıcı form önerileri getirecek parametrelerin belirlenmesidir. Literatürde önem kazanmakta olan katmanlı üretim teknolojisi, tasarımcılara yeni malzeme ve araçlar; üreticilere güncellenebilir, kolay depolanabilir, esnek üretim metotları; kullanıcılara ise işlevsel ve ihtiyaçlara göre optimize edilmiş yaşam alanları sunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı; katmanlı üretim teknolojisi ile üretimin, yaşam alanları tasarımında sağlayacağı avantajların araştırılması ve bu avantajlar doğrultusunda

katmanlı üretime uygun parametrik tasarım için kurallar geliştirilmesidir. Araştırmanın amaçları ve hedefleri doğrultusunda belirlenen araştırma soruları aşağıda verilmiştir:

- Katmanlı üretim teknolojisi ve parametrik tasarım araçlarının yaşam alanı tasarımlarında sağladığı avantajlar nelerdir?
- Acil durum sonrası barınmada geleneksel yöntemlerden ve kullanım özelliklerinden kaynaklı problemler ve tasarım gereklilikleri nelerdir?
- Farklı iklim ve zemin koşullarına uygun, kişiselleştirilebilir acil durum barınma ünitelerinin parametrik olarak tasarlanarak katmanlı üretim yöntemi ile üretilmesi için tasarım kriterleri nelerdir?

Bu araştırmada yöntem olarak, doküman incelemesi kullanılmıştır. Araştırmanın kuramsal çerçevesini oluşturmak, katmanlı üretim teknolojisinin avantaj ve dezavantajları belirlemek ve acil durum sonrası barınma üniteleri için tasarım gerekliliklerini belirlemek için doküman incelemesi yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen anahtar kelimeler doğrultusunda ilgili kitap, dergi ve yayınlar ile çevrimiçi araştırma veri tabanları araştırılmıştır. Kuramsal çerçevenin detaylandırılması için, belirlenen anahtar kelimeleri içeren, konuya ilişkin akademik çalışmaların bibliyografyasında yer alan yayınlar ve internet tabanlarında yer alan yayınlar incelenmiştir.

Katmanlı üretim teknolojileri 1981 yılında kullanılmaya başlanmış olsa da gelişim dönemi 1999-2010 yılları arasını, en önemli dönemi ise 2011'den günümüze uzanan yılları kapsamaktadır (Goldberg, 2018). Bu nedenle, katmanlı üretim teknolojileri alanındaki çağdaş kuramları ve çalışmaları toplamak için Fraunhofer Enstitüsü'nün 2001-2018 yılları arasındaki yıllık raporları ve Nottingham Üniversitesi'nin 2012-2017 yılları arasındaki yıllık raporları incelenmiştir. Yapı ölçeğinde katmanlı üretim

teknolojilerindeki son gelişmeler için, bu alanda uzmanlaşmış uluslararası kuruluşların (Winsun, Wasp, Apis-Cor) çalışmaları ve bildirimleri incelenmiştir.

Doküman incelemesini takiben, katmanlı üretim teknolojisi parametreleri ve acil durum barınma ünitesi tasarım gereklilikleri katmanlı üretim teknolojisi parametreleri doğrultusunda değerlendirilmiş ve örnek çalışma olarak parametrik yaşam alanı tasarımları geliştirilmiştir.

Acil durum sonrası yaşam alanı tasarım gereklilikleri ile ilgili toplanan nitel verilerin analizi içerik ve betimsel analizi tekniğine göre çözümlenmiştir. Alan yazın araştırması ile elde edilen veriler, hızlı üretim, çevresel şartlara uyum, dayanıklılık, modüler yapı, uzun dönemli ve çok amaçlı kullanım gibi temalara göre özetlenip yorumlanmış ve değişen ihtiyaçların karşılanabilmesi için gerekli, katmanlı üretime uygun parametrik tasarım kriterleri belirlenmiştir.

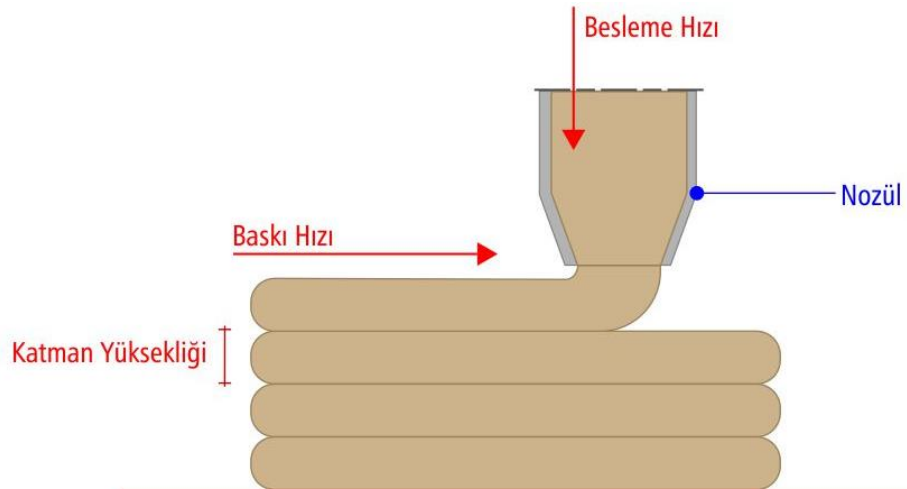
BÖLÜM II

KATMANLI ÜRETİM

Geleneksel üretim yöntemlerinde form, bütün bir malzeme bloğundan, torna, freze gibi aletler kullanılarak eksiltme / çıkarma yöntemi ile oluşturulur. Katmanlı üretimde ise form, geleneksel yöntemlerin aksine, malzemenin katmanlar halinde üst üste eklenmesi ile oluşturulur. Katmanlı üretim, Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) tarafından, üç boyutlu model verilerinden nesnel oluşturmak amacıyla malzemeleri, çıkarma üretim metodolojilerinin aksine, genellikle üst üste katmanlar halinde birleştirme işlemi olarak tanımlanmıştır (F42 Committee, 2012).

Katmanlı üretim teknolojileri, havacılık, otomotiv, savunma, ürün geliştirme ve medikal gibi birçok alanda, prototip üretiminden seri imalata kadar çeşitli süreçlerde kullanılmaktadır. Bu yöntem, dijital olarak oluşturulan herhangi bir nesnenin, özel yazılımlar aracılığı ile dijital olarak katmanlara ayrılması ve bu katmanların çeşitli hammaddelerin üst üste eklenmesi ile oluşturulması prensibine dayanır. Katmanlar halinde biriktirilen malzemenin sertleştirilme yöntemi, katmanlı üretim yönteminde kullanılan malzemeye göre; eriterek, kimyasal olarak birleştirerek ya da bağlayıcılar ile olmak üzere çeşitlilik göstermektedir.

Şekil 2.1. Katmanlı Üretimde Temel Kavramlar



Katmanlı üretimde oluşturulmak istenen form ilk olarak bilgisayar destekli tasarım programları (CAD) ile üç boyutlu olarak modellenir. Özel yazılım programları ile Z ekseninde katmanlarına ayrılan model, katmanlı üretim dosya formatı olan STL (Stereolithography)'e dönüştürülür. ASTM STL'i katmanlı üretimde, fiziksel parçaları oluşturmak için makineler tarafından kullanılan üç boyutlu model verilerinin dosya formatı olarak ve ilave üretim sistemlerinin fiili standart arayüzü olarak tanımlamıştır (F42 Committee, 2012). Son olarak, sonuç üründe istenilen detay seviyesine göre istenilen çözünürlükte baskı işlemi başlatılır. Katmanlı üretimde baskı çözünürlüğü, büyük çoğunlukta katman kalınlıkları ile belirlenmekte ve kullanılan yöntem, malzemeye ve üç boyutlu yazıcı özelliklerine göre değişmektedir.

2.1. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Kısa Tarihi ve Gelişimi

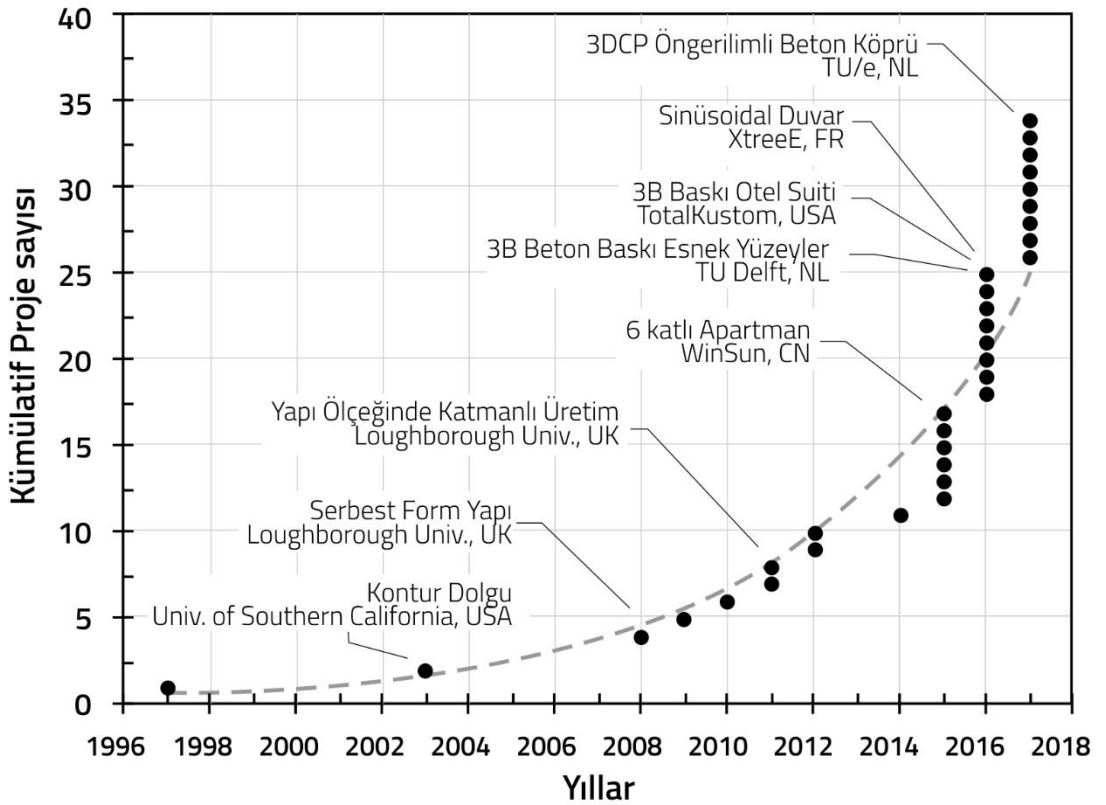
Üç boyutlu objelerin sayısal verilerden, katmanlar halinde eklenerek fiziksel olarak oluşturulması ilk kez 1984 yılında Charles Hull tarafından geliştirilmiş ve 1986 yılında Stereolithography (SLA) adı ile patent alınmıştır (Gibson vd., 2015). Sıvı fotopolimer malzeme katmanlarının ultraviyole lazer ışınları ile sertleştirildiği Tarayarak Işıklı Kütleme (İng. Stereolithography) yöntemini, toz halindeki hammaddenin lazer ışınları ile sertleştirildiği Seçici Lazer Sinterleme (İng. Selective Laser Sintering -SLS) ve eritilen katı polimer malzeme katmanlarının ısı ile sertleştirildiği Birleştirmeli Yığılma Modeli (İng. Fused Deposition Modelling - FDM) izlemiştir.

1999 yılı, Wake Forest Enstitüsü tarafından ilk kez üç boyutlu yazıcı ile üretilen bir organın insan vücuduna yerleştirilmesi ile katmanlı üretim teknolojileri tarihinde bir dönüm noktası olmuştur (Goldberg, 2018).

1984	Fiziksel 3D nesnelerin dijital verilerden yararlanılarak yazdırılması teknolojisi, ilk defa 1984 yılında Charles Hull tarafından hayata geçirildi. Bu tekniğe Stereolitografi adı verildi ve 1986 yılında lisansı alındı.
1988	1988 yılında, stereolitografi aparatının geliştirilmiş bir sürümü, SLA-250 adıyla piyasa sürüldü ve halkın kullanması mümkün hale geldi. Stereolitografi Sistemleri 1980'lerin sonlarına kadar popülaritesini sürdürdü. Bu tarihlerde “Fused Deposition Modeling” FDM ve SLS piyasaya sürüldü.
1991	Stratasys şirketi, plastik malzemenin katmanlar halinde biriktirildiği, ilk FDM makinasını üretti.
1992	DTM şirketi, ilk seçici lazer sinterleme (SLS) makinasını üretti.
1993	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT), Inkjet teknolojisini kullanan “Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojisi” patentini aldı.
1995	Z Corporation şirketi, üç boyutlu yazıcı teknolojisini kullanarak yazıcılar geliştirmeye başladı.
1996	Hızlı prototipleme makinelerini tanımlamak için ilk kez “3D yazıcı” terimi kullanılmaya başlandı.
2006	Açık kaynak kodlu, kendi parçalarını üretebilen 3D yazıcısı geliştirme projesi RepRap başlatıldı.
2008	Enrico Dini tarafından, D-Shape yazıcısı geliştirildi ve piyasaya sürüldü.
2010	Loughborough Üniversitesi tarafından ilk beton yazıcı geliştirildi.
2012	Üç boyutlu yazıcılarla üretilmiş ilk otomobil olan Urbee, Kor Ecologic şirketi tarafından tamamlandı.
2014	Dünyanın ilk çok renkli ve çok malzemeli üç boyutlu yazıcısı piyasaya sürüldü.
2015	Üç boyutlu yazıcılar ile yapı ölçeğinde üretim mümkün hale geldi.
2018	Üç boyutlu baskı teknolojisi günümüzde, yaratma şekilleri ve eğitim üzerinde önemli bir etkiye sahip duruma gelmiştir. Teknolojiyi kullanan en yeni projelerden bazıları arasında 3D baskılı mercan resif rejenerasyonu, Hollanda sosyal konut projesi, Formula 1 otomobil parçaları ve NASA ile uzay projeleri, gerçekleştirilmekte olan projelerden bazılarıdır.

Tablo 2.1. Deksi (2016) ve 3D Print Bureau (2018)'dan Uyarlanan Katmanlı Üretim Teknolojisinin Gelişimi

Üç boyutlu yazıcılar, 2006 yılından itibaren açık bilgi paylaşımı platformları ile girişimci ve üreticilerin kullanımı doğrultusunda gelişme göstermiştir. Kullanıcıların ihtiyaçlarına göre farklı amaçlar için farklı çözümler üretilmiş ve bu çözümler diğer takipçilerle paylaşılarak, farklı üretim biçimleri ve farklı malzeme kullanımları geliştirilmiştir. “2006 yılında başlayan REPRAP (kendin yap, kendin geliştir) projesi sayesinde birçok sıradan kullanıcı, hobi sever ve kendin yap kültürüne sahip kişiler bu cihazları kullanmaya başlamıştır.” (Şahin & Turan, 2018). Katmanlı üretim teknolojisi kullanıcıları arasındaki açık kaynak paylaşımı ile üretime dair her türlü veri, dünyanın her yerinden ulaşılabilir kaynaklardır ve kullanıcılar tarafından geliştirilmeye devam etmektedir.



Grafik 2.1. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Yıllara Göre Gelişim Süreci (Buswell vd., 2018)

Grafik 2.1., katmanlı üretim teknolojisinin yapı ölçeğinde kullanımının yıllara göre proje bazında gelişimini göstermektedir. Çimento esaslı malzemelerin katmanlı üretim

teknolojilerinde kullanımı fikri, ilk kez 1997 yılında Pegna tarafından önerilmiştir (Lim vd., 2012). Bu fikir, beton yazdırma teknolojileri için yol gösterici olmuştur. Beton malzeme ile katmanlı üretim, 2011 yılında Loughborough Üniversitesi tarafından yapılmıştır (Buswell vd., 2018). Çin’de katmanlı üretim teknolojisi ile üretilen beton bloklar ile inşa edilen evler (Fung, 2014) ve Andrey Rudenko’nun 3D yazıcı ile ürettiği şatosu (Rudenko, 2014), yapı ölçeğinde beton yazıcı ile katmanlı üretimin başlıca örneklerini oluşturmaktadır. Grafik 2.1’de de görüldüğü gibi, ivmelenecek artan sayıda projelerle yapı ölçeğinde katmanlı üretim, gelişmeye devam etmektedir.

2.2. Katmanlı Üretimde Kullanılan Yazıcı Tipleri

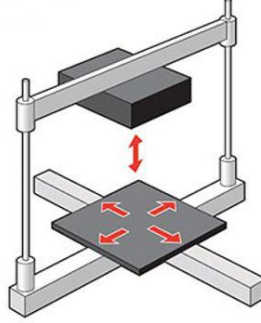
Masaüstü üç boyutlu yazıcılar olarak da tanımlanabilen birleştirmeli yığma modeli (İng. Fused Deposition Modeling, FDM) yazıcılar için, literatürde farklı gruplandırmalar bulunmaktadır. Üç boyutlu yazıcıları, kartezyen ve robotik olmak üzere iki gruba ayıran araştırmalar (Alwi vd., 2013), ve kartezyen, delta ve polar olmak üzere 3 çeşit FDM yazıcı olduğunu belirten çalışmalar (Wakimoto vd., 2018), robotik yazıcıları da ekleyerek 4 çeşit yazıcı tipini sıralayan çalışmalar da (Alex, 2017), (Yusuf, t.y.), (3dsourced, 2019b) bulunmaktadır. Bu araştırmada, yeni gelişmekte olan düzlemsel olmayan (İng. Non Planar) yazıcılar da FDM yazıcı tipleri arasında listelenmiştir.

2.2.a. Kartezyen Tip Yazıcılar

Kartezyen tip yazıcılarda doğrusal koordinat sistemi kullanılmaktadır. Yazıcı kafası Z ekseninde hareket ederek formun yüksekliğini belirler. Baskı platformu ise

oluşturulmak istenen formun x ve y eksenindeki konumuna göre doğrusal hareket yapar. En yaygın kullanılan yazıcı tipidir (Schmitt vd., 2018).

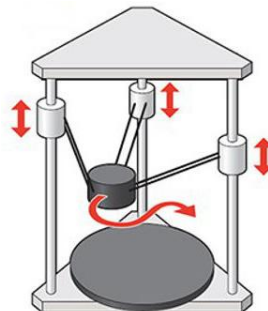
Şekil 2.2. Kartezyen Tip Üç Boyutlu Yazıcı Şeması (Alex, 2017)



2.2.b. Delta Tip Yazıcılar

Delta tip yazıcılarda, kartezyen tip yazıcıların aksine, baskı platformu sabittir, yazıcı kafası ise her yöne hareket eder. Kartezyen koordinat sistemi kullanılırken, yazıcı kafası Z ekseninde doğrusal hareket yaparken, X ve Y ekseninde sinüzoidal hareket yapar. Yazıcı kafasını taşıyan ve üçgen yapı oluşturacak şekilde bağlanan kollar, yazıcı kafasını oluşturulmak istenen formun katman konumuna göre konumlandırır. Delta yazıcılar, Kartezyen tip yazıcılara göre, daha yüksek üretim hacmi, daha hızlı baskı yapabilme ve daha iyi sıcaklık kontrolü gibi avantajlara sahiptir (Schmitt vd., 2018).

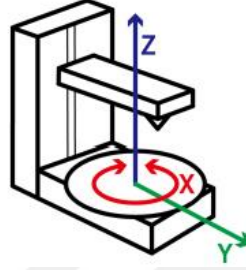
Şekil 2.3. Delta Tip Üç Boyutlu Yazıcı Şeması (Alex, 2017)



2.2.c. Polar Yazıcılar

Polar yazıcılar, konumlandırma için kartezyen koordinat sistemi yerine polar koordinat sistemini kullanırlar. Polar koordinat kümeleri, kare yerine dairesel bir ızgaradaki noktaları tanımlar (Yusuf, t.y.). Yazıcı kafası her yöne doğrusal hareket ederken platform dairesel hareket yapar. Polar yazıcıların enerji verimliliği daha fazladır ve küçük alanda daha büyük hacimli nesnelere basabilirler (Alex, 2017).

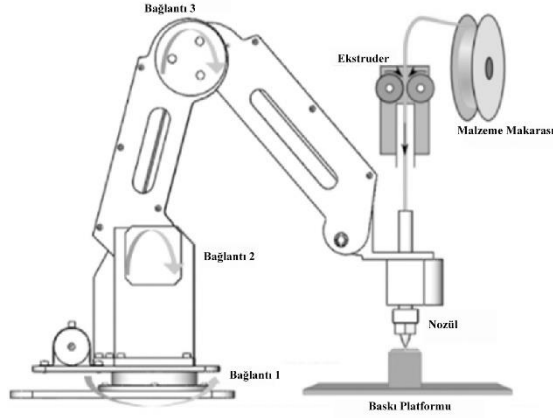
Şekil 2.4. Polar Üç Boyutlu Yazıcı Şeması (Wakimoto vd., 2018)



2.2.d. Robotik (Scara) Yazıcılar

Robotik yazıcılar, tek bir robot koluna bağlı yazıcı kafasının doğrusal ve dairesel hareketlerini sağlayan mafsallı bağlantılara sahiptir. Sabit bir yazdırma platformu yoktur. Yazıcı kafası, robotik kol sayesinde esnek hareket kabiliyetine sahiptir ve karmaşık yapıların üretimi daha kolaydır (Alex, 2017). Ancak baskı kalitesi diğerlerine göre düşüktür (3dsourced, 2019b). Diğer üç boyutlu yazıcılar kadar ucuz ve yaygın değildir, yapı ölçeği gibi büyük ölçekli baskılar için kullanılmaktadır.

Şekil 2.5. Robotik (Scara) Yazıcı Şeması (Shen vd., 2019).

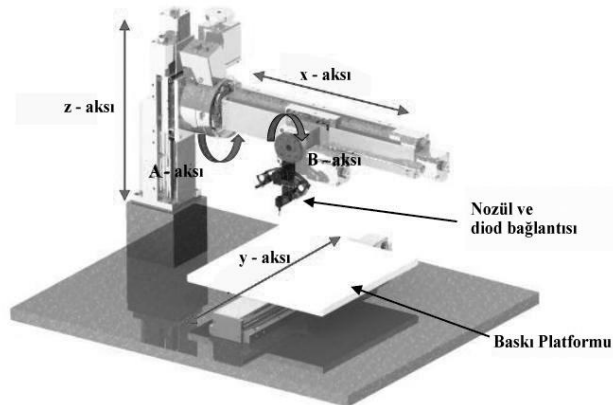


2.2.e. Non Planar - Düzlemsel Olmayan Yazıcılar

Düzlemsel olmayan üç boyutlu yazıcılarda hareket, X, Y ve Z eksenlerinin dışında, dönme eksenlerinde de gerçekleştirilir. Bu dönme hareketi yazıcı kafası ile ya da yazdırma platformu ile yapılabilir. Yazıcı kafası ve platformun paralelliği aranmaz, oluşturulmak istenen formun açısına göre konumlandırma yapılır.

Düzlemsel olmayan yazıcılar ile farklı yönlerde baskı yapılır ve yüzeydeki biriktirme çizgisi (basamak etkisi) azaltılarak daha pürüzsüz yüzeyler elde edilebilir (Krassenstein, 2014). Farklı açılarda biriktirme yapılabildiğinden, destek baskılarına ihtiyaç duyulmadan üretim yapılabilir (Asif vd., 2018).

Şekil 2.6. Düzlemsel Olmayan Üç Boyutlu Yazıcı Şeması (Asif vd., 2018)



Düzlemsel olmayan üç boyutlu baskının, yazıcının fiziksel yapısını değiştirmeden, bilgisayar yazılımında dilimleme algoritmasının değiştirilerek gerçekleştirilebilmesi üzerinde geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Watkin, 2019).

Figür 2.1. Düzlemsel Olmayan Üç Boyutlu Yazıcı İle Yüzey Kalitesi (Naramore, 2019)



2.2.f. Yazıcı Tiplerinin Acil Durum Sonrası Barınma İçin Karşılaştırılması

Literatürde beton malzeme kullanılarak yapı ölçeğinde üç boyutlu yazıcılar ile gerçekleştirilmiş olan projelerde kartezyen (Icon, 2019), delta (Moretti, 2016) ve robotik tip yazıcıların (*3D Printed Homes | Apis Cor | United States*, 2019) kullanıldığı görölmüştür. Polar yazıcılar, küçük alanda büyük baskılar yapabilmesine rağmen, yapı ölçeğinde baskı platformu hareketinin zorluğu nedeniyle, düzlemsel olmayan yazıcılar ise acil durum sonrası barınma temel gereksinimleri dışında olduğu için değerlendirme dışı bırakılmıştır. Yazıcıların mekanik özellikleri araştırmanın amacı ile doğrudan ilgili olmamakla birlikte, katmanlı üretime uygun parametrik tasarım modellerini belirleyen etmenlerdendir.

Bu araştırmada, üç boyutlu beton yazıcıların acil durum sonrası barınma gereksinimini karşılamada kullanılması değerlendirilmiştir. Sonraki bölümlerde detaylandırılacak olan, hızlı kurulum, üretim süresi, yazıcı kontrolünün kolaylığı, çalışma alanı ve baskı alanı büyüklüklerinin optimize edilebilmesi gibi parametreler doğrultusunda, robotik tip yazıcıların araştırmanın amacına uygun olduğu

değerlendirilmiştir. Tablo 2.2. alan yazın araştırması doğrultusunda belirlenmiş olan karşılaştırmayı yansıtmaktadır.

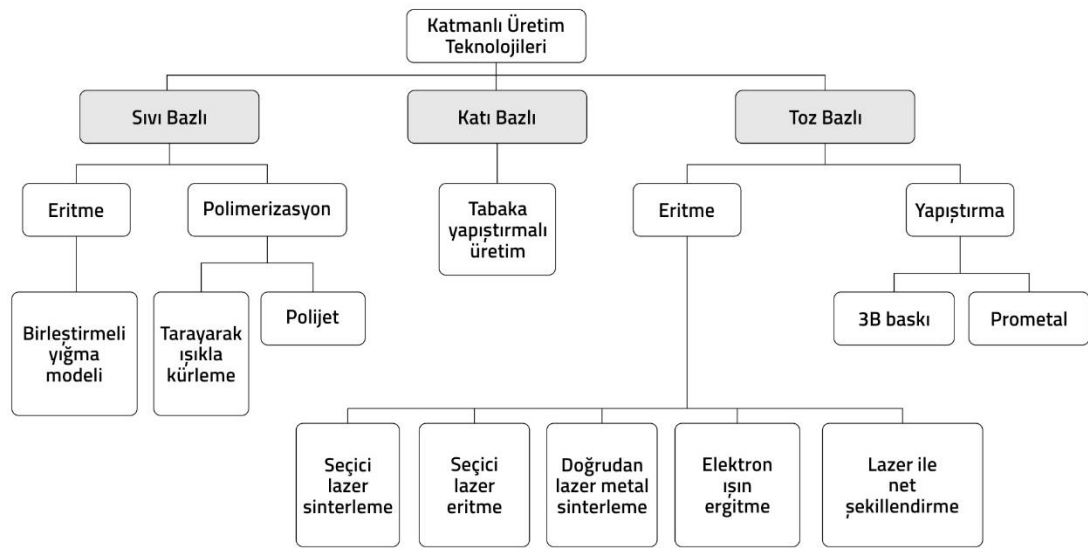
3D Yazıcı Tipleri	Çalışma Alanı Büyüklüğü	Kurulum Kolaylığı	Kontrol Edilebilirlik	Baskı Alanı Büyüklüğü	Baskı Süresi
Kartezyen	***	**	**	***	***
Delta	**	**	*	**	**
Robotik	*	***	***	**	*

Tablo 2.2. FDM Üç Boyutlu Yazıcı Tiplerinin, Yapı Ölçeğinde Üretim İçin Karşılaştırılması
*Az ** Orta ***Yüksek miktarı ifade etmektedir.

2.3. Kullanılan Malzemelere Göre Katmanlı Üretim

Katmanlı üretim teknolojilerinde, farklı kullanım alanlarına ve sonuç üründe istenilen fiziksel özelliklere göre farklı yöntemler, bu yöntemlere göre de farklı hammaddeler kullanılmaktadır. Literatürde, kullanılan hammaddelere göre sınıflandırma konusunda farklı yaklaşımlar olduğu görülmüştür. Kullanılan hammaddenin kullanım öncesi fazına göre, hammaddenin biriktirme aşamasındaki fazına ve hammaddenin cinsine (plastik, metal vb.) göre farklı sınıflandırmalar bulunmaktadır. Örneğin; Hopkinson ve Dickens (2006), hammaddenin kullanım öncesi fazına göre sıvı, katı ve toz bazlı sınıflandırma yapmış, biriktirme aşamasında eritilerek sıvı hale gelen hammaddeler sıvı bazlı malzeme kategorisine alınmamıştır. Wong ve Fernandez (2012), hammaddenin biriktirme aşamasındaki yapısına göre sıvı, katı ve toz bazlı sınıflandırma yaparken, Çelik ve Özkan (2017) katmanlı üretim teknolojilerini metal malzeme kullanılan ve metal malzeme kullanılmayan olarak sınıflandırmıştır. Tofail vd (2018) ise toz halindeki hammaddeleri katı bazlı hammaddeler altında sınıflandırmış ve katmanlı üretim teknolojilerini kullanılan malzemeye göre sıvı ve katı bazlı olmak üzere ikiye ayırmıştır. Literatürde, kullanılan malzemenin hangi aşamadaki yapısına göre sınıflandırılacağına olduğu gibi, hammadde yapılarının neler olduğuna dair de farklı yaklaşımlar olduğu görülmektedir.

Bu araştırmada Kruth'un (1991) hammaddenin biriktirme aşamasındaki yapısına göre sıvı, katı ve toz bazlı katmanlı üretim başlıklarını içeren sınıflandırması kullanılmıştır. Bu alışma, ilk sınıflandırmalardan biridir ve alan yazın araştırması doğrultusunda, farklı araştırmalara da (Deradjat & Minshall, 2017) (Wong & Hernandez, 2012) referans olduğu grlmştr. Tablo 2.3., hammaddenin biriktirme aşamasındaki yapısına göre katmanlı üretim teknolojilerinin sınıflandırmasını göstermektedir.



Tablo 2.3. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin, Deradjat Ve Minshall'ın (2017) Araştırmasına Dayalı Sınıflandırılması

2.3.a. Sıvı Bazlı Katmanlı Üretim

Sıvı bazlı katmanlı üretimde, hammadde olarak sıvı polimer kullanılabilir ya da katı halde bulunan hammadde, yazıcı nozlnde ısı ile eritilerek sıvı hale getirilebilir. Sıvı haldeki malzeme katmanlar halinde biriktirilerek istenilen form oluşturulur ve ısı ya da ışınla katılaştırılır. Birleştirmeli yığma modeli (İng. Fused Deposition Modeling, FDM) ve tarayarak ışıkla krleme tekniği (İng. Stereo lithographic apparatus, SLA), sıvı bazlı katmanlı üretimde kullanılan tekniklerdendir. Bu araştırmada çalışılan yapı

ölçeğinde katmanlı üretim, beton malzeme kullanmakta ve sıvı bazlı katmanlı üretim altında yer almaktadır.

2.3.b. Katı Bazlı Katmanlı Üretim

Katı bazlı katmanlı üretimde, son ürün haline getirilmeden önce malzeme katı haldedir. Genellikle tabakalar halindeki katı malzeme, özel yapıştırıcılar ile ya da kaynaklanarak üst üste birleştirilir. Yarı polimerize plastik malzemeler ise fotopolimerizasyon ile birbirlerine bağlanabilir (Kruth, 1991). Tabaka yapıştırırmalı üretim (İng. Laminated Object Manufacturing, LOM) katı bazlı üretim tekniklerindedir.

2.3.c. Toz Bazlı Katmanlı Üretim

Toz bazlı katmanlı üretimde, toz halindeki hammadde, lazer ya da elektron ışınları ile eritilerek birleştirilebilir ya da özel bağlayıcılar yardımıyla yapıştırılarak katılaştırılabilir. Çelik, polimer, seramik ve alaşımlar gibi çok çeşitli hammaddelerin kullanımına olanak sağlayan toz bazlı katmanlı üretim, sıvı ve katı bazlı katmanlı üretime göre daha geniş malzeme yelpazesine sahiptir (Alpay, 2012).

Toz bazlı katmanlı üretimde toz halindeki hammaddenin, oluşturulmak istenen form doğrultusunda belli alanlarına, ışın ya da bağlayıcı uygulanır. İçinde bulunduğu toz yatağı sayesinde toz hammadde, çıkıntılı parçalara destek görevi görür ve ayrıca destek parçasına ihtiyaç duyulmaz (Ünal, 2019). Seçici lazer sinterleme (İng. Selective Laser Sintering, SLS) ve seçici lazer eritme (İng. Selective Laser Melting, SLM), toz bazlı katmanlı üretim tekniklerindedir.

2.4. Kullanılan Teknolojiye Göre Katmanlı Üretim

ASTM Kategorisi	Çalışma Prensibi	Avantajlar	Dezavantajlar	Malzemeler
BJ	İnce toz katmanların üzerine sıvı bağlayıcı uygulanır. Katmanlar parçacıkların yapıştırılması ile oluşturulur.	<ul style="list-style-type: none"> - Desteksiz - Tasarım özgürlüğü - Büyük üretim hacmi - Yüksek baskı hızı - Kısmen düşük maliyet 	<ul style="list-style-type: none"> - Sınırlı mekanik özelliklere sahip kırılabilir parçalar - Üretim sonrası işlem gerekebilir 	<ul style="list-style-type: none"> - Polimerler - Seramikler - Kompozitler - Metaller - Hibrit
DED	Biriktirme sırasında malzeme, odaklanmış termal enerji ile eritilir.	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek tane yapısı kontrolü - Yüksek kaliteli parçalar - Tamir için uygunluk 	<ul style="list-style-type: none"> - Yüzey kalitesi ve hız dengesi gerekli - Metal ve metal bazlı hibrit malzeme ile sınırlı 	<ul style="list-style-type: none"> - Metaller - Hibrit
ME	Malzeme, bir nozül ya da ağızdan seçici olarak dışarı itilir.	<ul style="list-style-type: none"> - Yaygın kullanım - Ucuz - Ölçeklendirilebilir - Fonksiyonel parçalar 	<ul style="list-style-type: none"> - Dikey anizotropi - Basamaklı yüzey - İnce detaylar için uygun değil 	<ul style="list-style-type: none"> - Polimerler - Kompozitler
MJ	Damlacıklar halindeki yapı malzemesi kullanılır.	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek hassasiyet - Düşük atık - Çoklu malzemeli parçalar - Çok renklilik 	<ul style="list-style-type: none"> - Destek malzeme gerekli - Genellikle fotopolimer ve termoset reçine kullanılabilir 	<ul style="list-style-type: none"> - Polimerler - Seramikler - Kompozitler - Hibrit - Biyolojik
PBF	Hammadde toz yatağının seçilen bölgeleri termal enerji ile kaynaştırılır.	<ul style="list-style-type: none"> - Kısmen ucuz - Toz yatağı destek görevi görür - Yüksek malzeme çeşitliliği 	<ul style="list-style-type: none"> - Kısmen yavaş - Yapısal bütünlük eksikliği - Boyut sınırlılığı - Yüksek enerji gerekliliği - Yüzey kalitesi toz boyutuna bağlı 	<ul style="list-style-type: none"> - Metaller - Seramikler - Polimerler - Kompozitler - Hibrit
SL	Levha/folyo halindeki malzemeler bağlanır.	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek hız - Düşük maliyet - Malzeme taşıma kolaylığı 	<ul style="list-style-type: none"> - Parçaların sağlamlığı ve bütünlüğü yapıştırıcıya bağlı - Yüzeyler baskı sonrası işlem gerektirebilir - Sınırlı malzeme 	<ul style="list-style-type: none"> - Polimerler - Metaller - Seramikler - Hibrit
VP	Tekne içindeki sıvı polimer ışık ile kürlenir.	<ul style="list-style-type: none"> - Büyük parçalar - Yüksek hassasiyet - Yüksek yüzey kalitesi ve detaylı üretim 	<ul style="list-style-type: none"> - Fotopolimer ile sınırlı - Düşük raf ömrü, zayıf mekanik özellik - Pahalı - Düşük üretim hızı 	<ul style="list-style-type: none"> - Polimerler - Seramikler

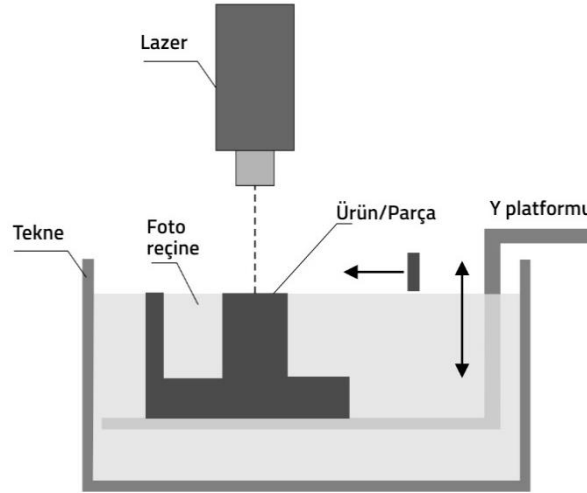
Tablo 2.4. ASTM Sınıflandırmasına Göre Katmanlı Üretim Teknolojileri ve Karşılaştırması (Tofail vd., 2018)

Katmanlı üretim teknolojileri, Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM), ASTM F42 – Katmanlı Üretim Komitesi tarafından 7 kategoride sınıflandırılmıştır (F42 Committee, 2012). Bunlar; Tekne Fotopolimerizasyonu (İng.

Vat Photopolymerisation), Malzeme Jeti (İng. Material Jetting), Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (İng. Binder Jetting), Malzeme Ekstrüzyonu (İng. Material Extrusion), Toz Yatağında Lazer Eritme (İng. Powder Bed Fusion), Sac Tabakalaşma (İng. Sheet Lamination) ve Doğrudan Enerji Biriktirme (İng. Directed Energy Deposition)'dir. Tablo 2.4. ASTM sınıflandırmasına göre katmanlı üretim teknolojilerini kullanılan malzemeler, çalışma prensibi ve örnek teknolojiler ile özetlerken, avantaj ve dezavantajları doğrultusunda karşılaştırmaktadır.

2.4.a. Tekne Fotopolimerizasyonu (İng. Vat Photopolymerisation)

Şekil 2.7. Tekne Fotopolimerizasyonu Süreç Şeması (*The 7 Categories of Additive Manufacturing*, t.y., s. 7)



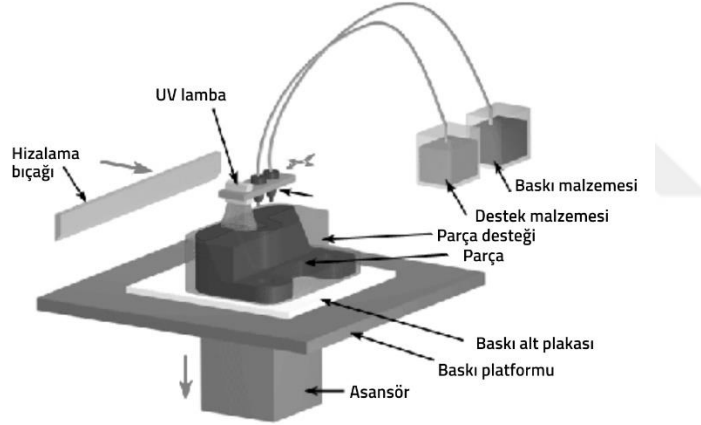
Tekne fotopolimerizasyonu, bir teknedeki sıvı fotopolimer hammaddenin, ışıkla aktive olan polimerizasyon tekniği ile seçici olarak kürlendiği katmanlı üretim yöntemidir (F42 Committee, 2012). Bu yöntemde, sıvı reçine havuzunun yüzeyine, oluşturulmak istenen şeklin katmanlarına göre ultraviyole ışık yansıtılır. Işığın temas ettiği reçine sertleşir ve katmanı oluşturur. Platformun aşağı yönde hareketi ile üst üste katmanlar oluşturulur. Polimer ve seramik malzemeler kullanılabilir ve lazer ile

kürleme (İng. Stereolithography, SLA) ve dijital ışık ile kürleme (İng. Digital Light Processing, DLP), bu yöntemi kullanan teknolojilerdir.

2.4.b. Malzeme Jeti (İng. Material Jetting)

Malzeme jeti yöntemi, yapıyı oluşturacak malzeme damlacıklarının seçici olarak biriktirildiği katmanlı üretim işlemidir (F42 Committee, 2012). Bu yöntemde sıvı haldeki malzeme damlacıkları, platform üzerine katmanlar halinde püskürtülür ve elde edilmek istenen şekle göre her katman ultraviyole (UV) ışıkla sertleştirilir. Fotopolimerler ve mumlar, bu yöntemde kullanılabilen malzemelerdir.

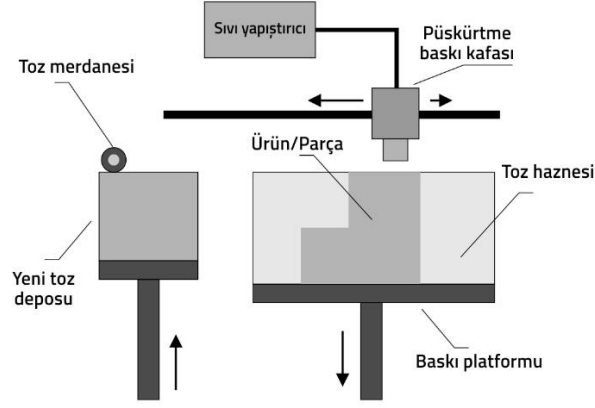
Şekil 2.8. Malzeme Jeti Süreç Şeması (*The 7 Categories of Additive Manufacturing*, t.y., s. 7)



2.4.c. Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (İng. Binder Jetting)

Yapıştırıcı ile katmanlı imalat, toz malzemelerin birleştirilmesi için bir sıvı bağlama maddesinin, seçici bir şekilde biriktirildiği üretim işlemidir (F42 Committee, 2012). Toz halde bulunan malzeme üzerine, elde edilmek istenen formun katmanları şeklinde sıvı yapıştırıcı uygulanır ve üzerine toz malzeme katmanı serilerek süreç tekrarlanır. Toz halde bulunabilen seramik, cam, kum ve metal malzeme bu yöntemde kullanılabilir.

Şekil 2.9. Yapıştırıcı İle Katmanlı İmalat Süreç Şeması (*The 7 Categories of Additive Manufacturing*, t.y., s. 7)

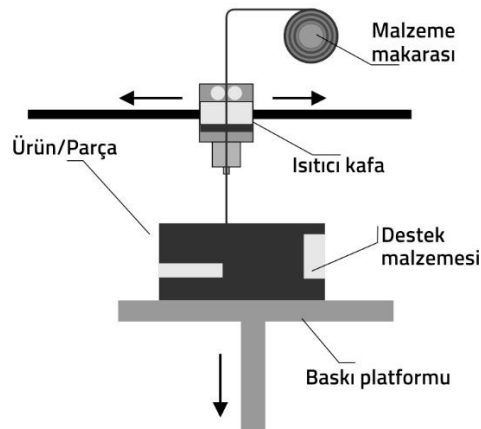


2.4.d. Malzeme Ekstrüzyonu (İng. Material Extrusion)

Malzeme ekstrüzyonu, malzemenin bir nozul veya orifis yoluyla seçici olarak dağıtıldığı bir katmanlı üretim yöntemidir (F42 Committee, 2012). Bu yöntemde filament malzeme nozulde ısıtılarak üst üste katmanlar halinde biriktirilir ve ulaşılmak istenen şekil oluşturulur. Isıtılarak sıvı hale getirilen termoplastik polimer ve kompozit malzeme, biriktirme sonrası ortam sıcaklığında katılaştır.

Bu araştırmada çalışılan yapı ölçeğinde katmanlı üretim tekniği, malzeme ekstrüzyonu yöntemini kullanmakta, sıvı haldeki beton malzeme, nozul aracılığıyla katmanlar halinde biriktirilerek yapı oluşturulmaktadır.

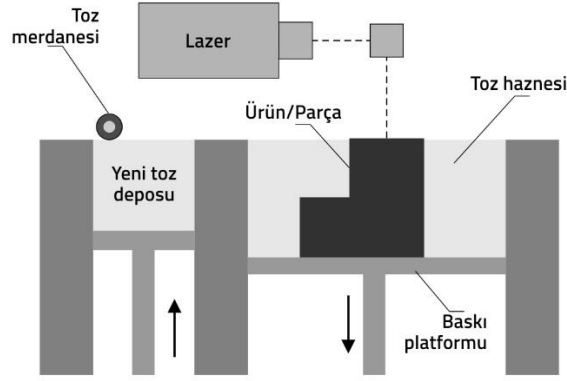
Şekil 2.10. Malzeme Ekstrüzyonu Süreç Şeması (*The 7 Categories of Additive Manufacturing*, t.y., s. 7)



2.4.e. Toz Yatağında Lazer Eritme (İng. Powder Bed Fusion)

Toz yatağında lazer eritme teknolojisi, bir toz yatağının bölgelerinin seçici olarak termal enerji ile birleştirildiği katmanlı üretim yöntemidir (F42 Committee, 2012). Toz malzeme katman halinde serilir ve üzerine istenen formun katmanı şeklinde lazer yansıtılarak erimesi ve birleşmesi sağlanır. Eriyerek birleşen katmanın üzerine tekrar toz malzeme serilir ve süreç tekrarlanır. Toz halde bulunabilen metal, seramik ve polimer malzemeler kullanılabilir.

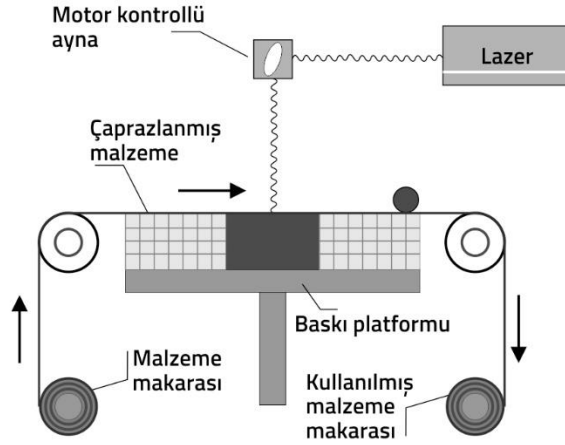
Şekil 2.11. Toz Yatağında Lazer Eritme Süreç Şeması (*The 7 Categories of Additive Manufacturing*, t.y., s. 7)



2.4.f. Sac Tabakalaşma (İng. Sheet Lamination)

Sac tabakalaşma teknolojisi, malzeme tabakalarının, bir nesne oluşturmak için birleştirildiği katmanlı üretim yöntemidir (F42 Committee, 2012). Sac tabakalar halindeki malzemeler, kaynak aracılığı ile ya da yapıştırıcılar yardımıyla üst üste birleştirilir. Metal, kağıt ya da plastik malzemeler kullanılabilir.

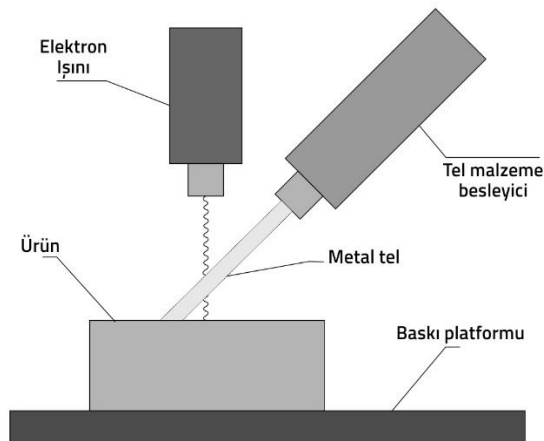
Şekil 2.12. Sac Tabakalaşma Süreç Şeması (The 7 Categories of Additive Manufacturing, t.y., s. 7)



2.4.g. Doğrudan Enerji Biriktirme (İng. Directed Energy Deposition)















Doğrudan enerji biriktirme, biriktirme sürecinde malzemelerin eritilerek kaynaştırılması için odaklanmış termal enerjinin kullanıldığı katmanlı üretim teknolojisidir (F42 Committee, 2012). Tel biçimdeki metal ya da toz halindeki seramik malzeme, termal ışık yardımıyla eritilerek kaynaştırılır ve üst üste biriktirilerek üç boyutlu nesne oluşturulur.









Şekil 2.13. Doğrudan Enerji Biriktirme Süreç Şeması (The 7 Categories of Additive Manufacturing, t.y., s. 7)



2.4.h. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Tasarım Kriterleri Doğrultusunda

Karşılaştırılması

	VP	MJ	BJ	ME	PBF	SL	DED
Makine Maliyeti	\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$	\$	\$\$	\$	\$\$\$
Yüzey Kalitesi	Çok İyi	En İyi	İyi	Çok Kötü	Kötü	İyi	En Kötü
Üretim Hızı							
Destek Gerekliliği	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Evet
Son Ürün Dayanıklılığı	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Orta	Orta	Yüksek
Hassasiyet	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Ortalama	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük
Baskı Boyutu							
Malzeme Çeşitliliği	Çeşitli	Sınırlı	Sınırlı	Çok Çeşitli	Çeşitli	Sınırlı	Sınırlı

Tablo 2.5. Katmanlı Üretim Teknolojilerinin Karşılaştırması
\$ Ucuz, \$\$ Ortalama, \$\$\$ Pahalı, \$\$\$\$ Çok Pahalı,  Küçük,  Orta,  Büyük ve  en yavaş,  yavaş,  hızlı,  çok hızlı,  en hızlı anlamlarını taşımaktadır.

Endüstriyel tasarım sürecinde kavramsal tasarım, alternatif tasarım geliştirme ve ön prototip hazırlama aşamalarında 3 boyutlu modelle tasarımın değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Her aşamada 3 boyutlu modelden beklentiler farklı olmasına rağmen model hazırlama sürecinde temel bileşenler maliyet, üretim hızı, yüzey kalitesi, ölçüsel hassasiyet, dayanıklılık ve model malzemesi olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede katmanlı üretim yöntemleri karşılaştırılırken ürün tasarım süreci ve katmanlı üretim teknolojilerinin kesişim kümesinde maliyet, üretim hızı, yüzey kalitesi, destek malzeme gerekliliği, hassasiyet, dayanıklılık, baskı boyutu ve kullanılabilir malzeme çeşitliliği ele alınmıştır.

Ön prototipleme, tasarım sürecinde hatalı geometri ve formların fark edilmesini, son ürün malzeme seçiminin değerlendirilmesini ve tasarım aşamasına dönülerek düzeltilmesini kolaylaştırır (F. Yılmaz vd., 2013). Bu aşamada ön prototipin olabildiğince gerçek ürünü yansıtması gerekmektedir. Kullanılabilir malzeme çeşitliliği, gerçek ürüne yakın malzeme kullanılması açısından önemli iken, ölçüsel hassasiyet, montaj sırasında sorun oluşturabilecek geometrilerin anlaşılması için önemli bir kriterdir. Prototip aşamasında, minimum olarak uygulanabilir ürünler (İng. Minimum Viable Product, MVP), üretim öncesi test edilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında, yüzey kalitesi ve dayanıklılık kriterleri katmanlı üretim teknolojilerinin tasarım süreci açısından karşılaştırılması için kullanılmıştır. Her ne kadar tasarım sürecinde nihai ürüne benzer prototiplerin çok sayıda kullanımı önerilse de, bu prototiplerin sayısı ve kalitesi büyük oranda süre ve maliyet kriterleri ile belirlenmektedir. Bu sebeple, üretim hızı ve makine (ilk yatırım ve işletme) maliyeti, Tablo 2.5.'te değerlendirme kriteri olarak ele alınmıştır.

Katmanlı üretim teknolojilerinin seri üretimde kullanımında üretim kapasitesi dezavantajken, geleneksel üretim yöntemleriyle maliyeti çok yüksek olan ya da üretilmeyen karmaşık formlar için alternatifi olmayan bir üretim yöntemidir (Greguric, 2019). Üç boyutlu baskı teknolojileri, geleneksel yöntemlerle üretimi neredeyse imkânsız olan karmaşık formların üretimi için tasarımcılara yeni seçenekler sunmakta ve tasarımda form çeşitliliği sağlamaktadır.

Tablo değerleri, yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesine sahip tekne fotopolimerizasyon (VP) ve malzeme jeti (MJ) teknolojilerinde makine maliyetinin yüksek olduğunu göstermektedir. Malzeme jeti (MJ), diğer teknolojiler arasında en iyi yüzey kalitesine sahip teknolojidir ve mimar, tasarımcı ve sanatçılar tarafından hassas üretim ve estetik görünüm için tercih edilebilir, az adetli kalıp üretiminde

kullanılabilir. Yüksek maliyet nedeniyle bireysel kullanımı yaygın değildir. Benzer parça hassasiyeti ve çözünürlüğe sahip tekne fotopolimerizasyonu (VP) da mücevher tasarımı ve kalıplarında, dental uygulamalarda kullanılabilmeyle birlikte, kullanılabilir malzeme çeşitliliği sınırlıdır.

Malzeme çeşitliliğine sahip diğer teknolojiler arasında en büyük baskı boyutuna sahip olan yapıştırıcı ile katmanlı üretimdir (BJ). Birleştirme yönteminde ısı kullanılmadığından ısı kaynaklı bozulmalar gerçekleşmez ve daha büyük boyutta parçalar üretilebilir. Yapısal dayanıklılık gerektirmeyen büyük boyutta ürünler için tercih edilebilir. Toz yatağında lazer eritme teknolojisi (PBF), havacılık ve otomotiv gibi endüstrilerde fonksiyonel parçalar, sağlam ve karmaşık geometrilerin üretiminde kullanılmaktadır. Üretim hızı en yüksek katmanlı üretim teknolojisi olan doğrudan enerji biriktirme (DED), baskı için düz bir yüzeye ihtiyaç duymadığından herhangi bir parçanın tamirinde kullanıma uygundur. Yalnızca metal malzeme kullanımı ile sınırlıdır.

Katmanlı üretim teknolojilerinin gelişimine bakıldığında, Trancoso (2018), yeni malzeme ve sistemlerin bu 7 kategori dışına çıkmadığı ve çoğunun halen tek malzeme ile sınırlı endüstriyel uygulamalarda kullanılabildiğini belirtmektedir. Aynı araştırmaya göre, yetkinliği kabul görmüş araştırma enstitülerinde AM araştırmaları alanında Toz Yatağında Lazer Eritme (PBF) teknolojisi, gelişimi en çok araştırılan teknolojidir. 2015 Wohler Raporu'nda, PBF teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda, AM teknolojilerinde bir ilk olan çok renkli baskının, HP firması tarafından geliştirildiği belirtilmiştir (Caffrey & Wohlers, 2016). Farklı amaçlar, malzemeler ve kullanım amaçları için 7 farklı AM teknolojisi de tercih edilmektedir. Nottingham Üniversitesi AM teknolojileri araştırma merkezinin 2014 – 2017 yılları arasındaki raporları doğrultusunda [(EPSRC, 2015) (EPSRC, 2017)], AM

teknolojilerinin çok fonksiyonlu, hibrit ve çok malzemeli kullanılabilirliğinde gelişme göstereceği değerlendirilmiştir.

Endüstriyel kullanım alanında PBF teknolojisi gelişim gösterirken, bireysel kullanımda malzeme ekstrüzyonu yöntemi olan FDM teknolojisi gelişimini sürdürmektedir. Malzeme ekstrüzyonu (ME) teknolojisi dünyadaki en ulaşılabilir ve ucuz katmanlı üretim yöntemidir (All3DP, 2019). Kolay ölçeklendirilebilir bir yöntemdir ve maliyeti çok değiştirmeden baskı boyutu değiştirilebilir. Düşük maliyetli olması ve kolay erişilebilir malzeme çeşitliliğine sahip olması ile kullanımı yaygınlaşmıştır. Tasarımın ön prototip, prototip, pazar ürünü ve seri üretim süreçlerinde kullanılabilir ve hızlı ürün geliştirme ve kişiselleştirmeye olanak sağlar. Bu araştırmada, beton malzeme kullanımına uygun malzeme ekstrüzyonu (ME) teknolojisi ile parametrik tasarım çalışmaları yapılacaktır.

2.5. Katmanlı Üretim Teknolojisinin Avantaj ve Sınırlılıkları

Katmanlı üretim teknolojisi, karmaşık ve geleneksel yöntemlerle üretimi zor formların hızlı ve kolay bir şekilde üretilmesine olanak sağlar. Böylece, tasarım sınırlılıkları azalırken tasarım çeşitliliği artar. Geleneksel üretim yöntemlerinin aksine, dijital tasarım modelinden doğrudan üretim yapıldığı için, katmanlı üretim ile talep ve ihtiyaçlar doğrultusunda üretim, kısa sürede gerçekleştirilebilir ve düşük maliyetlidir. Benzer şekilde, farklı kullanıcılar için kişiselleştirmeye olanak sağlar.

Katmanlı üretim teknolojisinde, karmaşık formlar tek bir malzeme ile üretilebilir olduğundan, bir ürünü oluşturmak için gerekli malzeme miktarını azaltmaktadır. Katmanlı üretim teknolojisinde, tüm sürecin makine tarafından yürütülmesi, üretimin daha güvenilir olmasını sağlar, uygun malzeme ve yazıcı donanımı ile zamandan ve maliyetten tasarruf edilir (Hager vd., 2016).

Katmanlı üretim teknolojisinin avantajları şunlardır [(Ford & Despeisse, 2016)'dan uyarlanmıştır]:

- Özel ve sınırlı sayıda üretim, geleneksel seri üretim yöntemlerine göre daha düşük maliyetlidir.
- 3D CAD modellerinden doğrudan üretim ile alet ve kalıp gerekmediğinden maliyet değişikliği yaşanmaz.
- Tasarımlar dijital dosyalar halinde paylaşılabilirdiğinden, bileşenlerin ve ürünlerin değiştirilmesi ve özelleştirilmesi kolaydır.
- Katmanlar halinde biriktirme yöntemi, malzeme tasarrufu sağlar ve atık malzemenin de yeniden kullanılmasına olanak tanır.
- Serbest biçimli kapalı ve karmaşık yapılar elde edilebilir.

Katmanlı üretim teknolojisinin zorlukları şunlardır [(Ford & Despeisse, 2016)'dan uyarlanmıştır]:

- Düşük üretim hızı ve yüksek yatırım maliyeti,
- Tasarımcıların katmanlı üretim kullanımı hakkında düşünme şeklini ve yaklaşımını değiştirme,
- Yeni malzemelerin geliştirilmesi ve standardizasyonu,
- Genellikle katmanların üst üste eklenmesinden kaynaklı basamak etkisi nedeniyle rötuş gerekliliği,
- Çok malzemeli ve çok renkli sistemlerin geliştirilmesi gerekliliği.

Katmanlı üretim, geleneksel üretim yöntemlerine göre yeni gelişmekte olduğundan, avantajlarından henüz tam olarak faydalanılamamaktadır (Trancoso vd., 2018). Kullanıcılar arasındaki açık kaynak paylaşımı ile üretime dair her türlü veri de dünyanın her yerinden ulaşılabilir kaynaklardır ve bu veri paylaşımı ile gelişimi devam

etmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda, var olan sınırlılıkların azalacağı düşünülmektedir.

2.6. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim

Katmanlı üretim yöntemi, tasarım ve üretimde sağladığı serbestlikler ve esneklikler ile medikalden havacılığa, gıda endüstrisinden ev kullanımına kadar farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçeklenebilir teknolojisi sayesinde işitme cihazlarından yaşam alanlarına kadar farklı boyutlarda tasarım ve üretim mümkün olmuştur. Katmanlı üretim, çevresel şartlar, farklı iklim koşulları ve yaşam standartlarına göre şekillenen yapı ölçeğinde tasarım için de yerinde uygulanabilir ve güncellenebilir çözümler önermektedir. Beton malzeme ile katmanlı üretim teknolojisi, düşük maliyetli, yüksek hızlı ve yapı ölçeğinde tasarımda daha fazla özgürlük sağlayan inşaat yöntemi sunmaktadır (Özalp vd., 2018). Bu özellikleri ile yaşam alanı tasarımlarında katmanlı üretim yönteminin kullanılması, akademik araştırmalar ve uygulamalar ile yapı sektöründe gelişimini sürdürmektedir.

Yapı sektöründe otomasyon süreci, beton karışımının yapı alanının dışında hazırlanabilmesi, yapı alanına özelliklerini kaybetmeden taşınabilmesi ve kolay uygulama için geliştirilen beton pompalarının kullanılmasıyla başlamıştır. Kullanım kolaylığı sağlayan beton pompaları ile hazır beton kullanımı yaygınlaşmıştır. Yapı sektöründe, püskürtme beton, prekast teknikler ve robotik frezeleme gibi çok sayıda otomasyon örneği vardır (Lim vd., 2012). İlk kez 1997 yılında Pegna tarafından ortaya atılan, beton malzeme ile üç boyutlu yazdırma fikri, 2003 yılında Güney California Üniversitesi'nin geliştirdiği Kontur Dolgu (ing. Contour Crafting) teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Farklı teknikler denenmiş olmakla birlikte, yapısal ihtiyaçlara odaklanan ve günümüzde kullanılmakta olan üç teknik; Kontur Dolgu (İng. Contour

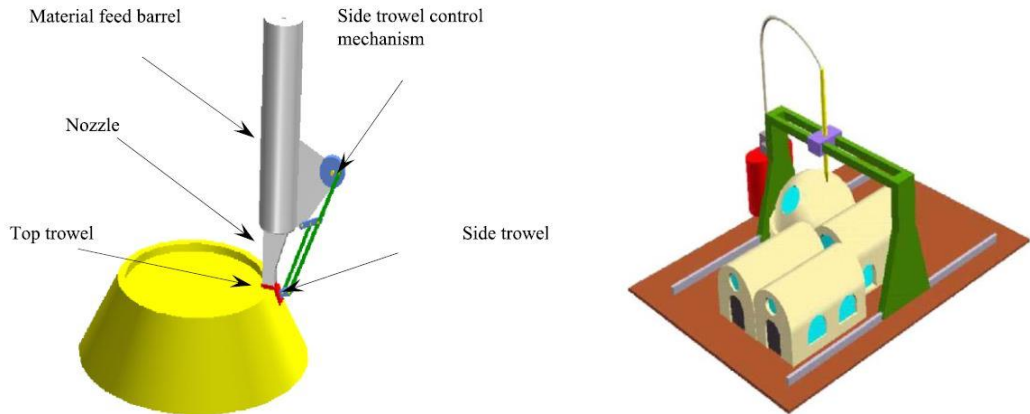
Crafting), D-Shape (D-Şekil) ve Beton Yazdırma (İng. Concrete Printing)'dir (Gardiner, 2011).

2.6.a. Kullanılan Yöntemler

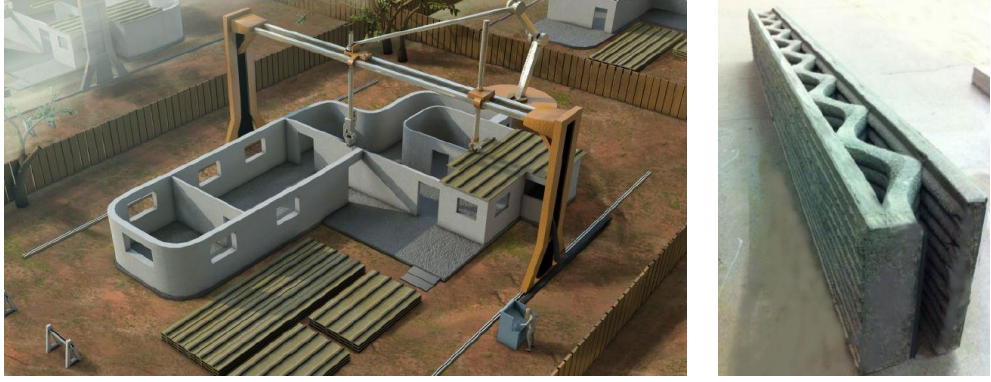
2.6.a.i. Kontur Dolgu (Contour Crafting)

Kontur dolgu yöntemi, Güney Kaliforniya Üniversitesi'nden Profesör Behrokh Khoshnevis (2004) tarafından geliştirilmiş bir katmanlı üretim teknolojisidir. Afet bölgelerindeki yapılar ve sosyal konutlar gibi düşük maliyetle ve hızlı inşa edilmesi gereken yapılar için geliştirilen yöntemde yazıcı, büyük makas köprüler üzerine monte edilmektedir (Van Woensel vd., 2018). Kontur dolgu tekniğinde ekstrüzyon başlıkları ile duvarın dış hatları katmanlar halinde basılır, dökme başlığı ile istenilen özellikte malzeme, dış hatları oluşturulan duvarın iç dolgusunu basar. Ekstrüzyon başlığına monte edilen üst ve yan malalar, katman çizgilerini düzelterek merdiven etkisi görünümünü azaltır.

Şekil 2.14. Kontur Dolgu Tekniği Şeması (Khoshnevis, 2004)



Figür 2.2. Kontur Dolgu Tekniği İle Baskı Örnekleri (Wolfs, 2015)

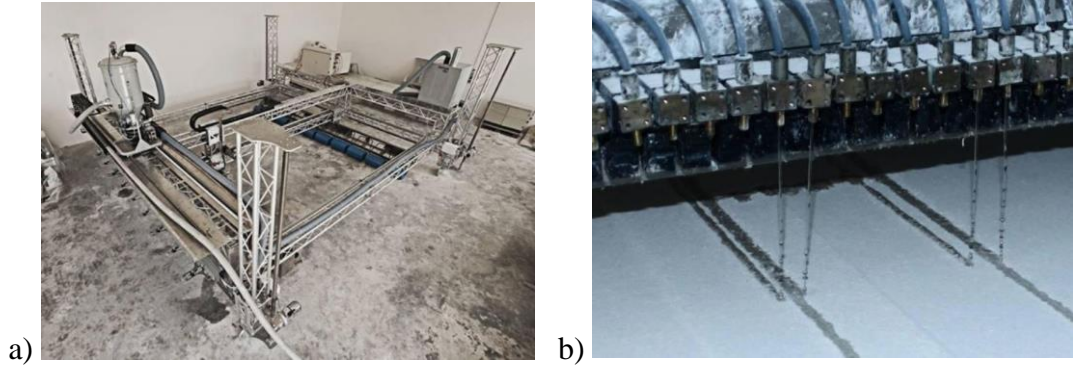


Kontur dolgu tekniği, yapı ölçeğinde katmanlı üretimin ilk örneklerinden biridir ve günümüzde de gelişmeye devam etmektedir. NASA, kontur dolgu tekniği ile ay ve mars yüzeyinde bulunan malzemeler kullanılarak yapı inşa edilmesi projesi üzerinde çalışmaktadır (Weinreich, 2017).

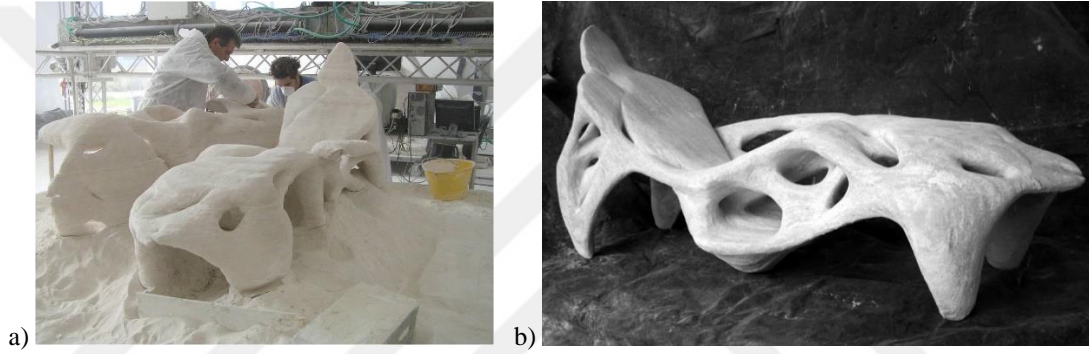
2.6.a.ii. D-Şekil (İng. D-Shape)

Toz halindeki kumu, farklı bağlayıcılar yardımıyla katmanlar halinde birleştirerek yapıyı oluşturan D-Şekil tekniği, 2005 yılında İtalyan Enrico Dini tarafından geliştirilmiştir (Twigg, 2016). Toz halindeki kum katmanına, oluşturulmak istenen formun katmanları şeklinde bağlayıcı püskürtülerek sertleşmesi sağlanır. Yapıştırıcı ile katmanlı üretim yöntemine benzeyen bu teknikte, toz yatağı destek görevi gördüğünden, karmaşık yapılar desteksiz üretilebilir ancak fazla malzemenin yapı alanından temizlenmesi baskı sonrası işlem gerektirmektedir.

Figür 2.3. D-Şekil Yazıcısı (a) ve Bağlayıcı Püskürtme İşlemi (b) (Cesaretti vd., 2014)



Figür 2.4. Fazla Malzemenin Temizlenmesi (a) ve Son Ürün (b) (*Root Chair / D-shape*, 2015)



12x12m baskı alanına sahip D-Şekil tekniğinin avantajlarından bazıları; yapısal tasarım özgürlüğü, malzeme çeşitliliği, taş ve betona benzer ölçüde yanmazlık ve betondan daha yüksek malzeme dayanıklılığı sayılabilir (N19 4DR, 2010).

2.6.a.iii. Beton Yazdırma (İng. Concrete Printing)

Beton yazdırma tekniği, Loughborough Üniversitesi'nde Richard Buswell öncülüğünde geliştirilmiştir (N19 4DR, 2010). FDM teknolojisine benzer ve kontur dolgu ile aynı ekstrüzyon yazdırma yöntemine sahip olan bu teknikte, sıvı haldeki beton malzeme, katmanlar halinde üst üste biriktirilir. Beton malzemenin, karışım özelliklerine göre sertleşme süreleri farklı olabilir.

Figür 2.5. Beton Yazıcı İle Duvar Paneli Üretimi (Lim vd., 2012)



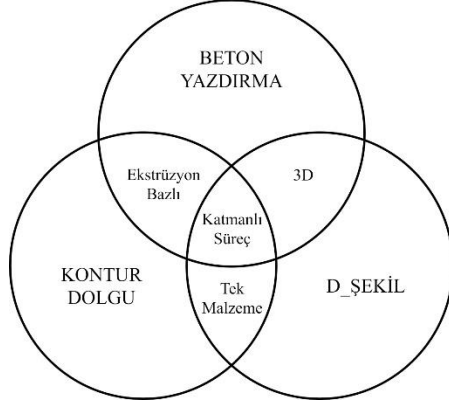
2.6.a.iv. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kontur dolgu ve beton yazdırma teknikleri ekstrüzyon bazlı çalışırken D-Şekil tekniğinde yapı, toz halindeki malzemenin bağlayıcılar yardımıyla birleştirilmesiyle oluşturulur. D-Şekil, ana yapı malzemesi olarak kuru üretim, kontur dolgu ve beton yazdırma teknikleri ise ıslak üretim sürecine sahiptir. Her üç teknikte de nozül çapları ve katman yükseklikleri değiştirilebilir.

D-Şekil tekniğinde toz malzeme yatağı, boşluklu yapılar için destek sağlamaktadır. Beton yazdırma ve kontur dolgu tekniklerinde yapı boşlukları oluşturulabilmesi için destek malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Baskı sürecindeki malalama yöntemi sayesinde kontur dolgu tekniği ile diğerlerine göre daha düzgün yüzeyler üretilebilir.

Her üç teknik de yerinde üretim için geliştirilebilir olmakla birlikte, beton yazdırma tekniği beton yapı parçalarının prefabrikasyonu için geliştirilmiş bir yöntemdir (Van Woensel vd., 2018).

Şekil 2.15. (a) Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Yöntemlerinin Benzerlikleri (Lim Vd., 2012). (b) Van Woensel (2018)'den Uyarlanan Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması



a)

		Ekstrüzyon		BJ
		CC	CP	DS
ÖLÇEK	Büyük Ölçekli	✓		✓
	Orta Ölçekli		✓	
	Küçük Ölçekli			
KONUM	Yerinde Üretim	✓		✓
	Prefabrikasyon		✓	✓
	Dış Mekan Uygulama	✓	✓	✓
MALZEME	Beton	✓	✓	
	Kumtaşı			✓
	Seramik	✓		
YAPISAL	Seramik	✓	✓	✓
FORM	Seramik		✓	✓
	Seramik			

b)

Barınma ihtiyacı doğuran acil durumlarda, mümkün olan en kısa sürede mümkün olan en fazla sayıda kişiye barınma ünitesi sağlanması temel amaçtır. Acil durum sonrası barınmanın temel özellikleri; hızlı üretilebilir, coğrafi özelliklere, iklim koşullarına ve kullanıcı gerekliliklerine göre güncellenebilir olmasıdır. Bu kriterler doğrultusunda, acil durum bağlamında üretim yönteminin hızlı, kolay ulaşılabilir ve yerinde üretime uygun olması gerekmektedir. Kontur dolgu ve D-Şekil teknikleri yerinde üretim için uygunken, beton yazdırma prefabrikasyon için geliştirilmiştir. D-Şekil tekniğinde toz yatağı destek sağladığından tüm yapı tek seferde basılabilmektedir. Ancak; baskı sonrası bağlanmayan malzemenin temizlenmesi ve üretim alanından uzaklaştırılması, acil durumlarda kullanımını zorlaştırmaktadır. Kontur dolgu tekniğinin geliştiricisi Profesör Behrokh Khoshnevis'a göre diğer üç boyutlu yazdırma tekniklerinde katmanlar incedir ve kalınlaştıkça yüzey kalitesi bozulur, bu nedenle; kontur dolguyu diğer üç boyutlu yazdırma tekniklerinden ayıran, kalın katmanlar ile düzgün yüzeyler elde etmeyi sağlayan mekanizmadır (Goncalves, 2017). Bu değerlendirmeler doğrultusunda, acil durum sonrası barınma ünitelerinin

üretimi için bu araştırmada yapı ölçeğinde katmanlı üretimde kullanılan bu üç yöntemden kontur dolgu tekniği uygun görölmüştür.

2.6.b. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretimin Faydaları

Yapı ölçeğinde katmanlı üretim, kalıp kullanımı gerektiren geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklı tasarım sınırlılıklarını kaldırarak form çeşitliliğini artırır. Üretimi zor ve yüksek maliyetli eğrisel formlar, katmanlı üretim ile kalıp gerektirmeden hızlı ve kolay bir şekilde oluşturulabilir. Yapıda eğrisel şekiller en güçlü, düz şekiller ise en zayıf formlar olduğundan, yapı ölçeğinde katmanlı üretim ile yuvarlak şekillerin üretilebilir olması, yapının dayanıklılığını artırır (Whirlwind Team, 2016).

Kullanıcının istekleri doğrultusunda üretim yaparak kişiselleştirme, yıllardan beri yapı sektörünün hedeflerinden biri olmuştur (Barlow vd., 2003). Yapı parçalarının prefabrikasyonu ile farklı tasarım kombinasyonları oluşturulsa da, maliyeti düşürmek için standartlaştırma gereklidir. Katmanlı üretimde, kalıp gerektirmeden, 3 boyutlu sayısal modelden doğrudan yerinde üretim yapılabilidiğinden, kişiye ve ihtiyaca özel üretim mümkündür. Katmanlı üretim, ekonomik olarak verimsiz olan kişiye ve ihtiyaca özel, karmaşık ve serbest biçimli tasarımların (topoloji optimizasyonunda olduğu gibi) üretilmesini mümkün kılacak potansiyele sahip bir teknolojidir (Van Woensel vd., 2018).

Yerinde üretim ve yapı tasarımında özelleştirmenin gerekli olduğu alanlardan biri, farklı bölgelerde, farklı iklim koşullarında, farklı yaşam koşullarında gerçekteşebilen ve barınma ihtiyacı gerektiren acil durumlardır. Katmanlı üretim teknolojisi, barınma gereksinimine çevresel şartlar ve iklim koşulları, bulunan yerin yaşam standartları, kullanıcı tercihleri ve her acil durum bölgesinin ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmaktadır.

Katmanlı üretimin yapı ölçeğinde kullanımının etkileri şunlardır [(Furet vd., 2019)'dan ve (Whirlwind Team, 2016)'dan uyarlanmıştır]:

- Uygun miktarda malzeme kullanılmasını sağlar,
- İnşaat atıklarında %30-%60 oranında azalma sağlar,
- Kullanıcı ihtiyaçlarına ve topolojik optimizasyon ile yapı alanının kısıtlamalarına, özelleştirilmiş ve karmaşık formlar ile çözüm bulma olanağı sağlar,
- Karmaşık formda yapıların üretim maliyetlerini düşürür,
- Tüm sürecin makine tarafından yürütülmesi ile yapı alanında güvenli üretim yapılabilir,
- Tasarım özgürlüğü sunar,
- Yapıların termal ve akustik özelliklerinin optimizasyonunu sağlar.
- Üretim süresini %50 - %70 oranında kısaltır.

Yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisinin faydalarının yanında, bazı sınırlılıklar ve geliştirilmesi gereken yönler de bulunmaktadır. Katmanlı üretimin henüz bir yapısal üretim yöntemi olarak kabul görmeyişi nedeniyle, yaşanabilir yapılarda direnç hesaplamalarının vaka bazında test edilmesi gerekliliği bir zorluk olarak ortaya çıkmıştır (Jamie, 2018). Yapı ölçeğinde 3 boyutlu yazıcılarda kullanılabilen malzeme çeşidinin henüz sınırlı olması, çoğu yazıcının tek malzeme kullanabiliyor olması, geliştirilmesi gereken yönleridir (Whirlwind Team, 2016).

2.6.c. Beton Malzeme İle Katmanlı Üretim

Büyük ölçekli katmanlı üretim teknolojileri son on yılda, tasarım, yapı endüstrisi ve mimarlık gibi alanlarda, polimerler, metaller ve çimento bazlı malzemeler kullanılarak gelişim göstermiştir (Gosselin vd., 2016). Yaşam alanı ölçeğindeki

yapılarda beton malzeme, uzun yıllardır kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Polimer veya metal malzeme ile bir yaşam alanının bütününün 3 boyutlu yazıcılar ile basılması, lazer kullanımlı makine maliyetleri ve malzeme miktarının artması nedeniyle verimli değildir. Ancak bu malzemeler, teknolojisinin gelişmesi ve çok malzeme kullanımı doğrultusunda, çimento tabanlı malzemeler ile yapının farklı bölümleri için baskıya dâhil edilebilir.

Hammaddeleri ucuz ve dünyanın her yerinde bulunabilir olan, güçlü, yangına dayanıklı ve sıvı halde kullanımı ile farklı şekillerde uygulanabilir olan beton, en çok tercih edilen yapı malzemesidir (Bos vd., 2016).

Figür 2.6. Beton Yazdırma Teknolojisi İle Üretilmiş Karmaşık Form Örneği (Perrot & Rangeard, 2019)



2.6.c.i. Katmanlı Üretimde Beton Malzeme Parametreleri

Beton malzemenin, kalıp kullanılmaksızın katmanlı üretimde kullanılabilmesi için, 3 boyutlu yazıcı malzeme besleme borularından ve nozül çapından kolay ekstrüde edilebilmesi, ince agregalı yapıda olması gerekmektedir. Ekstrüde edilebilir haldeki betonun, uygulandığında deforme olmayacak ve üst üste taşıyabilecek akışkanlığa sahip olması gerekmektedir. Uygun çalışabilirlik süresine sahip olması gereken

betonun, üst üste ekleme sürecinde yığılmanın engellenmesi için hızlı donması gerekirken, bir sonraki katmanın alt katmanla birleşebilmesi için ise taze beton davranışını koruması beklenmektedir.

Üç boyutlu yazıcı ile basılacak beton malzeme parametreleri; ekstrüde edilebilirlik (pompanabilirlik) ile üst üste taşıyabilirlik (inşa edilebilirlik) ve bu özelliklere bağlı olarak işlenebilirlik ve çalışabilirlik süresi (İng. Open time)'dir (Özalp vd., 2018).

Katmanlı üretime uygun beton malzeme geliştirilmesi için farklı karışımlar içeren çalışmalar yapılmaktadır (Perrot & Rangeard, 2019). Hızlı donan, kolay şekillenen beton malzeme geliştirme çalışmaları ile gelecekte daha verimli malzemeler oluşturulabilir. Katmanlı üretim yöntemi güncellenebilir bir teknolojidir ve yeni malzemelerin kullanımına olanak sağlar.

2.6.d. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretim Örnekleri

2.6.d.i. Winsun Evleri

Figür 2.7. Winsun Evleri ve Yerinde Montaj Aşaması (Caula, 2014)



Winsun New Materials tarafından Çin'de 3 boyutlu yazıcı ile inşa edilen 10 adet ev, 24 saat içerisinde tamamlanmıştır. Kontur dolgu tekniği ile fabrikada üretilen bloklar, inşaat alanında bir araya getirilerek yapı oluşturulmuştur. Ucuz ve hızlı

üretilebilir yaşam alanları oluşturma amacı taşıyan projede filament malzeme olarak fiber ve kum karışımı ile geri dönüştürülmüş beton kullanılmıştır (Caula, 2014).

Yapı ölçeğinde katmanlı üretim çalışmalarını sürdüren Winsun firması, 2015 yılında dünyanın 3 boyutlu yazıcı ile gerçekleştirilen en yüksek binasını inşa etmiştir (*Product Center, t.y.*).

Figür 2.8 . Dünyanın 3 Boyutlu Yazıcı İle İnşa Edilen En Yüksek Binası (*Product Center, t.y.*)



2.6.d.ii. Rudenko Şatosu

Figür 2.9. Üç Boyutlu Yazıcılar İle İnşa Edilen Andrey Rudenko Şatosu (Rudenko, 2014)



Minnesota'da Andrey Rudenko, kontür dolgu tekniğine benzer ancak daha küçük katman yükseklikleri ile dünyanın ilk 3 boyutlu yazıcı ile yazdırılmış beton kalesini inşa etmiştir (Özalp vd., 2018). Andrey Rudenko tarafından tasarlanıp üç boyutlu yazıcı ile üretilen şato, tasarımcı ve kullanıcılar arasında bilgi paylaşımı sağlayan

RepRap projesi takipçilerinin paylaştıkları bilgiler doğrultusunda gelişmiş ve ilerlemiştir (Rudenko, 2014).

2.6.d.iii. Wasp, Tecla

WASP (İng. World's Advanced Saving Project), lokal malzemeler kullanarak herkes için ulaşılabilir barınma sağlama amacıyla kurulmuş bir İtalyan firmadır (Wasp, t.y.). Bu amaç doğrultusunda, Mario Cucinella Mimarlık tarafından tasarlanan, tamamı 3 boyutlu yazıcılar ile lokal malzeme kilden üretilen ilk ev olma özelliği taşıyan Tecla projesini başlatılmıştır (Chiusoli, t.y.). Projelerinde kullandıkları delta tip üç boyutlu yazıcıları, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilen ve dünyanın her yerine ulaştırılabilecek şekilde modüler yapıya sahip olacak şekilde geliştirmektedirler.

Figür 2.10. WASP Firması Tarafından Geliştirilen Tecla Evi (Chiusoli, t.y.)



2.6.d.iv. Fransa, Nantes Evi

Belediye meclisi, bir sosyal konut derneği ve Nantes Üniversitesi ortak projesi olan Nantes Evi, dünyada ilk defa bir ailenin yaşamaya başladığı katmanlı üretim ile inşa edilmiş ev olma özelliği taşımaktadır (3dsourced, 2019a). Kontur dolgu yöntemi ile iç ve dış duvar yüzeyleri poliüretan malzeme ile oluşturulurken, iç dolgusu beton malzeme ile basılmıştır. Katmanlı üretim teknolojisi, projenin koruma altındaki 100 yıllık ağaçlar arasında inşa edilmesine ve formu ile evin hava sirkülasyonunun

iyileştirilerek potansiyel nemin azaltılmasına, termal direncin artırılmasına olanak sağlamıştır (Cowan, 2018).

Figür 2.11. Nantes Evi (Cowan, 2018)



2.6.d.v. Apis Cor

Apis Cor firması, Rus inşaat firması PIK Grup ile mobil 3 boyutlu yazıcı ile yerinde üretilen ilk konut evini inşa etmiştir (Nikolov, 2017). Robotik üç boyutlu yazıcılar ile kontur dolgu tekniği kullanılarak inşa edilen ev, 24 saat içerisinde tamamlanmıştır.

Figür 2.12. Mobil 3 Boyutlu Yazıcı İle Yerinde Üretilen İlk Konut Evi (Garfield, 2017)



Apis Cor'un Dubai Belediyesi için inşa ettiği iki katlı idari bina, 9,5 m yükseklik ve 640 m²'lik alanı ile üç boyutlu yazıcı ile yazdırılmış dünyanın en büyük binasıdır (Apis Cor, 2019). Block (2019), firmanın geliştirdiği beton karışımı sayesinde, tüm üretim aşamaları yerinde ve açık havada sıcaklık ve nem gibi üç boyutlu baskı sürecini etkileyen hava koşulları kontrol edilmeksizin gerçekleştirilebildiğini belirtmektedir.

Figür 2.13. Üç Boyutlu Yazıcı İle Yazdırılmış Dünyanın En Büyük Binası (Block, 2019)



2.6.e. Yapı Ölçeğinde Katmanlı Üretimin Geleceği ve Zorluklar

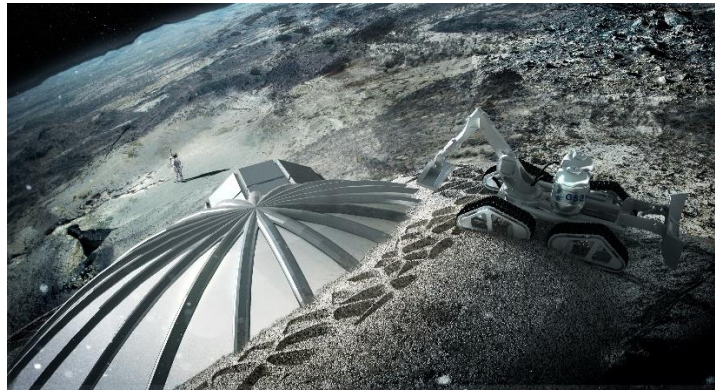
Katmanlı üretim makineleri ve kullanılan malzemeler, gerçekleştirilen projeler doğrultusunda gelişmeye devam etmektedir. FDM başta olmak üzere, katmanlı üretim teknolojisi ölçeklenebilir bir teknoloji olduğundan, kullanılan makineler uygun süre ve maliyetlerde yapı ölçeğine uyarlanabilmektedir. Ancak katmanlı üretimin yapı ölçeğinde uygulanabilirliğinin artması için teknoloji gelişiminin yanında değerlendirilmesi gereken koşullar vardır. Bunlardan bazıları; yapı bilgi modellemesinin (İng. Building Information Modelling) geliştirilmesi, toplu özelleştirme gereksinimleri ve 3 boyutlu baskı teknolojisi ile oluşturulmuş yapı ve projelerin yaşam döngüsü maliyetidir (Wu vd., 2016). Katmanlı üretimin büyük ölçekli kullanımında malzeme davranışları değişebilmekte, baskı süreci inşaat alanındaki çevresel şartlardan etkilenebilmektedir. Alçı gibi küçük ölçekte hızlı sertleşme ve dayanıklılık sağlayan bir malzeme yapı ölçeğinde düşük ıslak mukavemet ve yüksek çekme oranı sergileyebilmektedir (Wu vd., 2016). Bu doğrultuda, yapı ölçeğinde katmanlı üretime uygun malzeme geliştirilmesi ile kullanılabilir malzeme çeşitliliğinin artması, teknolojinin bu alanda kullanımını yaygınlaştıracak unsurlardandır. Ayrıca, geleneksel sistemdeki kapı, pencere gibi yapı elemanlarının, katmanlı üretime uygun olarak geliştirilmesi ve şekillendirilmesi gerekmektedir. Malzeme ve yapı elemanlarının gelişimi ile yapısal tasarım serbestliği sağlanabilir,

katmanlı üretime uygun yapı bilgi modellemesi geliştirilerek süreç verimliliği artırılabilir.

AM teknolojilerinin çok fonksiyonlu, CNC gibi üretim yöntemleri ile eş zamanlı kullanılacak şekilde hibrit ve çok malzemeli kullanılabilme yönünde gelişme göstereceği değerlendirilmektedir [(EPSRC, 2015) (EPSRC, 2017)]. Benzer şekilde yapı ölçeğinde katmanlı üretimin, yapısal ve yapısal olmayan uygulamalar için farklı malzeme kullanımlarına uygun hibrit özelliğe sahip olması, yapı elemanlarının takibi için sensör donanımlarının uygulanabilmesi, geliştirilmesi gereken yönlerdir (Tay vd., 2017).

Yapı ölçeğinde katmanlı üretimin gelecek potansiyellerinden biri uzay araştırması uygulamalarıdır. Avrupa Uzay Ajansı (İng. European Space Agency, ESA), ay yüzeyinde yapılar için ay yüzeyindeki lokal malzeme toprağı kullanarak dünyadan taşınması gereken malzemeyi azaltan üç boyutlu yazıcı yöntemi üzerine konsept geliştirmiştir (ESA/Foster & Partners, 2013). Ay yüzeyindeki toprağın magnezyum oksit ve bağlayıcı tuz ile sertleştirildiği projenin açtığı yeni olasılıkların, ortak araştırma stratejisi bir parçası olarak uluslararası uzay ajansları tarafından geliştirileceği düşünülmektedir (Nadarajah, 2018).

Figür 2.14. Avrupa Uzay Ajansı, Ay Yüzeyinde Katmanlı Üretim Projesi (Nadarajah, 2018)

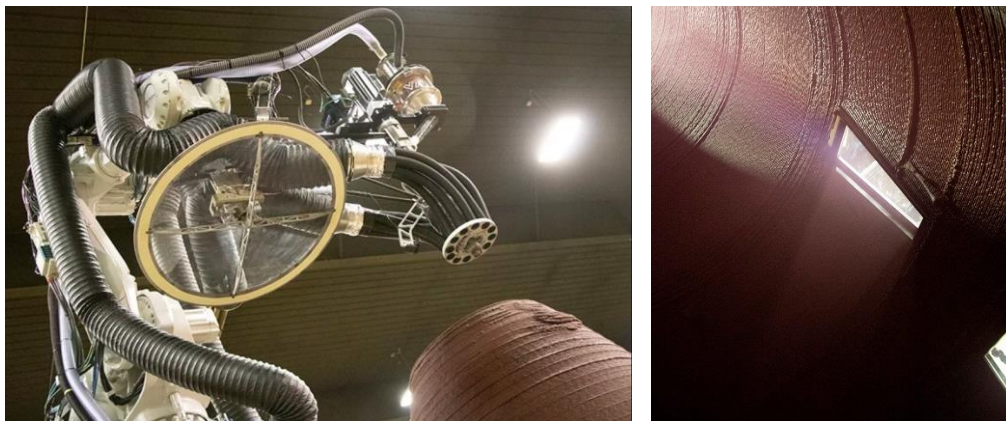


Amerika Birleşik Devletleri, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), Mars yüzeyinde yaşam alanları oluşturulması için bir yarışma düzenlemiş ve lokal malzeme karışımlarıyla oluşturduğu geri dönüştürülebilir polimer kompozit malzeme kullanarak üç boyutlu yazıcılar ile basılabilen Marsha projesi ile AI SpaceFactory firması kazanmıştır (AI SpaceFactory, t.y.).

Figür 2.15. AI Spacefactory Mars Yüzeyinde Habitat Oluşturulması Projesi (Malott, 2019)



Figür 2.16. Yapı Elemanlarının Montajı (Malott, 2019)



Marsha projesinde yapı elemanları, kapı, pencere ve tavan kapatması, aynı üç boyutlu yazıcı robot kollarıyla bilgisayar kontrollü olarak monte edilmiş, tüm yapı neredeyse hiç insan yardımı olmadan inşa edilmiştir (Malott, 2019).

Marsha projesinde, kapı ve pencereler yazdırma işlemi sırasında, tavan ise yapı üç boyutlu olarak yazdırıldıktan sonra robot kollar aracılığı ile yerleştirilmektedir. Tavan kapatması, prototip üretimi sırasında tavan için ayrılan yapı boşluğundan düşmüştür (Malott, 2019). Bu örnek, sistem entegrasyonuna yani üç boyutlu yazdırma teknolojisi ile diğer yöntemlerle üretilen üç boyutlu nesnelerin bir araya gelişine ve etkileşimine dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Yapı ölçeğinde katmanlı üretimde, tasarım sürecinde oluşabilecek bu gibi hataların hızlı şekilde düzeltilmesinde, her parça için uygun tasarımın geliştirilmesi ve çok çeşitli tasarım alternatiflerinin oluşturulmasında, prototipler doğrultusunda güncellenen verilerin tasarıma uygulanmasında, yapının farklı gereksinim ve farklı kullanıcılara göre şekillendirilmesinde kullanılan tasarım araçlarından biri parametrik tasarımdır. Parametrik tasarımda tasarımı etkileyen kurallar belirlenir ve bu kurallar arasındaki etkileşimli ilişkiler ile form oluşturulur. Dijital ortamda, birbiri ile bağlantılı kuralların değiştirilmesi ile yapı ve yapı elemanları ihtiyaçlar doğrultusunda optimize edilebilir.

BÖLÜM III

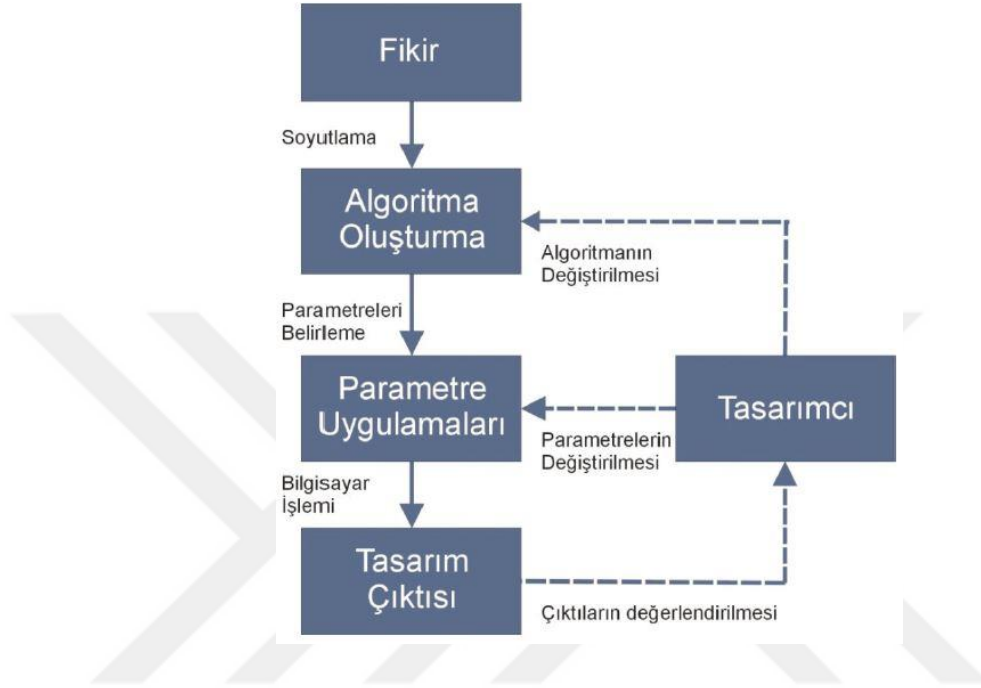
PARAMETRİK TASARIM

Parametreleştirme, 1970'lerin başında, üretim sürecinin kontrolünü ve büyük ölçekli endüstriyel üretimlerin çıktıları kontrolünü otomatikleştirmek için kullanılmış ve bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile çeşitli tasarım alanlarında kullanılmaya başlanmış, tasarım ve üretim şeklini değiştirmiştir (Sun & Huang, 2019). Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlüğü (2019)'ne göre değişken olarak tanımlanan parametre, bilgisayar biliminde de bir program, fonksiyon, komut veya programa iletilen değer olarak ifade edilir ("parameter", t.y.). Parametrik tasarımda, tasarım gereklilikleri, tasarımı etkileyen değişkenler olarak belirlenir. Parametrik tasarım, bu değişkenlerin ve birbirleri ile ilişkilerinin kurallar ve kısıtlamalar doğrultusunda sayısal değerler olarak girilerek bir sistem oluşturulmasına dayanan bir bilgisayar destekli tasarım yöntemidir.

Parametrik tasarımda, tasarımın çözüm getireceği probleme ilişkin detaylı araştırma yapılarak toplanan veriler ile tasarımı etkileyen değişkenler yani parametreler belirlenir. Parametreler birbirlerine çeşitli kurallar ve kısıtlamalar ile bağlıdır ve birbirlerini nasıl etkileyecekleri sayısal etki değerleri olarak girilir. Parametreler arası bu bağlantı, bir veride yapılacak sayısal değişiklik ile tüm sistemin otomatik olarak güncellenmesini sağlar. Örneğin, geleneksel yöntemlerde çatı yapısını değiştirmek için çatının uzunluk, yükseklik ve genişlik değerlerinin ayrı ayrı değiştirilmesi gerekirken, parametrik modellemede, bir parametrenin değiştirilmesi ile diğer parametreler otomatik olarak ayarlanmaktadır (Fu, 2018). Bu sayede, modelin yeniden çizilmesi gerekmeden, farklı tasarım çözümleri ve form çeşitleri için anlamlı varyasyonlar oluşturulabilmektedir. Eryayar (2017)'a göre yaratıcı süreci hızlandıran parametrik tasarım modelleme sistemleri, form alternatifleri üretmede tasarımcılara

sonsuz olasılık sunar ve tasarımcı, parametrik tasarım sürecinin her aşamasında değişiklik yapabilir (Şekil 3.1.).

Şekil 3.1. Parametrik Tasarım Süreci (Eryayar, 2017)



Parametrik tasarımda parametreler arası kurallı ilişkiler sayesinde tasarımda form değişiklikleri hassas ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca parametrik tasarım ile süreç içerisinde yeni veriler eklenebilir, formun bütünü bu doğrultuda güncellenebilir ve yeni tasarımlar elde edilebilir. Sun ve Huang (2019)'a göre, parametrik tasarımın önemi ve avantajlarını yansıtan iki yön vardır. Birincisi, kompleks kural ve algoritmalar modellemenin temellerini oluşturduğundan, tasarımcılara avantaj sağlar ve karmaşık ve organik formların tasarım ve üretiminde geleneksel modelleme anlayışının sınırlarını kaldırır. İkincisi, parametrik tasarımın dinamik değişim özellikleri sayesinde ürünün dijital modeli hızlı ve kaliteli bir şekilde oluşturulabilmekte ve değiştirilebilmekte, biçimlendirilebilir tasarım süreci ile sayısal kontrollü üretim yöntemlerine uygun dijital model oluşturulabilmektedir.

Dinamik değişim özellikleri ve biçimlendirilebilir tasarım süreci doğrultusunda parametrik tasarımın etkili şekilde kullanılabilceği uygulama alanlarından biri de acil durum sonrası barınma ünitesi tasarımlarıdır. Acil durumlar, farklı iklim ve zemin koşullarında, farklı çevresel şartlarda gerçekleşebilir. Her acil durum bölgesinin farklı ihtiyaç ve yaşam standartlarının karşılanabilmesi için güncellenebilir tasarım çözümleri oluşturulmalıdır. Bu çözümlerin aynı zamanda mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmesi ve üretilmesi gereklidir. Tasarımı oluşturan alt bileşenlerin bilgisayar kontrollü ve birbirleriyle bağlantılı olarak değiştirilmesi özelliği sayesinde parametrik tasarım ile acil durum sonrası barınma için farklı çevresel şartlara, yaşam standartlarına ve farklı ihtiyaçlara yönelik tasarım çözümleri hızlı şekilde oluşturulabilir.

3.1. Parametrik Tasarım Sistemi

Parametrik tasarım, mekanik tasarımdan yapı ölçeğine ve şehir planlamaya kadar farklı ölçeklerde kullanılabilen bir yöntemdir. Her ölçek ve tasarımda farklı veriler kullanılmakta dolayısıyla farklı parametrik sistemler oluşturulmaktadır. Oxman ve Gu (2015), parametrik tasarım sürecinde karakteristik üç durumdan bahseder;

- Tasarımcılar üç boyutlu modellerin oluşturulmasında kurallar tasarlar ve bu kurallar arası ilişkiyi anlamlandırır.
- Tasarımcılar istedikleri her aşamada tasarımlarını değiştirip geliştirebilirler.
- Her aşamaya paralel olarak tasarım alternatifleri geliştirilebilir.

Bir parametrik tasarım sistemi oluşturulurken öncelikle tasarımda nelerin değerlendirileceğinin belirlenmesi ve verilerin birbirleriyle anlamlı ilişkilerinin kurulması gerekir. Değişkenler, kısıtlamalar, bağımlılıklar, bileşenler ve kurallar, bir parametrik sistemin içeriğini oluşturur (Baykara, 2011).

3.1.a. Değişkenler

Parametrik tasarım sistemlerinde kullanılan değişkenler, bağımlı-bağımsız ve genel-bölgesel olarak ayrılmaktadır (Baykara, 2011). Bir dikdörtgenin kenar ölçüsü değeri tasarımcı tarafından sayısal olarak değiştirilerek kontrol edilebilir ve bağımsız değişkene örnek oluşturur. Dikdörtgenin bunun sonucunda değişen yüzey alanı ise bağımlı değişken örneğidir. Kısaca bağımlı değişkenler, bağımsız değişkenlerde yapılan değişikliklerin sonucudur. Genel ve bölgesel değişkenler ise kendilerine bağlanan elemanlara göre etki alanına sahiptir. Bölgesel değişkenler yalnızca belirli sayıda yapı elemanını etkilerken, genel değişkenler yapının bütünü ile bağdaştırılmıştır.

3.1.b. Kısıtlamalar ve Bağımlılıklar

Parametrelerin alabileceği sayısal değerler ve geometrik şekiller, parametrik sistemin kısıtlamalarını oluşturur ve parametrelerin tanımlanmasını sağlar. Açık, uzunluk, çap, uzaklık, diklik gibi durumlar parametrik sistemdeki kısıtlamalardan bazılarıdır. Örneğin değişken uzunluktaki iki çizgi paralellik ile kısıtlanmışsa, aralarındaki mesafe ve uzunlukları değişse dahi paralellik korunur. Kısıtlamaların fazlalığı çözüm varyasyonlarını azaltırken, azlığı tanımsız parametreler nedeniyle hatalı çözümlere neden olabilir. Birbirleri ile bağdaştırılan birimlerde kısıtlamalar, parametrelerin birbirleri ile ilişkilerini düzenleyerek bağımlılıkları oluşturur. Örneğin; birbirleri ile bağdaştırılarak kısıtlanan iki eğri tanjantı sistem içerisinde eş olarak çalışacak ve eğrilerden birinin boyutu diğerine bağımlı olacaktır (Baykara, 2011).

3.1.c. Bileşenler

Bir parametrik sistemde bileşen, değişkenler ve kısıtlamalar ile tanımlanan geometrik elemanların bir araya getirilmesi ile oluşur (Haymaker vd., 2007). Örneğin, değişken kenar uzunlukları, kesişim ve açı kısıtlamasıyla bir araya gelen üç çizgi bir üçgen bileşenini oluşturur.

3.1.d. Kurallar

Farklı bileşenler, sayısal ve geometrik değişkenler ve kısıtlamalardan oluşabilen girdilerin birbirleriyle ilişkileri kurallar ile belirlenir ve bu kurallar yoluyla bileşen oluşturulur (Haymaker vd., 2007). Örneğin, bir yapı içerisindeki dolaşım koridorlarının oluşturulması bir kuraldır. Kısıtlamalar ile birbirlerine bağlı tasarım teması, zemin alanı gibi girdilerin bir araya getirilmesiyle koridor yerleşimi ve alanı elde edilir. Geleneksel tasarım yöntemlerinde tasarımcı genellikle sınırlı sayıda alternatifini değerlendirebilirken, parametrik tasarımda kurallar bir kez uygulandığında sınırsız sayıda tasarım alternatifi oluşturulabilir (Oxman & Gu, 2015).

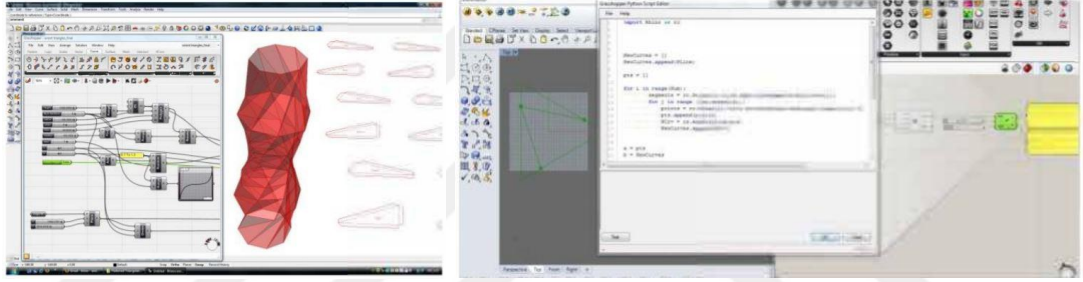
3.2. Parametrik Tasarım Yazılımları

Parametrik modelleme, tasarımı etkileyen unsurlar ve bunların birbirleri arasındaki geometrik algoritmanın kurulmasına dayalıdır. Tasarımın çeşitli alanlarında, tekrarlayan çalışmalar ve çoklu veriler içeren durumlarda tasarımcılar tarafından parametrik tabanlı bilgisayar destekli tasarım programları kullanılmaktadır. Parametrik tasarım yöntemleri, günümüzde tasarım odaklı teknolojik gelişmelerle değişen tasarımın üretken süreçlerine uyum sağlayabilmekte, çeşitli alanlarda üretilen tasarımların form özelliklerini etkilemektedir (Oxman & Gu, 2015). Son yıllardaki bu

eğilim doğrultusunda parametrik tabanlı bilgisayar destekli tasarım programları gelişme göstermiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır.

Önde gelen parametrik modelleme yazılımlarından bazıları, RhinoCeros 3D (Grasshopper), Solidworks, Mayascript, Bentley Microstation ve Revit (Dynamo)'tir. Bu programlarda, biri kodlamanın oluşturulması ve biri kodlama sonucu modellemenin görüntülenmesi için kullanılan şekil 3.2'de görüldüğü gibi iki modelleme sekmesi bulunur.

Şekil 3.2. Yazılı Algoritma ve Görsel Algoritma Kullanan Parametrik Modelleme Yazılımlarında Kodlama ve Modelleme Sekmeleri (Kaçmaz, 2019)



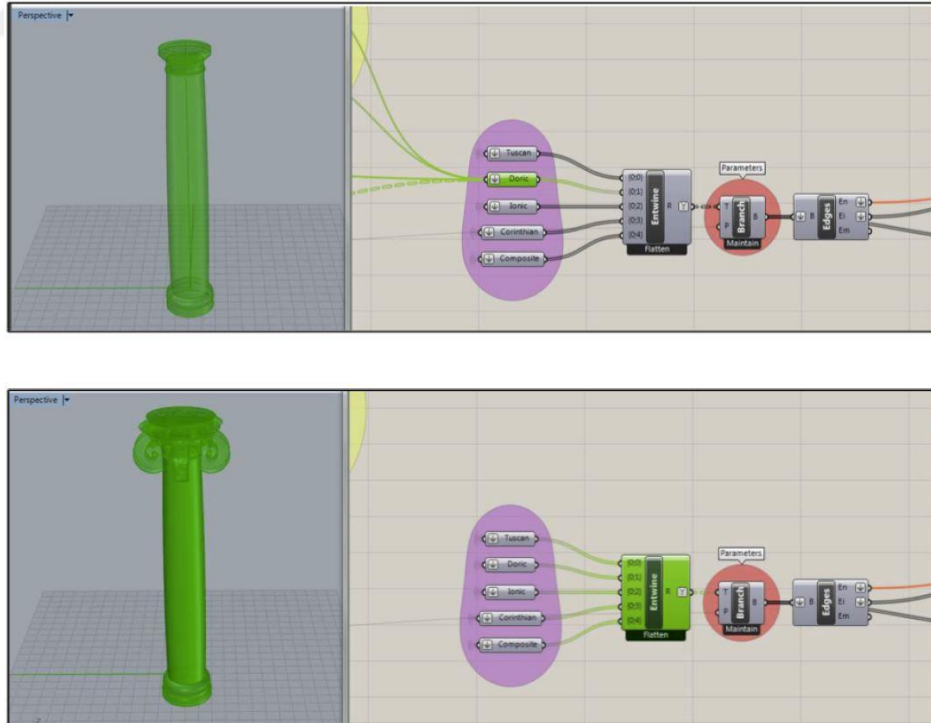
Parametrik modelleme yazılımları, kodlama bilgisi gerektiren yazılı algoritma oluşturucular (Bentley Microstation, Mayascript...vb) ve kod öğrenimi gerektirmeyen görsel algoritma oluşturucular (Grasshopper ve Dynamo) olmak üzere ikiye ayrılır, ayrıntılı kodlama bilgisi gerektirmeden parametrik kodları görsel algoritma ile birbirine bağlayan Grasshopper ve Dynamo, mimar ve tasarımcıların kullanımı için önerilmektedir (Kaçmaz, 2019).

3.2.a. Rhinoceros 3D (Grasshopper)

Rhinoceros 3D, NURBS (İng. Non-uniform rational basis spline) tabanlı bir bilgisayar destekli tasarım programıdır. Yüzeyleri eğriler üzerinden tanımlar. Grasshopper, Rhino'nun 3 boyutlu modelleme araçları ile eşlenik çalışan bir grafik

algoritma editörüdür (Network, t.y.). Kodlama bilgisi gerektirmeyen Grasshopper, görsel programlama dili kullanır ve Rhinoceros 3D ile parametrik modelleme yapılmasını sağlar. Rhinoceros 3D ile parametrik tasarım yapılırken biri Grasshopper görsel kodlama sekmesi diğeri de Rhino modelleme sekmesi olarak iki pencere kullanılır. Kodlama ile oluşturulan geometriler, modelleme penceresinde görülür. Veri ekleme-çıkarma, parametrelerde değişiklik gibi kodlamadaki her türlü değişiklik, otomatik olarak modelleme üzerinde aynı anda gözlemlenir. Herhangi bir değişiklik, çizimin baştan yapılması gerekmeden, parametrelerin sayısal olarak değiştirilmesi ile gerçekleştirilir ve bağlı parametreler ve sonuç model güncellenmiş olur. Bu araştırmada önerilen parametrik tasarım çözümleri Grasshopper kullanılarak geliştirilmiştir.

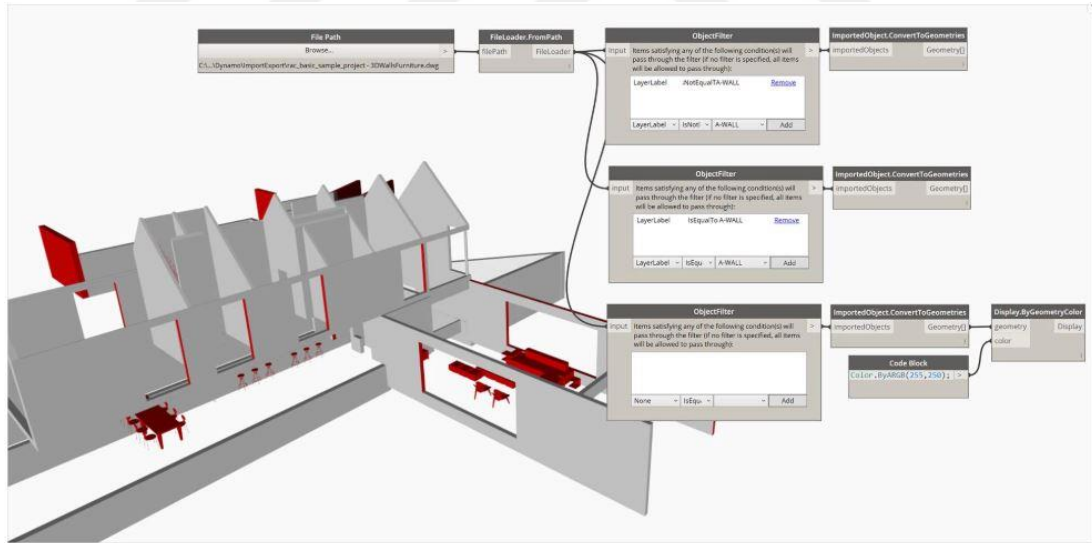
Şekil 3.3. Grasshopper Parametrik Modelleme Eklentisi (Oxman & Gu, 2015)



3.2.b. Dynamo (Autodesk)

Dynamo, parametrik tasarım ve bina bilgi modellemesini (BIM) birleştiren açık kaynaklı bir görsel programlama yazılımıdır (*Explore / Dynamo BIM*, 2016). Autodesk Revit programı ile bağlantılı da çalışan Dynamo’da parametreler arayüzdeki komutların grafiksel olarak birbirlerine bağlanması ile işlenir ve sonuç modelin hareketlerinin görsel mantığı kurulur. Dynamo ile yapı elemanlarının değerlerine tasarım süreci boyunca ulaşılabilir ve farklı parametrik tasarım alternatifleri değerlendirilebilir. Tekrarlayan görev ve iş akışlarının düzenlenerek otomatikleştirilmesini sağlayan Dynamo ile tasarım süreci hızlandırılır ve verimliliği artar (*Dynamo Studio / Computational BIM Design / Autodesk*, 2020).

Şekil 3.4. Autodesk Dynamo Parametrik Modelleme Yazılımı (*Dynamo Studio / Computational BIM Design / Autodesk*, 2020)



3.3. Yapı Ölçeğinde Parametrik Tasarım Örnekleri

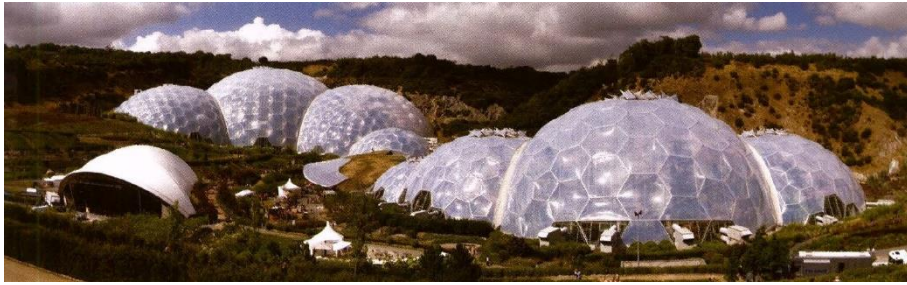
Parametrik tasarım tekniklerinin yapı ölçeğinde kullanımı, parametrik model üzerindeki hızlı ve kolay değişikliklerle çevresel şartlara ve farklı ihtiyaçlara uygun ve serbest formlara sahip tasarımların geliştirilmesini sağlar. Yapı elemanlarının sayısal

değerleri ve birbirleri ile kurallı bağlantıları tasarım süreci boyunca ulaşılabilir ve güncellenebilir olduğundan, formun değiştirilebilmesi için gerekli analizlerin yapılmasını kolaylaştırır. Parametrik model üzerine kurulu lineer olmayan mimari, bilimsel ve mantıklı olmasının yanında, yapının görev ve çevrenin ihtiyaçları doğrultusunda şekillendirilmesini sağlar ve geleneksel mimariye göre daha fazla özelliğe sahiptir (MinWu & Ma, 2012).

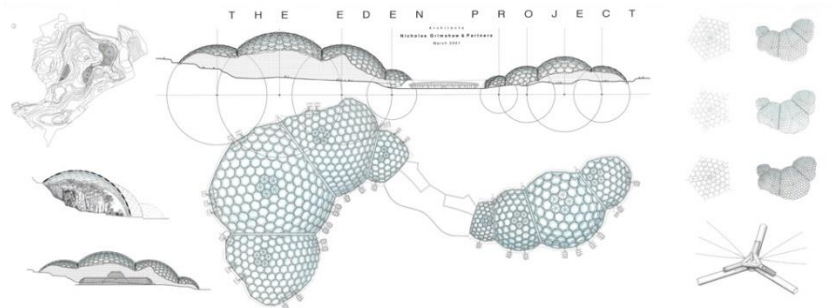
3.3.a. Eden Projesi

Grimshaw Mimarlık tarafından tasarlanan Eden projesi, İngiltere’de, tasarım süreci boyunca faal olan bir taş ocağı üzerinde 2,2 hektarlık alana inşa edilmiş, büyük bir bitki popülasyonu barındıran sıcaklık kontrollü 8 büyük biyomdan oluşan bir projedir (Mairs, 2015). Akdeniz iklimi ve tropikal iklim ayrı biyomlarda oluşturulmuş ve bu iklime uygun bitkiler yetiştirilmiştir.

Figür 3.1. Eden Projesi, Cornwall, Birleşik Krallık (Woodbury, 2010)

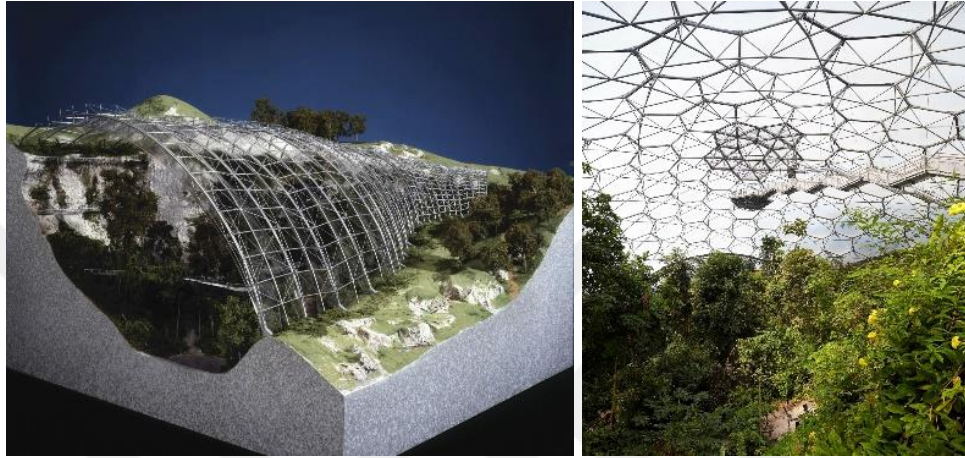


Şekil 3.5. Eden Projesi (Architects, t.y.)



Eden projesi, parametrik tasarım ve jeodezik geometriyi birleştiren bir projedir. Projenin tasarlandığı sahanın bir taş ocağı olması değişken zemin seviyelerine neden olmuş, jeodezik geometri ile biyom küreleri kolayca düzenlenip geliştirilebilirken, parametrik modelleme bu değiştirme süreçlerini kısaltmıştır (Woodbury, 2010).

Figür 3.2. Eden Projesi (Architects, t.y.)

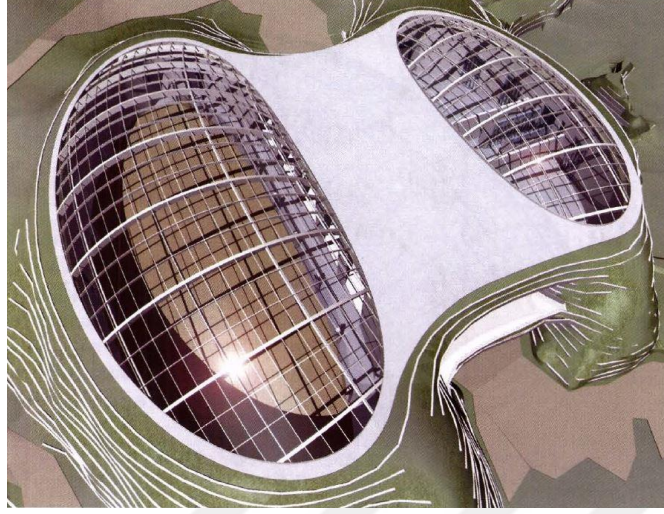


3.3.b. Kopenhag Hayvanat Bahçesi Fil Evleri

Kopenhag Hayvanat Bahçesi içerisinde yer alan, Foster + Partners Mimarlık tarafından tasarlanan fil evleri projesinde, hayvanat bahçesi ile fil parkı arasındaki görsel bağın kurulması, fillerin doğal ortamlarına benzer günışığı sağlanması ve ziyaretçiler için fillerin gözlemlenebileceği bir alan yapılması amaçlanmıştır (Fairs, 2008).

Torus matematiksel formu, tasarımın karmaşıklığını kullanarak cam ve strüktürün birlikte kullanımını için geometrik mantık oluşturulmasını sağlamış, parametrik tasarım araçları ile kodlanan bu mantık doğrultusunda, fil evlerinin çatısı için birçok tasarım alternatifi değerlendirilebilmiştir (Woodbury, 2010).

Figür 3.3. Kopenhag Hayvanat Bahçesi İçin Tasarlanan Fil Evleri (Woodbury, 2010)



Figür 3.4. Kopenhag Hayvanat Bahçesi İçin Tasarlanan Fil Evleri (Fairs, 2008)



3.3.c. Wasp Parametrik Evleri

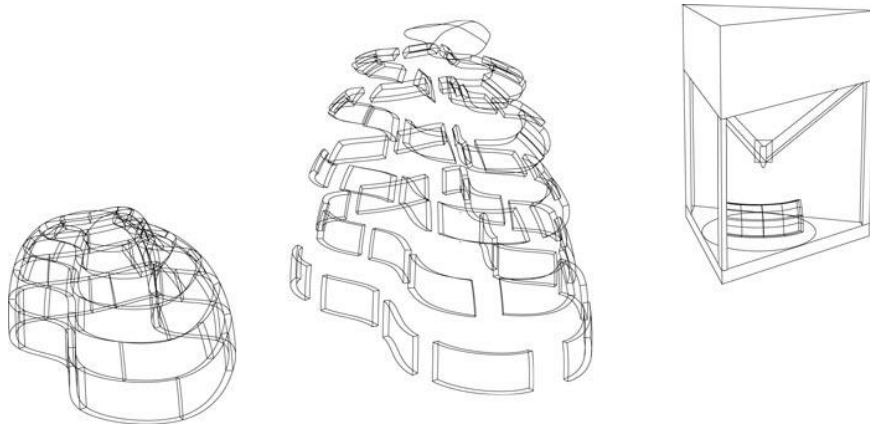
Wasp parametrik evleri, toprak ve saman karışımından Wasp üç boyutlu yazıcılar ile basılabilecek parametrik parçalardan oluşmaktadır. Moretti (2018), bu parametrik ev projesinin, gelecekte herkes için ihtiyaçlara göre değiştirilebilir ve özelleştirilebilir evler sağlayacağını belirtmektedir.

Figür 3.5. WASP Tarafından Geliştirilen Parametrik Ev Projesi (Moretti, 2018)



Taban alanı ve eğri yapısı verilen parametrik modelde, oda sayısı ve boyutları ve tercih edilen açıklık konumu parametreleri ile kullanıcı ihtiyaçlarına göre farklı şekillerde evler oluşturulabilmektedir (Moretti, 2018). Bilgisayar destekli parametrik modelleme araçları ve kurulan algoritma sayesinde, ev modelleri parametre değişiklikleri ile eş zamanlı olarak güncellenebilmektedir.

Şekil 3.6. Wasp Parametrik Evlerinin Parametrik Parçaları (Moretti, 2018)



3.3.d. Wasp Trabeculae Yapısı

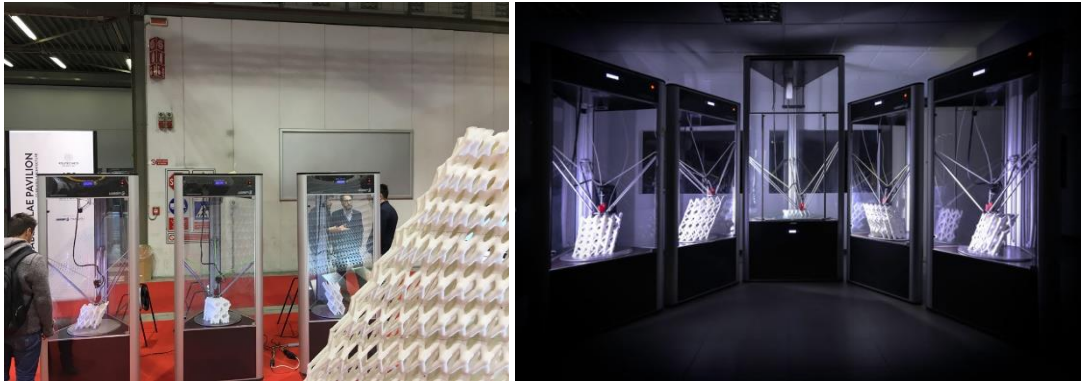
Trabeculae yapısı, Politecnico Di Milano'dan Roberto Naboni'nin doktora araştırmasında geliştirilerek WASP ile gerçekleştirdiği, malzeme kullanımını azaltma amaçlı bir projedir (Moretti, 2017). Yapı, kullanılan FDM 3 boyutlu yazıcı ölçülerine uygun parçalar halinde basılıp birleştirilerek oluşturulmuştur.

Figür 3.6. WASP Trabeculae Yapısı (*Trabeculae Pavilion*, t.y.)



Bu projede parametrik tasarım, parça optimizasyonunun yanında, boyutlandırma, kesit, yönlendirme ve topolojide sürekli değişimler yapılarak yapının hücresel yüke duyarlılığının artırılması için kullanılmıştır (*Trabeculae Pavilion*, t.y.).

Figür 3.7. WASP Trabeculae Yapısı Üç Boyutlu Baskı Süreci (Moretti, 2017)



Örnekler doğrultusunda yapı ölçeğinde parametrik tasarımın, malzeme ve üretim süreci optimizasyonu, çevresel faktörler ve ihtiyaçlar doğrultusunda tasarımın özelleştirilebilmesi ve probleme en uygun çözüme ulaşmak için alternatif tasarımların oluşturulmasında etkili bir yöntem olduğu değerlendirilmiştir.



BÖLÜM IV

YÖNTEM

Araştırmanın önceki bölümlerinde yeni üretim tekniklerinden eklemeli imalat ve bu üretim tekniğine uygun tasarım araçlarından parametrik tasarım incelenmiş, bu tasarım ve üretim yöntemlerinin yaşam alanı tasarımlarında kullanımının avantaj ve kısıtlamaları değerlendirilmiştir.

Eklemeli imalat teknolojisinin avantaj ve dezavantajları, konuya ilişkin akademik yayımlar, konferans bildirimleri, üniversitelerin yıllık raporları ve bu alanda uzmanlaşmış kuruluşların bildirimlerini içeren doküman incelemesi ile belirlenmiştir. Buna göre yapı ölçeğinde eklemeli imalatın avantajları; alet ve kalıp gerektirmeden 3D CAD modellerinden doğrudan üretim, yerinde üretim ile depolama ihtiyacının azaltılması, malzeme tasarrufu ve karmaşık formların kolay üretimi olarak özetlenebilir.

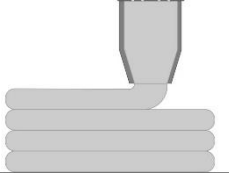
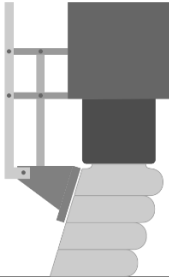
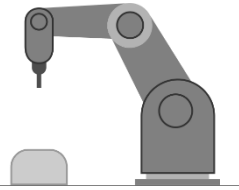

Eklemeli imalatta kullanılan üç boyutlu yazıcıların mekanik özellikleri, bu yöntem ile üretilecek tasarım modellerini belirleyen faktörlerdendir. Mekanik özelliklerine göre üç boyutlu yazıcı tipleri araştırılmış; hızlı baskı, kurulum ve kontrol kolaylığı, hareket kabiliyeti ve çalışma alanının optimize edilebilmesi özellikleri doğrultusunda robotik yazıcılar araştırmadaki yaşam alanları için tercih edilmiştir.

İstenilen ürünün özelliklerine ve kullanım alanlarına göre, eklemeli imalat yöntemlerinde kullanılan hammaddeler değişiklik göstermektedir. Malzemenin kullanım öncesi ve biriktirme aşamasındaki fazı ve malzeme cinsine göre yapılan sınıflandırmalar incelenmiştir. Bu araştırmada eklemeli imalat, ilk sınıflandırmalardan biri olan Kruth (1991)'un malzemenin biriktirme aşamasındaki yapısına göre sıvı, katı ve toz bazlı olarak sınıflandırılmıştır. Tasarlanan barınma ünitelerinde kullanılan beton

malzeme, biriktirme aşamasında sıvı hali doğrultusunda, sıvı bazlı eklemeli imalat yöntemidir.

Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM), eklemeli imalat teknolojilerini 7 kategoriye ayırmıştır. Bu kategorilerden Malzeme Ekstrüzyonu (İng. Material Extrusion), düşük maliyeti, yaşam alanlarına ölçeklendirilebilir olması ve beton malzeme kullanımına olanak sağlaması ile bu araştırmada kullanılan eklemeli imalat teknolojisi olmuştur.

Beton malzemenin, sıvı bazlı eklemeli imalat yöntemi ve malzeme ekstrüzyonu teknolojisi kullanılarak, robotik yazıcılar ile katmanlar halinde basılması, bu araştırmanın üretim yöntemini oluşturmaktadır.

Eklemeli İmalat Teknolojisi	Eklemeli İmalat Yöntemi	3 Boyutlu Yazıcı Tipi	Baskı Malzemesi
<p>Malzeme Ekstrüzyonu (İng. Material Extrusion,ME) - Birleştirmeli Yığma Modeli (İng. Fused Deposition Modelling - FDM)</p> 	<p>Kontur Dolgu Yöntemi (İng. Contour Crafting)</p> 	<p>Robotik Yazıcı</p> 	<p>Sıvı Bazlı Katmanlı Üretim - Beton Malzeme</p> 

Tablo 4.1. Araştırmada Seçilen Üretim Yöntemi

Eklmeli imalat tekniğine uygun tasarım araçlarından olan parametrik tasarım yönteminin avantaj ve sınırlılıklarının belirlenmesi için kullanılan doküman incelemesi yöntemi, konuya ilişkin kitap, bilimsel dergi makaleleri, konferans bildirileri ve parametrik tasarım ve yazılım firmalarının internet tabanlarında yer alan yayınlarını içermektedir. Parametrik tasarımın avantajları; karmaşık ve organik formların tasarım ve üretiminde sınırları kaldırması, modelin yeniden çizilmesi gerekmeden nihai formun değiştirilebilmesi ve parametrelerin her aşamada sayısal olarak değiştirilebilmesiyle farklı tasarım çözümleri ve varyasyonların oluşturulabilmesi olarak sıralanabilir. Parametrik tasarımın dinamik değişim özellikleri sayesinde tasarım ve dijital model hızlı bir şekilde değiştirilebilir ve ihtiyaçlar doğrultusunda güncellenebilir tasarım formları oluşturulabilir.

Üç boyutlu modeller oluşturulurken tasarımı etkileyen veriler, veriler arasındaki kurallar ve kurallar arasındaki ilişki belirlenerek parametrik tasarım sistemi oluşturulur. Bu araştırmada, parametrik tasarım yöntemi kullanılarak oluşturulan örnek tasarımda, değişkenler, kısıtlamalar, bağımlılıklar, bileşenler ve kurallar kullanılarak barınma ünitesi tasarımları için bir parametrik sistem oluşturulmuştur. Sistemdeki veri ve ilişkilerin değiştirilmesiyle anlamlı varyasyonlar elde edilmiş, sayısal kontrollü eklmeli imalat yöntemlerine uygun dijital model hazırlanmıştır.

Araştırmada geliştirilen parametrik sistem, kullanıcı ihtiyaçları, çevresel şartlar ve üretim yöntemine dair bağlamsal ihtiyaçlar doğrultusunda oluşturulmuştur. Buna göre; modelin köşegen sayısı, tavan yüksekliği, taban alanı, kubbe eğrisi, duvar kalınlığı ve açıklık konumları parametrik sistemin değişkenleridir. Oda sayısı ise köşegen sayısına bağımlı değişkendir. Kubbe eğrisi değişiminden etkilenmemesi için, yapı açıklıklarının bulunduğu yüzeyin tabana olan dikliği ve açıklık ölçüleri, açıklık konumları, köşegen sayısı ve tavan yüksekliği değişkenleri arası kısıtlamadır.

Parametrik tasarımda dijital modeller, tasarımı belirleyen veriler arasındaki geometrik algoritmanın kurulmasını sağlayan parametrik tabanlı bilgisayar destekli tasarım programları ile oluşturulur. Bu araştırmada parametrik tasarım alternatifleri, kod öğrenimi gerektirmeyen görsel algoritma oluşturucu programlardan Grasshopper ile geliştirilmiştir.

Eklemeli imalata uygun parametrik yaşam alanı tasarımlarında, ucuz ve dünyanın her yerinde bulunabilir olan beton malzeme kullanılmıştır. Güçlü ve yangına dayanıklı olan beton malzeme, sıvı halde kullanılabilmekte ve bu şekilde üç boyutlu yazıcılar ile basılabilmektedir. Özalp (2018)'ın belirlediği, eklemeli imalatta kullanılacak beton malzeme parametreleri, ekstrüde edilebilirlik, üst üste taşıtabilirlik ve işlenebilirlik süresidir.

Eklemeli imalatın üretimde sağladığı olanaklar, parametrik tasarımın form alternatifleri geliştirmede sunduğu fırsatlar ve eklemeli imalatta beton malzeme parametreleri bu araştırmadaki yenilikçi, işlevsel ve ihtiyaçlara göre optimize edilmiş yaşam alanı tasarımlarını etkileyen unsurlardır. Bir diğer etken ise kullanıcı ihtiyaçlarını da içeren, acil durum sonrası barınma ünitelerinin gereklilikleridir.

Alan yazın araştırması doğrultusunda, afet sonrası barınma üniteleri konusunda Türkiye'de geçici barınma üniteleri üzerine yürütölen araştırmaların (Acerer & Kulaksızoğlu, 1999) (Limoncu & Bayölgen, 2005) bulunduğu ancak; geçici barınma ünitesine geçiş sürecinde kullanılan acil barınma ünitelerinin geliştirilmesine yönelik yeterince çalışma bulunmadığı görölmüştür. Bu araştırma ile acil durum barınma ünitelerinde güncel ve gelecekte yaygınlaşması beklenen üretim tekniklerinin ve ihtiyaçlar doğrultusunda güncellenebilir tasarımların bilimsel olarak incelenmesindeki ve geliştirilmesindeki boşluk doldurulmuş olacaktır. Acil durum sonrası barınma ünitelerinin gereklilikleri ve afet sonrası barınmada kullanıcı ihtiyaçları belirlenirken,

seçilen anahtar kelimeler (deprem sonrası barınma, acil barınma, emergency shelter) doğrultusunda ilgili bilimsel kitap, dergi ve akademik yayınlar ile çevrimiçi araştırma veri tabanları incelenmiştir. Afet sonrası barınma ünitesi alanındaki çağdaş kuramları ve çalışmaları toplamak için, afet sonrası alanda uzmanlaşmış uluslararası kuruluşların çalışmaları, Türkiye Deprem Mühendisleri Derneği tarafından 2011 yılından beri iki yılda bir düzenlenmekte olan Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı bildirimleri ve uluslararası insani yardım kuruluşlarının raporları incelenmiştir. Buna göre mevcut acil durum yapılarından kaynaklı problemler; iklim ve zemin koşullarına uygunsuzluk, alev alma, kurulum için deneyimli personel gerekliliği ve bu kişilerin sayısının azlığı nedeniyle kurulum süresinin uzaması, değiştirilebilir ve kişiselleştirilebilir olmayan yapılar ve acil barınma için stoklanan ürünlerin kullanım zamanı geldiğinde yıpranmış olmalarıdır. Bu doğrultuda acil durum sonrası barınma ünitesi gereklilikleri ise güvenlik hissi sağlanması, geliştirilmeye uygunluk, havalandırma ve ısı yalıtımı uygunluğu, kullanıcının kültürel yapısına uygunluk, mahremiyet sağlanması, hızlı üretilebilirlik, tekrar kullanılabilirlik ve malzeme kullanımı optimizasyonuna olanak verme olarak sıralanabilir.

4.1. Yaşam Alanının Tanımlanması

Araştırma kapsamında, uygulama örneği olarak katmanlı üretime uygun parametrik yaşam alanı tasarımı geliştirilmiştir. Acil durum sonrası doğan barınma ihtiyacını karşılamada, orta ve uzun vadede kullanılacak tek katlı betonarme yapılar bu araştırmada tanımlanan yaşam alanlarını oluşturmaktadır.

Bu araştırmanın nihai kullanıcıları, acil durum sonrası evlerini kaybeden ancak bu acil durumdan kaynaklanan herhangi bir sağlık sorunu bulunmayan kullanıcılarıdır. Bu kullanıcılar için konut amaçlı üretilecek üniteleri tasarlayacak tasarımcı ve bu

tasarımları üretecek üreticiler de araştırmanın kapsamı içindedir. Acil barınma ünitelerinin kullanım sonrası yeniden değerlendirilmeleri ise bu araştırmanın kapsamı dışındadır. Kullanıcılar, mahremiyet ve güvenlik hissi sağlama, işlevsellik incelemelerinde belirleyici olarak yer almaktadır. Tasarımcı, katmanlı üretim teknolojisi ve açık bilgi paylaşımı doğrultusunda güncel bilgiyi takip eden, bu bilgi ile tasarımlarını geliştiren kişi olarak ve üretici de hammaddeyi depolayan, gelişen teknoloji ve tasarımlar doğrultusunda malzeme ve makineyi güncel tutan birim olarak yer almaktadır. Araştırma sürecinde bilimsel çalışmalar doğrultusunda önerilen malzeme çeşitleri değerlendirilmiş olmakla birlikte, katmanlı üretim teknolojisinin barınma ünitesi üretiminde kullanımı, bir sistem olarak ele alınmış ve önerilmiştir.

Acil barınma ihtiyacını sağlayan ürünlerin, üretim, depolama, taşınabilirlik ve kullanım özelliklerinden kaynaklanan sorunlarının çözümünde; hammadde stoklama ve afet alanlarında üretime olanak sağlayan katmanlı üretim teknolojisi kullanımının sağlayacağı avantajları kullanarak acil barınma ve geçici barınma ünitelerini aynı birim ile çözüme olanağı da sağlayan örnek bir parametrik tasarım geliştirilmiştir.

4.1.a. Acil Durum Sonrası Barınma

Acil durum sonrası barınma, bu durumun başlangıcından geçici yerleşime geçilene kadarki süreçte barınma ihtiyacının karşılanmasıdır. Ülkelerin afet ve acil duruma hazırlık düzeylerine göre farklılık göstermekle birlikte acil barınma için geleneksel yöntemler; çadır, tente ve prefabrik yapılardır. Şengül ve Turan (2015)' a göre afete hazırlıklı ülkelerde geçici barınma süresi kısa olmakta ve okullar, spor tesisleri ve çeşitli kamu kurumu binalarında sağlanabilmektedir. Ancak afete hazırlıksız ülkelerde bu binalar da çoğunlukla zarar gördüğünden, afet sonrası geçici barınma alanlarının kurulması gerekmektedir. 2020 Ocak ayında yaşanan Elazığ depreminden sonra

depremzedelerin bir kısmı spor salonları, öğretmenleri ve tren garında bulunan vagonlara yerleştirilmiştir.

Figür 4.1. Elazığ Depremi Sonrası Depremzedelerin Barınma Alanlarından Spor Salonu (Toprak, 2020)



Figür 4.2. Elazığ Depremi Sonrası Depremzedelerin Barınma Alanlarından Vagonlar (“Çadırda Soğuk İsyanı”, 2020)



Türkiye’de ve farklı ülkelerde kullanılan yerinde üretime, kullanıcı katılımına uygun ve güncellenebilir örnekler incelenerek acil durum barınma ünitelerindeki gelişmeler değerlendirilmiştir.

Türkiye’de afet sonrası barınma yaklaşımı üç aşama olarak ele alınmaktadır. Bunlar; acil yardım aşaması, rehabilitasyon aşaması ve yeniden yapım aşamasıdır (Limoncu & Bayülgen, 2005). Acil durum sonrası ilk 72 saat içerisinde kurulması gereken acil barınma üniteleri, acil yardım aşamasında, iki-altı aylık süreçte kullanılması öngörülen geçici barınma üniteleri ise rehabilitasyon aşamasında değerlendirilmektedir.

Barınma ihtiyacı doğuran acil durumlardan biri de depremdir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)’nın verilerine göre Türkiye’nin %92’si deprem bölgesi olup nüfusunun da %95’i deprem riski altında yaşamaktadır (*Deprem Nedir?*, 2019). Deprem sonrasında evsiz kalanlar için ilk ihtiyaç olan barınma, Türkiye’de çadırlar, dünyanın farklı bölgelerinde ise çadırlar ve mamul veya yarı mamul olarak stoklanan çeşitli barınak tasarımları ile sağlanmaktadır.

Figür 4.3. Türk Kızılayı Çadırlarının Depolama ve Kullanım Örnekleri (Türk Kızılayı, t.y.)



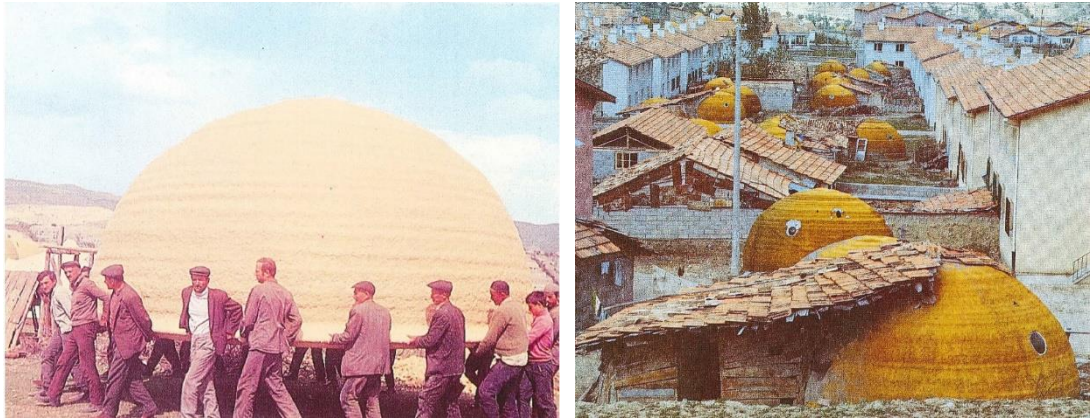
Deprem sonrası acil barınma üniteleri, geçici barınma ünitelerine göre daha kısa sürede daha çok kişiye ulaşmalı ve barınma ihtiyacını karşılamalıdır. AFAD deprem raporlarına göre (Afad, 2014) yakın dönemde gerçekleşen 1999 Marmara ve 2011 Van depremlerinde 600.000’den fazla insan evsiz kalmış, Marmara depreminde 43.000, Van depreminde 76.000, 2020 Elazığ depreminde ise 25.000’den fazla çadır

dağıtılmıştır. Aynı raporda, Van depreminden sonra 175.000 depremzedenin 3 ay boyunca acil barınma olan çadırkentlerde yaşadktan sonra geçici barınma olan konteynırkentlere yerleştirildikleri belirtilmiştir.

Özata ve Limoncu (2014)'nin araştırmalarından, afetzedelerin genellikle evlerine yakın yerlerde kendi çabalarıyla ve kendi malzemeleriyle, kulübeler, tenteler yaptıkları, temel barınmayı karşıladıktan sonra da, zaman içinde kendi ihtiyaçları doğrultusunda bu baraka ve tenteleri geliştirerek eklemeler yaptıkları anlaşılmaktadır. Bu davranış biçimi, yerinde üretimin ve kendin yap yaklaşımı ile güncelleştirilebilir ünitelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

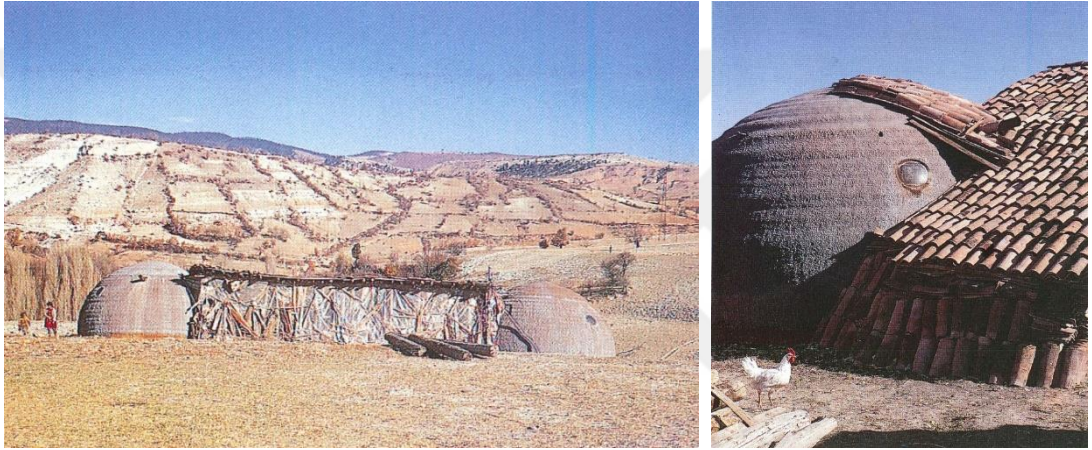
Türkiye'de afet sonrası yerinde üretimin tek örneği, 1970 Gediz depremi sonrasında Alman Kızıl Haç'ı ve Bayer firması tarafından Akçaalan köyünde acil barınma amaçlı üretilen 405 adet poliüretan kubbe barınmalardır. Bu kubbeler, tamamı Almanya'dan uçakla getirilen kimyasal malzemeler, makinalar ve teknisyenler ile yerinde üretilmiştir (Özkan, 1983). Yarım küre şeklinde şişme kalıplar üzerine bir sprey ile poliüretan ve katalizör karışımı malzeme püskürtülmüş, hafif ve 10-15 kişi ile taşınabilen 1 kubbe 25-30 dakikada tamamlanmıştır.

Figür 4.4. Bayer Firması Tarafından Yerinde Üretilen Kubbelerin Kullanım Örnekleri (Özkan, 1983)



Depremzedeler, tek bölüm olarak üretilen kubbelere, enkazdan toplanan parçalarla eklemeler yaparak, ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmişlerdir. Enkazdan toplanan parçalarla sundurmalar yapılmış, ara yapılarla üniteler birbirlerine bağlanmıştır. Yerinde üretim ile tek tip olarak sağlanan acil barınma üniteleri, kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda kullanıcıların ürettikleri parçalar ile geliştirilmiştir.

Figür 4.5. Bayer Firması Tarafından Yerinde Üretilen Kubbelerin Yerel Kullanım Örnekleri (Özkan, 1983)



1970 Gediz depremi sonrası yapılan poliüretan kubbe projesinde, poliüretan hammaddesi, kalıp ve mekanik teçhizat depolanmış, deprem bölgesinde üretilerek 25 m²'lik evlere dönüştürülmüştür. Kubbeler, son ürün hallerinde 5 metre çapa sahiptir. Kullanım alanına nakledilirken iki uçağa sığan hammadde, teçhizat ve personel; son ürün olarak 405 adet kubbeye dönüşmüştür. Son ürün haline göre daha az araçla nakledilerek avantaj sağlamış ve bu nedenle yerinde üretim için başarılı bir örnek sayılmıştır.

Poliüretan kubbeler, 1975 Lice depreminden sonra kullanımdan kaldırılmıştır. Kimyasal yapısı nedeniyle tamir edilememesi, yuvarlak hatlarının mobilya

yerleşiminde sorunlara neden olması, çok az güneş ışığı alması, yazın çok sıcak olması gibi dezavantajları, sistemin kullanımdan kalkma sebepleri arasında gösterilmiştir.

1999 Marmara depremi sonrası, devletin sağlamış olduğu çadırlardan farklı olarak Japon mimar Shigeru Ban Türkiye'ye gelerek Kaynaşlı'da depremzedeler için barınma üniteleri yapmıştır. Bu ünitelerin zemini, içi kumla doldurulmuş kasalar, strüktürü kağıt tüpler, kaplama malzemesi ise karton ve plastik plakalardır. Emine Merdim Yılmaz'ın Arkitera'da yayınlanan yazısında (2012), bu evlerden her birinin 2.000 dolara mal olduğu, ömrünün 2 yıl olduğu ve depremzedelere düşük maliyetli, hızlı ve etkin bir barınma sağladığı belirtilmiştir.

Figür 4.6. Shigeru Ban'ın Kaynaşlı'da Tasarlayıp Ürettiği Evler (Ban, t.y.)



Shigeru Ban'ın tasarımları, acil durum barınma ünitelerinin geleceği için tasarımcılara malzeme çeşitliliği ve sürdürülebilirlik sağlamakla birlikte; kurulumu için eğitilmiş ekipler gerektirmesi ve bir evin tamamlanmasının yaklaşık bir gün sürmesi dezavantajlarıdır. Ayrıca tasarımcıya, yarı mamul depolama ve yerinde montaj yöntemi için bilgi ve deneyim sağlamaktadır.

Figür 4.7. Shigeru Ban'ın Tasarladığı Seperatörlerin Tohoku'da Kullanımı (Ban, t.y.)



Acil durum barınma ünitelerinde kullanılan kağıt tüp sistemi, 2011 Japonya Tohoku depremi sonrası, spor salonlarında kişisel alan oluşturmak için kullanılmıştır. Sistem halen farklı ülkelerde afet sonrası barınma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Uluslararası alanda acil barınma ünitesi olarak kullanılan ürünlerden biri de Shiftpod üniteleridir. Bu üniteler, Amerika'nın Nevada eyaleti Black Rock Çölü'nde gerçekleştirilen festivalde kullanılan kısa süreli evler için tasarlanan Hexayurt projesinin geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. Hexayurt, farklı alanlarda çadırın yerini alması amacıyla geliştirilen, çeşitli malzemelerde atık oluşturmadan yapılabilen, açık kaynak bir teknoloji sığınağıdır (*The Hexayurt Project: Free Hardware housing for the world*, t.y.). Hexayurt kontrplak, OSB, kompozit gibi farklı panel malzemelerden üretilmekte, yarı mamul olarak sunulan malzeme, kurulum şeması verilerek, kullanıcı tarafından yerinde oluşturulmaktadır. Çöl ortamında gündüz aşırı sıcaktan, gece ise soğuktan korunmayı amaçlayan projenin kurulum videoları ve yönlendirmeleri çevrimiçi platformlar üzerinden ücretsiz olarak yayınlanmakta ve kullanıcılar tarafından geliştirilmeye devam etmektedir.

Figür 4.8. Hexayurt Projesi (*The Hexayurt Project: Free Hardware housing for the world, t.y.*)



Bir Hexayurt kullanıcısının farklı malzeme kullanarak katlanabilir üniteler oluşturma sürecinde ise Shiftpod geliştirilmiştir. Hafif ve kolay taşınabilir, pratik ve kurulum için deneyimli personel gerektirmeyen bir acil barınma ünitesidir. Ancak; zemin koşullarına bağımlı olması, iç mekanın küçüklüğü, kullanım sırasında depremzedelerin ayakta durmasına engel yapısı, dezavantajlarıdır.

Figür 4.9. Shiftpod Üniteleri (Terdiman, 2017)



2019 yılı Aralık ayında Çin'in Wuhan şehrinde başlayarak tüm dünyaya yayılan Covid-19 pandemisi sürecinde, yapısal alanda katmanlı üretim teknolojilerinden faydalanılmıştır. Sağlık çalışanları ve karantinadaki hastaların barınması için malzeme ekstrüzyonu yöntemi ile üniteler üretilmiş ve vaka yoğunluğu yaşanan bölgelere barınma amaçlı yerleştirilmiştir.

Figür 4.10. 3D Yazıcı İle Basılan İzolasyon Üniteleri (Carlota, 2020)



10'ar m²'lik alana sahip üniteler, Winsun firması tarafından kum ve inşaat molozu karışımı geri dönüştürülebilir malzemeden üretilmiş ve her biri 2 saatten az olmak üzere 15 adet ev 24 saat içerisinde tamamlanmıştır (Carlota, 2020).

Figür 4.11. 3D Yazıcı İle Basılan İzolasyon Üniteleri İç Yerleşimi (Carlota, 2020)



Çin'de pandeminin kontrol altına alınması ve hastanelerdeki yoğunluğun azalmasıyla birlikte, bu ünitelere olan ihtiyaç da ortadan kalkmıştır. Kolay

nakledilebilme ve herhangi bir yere konumlandırılabilme özelliği sayesinde bekçi odası, satış büfesi ve dinlenme kabini gibi farklı amaçlarla kullanımına devam edilebilmektedir. Herhangi bir amaçla kullanılmadığı durumlarda ise öğütülerek yeniden baskı malzemesi olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (*Product Center, t.y.*).

Figür 4.12. Ünitelerin Nakledilmesi (*Product Center, t.y.*)



4.1.b. Yaşam Alanı Tasarımında Kullanıcı İhtiyaçları

Literatürde, acil durum sonrası barınma ihtiyacı olan afetzedelerin genellikle evlerine yakın yerlerde kendi çabalarıyla ve kendi malzemeleriyle, kulübeler, tenteler yaptıkları, temel barınmayı karşıladıktan sonra da, zaman içinde kendi ihtiyaçları doğrultusunda bu baraka ve tenteleri geliştirerek eklemeler yaptıklarını gösterir araştırmalar yer almaktadır (Özata & Limoncu, 2014). Afetzedelerin bu davranış biçimi, sorunlara hızlı çözüm sağlayan yerinde üretime ve kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda güncellenebilir tasarımlara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Afet ve acil durumlar, farklı bölgelerde, farklı iklim ve yaşam koşullarında gerçekleşebildiğinden afetzedenin ihtiyaçları da bu doğrultuda değişmektedir. Dolayısıyla, barınma ünitesinde kullanılan tasarım ve hizmetler, üretildiği yerin değil,

kullanılacak olan yerin standartlarını yansıtmalı ve ihtiyaçlarını cevaplamalıdır. Örneğin; farklı iklim koşulları için farklı duvar kalınlıkları, farklı yapı açıklıkları ve farklı malzeme ile üretim gereklidir. Hâlihazırda kullanılan çadırlar, şartnamelerde belirlenen standartlar doğrultusunda üretilmekte ve afetin yaşandığı yerin iklim ve zemin koşullarına, ihtiyaçlarına göre değiştirilememektedir. Afetin şehirde ya da kırsalda gerçekleşmesine göre dahi, buradaki afetzedelerin ekonomik ve sosyokültürel ihtiyaçları, bu ihtiyaçlar doğrultusunda barınma ünitesinden bekledikleri yaşam konforu da farklılık göstermektedir.

Figür 4.13. Elazığ Depremi Sonrası Kurulan Çadırkentlerdeki Zemin Sorunları (Demirdaş, 2020a)



Elazığ depremi sonrası çadırda yaşayan depremzedeler, en önemli sorunlarının ısınma olduğunu ve çadır içerisinde ısının eksi derecelerde kaldığını belirtmişlerdir (Demirdaş, 2020b). Kışlık çadırların dahi, mevsim koşullarının farklılık gösterdiği bölgelerde yeterli korumayı sağlamadığı görülmektedir. Sonuç olarak; barınma üniteleri kullanılacak olan yerin iklim ve zemin koşullarına, kullanıcı sayısı ve sosyokültürel yapısına uygun olmalıdır.

Afet zamanı öngörülemediğinden, stoklanan ürünler de öngörülemeyen sürelerde depoda kalmaktadır. O günün ihtiyaçlarına göre üretilen ürünler, kullanım zamanı geldiğinde, ihtiyaçları karşılayamaz duruma gelebilmektedir. Katmanlı üretim teknolojisi ile yerinde üretim uygulamasında, eşzamanlı teknolojik olanaklara uygun olarak üretim yapılabilir. Üretim tekniği olarak önerilen 3D yazıcının tamamı değiştirilmeden, yalnızca parçaları ya da yazılımı güncellenerek üretim sürecine devam edilebilir ve her an güncel tasarımlar ile ihtiyaçlara cevap verilebilir. Kullanım zamanı teknolojisi doğrultusunda, hammadde karışımları yapılabilir, kullanılan makine ve teçhizat güncellenebilir ve daha hızlı ve etkin üretim yapılabilir. Geleneksel yöntemlerde olduğu gibi üretim noktasından belirlenen depolara dağıtım yerine, yerinde ve lokal malzemeler kullanılarak üretim yapılabilir. Depolama ve nakliye masraflarını azaltmasının yanı sıra, hızlı üretime olanak sağlar. Barınma ünitelerinin, kullanılacağı günün teknolojik olanaklarına göre üretilebilir olmasının, ihtiyaçların daha hızlı ve etkin şekilde karşılanmasını sağladığı görülmektedir.

Abulnour (2014)'a göre, önceden üretilmemiş ve bitmiş son ürün haline getirilmemiş barınma çözümleri, bitmiş ürün haline getirilmiş olanlara göre, daha ekonomik, kolay kurulabilir, değiştirilebilir ve kullanıcı katılımına olanak sağlar. Aynı araştırmaya göre, yerinde üretim, barınma ünitesinin konfor, hizmet ve konum bakımından yerel yaşam standartlarına uyumlu olmasını sağlar. Afet sonrası barınmanın sağlanabilmesi için, çadır, tente prefabrik yapı gibi acil barınma ünitelerinin yüksek miktarlarda stoklanması ve her an hazır tutulması gerekmektedir. Buna ek olarak taşıma ve kurulum için de çok sayıda eğitimli personel gerekmektedir. Bu araştırmada çözüm önerisi olarak sunulan katmanlı üretim teknolojisi sayesinde az sayıda personel ve makine ile yerinde üretim uygulanarak hızlı ve sağlam barınma çözümleri üretilmektedir. Bu uygulamada stoklanan malzeme 3D yazıcı ve yapısal

hammaddedir (çimento, kum su vb). Son ürün haline gelmediğinden daha küçük alanlarda stoklanabilir, çok uzak depolardan değil lokal tedarikçilerden kolaylıkla tedarik edilebilir. Yazıcının kompakt yapısı sayesinde taşınması kolaydır ve tamamlanmış ürünlere göre daha kısa sürede nakledilerek ihtiyaca uygun olarak yerinde üretime olanak sağlar. Ayrıca barınma ünitelerinin hammadde olarak stoklanması çok farklı tasarım alternatiflerine izin vermekte; çevresel faktörlere, kişi sayısına, arazi şartlarına uygun yapı üretilmesi ile kaynak optimizasyonuna olanak vermektedir. Sonuç olarak barınma ünitelerinin, malzemeye kolay ulaşım, depolama ve nakliye kolaylığı ve güncellenebilir tasarım ve üretim özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

Afet sonrası barınma, üç aşamada ele alınmaktadır, bunlar; acil yardım, rehabilitasyon ve yeniden yapım aşamalarıdır (Karaduman, 2002). Acil yardım aşaması, deprem sonrası birkaç gün ile birkaç hafta sürmektedir. Mümkün olan en fazla sayıda afetzedenin temel ihtiyaçlarının karşılanmasını kapsar. Rehabilitasyon aşaması, afet sonrası birkaç hafta içerisinde başlar ve kalıcı konutların inşa edilmesine kadar devam eder. Limoncu ve Bayülgen (2005)'e göre, Türkiye'deki üç aşamalı çözüm yaklaşımı, sorunlara ivedi çözüm sağlamakla birlikte, ülke kaynaklarının verimsiz kullanımına yol açmakta ve her aşama için planlamanın yeniden yapılmasını gerektirmektedir. Acil durum barınma ihtiyacı karşılandıktan sonra, baraka gibi orta vadeli barınma çözümlerinin yeniden üretilmesi gerekmektedir. Bu araştırmada, katmanlı üretim teknolojisi ile yerinde üretimin, acil barınma ve geçici barınma ünitelerinin aşamalı olarak birleştirilerek planlama süreci ve kaynak kullanımını azaltacağı, verimliliği artıracığı düşünülmektedir.

Hammadde stoklama ve yerinde üretim uygulaması parametrik tasarım yöntemi ile birlikte uygulandığında, kullanım zamanında üretim yapıldığından, hâlihazırda

kullanılan yöntemlerin aksine uygulanacak yer, kullanacak kişi sayısı ve ihtiyaçlarına uygun tasarım ve üretimler gerçekleştirilebilir, genişletilebilir parametrik uygulamalar yapılabilir.

1997 yılında insani yardım kuruluşlarını bir araya getiren bir girişim olan Yeryüzü Projesi (İng. Sphere Project) kurulmuştur. Bu girişim, herhangi bir afetten ya da çatışmadan etkilenen insanlara kaliteli insani müdahalenin sağlanmasını amaçlamakta ve insani yardım şartı ve insani yardımda minimum standartları içeren ve uluslararası çapta tanınan Yeryüzü El Kitabı (İng. The Sphere Handbook)'nı yayınlamaktadır (Sphere Project, 2018). Bu kitapta barınma üniteleri için belirlenen tasarım gereklilikleri şunlardır:

- Yeterli yaşam alanına sahip olma (mutfak, banyo gibi alanlar hariç, yalnızca barınma için kişi başına 3,5 m² olarak, tüm evsel alanlar dahil olarak ise 30 m² olarak belirtilmiştir),
- Temiz su ve yiyecek hazırlama ve depolama olanağı,
- Kültürel yapıya uygunluk,
- Hareket kısıtlaması olanlar için dahi ulaşılabilir olma ve kullanılabilirlik,
- Geçim kaynaklarına ve toplumsal hizmetlere yakınlık.

Barınma ünitesinin, zeminden tavana kadar sahip olması gereken iç yükseklik ise, sıcak iklimlerde 2,6 metre olmak üzere, en az 2 metre olarak belirtilmiştir.

Küresel Barınak Kümesi (İng. Global Shelter Clusters), uluslararası alanda, herhangi bir doğal felaketten ya da çatışmadan etkilenen insanların yeterli barınma imkânına sahip olması için çalışan kurumlar arası bir mekanizmadır (Global Shelter Cluster, 2018). Shelter Clusters tarafından acil barınma üniteleri için belirlenen tasarım gereklilikleri ise aşağıda sıralanmıştır.

- Güvenlik hissi sağlanması,
- Başka yerde/farklı amaçla kullanılabilme,
- Genişletilmeye uygunluk,
- İyi üretim için öğreti sağlanması,
- Havalandırma ve ısı yalıtımı uygunluğu,
- Mahremiyet sağlanması,
- Kullanıcının kültürel yapısına uygunluk ve
- Malzemeye kolay ulaşım olarak belirtilmiştir.

Mevcut acil durum yapılarından kaynaklı iklim ve zemin koşullarına uygunsuzluk, değiştirilebilir ve kişiselleştirilebilir olmama gibi problemlere, bu bölümde belirtilen kullanıcı odaklı tasarım gerekliliklerini karşılayacak barınma ünitesi tasarımları ile çözüm getirilmelidir. Tasarım gereklilikleri doğrultusunda, kullanıcı ihtiyaçları ve bağlamsal ihtiyaçların karşılanmasında parametrik tasarım ve katmanlı üretim yöntemi kullanılarak tasarım alternatifleri geliştirilmiştir.

4.1.c. Yaşam Alanı Tasarımında Bağlamsal İhtiyaçlar

Kullanılan baskı malzemesi, yazıcı tipi, baskı tekniği ve parametrik tasarım yöntemi yaşam alanı tasarımlarında diğer belirleyici faktörlerdir.

Hammaddesi ucuz ve kolay bulunabilir olan beton malzeme, güçlü ve yangına dayanıklı olduğu ve sıvı halde kullanılabilir bir yapı malzemesi olduğu için baskı hammaddesi olarak tercih edilmiştir. Kullanılacak olan beton malzemenin, katmanlı üretim yöntemi ile uygulanabilir olması için önceki bölümlerde detaylandırılan çeşitli parametreler mevcuttur. Bunlar; ekstrüde edilebilirlik, üst üste taşıtabilirlik ve çalışabilirlik süresidir. Beton malzeme, yazıcı nozulünden kolayca geçebilecek ancak üstü üste katmanlar halinde basıldığında deforme olmayacak akışkanlıkta olmalıdır.

Teknolojinin ve malzeme özelliklerinin geliştirilmesi ile beton donma ve yapışma süreleri optimize edilerek katmanlı üretim teknolojisinde kullanımını daha verimli hale getirilebilir.

KULLANICI İHTİYAÇLARI	KATMANLI ÜRETİM VE PARAMETRİK TASARIM OLANAKLARI
Yeterli yaşam alanı	Kullanıcı sayısı ve ihtiyacına uygun hızlı tasarım güncellemesi ve üretimi
Kültürel yapıya uygunluk	Farklı iklim koşullarına, farklı kullanıcı ihtiyaçları ve kültürel yapıya göre alternatif tasarım ve üretimi
Hareket kısıtlaması olanlar için de kullanılabilirlik	
Havalandırma ve ısı yalıtımı uygunluğu	
Genişletilmeye uygunluk	Biçimlendirilebilir parametreler ve yerinde üretim
İyi üretim için öğretici sağlama	Günün teknolojik gelişmelerine ve malzeme çeşitlerine uygun üretim
Hızlı üretilebilme	
Güvenlik hissi	Kullanılabilir malzeme özellikleri sayesinde sağlamlık ve dış ortam izole tasarım
Mahremiyet sağlama	
Toplumsal hizmetlere yakınlık	Farklı zemin ve alanlara uygun tasarım ve üretim olanağı
Farklı amaçla kullanılabilme	Dinamik değişim özellikleri sayesinde geçici barınma ünitesine dönüştürülebilme
Malzemeye kolay ulaşım	Çok çeşitli malzeme kullanımına uygun üretim

Tablo 4.2. Katmanlı Üretim İle Parametrik Tasarımın, Kullanıcı İhtiyaçlarını Karşılamada Sunduğu Olanaklar

Katmanlı üretim teknolojilerinden kontur dolgu yöntemi, beton malzeme ile hızlı baskıya olanak sağladığı için bu araştırmada üretim yöntemi olarak seçilmiştir. Kalın katmanlar ile düzgün yüzeyler basılabildiğinden, kontur dolgu yöntemi diğer yapı ölçeğinde katmanlı üretim yöntemlerine göre daha hızlıdır. Ancak bu yöntemde, kapı-pencere gibi yapı boşluklarının oluşturulabilmesi için destek malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da yapı tasarımını ve üretim planlamasını etkilemektedir.

Yazıcı kafasının doğrusal ve dairesel hareketlerini sağlayan mafsallara sahip robotik yazıcılar, hareket esnekliği sağlamaktadır. Bu araştırmada hızlı baskı, kolay kurulum, taşınabilirlik ve kontrol kolaylığına sahip robotik tip yazıcılar ile üretim yöntemi tercih edilmiştir. Acil durum barınma ünitelerinin, robot kolun baskı sırasındaki hareket ve tarama yolunu engellemeyecek yapıda tasarlanması gerekmektedir.

4.2. Form Çalışmaları

Katmanlı üretim teknolojileri ile ortaya çıkan, hammadde stoklayarak yerinde, güncel tasarımları üretme anlayışını kullanarak iklim, çevre koşulları ve işlevsel ihtiyaçları dikkate alan örnek bir parametrik deprem sonrası acil barınma ünitesi tasarımı geliştirilmiştir. Form çalışmalarında amaç, bir tasarım önerisi getirmekten çok malzeme, üretim ve tasarım yöntemi birleşiminde bir uygulama örneği sunmaktır. Araştırmanın alt amacı olan “farklı iklim ve zemin koşullarına uygun, kişiselleştirilebilir acil durum barınma ünitelerinin parametrik olarak tasarlanarak katmanlı üretim yöntemi ile üretilmesi için tasarım kriterleri nelerdir?” sorusunun cevapları doğrultusunda tasarım modeli geliştirilmiştir. Bu kriterler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Yapı açıklıklarının, destek malzeme ile baskıyı gerektirmemesi,

- Kapı-pencere donatılarının standardizasyonu,
- Donatıların baskı sırasında yazıcı ile montaja uygun tasarımı,
- Yapı ile eş zamanlı üretilebilir iç donanım,
- Tesisat ve havalandırma alanlarının tanımlanması,
- Yazıcı baskı ve tarama alanına uygun tasarım,
- Tasarım modelinde, değişken ve kuralların belirlenerek parametrik sistemin tanımlanması.

4.2.a. Tasarlanan Modelin Özellikleri

Barınma ünitesi tasarımında, destek sütunu gerektirmeden büyük açıklıkların geçilebilmesini sağlayan kubbe formundan faydalanılmıştır. Bu form aynı zamanda, yapının tamamının, üretim sonrası temizlenmesi gereken destek baskıları olmadan, katmanlı üretim teknolojisi ile tek seferde üretilebilmesini sağlamaktadır. Kubbe formu, bütünlük eğrisi sayesinde, diğer yapı formlarına göre deprem, kasırga, yangın gibi felaketlere karşı daha dayanıklıdır (Domes For The World, t.y.).

Şekil 4.1. Kubbe Formu

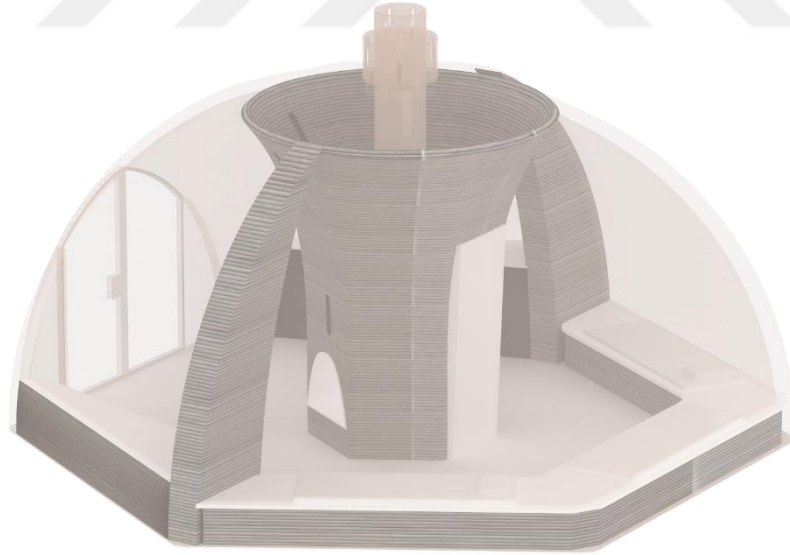


Form çalışmalarında kubbe çapı belirlenirken, önceki bölümlerde detaylandırıldığı şekilde, kişi başına 3,5 m² olarak belirlenen barınma alanından yola çıkılmış, 2-3 kişi için acil barınma, tuvalet, ısınma ve mutfak gereksinimlerini karşılayacak şekilde 26 m²'lik bir ünite tasarlanmıştır. Parametrik tasarım modeli sayesinde, 2-4-6 kişilik üniteler, kubbe çapı ve yüksekliği ile oda sayıları değiştirilerek oluşturulabilmektedir.

Şekil 4.2. Kubbe Formu Toplu Yerleşim



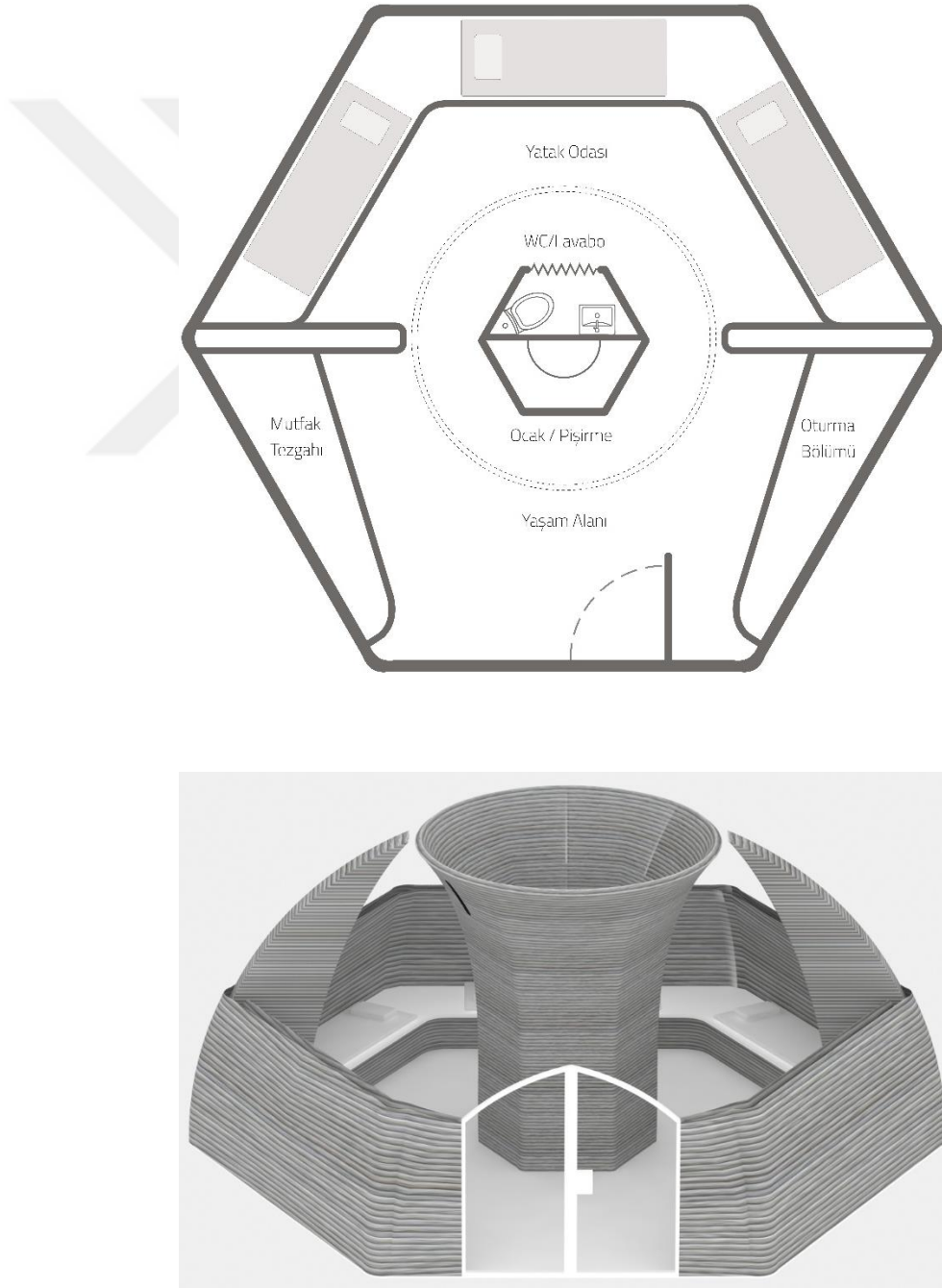
Şekil 4.3. Kubbe İç Yerleşimi



Hâlihazırda barınma üniteleri ile içerisinde yer alan eşyaların bütünsel bir tasarımı mümkün değil iken, yapının kabuğunda oluşturulan detaylar ile içeride ihtiyaç duyulan işlevlerin de gerçekleşmesi sağlanmıştır. Yapı kabuğunda yer alan detaylar ve

açıklıklar nedeniyle değişen yük dağılımını dengelemek için, köşegenlerden faydalanılmıştır. Yapının altıgen formu, kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda iç kullanım alanının bölünmesinde de kullanılabilir. Köşegenler ile iç kısımda tanımlanan alanlar, bu köşegenler doğrultusunda kapalı ya da yarı açık duvarlar ile bölünebilir.

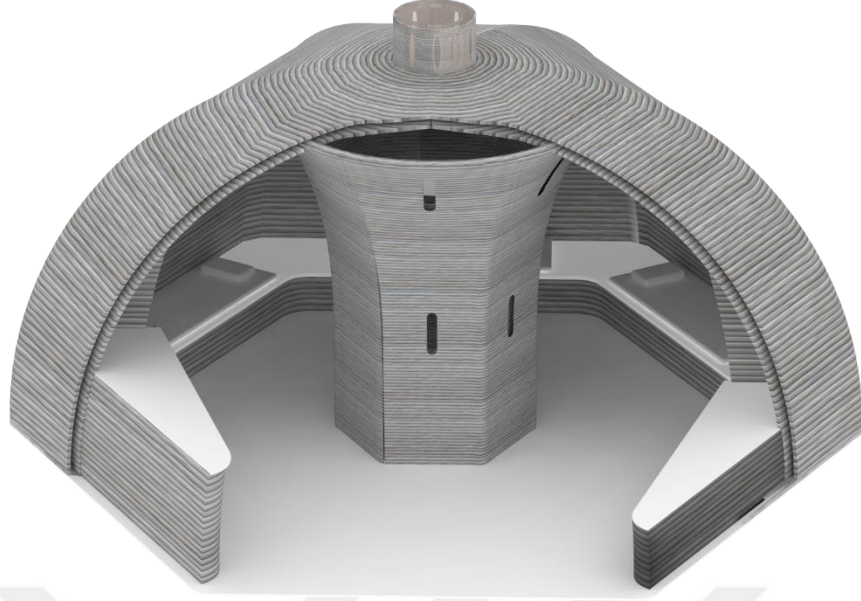
Şekil 4.4. Altıgen Form ve İç Duvarlar



Merkezde yer alan sütun, kubbe formunun statik yapısını desteklerken, ısınma, havalandırma, elektrik ve su tesisatı ihtiyaçlarının karşılanması için bir alan oluşturmaktadır. Barınma ünitesi tasarımlarına uygun, ısınma, elektrik ve su bağlantılarını içeren tesisat modülleri tasarlanabilir ve bir veya birkaç kutu olarak adetli üretilip stoklanabilir. Bina basılırken Bu tesisat modülünün yeri ve bağlantı detayları da bina basılırken oluşturularak baskı biter bitmez modüllerin de yerleştirilmesi ile ünitenin kullanıma hazır olması sağlanır. Şekil 4.5.'te yer alan kesitte, ısınma alternatifi olarak şömine kullanımı ve havalandırma detayı görülmektedir.

Şekil 4.5. Merkez Sütun ve Şömine Yerleşimi

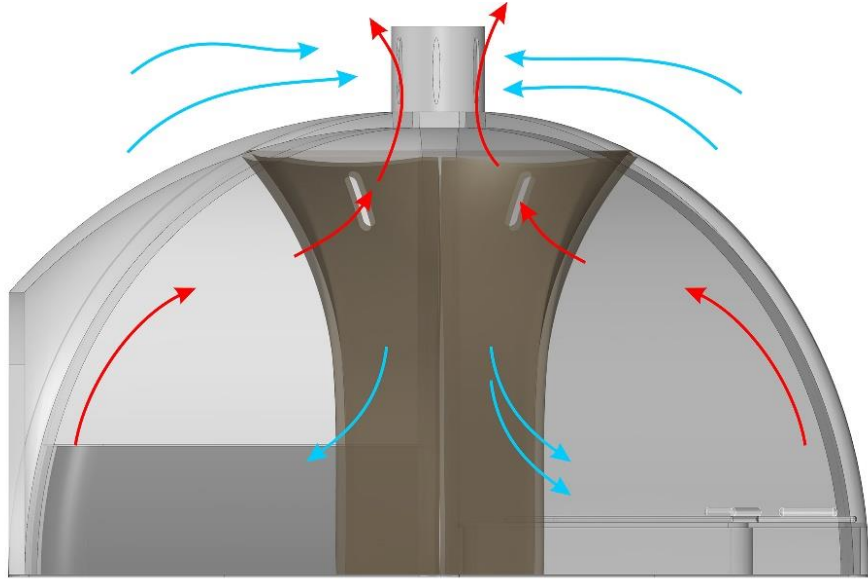




Yapı kabuğu, dış cephede çevresel şartlara iç cephede ise kullanıcı ihtiyaçlarına hizmet edecek şekilde bütüncül olarak tasarlanmıştır. Yapı ile aynı anda basılabilen farklı yükseklik ve formdaki detaylar ile yatak, oturma alanları ve masalar oluşturulmuştur. Tüm bu alanlar ve detaylar, kullanım yeri ve ihtiyaçları doğrultusunda değiştirilebilir verilerden oluşmaktadır.

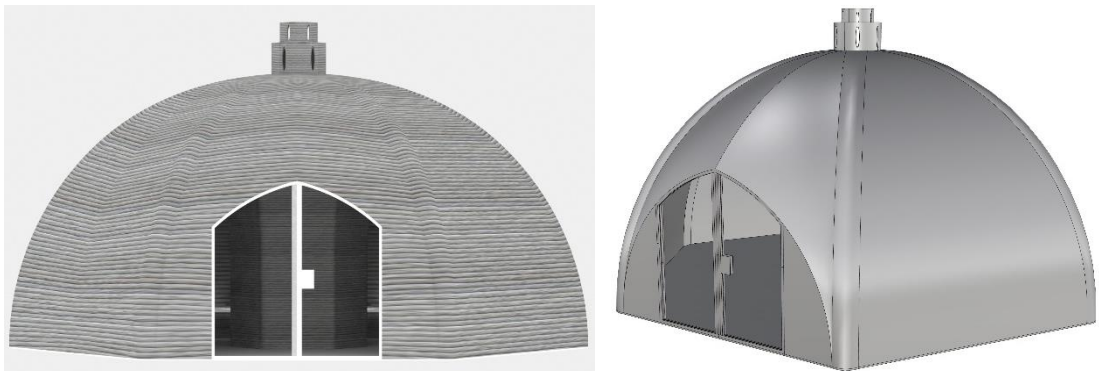
Bu araştırmada, barınma ünitelerinin havalandırma ve ısı yalıtımında, yaşam alanı tasarımlarının formuna etki eden pasif iklimlendirme (doğal havalandırma) değerlendirilmiştir. Doğal havalandırma mekanik araçlar kullanılmadan, hava hareketiyle kapalı mekânlara temiz hava sağlanması olarak tanımlanabilir. Bina aralıkları, binanın yönlendiriliş durumu, binanın formu, bina kabuğunun özellikleri, binada uygulanan pasif iklimlendirme sistemleri, tasarım parametrelerindedir (Engin, 2012). Kubbe formu, iklim koşullarına karşı dış yüzeyi azaltırken içerde oluşturduğu zeminden tavana daralan alan ile de hava dolaşımını yönlendirmektedir. Merkezde yer alan sütun üzerinde tasarlanan rüzgâr bacası ile temiz hava yaşam alanına girer, içerde ısınan hava yükselerek dışarı atılır ve doğal havalandırma sağlanır.

Şekil 4.6. Pasif İklimlendirme



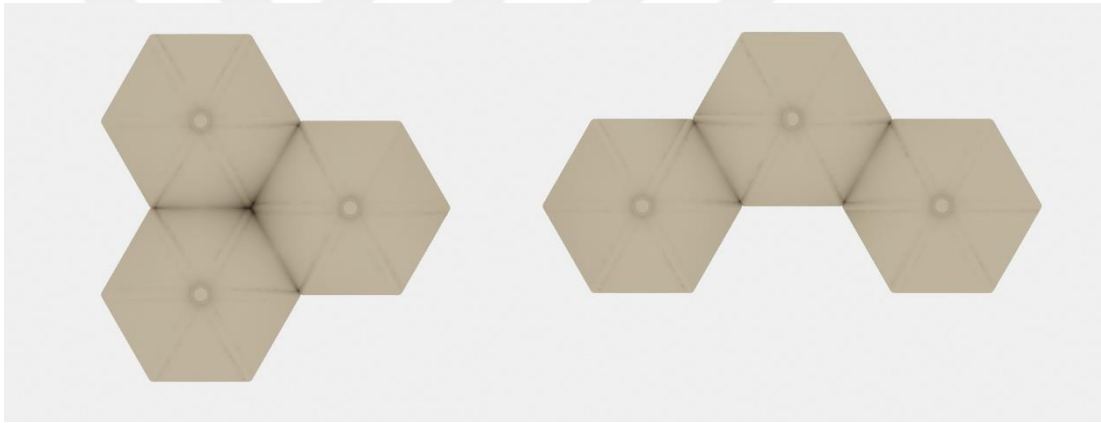
Katmanlı üretim teknolojisi, hâlihazırda kullanılmakta olan yaşam alanı uygulamalarına göre esnek tasarım ve üretim imkânı sunmaktadır. Bu sayede, pasif iklimlendirme sağlayacak yapısal formlar üretilebilir, enerji etkin kullanılabilir. Tasarımda kullanılan beton malzeme de termal kütlesi nedeniyle ünitelerin iç sıcaklıklarının sabit kalmasına yardımcı olmaktadır (Domes For The World, t.y.). Katmanlı üretim ve parametrik tasarım, baca açıklıkları ve kubbenin eğri yapısının iklim koşullarına uygun olarak değiştirilerek eşzamanlı üretilmesini mümkün kılmaktadır.

Şekil 4.7. Kapı-Pencere Tasarımları



Barınma ünitesinde yer alan kapı-pencere açıklıkları, yükseklik ve taban alanı değişiklikleri doğrultusunda değişen kubbe eğrisinden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, katmanlı üretim dışındaki donanımların üretim ve stoklanmasının optimize edilmesi amaçlanmıştır. Kubbe eğrisi dışında düz yüzey olarak tasarlanan kapı ve pencere açıklıkları, ünitelerin birbirine bağlanması için de alan oluşturmaktadır. Bu çalışmada tercih edilen robotik yazıcılar, robotik kol ve kontrol sistemi sayesinde, baskı sırasında kalıplama için gerek duyulan kasa, çerçeve vb. yapı elemanlarını baskı esnasında yerleştirerek baskıya devam edebilmektedir.

Şekil 4.8. Genişletilebilme



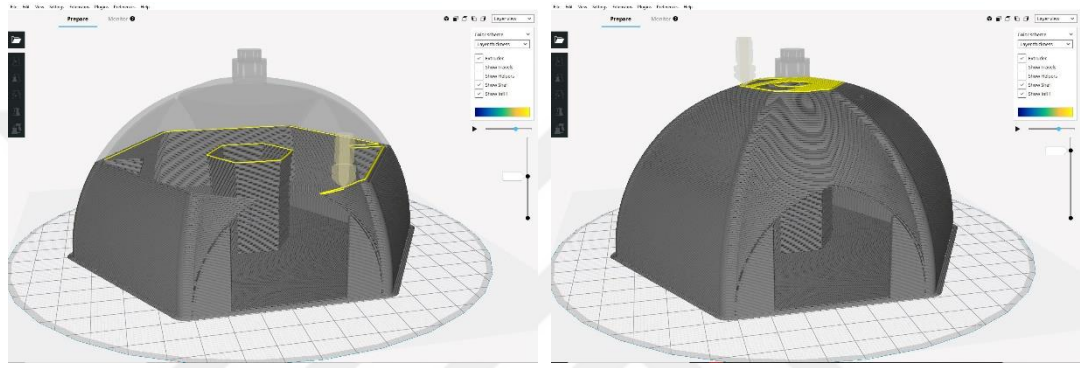
Yerinde üretim sağlayan katmanlı üretim teknolojisi ve güncellenebilir parametrik tasarım, barınma ünitelerine yeni modüllerin eklenmesini mümkün kılmaktadır. Acil barınma ihtiyacının karşılanmasından sonra, yeni üniteler yerinde eklenerek geçici barınmaya geçiş sağlanabilir. Tasarlanan formda kapı ve pencere açıklıkları, ünitelerin bir araya gelişleri için yüzey oluşturmaktadır.

4.3. Tasarlanan Modelin Algoritması

Acil durum barınma ünitelerinde, farklı iklim ve zemin şartlarına, farklı kullanıcı sayısı ve ihtiyaçlarına uygun tasarım geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaca uygun

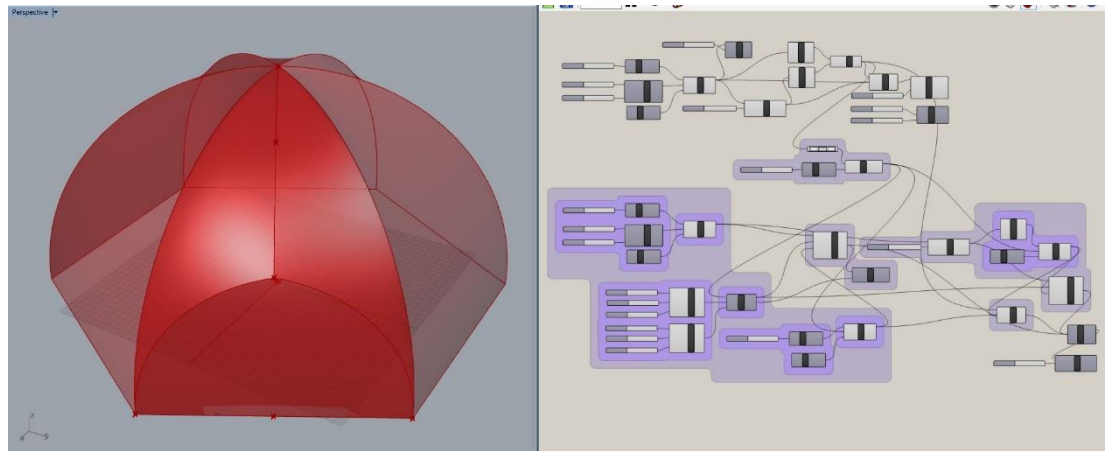
üretim biçimi olarak katmanlı üretim teknolojisi, tasarım yöntemi olarak da parametrik tasarım araçları kullanılmıştır. Üç boyutlu model katmanlı üretime hazır hale getirilirken, katman yüksekliğine uygun olarak dilimlenmesi gerekmektedir. Bunun için bilgisayar destekli dilimleme programları kullanılmakta, tercih edilen yüzey kalitesi ve baskı süresine göre katmanlar belirlenebilmektedir.

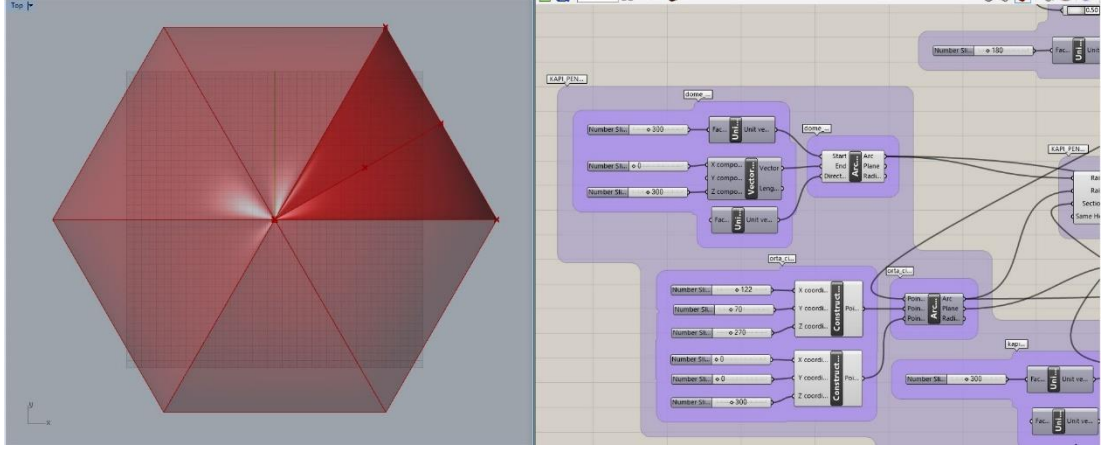
Şekil 4.9. Üç Boyutlu Modelin Katmanlı Üretime Hazır Hale Getirilmesi



Parametrik tasarım modeli oluşturulurken, görsel programlama dili kullanan Rhinoceros'un Grasshopper algoritma editörü kullanılmıştır.

Şekil 4.10. Grasshopper Modeli



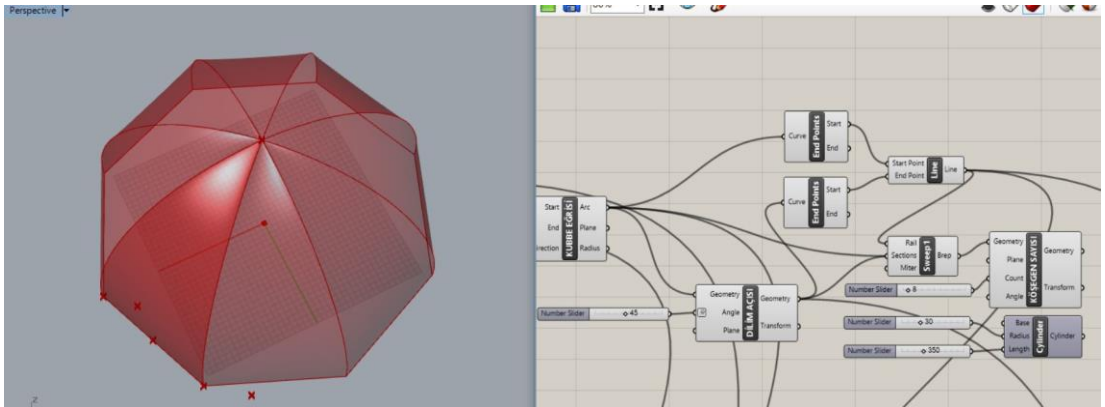


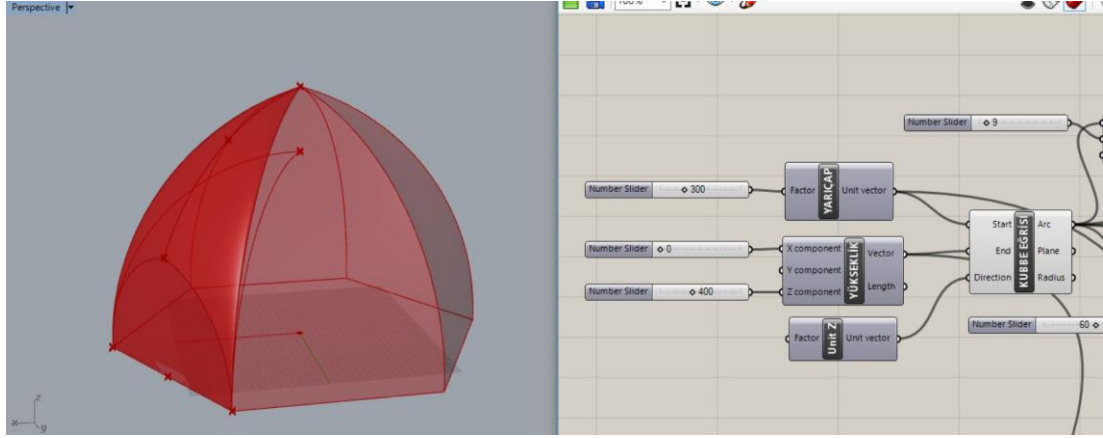
4.3.a. Değişkenler

Barınma ünitesinin taban köşegen sayısı, yüksekliği, taban alanı, kubbe formunun eğrisi, tercih edilen açıklık konumları ve duvar kalınlığı parametrik tasarımın değişkenlerini oluşturmaktadır. Ünitelerin yükseklik ve taban alanları, katmanlı üretimde kullanılacak olan robotik yazıcının maksimum yazdırma alanı ile kısıtlıdır.

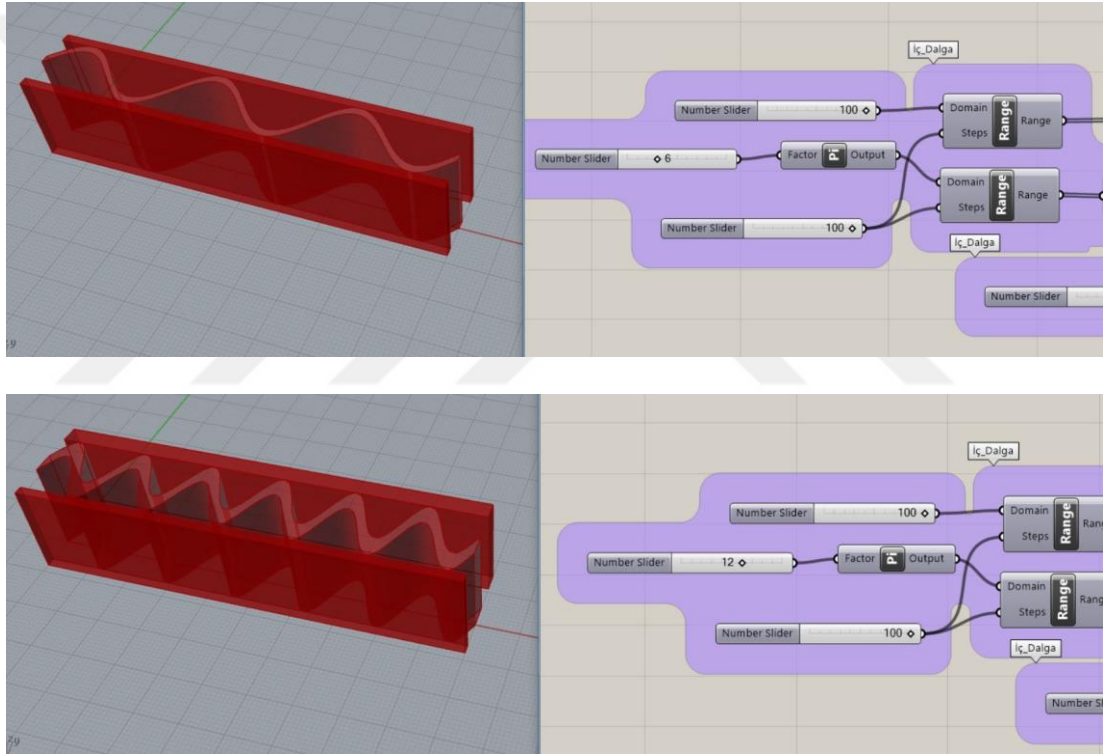
Parametrik tasarım modelinde, tercih edilen köşegen sayısı parametresi girildiğinde, bağlı değişken taban alanı ya da yükseklik parametresine bağlı değişken kubbe eğrisi güncellenmiş olacaktır.

Şekil 4.11. Grasshopper Modelinde Köşegen Sayısı ve Yükseklik ve Kubbe Eğrisi Değişkenleri



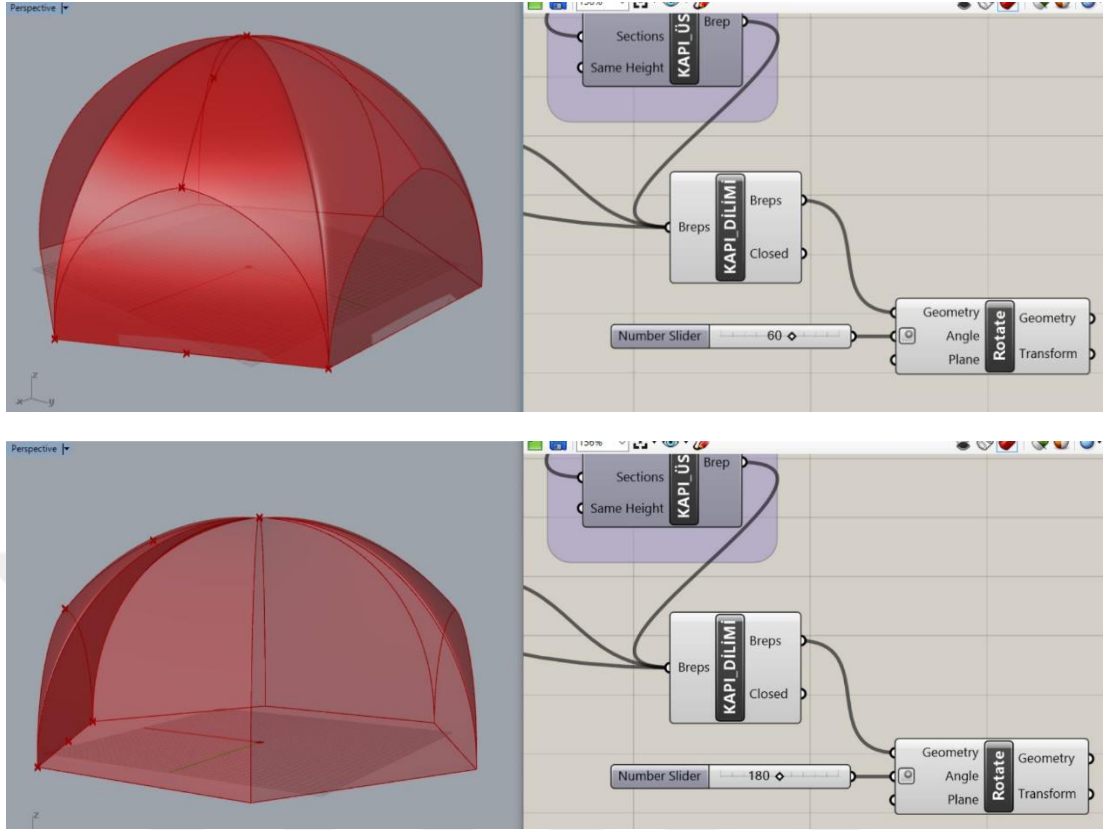


Şekil 4.12. Grasshopper Modelinde Duvar Kalınlığı ve İç Dolgusu Değişkeni



Pencere ve kapı açıklıkları, ünitenin konumlandırılacağı yerleşim açısına göre değiştirilebilir. Köşegenlerden merkeze uzanan duvarlar ve oda sayısı ise köşegen sayısına ve kullanıcı sayısına bağımlı değişkenlerdir.

Şekil 4.13. Yerleşim Açısına Göre Değiştirilebilir Pencere ve Kapı Açıklıkları



4.3.b. Kısıtlamalar

Kubbe formunun maksimum yükseklik ve genişliği, hem yazıcının yazdırma alanı ile hem de beton malzeme ile geçilebilecek açıklık ölçüsü ile yani kubbenin iç açısı ile kısıtlıdır. Minimum tavan yüksekliği ve alan ise Yeryüzü El Kitabı (İng. The Sphere Handbook)'nda kullanıcı sayısına göre belirtilmiştir. Kapı ve pencerelerin genişlik ve yükseklikleri ve bu açıklıkların bulunduğu yüzeylerin dikliği ile tesisat modüllerinin ölçüleri parametrik sistemin diğer kısıtlamalarıdır.

4.3.c. Bileşenler

Tesisat modüllerinin ve havalandırma alanlarının yer aldığı merkez sütun, kubbe eğrisi ve yükseklik değişkenleri ile kubbe açısı ve tesisat modüllerinin ölçüsü

kısıtlamalarının bir araya gelmesi ile oluşan bir bileşendir. Parametrik sistemin diğer bileşeni olan odalar ise aynı değişkenlere ek olarak taban alanı değişkenine de bağlıdır.

4.3.d. Kurallar

Oda ölçülerine bağlı odalar arası geçiş koridorları, tesisat modülleri için bırakılması gerekli, modül ölçüleri ile kısıtlı açıklıklar, barınma için gerekli kişi başına düşen metrekare ve katmanlı üretim dışı üretilerek stoklanan kapı ve pencere açıklıklarının yer aldığı yüzeyler, bu parametrik sistemin kurallarını oluşturmaktadır.



BÖLÜM V

BULGULAR VE SONUÇ

Bu araştırmada, katmanlı üretim teknolojisi ile üretimin ve parametrik tasarım araçlarının, yaşam alanları tasarımında sağlayacağı avantajların araştırılması, bu avantajlar doğrultusunda yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisine uygun yazdırılabilir parametrik formlar için kurallar ve yönergeler önerilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen alt amaçlar doğrultusunda doküman incelemesi yöntemi ile avantajlar, sınırlılıklar ve acil durum sonrası barınma için kullanıcı ihtiyaçları belirlenmiş ve bilgisayar destekli tasarım araçları ile örnek bir tasarım geliştirilmiştir.

Araştırmanın birinci alt amacı doğrultusunda “katmanlı üretim teknolojisi ve parametrik tasarım araçlarının yaşam alanı tasarımlarında sağladığı avantajlar nelerdir?” sorusuna cevap aranmıştır. Alan yazın araştırması ve güncel olaylardan Covid-19 pandemisi sürecinde faydalanılan katmanlı üretim teknikleri doğrultusunda, bu teknolojinin üç boyutlu sayısal modellerden doğrudan üretim ile kişiye ve ihtiyaca özel üretimi mümkün kıldığı görülmüştür. Kalıp kullanımı gerektirmediğinden, geleneksel yöntemlerden kaynaklı sınırlılıkları kaldırarak yerinde üretim ve yapı tasarımında özelleştirmenin gerekli olduğu alanlarda form çeşitliliğini artırmıştır. Bu teknolojinin yapı ölçeğinde kullanımındaki sınırlılık ise kullanılabilir malzeme çeşitliliğinin azlığı olarak belirlenmiştir. Parametrik tasarım tekniklerinin yapı ölçeğinde kullanım avantajları, tasarım modeli geliştirme süreci ve doküman incelemesi yöntemi ile belirlenmiştir. Parametrik model üzerindeki hızlı ve kolay değişikliklerle çevresel şartlara ve farklı ihtiyaçlara uygun ve serbest formlara sahip tasarımların geliştirilmesine olanak sağladığı görülmüştür.

Araştırmanın ikinci alt amacı, acil durum sonrası barınmada geleneksel yöntemlerden ve kullanım özelliklerinden kaynaklı problemlerin ve tasarım gerekliliklerinin belirlenmesidir. Ulusal ve uluslararası barınma çözümleri ve Türkiye’de yakın zamanda gerçekleşen Elazığ depremi sonrası kullanılan üniteler incelendiğinde, ülkemiz deprem kuşağında yer almasına ve sık sık bu gerçeği yaşamasına rağmen acil durum barınma sorununa yenilikçi bir çözüm getirilemediği ve hali hazırda var olan çadırlar ile acil barınma ihtiyacının çözülmeye çalışıldığı görülmüştür. Geleneksel yöntemlerden kaynaklı problemler, iklim ve zemin koşullarına uygunsuzluk, alev alma, kurulum için deneyimli personel gerekliliği ve bu kişilerin azlığı nedeniyle kurulum süresinin uzaması, değiştirilebilir ve kişiselleştirilebilir olmayan yapılardır. Alan yazın araştırması doğrultusunda, özellikle acil durum sonrası ilk barınma ihtiyacının karşılandığı çadırların, güvenlik ve mahremiyet hissi sağlamadığı, zemin koşullarına uygun olmayan yapısı nedeniyle temel barınma ihtiyacını karşılayamadığı görülmüştür. Uluslararası insani yardım kuruluşlarının raporları incelendiğinde, yeterli yaşam alanı ve mahremiyet sağlamanın, kültürel yapıya ve genişletilmeye uygunluğun ve havalandırma ve ısı yalıtımı sağlamanın, barınma ünitesinin minimum gerekliliklerinden olduğu belirlenmiştir. Parametrik tasarım yöntemlerinin dinamik değişim özellikleri ve katmanlı üretim teknolojisinin sağladığı esnek form alternatifleri ve yerinden üretimin, ihtiyaçlara uygun yaşam alanları üretiminde avantaj sağlayacağı ve acil ve orta vadeli barınma sorununa aynı anda cevap verebilen alternatif çözüm önerisi geliştirilebileceği görülmüştür.

Araştırmanın üçüncü alt amacı, farklı iklim ve zemin koşullarına uygun, kişiselleştirilebilir acil durum barınma ünitelerinin parametrik olarak tasarlanarak

katmanlı üretim yöntemi ile üretilmesi için tasarım kriterlerinin belirlenmesidir. Yapı ölçeğinde katmanlı üretim teknolojisi kullanılarak üretilen NASA uzay projeleri, pandemi süreci karantina kabinleri, bu teknolojiyi kullanan firmaların çalışma raporlarını da içeren doküman incelemeleri sonucunda, acil durum barınma ünitelerinin bağlamsal ihtiyaçları ve tasarım gereklilikleri belirlenmiştir. Bunlar; yapı açıklıklarının destek malzeme gerektirmemesi, yapı donatılarının standardizasyonu, tesisat ve havalandırma alanlarının tanımlanması, yazıcı baskı alanına uygun tasarım ve yapı ile eş zamanlı üretilebilir iç donanım olarak özetlenebilir.

PARAMETRİK SİSTEM

DEĞİŞKENLER	KISITLAMALAR VE BAĞIMLILIKLAR	BİLEŞENLER	KURALLAR
<ul style="list-style-type: none"> • Taban Köşegen Sayısı • Yükseklik • Taban Alanı • Kubbe Eğrisi • Açıklık Konumları • Duvar Kalınlığı 	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum Yükseklik • Maksimum Genişlik • Kubbenin İç Açısı • Kapı-Pencere Yükseklik/Genişlik • Kapı-Pencere Yüzeylerinin Dikliği • Tesisat Modüllerinin Ölçüsü 	<ul style="list-style-type: none"> • Merkez Sütun Eğrisi • Merkez Sütun Ölçüsü • Oda Sayısı • Oda Genişliği 	<ul style="list-style-type: none"> • Odalar Arası Geçiş Koridorları • Tesisat Modülü Açıklıkları • Kişi Başına Gerekli Barınma Alanı • Stok Kapı-Pencerelerin Yüzeyleri

Tablo 5.1. Katmanlı Üretime Uygun Acil Barınma Ünitesi Tasarımlarının Parametrik Sistemi

Katmanlı üretim ve parametrik tasarım yöntemlerinin sağladığı avantajlar, kullanıcı ve tasarım gereklilikleri doğrultusunda, acil durum barınma ünitelerinin parametrik tasarım sistemi belirlenmiştir. Tablo 5.1.'de detaylandırılan parametrik sistem

kullanılarak acil durum barınma ünitelerinde, farklı ihtiyaçlar doğrultusunda tasarım alternatifleri geliştirilebilmektedir.

- Öneriler

Bu araştırmadaki form çalışmaları kapsamında elde edilen parametreler çerçevesinde acil durum barınma ünitelerinin sahip olması gereken asgari şartlar, bu şartlara ek olarak kişi sayısı ile artan hacimler ve bunların yapı tasarımına etkisi araştırılmıştır. Belirlenen baskı biçimine göre oluşturulan genel hacim alternatifleri bilgisayar destekli tasarım araçları ve yöntemleri ile bilgisayar ortamında parametrik olarak modellenmiştir. Sonraki araştırmalarda, geliştirilen bu tasarımın öncelikle insan mühendisliği ve ergonomi araçları ile değerlendirilmesi, daha sonra ölçeklendirilerek kil malzeme ile ya da beton yazıcı ile üretilerek belirlenen kullanım senaryolarına ve kullanım gereksinimlerine uyumları, uygulamalı araştırmalarla değerlendirilebilir.

Araştırma çıktılarının yapısal alanda kullanıma uygun üç boyutlu yazıcı geliştirilmesi ve deprem stratejisi gibi uygulama alanlarına da katkı sağlaması beklenmektedir. Uluslararası literatürde önem kazanmakta olan katmanlı üretim teknolojisinin yapısal üretim alanlarında kullanılmasına olanak sağlayan malzemelerin ve 3D yazıcıların geliştirilmesine temel oluşturacak bilimsel verilerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilecek veriler ile bu uygulamalarda kullanılacak malzeme özelliklerinin, bu malzemelere uygun 3D yazıcılar ile tasarımların geliştirileceği bilgisayar programlarının geliştirilmesine yönelik araştırmalar yapılabilir. Acil barınma durumunda kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayarak çevresel şartlardan korunma sağlayacak ve en geniş kullanım alanını sağlarken en az malzeme kullanımına ve hızlı kurulumu imkan verecek tasarımları geliştirmek amacıyla topografik optimizasyon araçlarının kullanımına yönelik uygulamaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

3D Print Bureau. (2018). *Milestones in 3D printing – From an idea to a disruption* / 3D Print Bureau. 3D Print Bureau. <https://www.3dprintbureau.co.uk/milestones-in-3d-printing-from-an-idea-to-a-disruption/>

3D Printed Homes | Apis Cor | United States. (2019, Ekim 25). Apis Cor. <https://www.apis-cor.com>

3dsourced. (2019a, Ocak 5). The Complete 3D Printed House Guide & Best Builds 2020. *3DSourced*©. <https://3dsourced.com/guides/3d-printed-house-2/>

3dsourced. (2019b, Ekim 7). The 4 Types of FDM 3D Printer Explained (Cartesian, Delta, Polar & Scara). *3DSourced*©. <https://3dsourced.com/3d-printers/types-of-fdm-3d-printer-cartesian-delta/>

Acerer, S., & Kulaksızoğlu, E. (1999). *Afet Konutları Sorunu ve Deprem Örneğinde İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Afad. (2014). *Mudahale, İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından 2011 Van Depremi Raporu*. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Dairesi Başkanlığı. <https://www.yumpu.com/tr/document/read/30615389/78-20140529153416-mudahale-iyilestirme-ve-sosyoekonomik-acidan-2011-van-depremi-raporu>

AI SpaceFactory. (t.y.). *MARSHA by AI SpaceFactory*. AI SpaceFactory. Geliş tarihi 11 Ocak 2020, gönderen <https://www.aispacefactory.com/marsha>

Alex, M. (2017, Aralık 15). The 4 Types of FFF / FDM 3D Printer Explained (Cartesian, Delta, Polar). *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/>

All3DP. (2019, Temmuz 22). *2019 Types of 3D Printing Technology* / All3DP.
<https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>

Alpay, E. (2012). *Implications Of Additive Manufacturing Applications For Industrial Design Profession From The Perspective Of Designers* [Yüksek Lisans Tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Alwi, A., Gardner, M., Karayiannis, S., Reodique, K., Starkey, B., & Varley, T. (2013). MegaScale 3D Printing Group 1—Final Report. *Faculty of Engineering and Physical Sciences University of Surrey*, 201.

Apis Cor. (2019, Ekim 25). *Apis Cor 3D printed in Dubai*. Apis Cor.
<https://www.apis-cor.com/dubai-project>

Architects, G. (t.y.). *The Eden Project: The Biomes* / GRIMSHAW. Geliş tarihi 11 Şubat 2020, gönderen <https://grimshaw.global/projects/the-eden-project-the-biomes/>

Asif, M., Lee, J. H., Lin-Yip, M. J., Chiang, S., Levaslot, A., Giffney, T., Ramezani, M., & Aw, K. C. (2018). A new photopolymer extrusion 5-axis 3D printer. *Additive Manufacturing*, 23, 355-361. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.08.026>

Ban, S. (t.y.). *SBA_Paper Log Houses*. Works - Disaster Relief Projects. Geliş tarihi 20 Haziran 2020, gönderen http://www.shigerubanarchitects.com/works/2000_paper-log-house-turkey/index.html

Barlow, J., Childerhouse, P., Gann, D., Hong-Minh, S., Naim, M., & Ozaki, R. (2003). Choice and delivery in housebuilding: Lessons from Japan for UK housebuilders. *Building Research & Information*, 31(2), 134-145.
<https://doi.org/10.1080/09613210302003>

Baykara, M. (2011). *Mimarlıkta Parametrik Tasarım Ve Arazide Kütle Yerleşimi İçin Bir Model Önerisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Block, I. (2019, Aralık 22). *World's largest 3D-printed building completes in Dubai*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2019/12/22/apis-cor-worlds-largest-3d-printed-building-dubai/>

Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: Potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209-225.
<https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>

Buswell, R. A., Leal de Silva, W. R., Jones, S. Z., & Dirrenberger, J. (2018). 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*, 112, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>

Caffrey, T., & Wohlers, T. (2016). A global review of the technologies and applications of additive manufacturing and 3D printing. *BNP Medya*, 27-29.

Carlota, V. (2020, Şubat 26). *Winsun 3D prints isolation wards to curb coronavirus outbreak*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/en/winsun-coronavirus-260220205/>

Caula, R. (2014, Nisan 24). *Chinese company 3D prints 10 recycled concrete houses in 24 hours*. Designboom | Architecture & Design Magazine.
<https://www.designboom.com/technology/3d-printed-houses-in-24-hours-04-24-2014/>

Cesaretti, G., Dini, E., De Kestelier, X., Colla, V., & Pambaguian, L. (2014). Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. *Acta Astronautica*, 93, 430-450.
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.07.034>

Chiusoli, A. (t.y.). *3D printed house TECLA - Eco-housing / 3D Printers / WASP*. Geliş tarihi 06 Ocak 2020, gönderen <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>

Cowan, M. (2018, Temmuz 6). The world's first family to live in a 3D-printed home. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/technology-44709534>

Çadırda Soğuk İsyanı. (2020, Ocak 28). *Cumhuriyet Haber*, 4.

Çelik, K., & Özkan, A. (2017). Eklemeli İmalat Yöntemleri İle Üretim ve Onarım Uygulamaları. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 107-121.

Deksi, A. (2016). *Olağanüstü Durumlarda Barınma İçin Yenilikçi Bir Yaklaşım Önerisi : 3d Yazıcı İle Uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Aydın Üniversitesi.

Demirdağ, E. (2020a, ubat). *Depremzedelerin çadırlarını su bastı!*
<https://www.sozcu.com.tr/2020/gundem/depremedelerin-cadirlarini-su-basti-5601526/>

Demirdağ, E. (2020b, Ocak 28). *SÖZCÜ barınma ve ısınma sorunu yaşayan depremedelerle konuştu.* <https://www.sozcu.com.tr/2020/gundem/sozcu-barinma-ve-isinma-sorunu-yasayan-depremedelerle-konustu-5592610/>

Denonain, S. (2018, Nisan 4). How 3D Printing transforms the future of construction? Advantages and main application areas... *MBA DMB*.
<http://www.mbadmb.com/how-3d-printing-transforms-the-construction-industry/>

Deprem Nedir? (2019, Ağustos 25). AFAD. <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir>

Deradjat, D., & Minshall, T. (2017). Implementation of rapid manufacturing for mass customisation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), 95-121.
<https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2016-0007>

Domes For The World. (t.y.). *DFTW*. Dftw. Geliş tarihi 09 Temmuz 2020, gönderen <https://www.dftw.org>

Dynamo Studio / Computational BIM Design / Autodesk. (2020). Autodesk.
<https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview>

Engin, N. (2012). *Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma.* 129, 62-70.

EPSRC. (2015). *EPSRC Centre for Innovative Manufacturing in Additive Manufacturing, Annual Report 2014-2015* [Yıllık Rapor]. Nottingham Üniversitesi.

EPSRC. (2017). *Advances in Multimaterial and Multifunctional Additive Manufacturing, Final Report April 2017* [Yıllık Rapor]. Nottingham Üniversitesi.

Eryayar, E. (2017). Endüstri Ürünleri Tasarımı Eğitiminde Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı. *Sanat Tasarım Dergisi*, 8, 15-19. <https://doi.org/10.17490/Sanat.2018.16>

ESA/Foster & Partners. (2013, Şubat 1). *Lunar 3D printing.*
http://www.esa.int/Highlights/Lunar_3D_printing

Explore / Dynamo BIM. (2016). Discover Dynamo. <https://dynamobim.org/explore/>

F42 Committee. (2012). *Terminology for Additive Manufacturing Technologies.*,. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/F2792-12A>

Fairs, M. (2008, Haziran 11). *Elephant House at Copenhagen Zoo by Foster + Partners.* Dezeen. <https://www.dezeen.com/2008/06/11/elephant-house-at-copenhagen-zoo-by-foster-partners/>

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>

Fu, F. (2018). Design and Analysis of Complex Structures. İçinde *Design and Analysis of Tall and Complex Structures* (ss. 177-211). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101018-1.00006-X>

Fung, E. (2014, Nisan 15). Rapid Construction, China Style: 10 Houses in 24 Hours. *WSJ*. <https://blogs.wsj.com/chinarealtime/2014/04/15/how-a-chinese-company-built-10-homes-in-24-hours/>

Furet, B., Poullain, P., & Garnier, S. (2019). 3D printing for construction based on a complex wall of polymer-foam and concrete. *Additive Manufacturing*, 28, 58-64.
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.002>

Gardiner, J. (2011). *Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing—Project Led Architectural Research* [Doktora]. RMIT Üniversitesi.

Garfield, L. (2017, Mart 23). A startup invented this \$10,000 house that can be built in one day. *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/house-built-one-day-apis-cor-2017-3>

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). Development of Additive Manufacturing Technology. İçinde I. Gibson, D. Rosen, & B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies* (ss. 19-42). Springer New York.
https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3_2

Global Shelter Cluster. (2018). *The State of Humanitarian Shelter and Settlements 2018 Beyond the Better Shed: Prioritizing People*.

Goldberg, D. (2018, Nisan 13). *History of 3D Printing: It's Older Than You Think [Updated]*. <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/>

Goncalves, V. (2017, Mart 31). *Contour Crafting: Construction on Mars or Moon closer than ever—World Construction Network*. World Construction Network. <https://www.worldconstructionnetwork.com/features/contour-crafting-construction-on-mars-or-moon-closer-than-ever/>

Gosselin, C., Duballet, R., Roux, Ph., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., & Morel, Ph. (2016). Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders. *Materials & Design*, 100, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.097>

Greguric, L. (2019, Mart 15). *Can 3D Printing Be Used for Mass Production? | All3DP*. <https://all3dp.com/2/can-3d-printing-be-used-for-mass-production/>

Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? *Procedia Engineering*, 151, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>

Hany Abulnour, A. (2014). The post-disaster temporary dwelling: Fundamentals of provision, design and construction. *HBRC Journal*, 10(1), 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.06.001>

Haymaker, J., Gane, Victor, & John. (2007). Conceptual Design of High-rises with Parametric Methods. *Predicting the Future*, 293-301.

Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (Ed.). (2006). *Rapid manufacturing: An industrial revolution for the digital age*. John Wiley.

Icon, P. (2019). *ICON + New Story + ECHALE Unveil First Homes in 3D-Printed Community | ICON*. <https://www.iconbuild.com/updates/first-3d-printed-home-community>

Jamie, D. (2018). *3D Printing: The Future of Construction—3Dnatives*. 3dnatives. <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-construction-310120184/>

Kaçmaz, Ş. (2019). Parametrik Tasarım ve BIM. *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(1), 3-9.

Karaduman, N. E. (2002). *1999 Doğu Marmara Depremleri Sonrası Üretilen Kalıcı Konutların Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—Related robotics and information technologies. *Automation in Construction*, 13(1), 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012>

Krassenstein, B. (2014, Eylül 21). *5AxisMaker—First Affordable 5-axis 3D Printer & Multi-fabricator Launches On Kickstarter Tomorrow*. 3DPrint.Com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. <https://3dprint.com/16074/5axismaker-3d-printer/>

Kruth, J. P. (1991). Material Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques. *CIRP Annals*, 40(2), 603-614. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61136-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61136-6)

Lim, S., Buswell, R. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., & 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>

Limoncu, S., & Bayülgen, C. (2005). Türkiye’de Afet Sonrası Yaşanan Barınma Sorunları. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü*, 1(1), 11.

Mairs, J. (2015, Eylül 28). *Grimshaw Architects behind £100 million Eden Project in China*. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2015/09/28/eden-project-grimshaw-architects-100-million-pounds-qingdao-china/>

Malott, D. (2019, Mayıs 8). *AI spacefactory wins 1st place in the finale of NASA's 3D printed habitats*. Designboom | Architecture & Design Magazine.
<https://www.designboom.com/architecture/ai-spacefactory-marsha-wins-nasa-3d-printed-habitat-challenge-finale-05-08-2019/>

MinWu, & Ma, Z. (2012). The Realization of Nonlinear Architectural on the Parametric Model. *Physics Procedia*, 25, 1470-1475.
<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.03.264>

Moretti, F. (2016, Temmuz 20). *Let's print together the first adobe building !!*
<https://www.3dwasp.com/en/stampiamo-insieme-la-prima-casa-di-terra/>

Moretti, F. (2017, Mart 7). *Experimental 3D printing architecture*. 3dwasp.
<https://www.3dwasp.com/en/experimental-3d-printing-architecture/>

Moretti, F. (2018, Mart 13). *Parametric House by WASP Hub Venice | 3D Printers | WASP*. WASP. <https://www.3dwasp.com/en/parametric-house-by-wasp-hub-venice/>

N19 4DR, D., X3D Media Ltd 465C Hornsey Road, 1st floor, Unit 7, London. (2010, Kasım 17). *DEVELOP3D - The man who prints buildings*. DEVELOP3D.
<https://www.develop3d.com/profiles/the-man-who-prints-buildings>

Nadarajah, N. (2018). *Development of concrete 3D printing*. Aalto University School of Engineering.

Naramore, C. (2019, Eylül 5). *No Layer Lines With Non-Planar FDM 3D Printing*. 3D Printing. <https://3dprinting.com/how-to/no-layer-lines-with-non-planar-fdm-3d-printing/>

Network, S. D. created this N. (t.y.). *Grasshopper*. Geliş tarihi 09 Şubat 2020, gönderen <https://www.grasshopper3d.com/>

Nikolov, N. (2017, Mart 3). *Mobile 3D printer can build an entire house in just 24 hours*. Mashable. <https://mashable.com/2017/03/03/lowcost-house-3d-printed-in-a-day-/>

Oxman, R., & Gu, N. (2015). *Theories and Models of Parametric Design Thinking*. 7.

Özalp, F., Yılmaz, H. D., & Yaşar, Ş. (2018). *3d Yazıcı Teknolojisine Uygun Sürdürülebilir Ve Yenilikçi Betonların Geliştirilmesi*. 9.

Özata, Ş., & Limoncu, S. (2014). Analysing Post-Earthquake Housing Practices in Istanbul and Its Surroundings Between 16th and 20th Centuries. *MEGARON / Yıldız Technical University, Faculty of Architecture E-Journal*, 9(3), 217-227. <https://doi.org/10.5505/megaron.2014.04706>

Özkan, S. (1983). Turkey: Foam Domes. *Mimar 8: Architecture in Development*. <https://archnet.org/publications/3915>

Parameter. (t.y.). İçinde *The Free Dictionary*. Geliş tarihi 26 Ocak 2020, gönderen <https://www.thefreedictionary.com/parameter>

Perrot, A., & Rangeard, D. (2019). 3D Printing with Concrete: Impact and Designs of Structures. İçinde A. Perrot (Ed.), *3D Printing of Concrete* (ss. 125-144). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119610755.ch5>

Product Center-Yingchuang Building Technique (Shanghai) Co.Ltd. (WinSun). (t.y.). Yhbm. Geliş tarihi 05 Ocak 2020, gönderen http://yhbm.com/En/Product/pro_inner_5/id/102

Root Chair / D-shape. (2015, Mart 14). D-Shape. <https://d-shape.com/portfolio-item/root-chair/>

Rudenko, A. (2014). *3D Castle Completed*. Andrey Rudenko.

<http://totalkustom.com/3d-castle-completed.html>

Schmitt, B. M., Zirbes, C. F., Bonin, C., Lohmann, D., Lencina, D. C., & Netto, A. da C. S. (2018). A Comparative Study of Cartesian and Delta 3D Printers on Producing PLA Parts. *Materials Research*, 20(suppl 2), 883-886.

<https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-1039>

Shen, H., Pan, L., & Qian, J. (2019). Research on large-scale additive manufacturing based on multi-robot collaboration technology. *Additive Manufacturing*, 30, 100906.

<https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100906>

Sphere Project (Ed.). (2018). *The sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (Fourth edition). Sphere Association.

Sun, B., & Huang, S. (2019). Realizing product serialization by Grasshopper parametric design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 573, 012078. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/573/1/012078>

Şahin, K., & Turan, B. O. (2018). Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.

<https://doi.org/10.30692/sisad.441648>

Şengül, M., & Turan, M. (2015). Erciş Depremi Örneğinde Afet Sonrası Geçici Yerleşim Alanlarında Yönetim Uygulamaları ve Sorunları / Administration and Problems of Post Disaster Temporary Settlements in Example of Erciş Earthquake. *Mülkiye Dergisi*, 36(1-274), 113-148.

Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S. C., Noor Mohamed, N. A., Tan, M. J., & Leong, K. F. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: A review.

Virtual and Physical Prototyping, 12(3), 261-276.

<https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>

Terdiman, D. (2017, Ağustos 22). *How A Burning Man Camp Project Became A Multimillion-Dollar Business*. Fast Company.
<https://www.fastcompany.com/40448192/how-a-burning-man-camp-project-became-a-multimillion-dollar-business>

The 7 Categories of Additive Manufacturing. (t.y.). Loughborough University, Additive Manufacturing Research Group. Geliş tarihi 04 Aralık 2019, gönderen <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>

The Hexayurt Project: Free Hardware housing for the world. (t.y.). Hexayurt. Geliş tarihi 20 Haziran 2020, gönderen <http://hexayurt.com/>

Tofail, S. A. M., 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>

Toprak, V. (2020, Ocak 27). Kimi Sokakta Kimi Spor Salonunda Sabahlıyor. *Sözcü Gündem*, 11.

Trabeculae Pavilion. (t.y.). Parametric House. Geliş tarihi 13 Şubat 2020, gönderen <https://parametrichouse.com/trabeculae-pavilion/>

Trancoso, J. P. G., Piazza, V., & Frazzon, E. (2018). Simulation-Based Analysis of Additive Manufacturing Systems for Fuel Nozzles. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 10. <https://doi.org/10.5028/jatm.v10.963>

Türk Dil Kurumu | Sözlük. (2019). İçinde *Türk Dil Kurumu Sözlükleri*.
<https://sozluk.gov.tr/>

Türk Kızılayı. (t.y.). *31 Best Barınma Sistemleri images | Locker storage, 3 hat, Mirror table*. Pinterest. Geliş tarihi 17 Haziran 2020, gönderen <https://tr.pinterest.com/turkkizilayi/barnma-sistemleri/>

Twigg, M. (2016, Aralık 1). *Story of first industrial 3D printer is one of sacrifice*. South China Morning Post. <https://www.scmp.com/magazines/post-magazine/long-reads/article/2050702/story-worlds-first-industrial-scale-3d-printer>

Ünal, Y. (2019a). *Exploring The Potential Of Additive Manufacturing In Large Scale Structures*. 103.

Ünal, Y. (2019b). *Exploring The Potential Of Additive Manufacturing In Large Scale Structures* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Van Woensel, R. N. P., Van Oirschot, T., Burgmans, M. J. H., Mohammadi, Ph D, M., & Hermans, K. (2018). Printing Architecture: An Overview of Existing and Promising Additive Manufacturing Methods and Their Application in the Building Industry. *The International Journal of the Constructed Environment*, 9(1), 57-81. <https://doi.org/10.18848/2154-8587/CGP/v09i01/57-81>

Wakimoto, T., Takamori, R., Eguchi, S., & Tanaka, H. (2018). Growable Robot with “Additive-Additive-Manufacturing”. *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, 1-6. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188449>

Wasp. (t.y.). *About Us | 3D Printers | WASP*. Geliş tarihi 06 Ocak 2020, gönderen <https://www.3dwasp.com/en/about-us/>

Watkin, H. (2019, Ağustos 28). *Nonplanar 3D Printing Gives Curvy Top Layers*. All3DP. <https://all3dp.com/4/nonplanar-3d-printing-gives-the-smoothest-top-layers/>

Weinreich, A. (2017, Nisan 27). *The Rise Of Factory-Built Homes: Cars, Mars, & 3D Printing*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/andrewweinreich/2017/04/27/the-rise-of-factory-built-homes-cars-mars-3d-printing/>

Whirlwind Team. (2016, Mart 30). *Impacts of 3D Printing on the Construction Industry*. Whirlwindsteel. <https://www.whirlwindsteel.com/blog/impacts-of-3d-printing-on-the-construction-industry>

Wolfs, R. (2015). *3d Printing Of Concrete Structures* [Yüksek Lisans Tezi]. Eindhoven Teknoloji Üniversitesi.

Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering, 2012*, 1-10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>

Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.

Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction, 68*, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>

Yalcinkaya, G. (2018). *World's first 3D-printed steel bridge unveiled at Dutch Design Week*. <https://www.dezeen.com/2018/10/22/worlds-first-3d-printed-steel-bridge-completed-mx3d-technology/>

Yılmaz, E. M. (2012, Mart 2). Shigeru Ban'dan Afet Sonrası Barınma Sorununa Yaratıcı Çözümler. *Arkitera*. <https://www.arkitera.com/haber/shigeru-bandan-afet-sonrasi-barinma-sorununa-yaratici-cozumler/>

Yılmaz, F., Arar, M. E., & Koç, E. (2013, Ekim 26). 3D Baskı ile Hızlı Prototip ve Son Ürün Üretimi. *Dünya Gazetesi*.

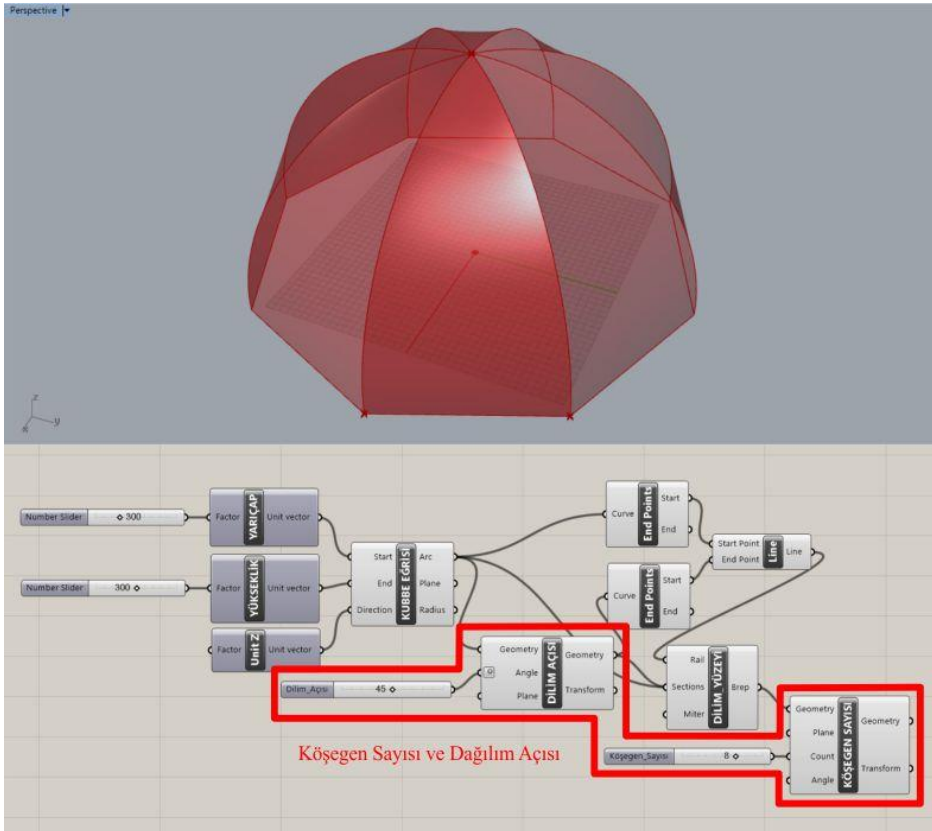
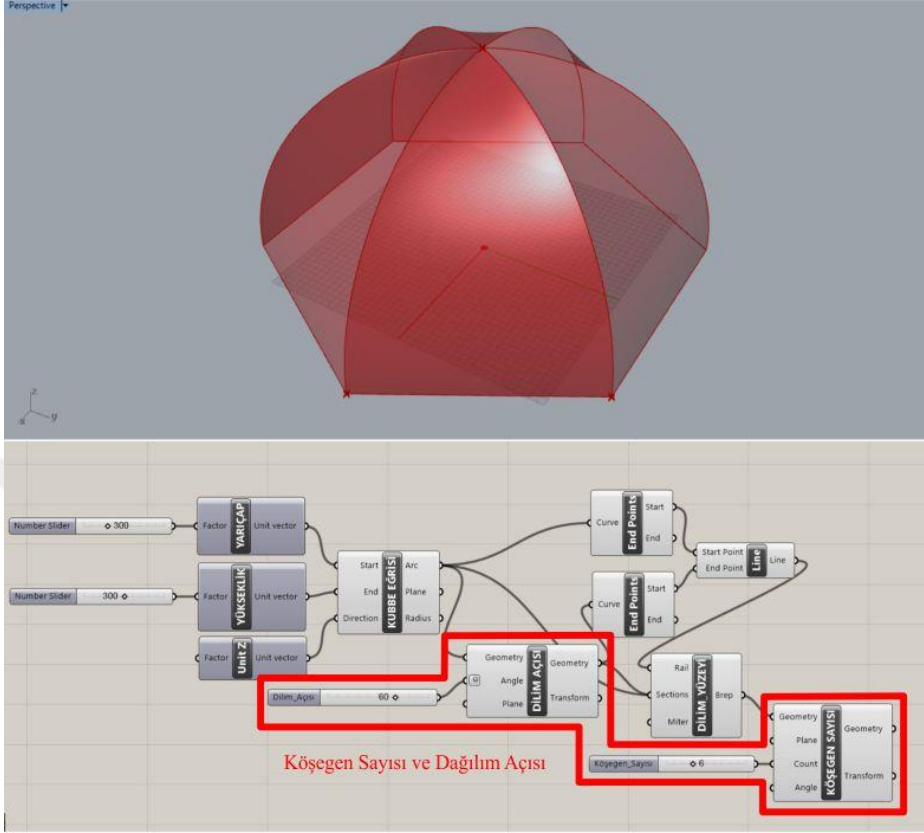
Yusuf, B. (t.y.). *3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara*. All3DP.

Geliş tarihi 09 Aralık 2019, gönderen <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>

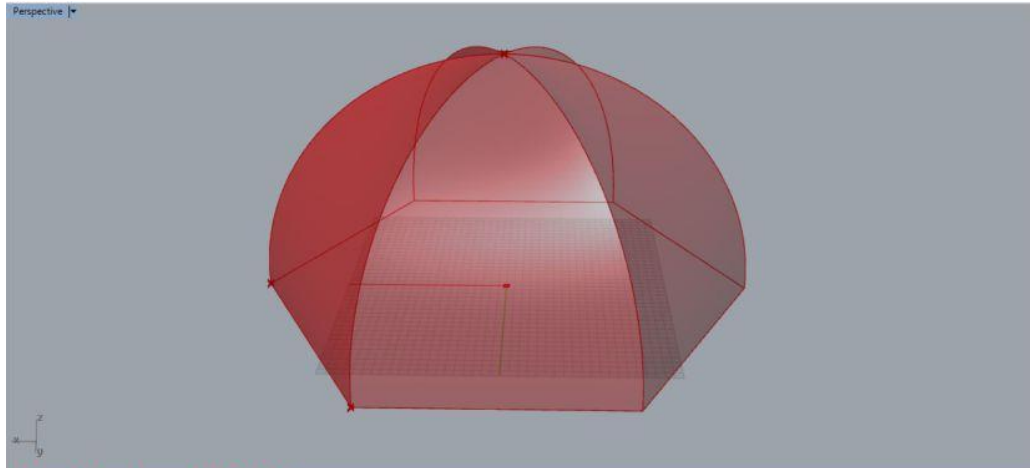


EKLER

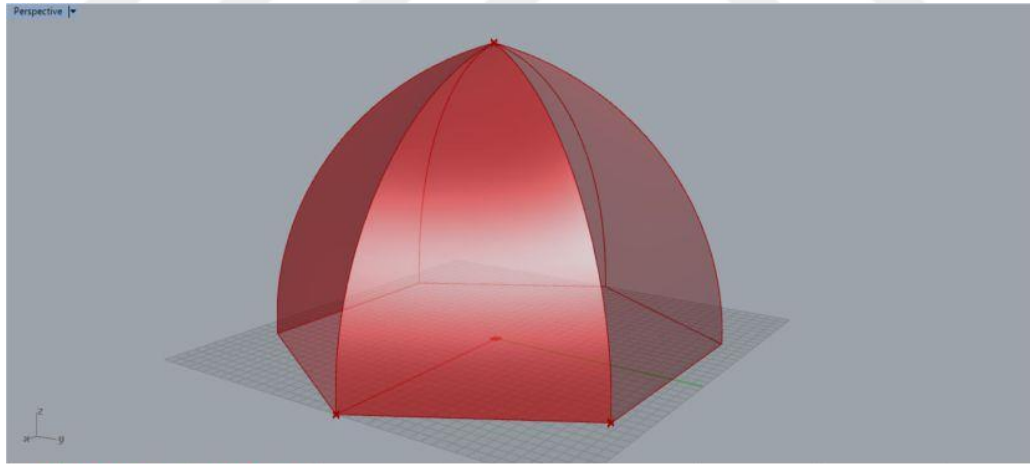
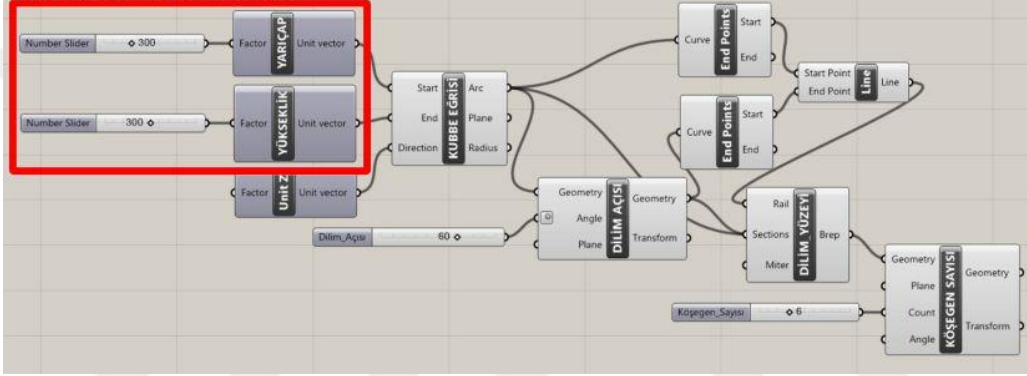
EK 1 Grasshopper Modelinde Köşegen Sayısı Değişkeni



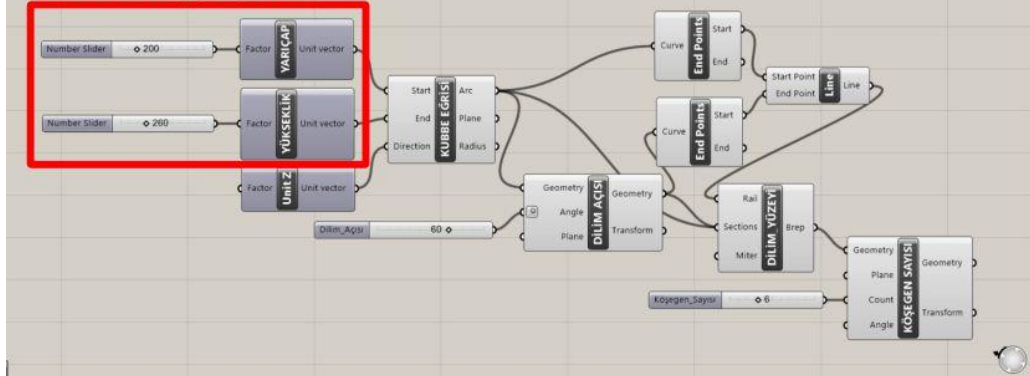
EK 2 Grasshopper Modelinde Yükseklik Değişkeni



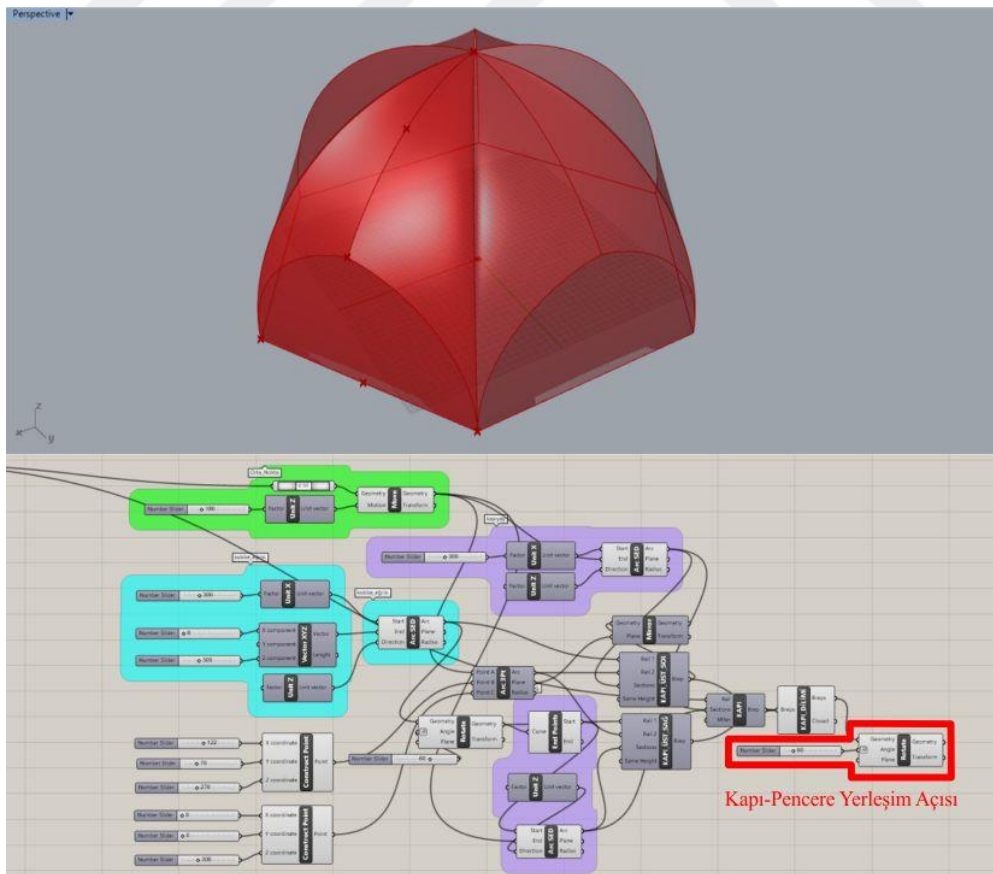
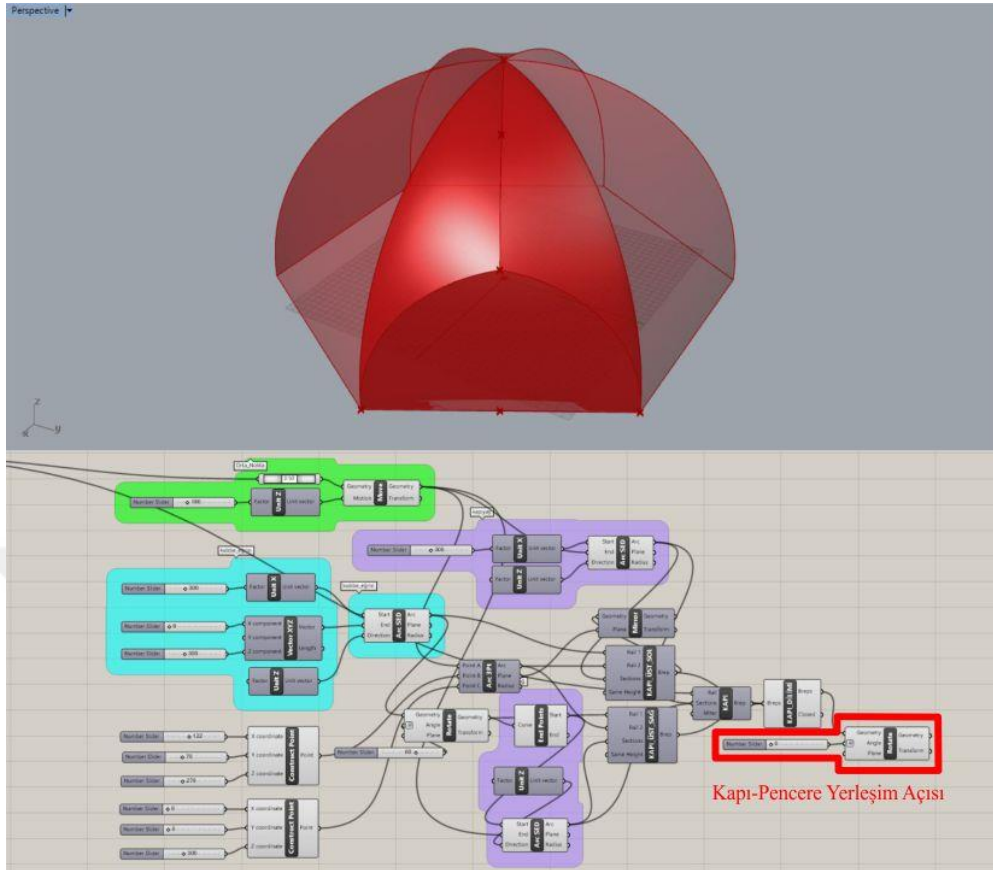
Yükseklik ve Yarıçap Değişkenleri



Yükseklik ve Yarıçap Değişkenleri

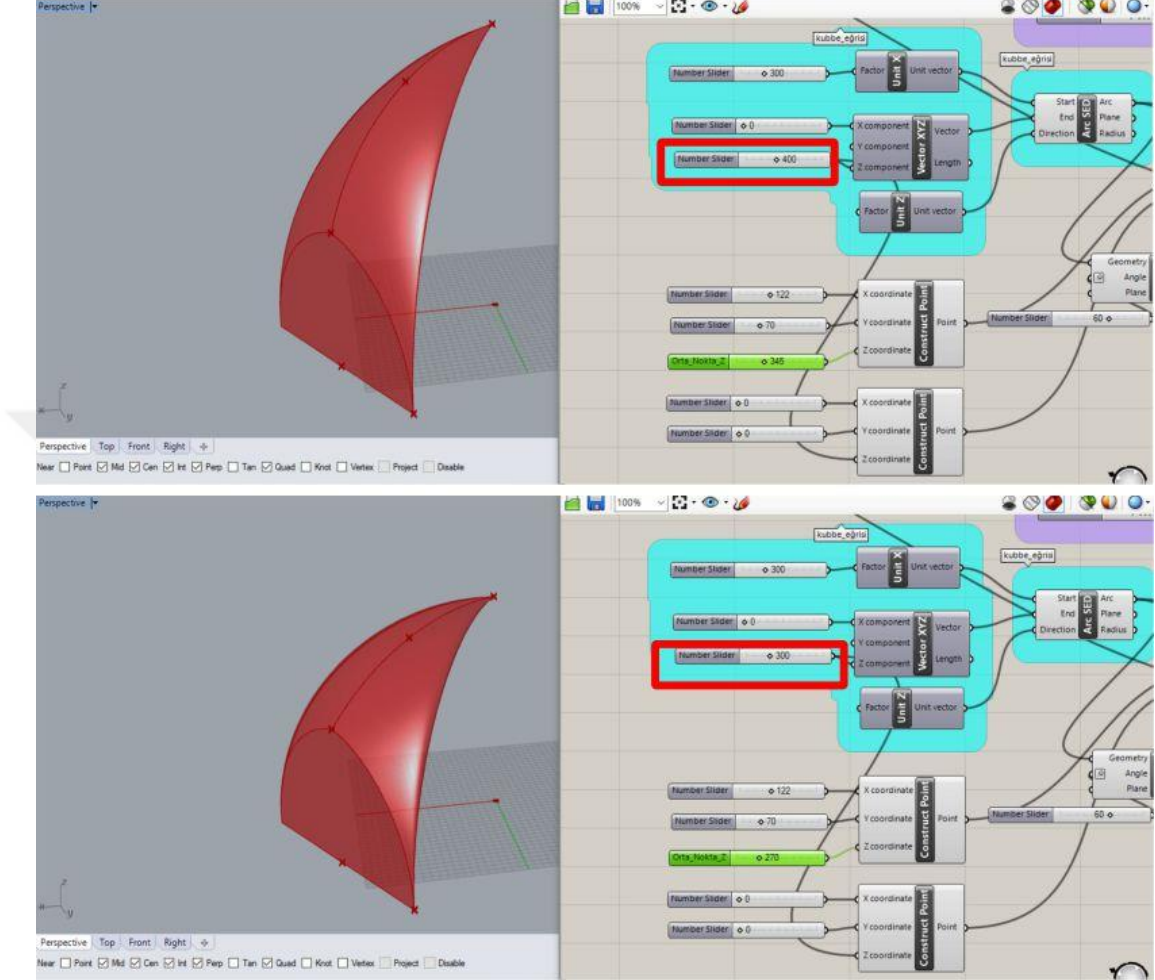


EK 3 Grasshopper Modelinde Kapı Yerleşim Açısı Değişkeni



EK 4 Grasshopper Modelinde Kapı Eğrisi Kısıtlaması

Kapı dilimini oluşturan yükseklik ve kubbe eğrisi değışse de, kapı yüzeyini oluşturan eğriler sabit kalır.



EK 5 Grasshopper Modelinde Duvar Kalınlığı ve İç Dolgu Değişkenleri

