



**3B YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK ALANINDAKİ
POTANSİYELLERİ VE GELECEĞİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME:
SOSYAL EKONOMİK VE ÇEVRESEL BİR PERSPEKTİF**

Fatma Elif BULUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARLIK ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2019

Fatma Elif BULUT tarafından hazırlanan “3B YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK ALANINDAKİ POTANSİYELLERİ VE GELECEĞİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME: SOSYAL EKONOMİK VE ÇEVRESEL BİR PERSPEKTİF” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetim Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 24/04/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatma Elif BULUT

24/04/2019

3B YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK ALANINDAKİ POTANSİYELLERİ
VE GELECEĞİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME: SOSYAL EKONOMİK VE
ÇEVRESEL BİR PERSPEKTİF
(Yüksek Lisans Tezi)

Fatma Elif BULUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

ÖZET

Günümüzde tasarım ve üretim süreçlerinin bilgisayar ortamda gerçekleştirilebiliyor olmasının form, strüktür ve malzeme kullanımında yarattığı potansiyelleri/dönüşümleri bilmek 21. yy tasarımcısı için yeni açılımlar sağlamaktadır. Tasarımın ayrılmaz bir parçası olan sayısal modeller sayesinde tasarıma dair her aşama kontrol altında tutulabilmekte ve üretim de yine bu modeller sayesinde yapılabilmektedir. 3 Boyutlu (3B) yazıcıların yaygınlaşması ile mimarlık alanında da önemli değişimler/dönüşümler yaşanmaktadır. Bunların en önemlisi kuşkusuz ki “test modellerinin (*mock-up*) sonuç ürün olabilme potansiyeli” ile mimarlığın inşa etme eylemlerinde tanık olduğumuz değişimdir. Bu tez çalışmasında son dönem mimarlık ürünleri arasında 3B yazıcıların kullanımıyla paralel gerçekleşen paradigmatik değişimin öncüleri olarak literatüre girmiş olan yapılar ve yapım teknikleri üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeler 3B yazıcıların kullanımının sosyal, ekonomik ve çevresel konular bağlamında yeniden düşünülmesi ve tartışılması gerektiği sonuçlarını gündeme getirmiştir. Değerlendirilen örnekler ışığında bu teknolojilerin sosyal ekonomik ve çevresel konularda devrim niteliğinden gelişmelere yol açacağı, öte yandan halen sınırlı ve pahalı olması sebebiyle sektördeki tüm paydaşlara ulaşamadığı görülmüştür. Bundan sonra yapılacak araştırmalarda “kullanıcıların kullanım sonrası değerlendirmeleri ile binaların yaşam döngüsü değerlendirmelerinin” çalışılması, mimarlıkta 3B yazılı teknolojilerinin geleceğini anlamak açısından önemli verilere ulaşılmasını sağlayacaktır.

Bilim Kodu : 80111
Anahtar Kelimeler : 3 Boyutlu Yazıcılar, Sayısal Tasarım ve Üretim, Yenilikçi Yapım Teknikleri, Mimari Paradigma Değişimi
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

A REVIEW ON THE POTENTIALS AND FUTURE OF 3D PRINTER
TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURE: A SOCIAL ECONOMICAL AND
ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE

(M. Sc. Thesis)

Fatma Elif BULUT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2019

ABSTRACT

Being aware of the potentials / transformations of creating forms, structures and materials through the design and fabrication processes in a digital environment, provides new expansions for the 21st century designer. Thanks to the mathematical models which are an integral part of the design, each stage of design can be kept under control and the production can be done through these models. With the expansion of 3 Dimensional (3D) printers, significant changes / transformations are experienced in the field of architecture. The most important results of these experiences can be mentioned as the potential of the mock-ups to an end product and the change we witnessed in the construction part of the architecture. In this study, an evaluation has been made on the structures and construction techniques that have entered the literature as the pioneers of the paradigmatic change which has been paralleled with the use of 3D printers among the last period architectural products. These evaluations have brought the results of the need to rethink and discuss the use of 3D printers in the context of social, economic and environmental issues. In the light of the examples evaluated, it has been seen that these technologies will lead revolutionary developments in the social economic and environmental point of view, yet, as they are still limited and expensive, they cannot reach all stakeholders in the sector. As future remarks, the study of users post occupancy evaluation and life-cycle assessments of buildings will provide important data to understand the future of 3D printer technologies in architecture.

Science Code : 80111

Key Words : 3D Printers, Digital Design and Manufacturing, Innovative Construction
Technique, Architectural Paradigm Shift

Page Number : 83

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi, deneyim ve yönlendirmeleri ile araőtırmama yn verip, yol gösteren, katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen, anlayıőlı, sevecen ve dostça yaklaőımıyla çalıőmalarım konusunda beni her zaman cesaretlendiren, kendime olan inancımı artıran, kıymetli danıőmanım Sn. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a teőekkürü bir borç bilirim.

En zor zamanlarımda yanımda olan, her zaman neőesiyle ve pozitif enerjisiyle çalıőmalarımı destekleyen ve motivasyonumu artıran, hayat arkadaőım, sevgili eőim mer BULUT'a,

Hayatıma değer katan, dualarıyla her zaman yanımda olan biricik annem Nebahat Tandırcıoğlu'na, sadece kardeőim değil aynı zamanda dert ortaklarım olan kız kardeőlerim Zehra ve Ayőe'ye, erkek kardeőim Kadri'ye destekleri ve hayatıma kattıkları tüm iyilikler için teşekkür ederim.

Kıymetli nerileri ve eleőtirileri sayesinde çalıőmalarımı güzelleőtiren, ailesiyle birlikte büyük destek sağlayan sevgili Büőra'ya, iyi ve kötü günlerimde yanımda olan arkadaőlarım Hilal ve Aőőenur'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. SAYISAL TASARIM-ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE MİMARLIĞIN DEĞİŞEN DİLİ	5
2.1. Sayısal Tasarım Yöntemlerinin Mimarlığa Etkisi.....	6
2.1.1. Topolojik mimarlık	7
2.1.2. İzomorfik mimarlık	8
2.1.3. Animasyon mimarlığı.....	9
2.1.4. Başkalaşım mimarlığı.....	10
2.1.5. Parametrik mimarlık.....	10
2.1.6. Evrimsel mimarlık.....	11
2.1.7. Performans mimarlığı.....	12
2.2. Dördüncü Endüstri Devrimi ve Sayısal Üretim Yöntemleri	13
2.2.1. İki boyutlu üretim teknikleri	15
2.2.2. Çıkarmalı üretim teknikleri	16
2.2.3. Katmanlı (eklemeli) üretim teknikleri.....	16
2.2.4. Biçimlendirici üretim teknikleri	17
2.3. 3B Yazıcıların Gelişimi ve Çeşitleri	18

3. 3B YAZICILARIN FARKLI DİSİPLİNLERDE BARINDIRDIĞI POTANSİYELLER	27
3.1. 3B Yazıcıların Sağlık Sektöründe Kullanımı.....	28
3.2. 3B Yazıcıların Endüstriyel Ürün Tasarımında Kullanımı	30
3.3. 3B Yazıcıların Moda Sektöründe Kullanımı.....	33
3.4. 3B Yazıcıların Gıda Sektöründe Kullanımı	35
4. 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK DİSİPLİNİNDE UYGULANMIŞ ÖRNEKLER KAPSAMINDA İNCELENMESİ.....	37
4.1. Geleceğin Ofisi.....	38
4.2. ETFE – Plastik Çatı Kanopisi	39
4.3. Winsun – 5 Katlı Ev	40
4.4. Kanal Evi	43
4.5. Echoviren Pavilyonu	45
4.6. 3B Basılmış Ev 1.0.....	47
4.7. Proto Evi.....	50
4.8. Uzayda İnşa Edilecek Yapılar	51
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	55
5.1. Mimarlıkta 3B Yazıcı Kullanımının Sosyal Boyutu	55
5.2. Mimarlıkta 3B Yazıcı Kullanımının Ekonomik Boyutu	56
5.3. Mimarlıkta 3B Yazıcı Kullanımının Çevresel Boyutu.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sayısal teknolojilerle birlikte gelişen tasarım modelleri	7
Çizelge 4.1. 3 boyutlu yazıcı teknolojisiyle tasarlanan veya üretilen yapılar.....	53
Çizelge 5.1. Geleceğin Ofisi (Office of the Future) Binasının Analizi	58
Çizelge 5.2. Plastik Çatı Kanopisi (The ETFE Plastic Roof Canopy) Analizi	60
Çizelge 5.3. Katlı Apartman (The Five-Storey Building) Analizi.....	62
Çizelge 5.4. Kanal Evi (Canal House) Analizi	64
Çizelge 5.5. Echoviren Pavilyonu (Echoviren Pavillion) Analizi	66
Çizelge 5.6. 3B Basılmış Ev 1.0 (3D Printed House 1.0) Analizi	68
Çizelge 5.7. Proto Evi (Proto House) Analizi.....	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kinematics House, Greg Lynn	9
Şekil 2.2. Algorithmic Spectaculars, Marcos Novak.....	11
Şekil 2.3. Pseudo-organism, J. Frazer.....	11
Şekil 2.4. Greater London Authority Yönetim Binası, Foster and Partners, tasarım sürecinde kullanılmış güneş enerjisi ve akustik performans analizleri	12
Şekil 2.5. Yaşanan 4 Endüstri Devriminin kavramsal bir açıklaması.....	13
Şekil 2.6. 3B yazıcıların gelişimini gösteren çizelge	21
Şekil 4.1. Duvarların yapım şekli -kiriş donatısı ve kolon donatısı.....	43
Şekil 4.2. a. Binanın montaj planlaması b. Yapı kesiti	45
Şekil 4.3. Projenin konumu, kesit ve görünüşü	46
Şekil 4.4. 3B Basılmış Ev 1.0 a. Yapının kesiti b. Yapının genel görünüşü c. Yapının iç mekan görünüşü.....	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Guggenheim Müzesi, Frank Gehry.....	8
Resim 2.2. BMW pavilyonu, Bernard Franken	9
Resim 2.3. Üstra Ofis Binası, Hanover Frank Gehry	10
Resim 2.4. Frank Gehry'nin Guggenheim Bilboa	14
Resim 2.5. Metropol Parasol.....	15
Resim 2.6. Beton panellerin kalıbı için köpüğün oyulması Zollhof Towers, Dusseldorf, Almanya	16
Resim 2.7. Eklemeli üretim yöntemiyle basılan duvarlar	17
Resim 2.8. BMW Pavilyonu	18
Resim 2.9. Kontür işçiliği metoduyla beton döküm işlemi	22
Resim 2.10. D-Shape yazıcı görünümü	23
Resim 2.11. Elipsoid heykelsi yapı.....	24
Resim 3.1. Çok hafif ve estetik görünümlü kişiye özel üretilen protezler-ortezler	28
Resim 3.2. 3B yazıcı teknolojileriyle üretilmiş kafatası doku örneği.....	29
Resim 3.3. Kişiye özel doku ve organların geliştirilmesi	29
Resim 3.4. 3B Yazıcılarla basılan diş protez kalıpları.....	30
Resim 3.5. SULSA- ilk 3 boyutlu basılmış insansız hava aracı	31
Resim 3.7. a: 3B yazıcıların endüstriyel ürün tasarımında kullanılması b: 3B baskılı gözlük, menteşeler yerine esnek bağlantılara sahip tek parça baskılı poliamid çerçeveli gözlük	32
Resim 3.8. 3B yazıcılarla üretilen silah	33
Resim 3.9. 3000 hareketli parçadan oluşan ilk 3D elbise ve detayı	34
Resim 3.10. Noa Raviv tarafından 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak tasarlanmış kıyafetler	34
Resim 3.11. 3B yazıcılarla üretilen ayakkabı modelleri	35

Resim	Sayfa
Resim 3.12. Kişiyeye özel tasarlanan aksesuarlar	35
Resim 3.13. <i>Foodini</i> pizza ve çikolata	36
Resim 4.1. Yapının genel görünümü	38
Resim 4.2. Geleceğin Ofisi yapısında kullanılan enerji korunumu starejileri	38
Resim 4.3. Geleceğin Ofisi yapısının iç mekanı	39
Resim 4.4. ETFE – Plastik Çatı Kanopisi	39
Resim 4.5. Çelik dal kolonlar ve ETFE yastıkları	40
Resim 4.6. Kolonlardaki bağlantı detayları	40
Resim 4.7. Winsun, 3B yazıcılarla üretilen 5 katlı ev	41
Resim 4.8. Beton duvar örneği – donatı detayı	41
Resim 4.9. Binanın yapım aşamaları ve şantiyeden görünüm ve 3B yazıcılarla üretilen duvarların yerinde monte edilmesi	42
Resim 4.10. Binanın alana yerleştirilmesi ve konumu	44
Resim 4.11. a. KamerMaker'ın gelişimi büyük ölçekli 3B yazıcı b. Biyo-bazlı, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler	45
Resim 4.12. Echoviren Pavilyonu'nun orman sahasında montajlanmış son durumu	47
Resim 4.13. Duvar blokları	49
Resim 4.14. Soft Kill Design tarafından kemik dokusundan ilham alınarak tasarlanan ev	50
Resim 4.15. Kemik yapısını andıran lifli duvar dokusu kaynak	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
%	yüzde
cm	santimetre
m	metre
m²	metrekare
mm	milimetre
Kısaltmalar	Açıklamalar
2D/3DPRINT	İki/Üç Boyutlu Baskı
AM	Eklemeli Üretim – <i>Additive Manufacturing</i>
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım - <i>Computer Aided Design</i>
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim - <i>Computer Aided Manufacturing</i>
CATIA	Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Etkileşimli Uygulama- <i>Computer Aided Three-dimensional Interactive Application</i>
CC	Kontür İşleme – <i>Contour Crafting</i>
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol - <i>Computer Numerical Control</i>
ETFE	Etilenetetrafloroetilen - <i>Ethylentetrafluoroethylene</i>
FDM	Eritmeli Modelleyiciler - <i>Fused Deposition Modelling</i>
LOM	Katmanlı Nesne Modelleme - <i>Laminated Object Modeling</i>
MJM	MultiJet Modelleme - <i>MultiJet Modeling</i>
NURBS	Tekdüze Olmayan Rasyonel B-Spline - <i>Non-Uniform Rational B-Spline</i>
RP	Hızlı Prototipleme - <i>Rapid Prototyping</i>
SLA	Stereolitografi
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>

1. GİRİŞ

Problem durumu / konunun tanımı

Kimya ve fizik bilimlerindeki gelişmeler 19. ve 20. yüzyıla damgasını vurarak pek çok teknolojik gelişimin önünü açmıştır. Bu yüzyılda ise sayısal teknolojiler sayesinde yaşanan gelişmelerin, insanlığın çevresine bakışında, onu algılayışında ve yaşam tarzında köklü değişiklikler yapabilecek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. I. Endüstriyel Devriminden bu yana bilim ve teknolojiye köklü (*drastic*) değişimler yaşanmış ve bu değişimlerle birlikte yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Pek çok alanda olduğu gibi (genetik bilimi, iletişim teknolojisi, nano-teknoloji, uzay bilimleri, dört boyutlu geometri ve fraktallar, karmaşık polihidralar, yapay zekâ, kompozit ve akıllı malzemeler, katlanabilir ve taşınabilir strüktürler vb.) mimarlık alanında da teknolojik gelişmelerin yarattığı etkinin; hepsinin bir sentezi olarak karşımıza çıkan “sayısal tasarım ve üretim teknolojileri” kadar çarpıcı bir etki olduğunu söylemek mümkün görünmemektedir (Tandırıcıoğlu ve Arslan Selçuk, 2016).

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, mimarın “tasarlama ve yapma” biçimleri de değişmiş, geleneksel yöntemler bu yüzyılın mimarlarının ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmiştir. Tasarımın olduğu birçok disiplinde seri üretim bantlarındaki ürünlerin yerini üç boyutlu (3B) yazıcılarla üretilen ürünler almaya ve “üretim” biçimlerinde köklü değişiklikler yaşanmaya başlamıştır. Pizzirani (2015) “her masada bir fabrika” ifadesiyle, gelişen teknoloji ile üretim şeklinin nasıl bir süreçten geçtiğini özetlemektedir. 3B yazıcıların üretimi ile sadece ürün ve sistemlerin üretilme ve kullanılma tekniği değişmemekte, aynı zamanda, teknolojinin evrilmesi ile web tabanlı bulut (*cloud*) sistemlerinin kullanımı gerçekleşmekte, böylelikle bilgiyi depolama ve paylaşma şekli her türlü dijital araç ve ortamla sağlanabilmekte ve kişiselleştirilmiş üretimleri isteğe göre uyarlamak mümkün olmaktadır (Van Wijk ve Van Wijk, 2015). Bu teknolojiler ilgili disiplinlerde yarattığı yenilikçi ve devrimsel etkinin mimarlık alanında da yaşanması kaçınılmazdır. Gelişen sayısal teknolojilerle birlikte yaşanan değişimle birlikte mimarlığın tasarım-üretim biçimleri, bir diğer ifade ile “dili” de değişmektedir. Tasarımcının düşünme/tasarlama biçimleri de değişmekte ve bu değişim son ürünü etkilemektedir.

Araştırma problemi ve hipotezi

Bu bağlamda milenyum sonrası 3B yazıcıların mimarlık alanında yapmış olduğu etki bu çalışmanın motivasyonu olmuştur. IV. Endüstri Devriminin mimarlık alanında yaratacağı olası değişimlerinin ve hızla gelişen 3B yazıcı teknolojilerinin mimarlıkta kullanım olanaklarının tartışılacağı bu çalışmada araştırma problemi “söz konusu teknolojilerin mimarlığın bugününü ve geleceğini nasıl şekillendireceği” olarak belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, “inşaat yapım tekniklerinde 3B yazıcı teknolojisi kullanımının artması ile sosyal, ekonomik ve çevresel bağlamda mimarlık paradigmaları nasıl değişecek ya da etkilenecek ve ne gibi sonuçlar ortaya çıkaracaktır?” soruları araştırmanın alt problemleri olarak saptanmıştır.

Yapılan ilk literatür taraması sonucunda “3B yazıcıların sosyal, ekonomik ve çevresel bağlamlarda devrimsel nitelikte etkilere yol açacağı” hipoteziyle bir araştırma yürütülmüştür. Araştırma kapsamında 2012-2016 yılları arasında 3B yazıcılar ile üretilmiş olan mimarlık ürünleri üzerinden bir okuma yapılmış ve elde edilen sonuçlar sosyal, ekonomik ve çevresel bağlamları ile değerlendirilmiştir.

Araştırmanın amacı

Modern dünyanın ürettiği ihtiyaçlar ve günümüz teknolojisinin bu gereksinimlere verdiği cevaplar, yenilikçi, etkileyici ve ilham verici tasarımların önünü açmaya başlamış olup, mimarlık alanında kullanılan sayısal tasarım ve üretim araçlarının yardımcı eleman olmaktan öteye gitmesine, sonuç ürünlerin daha hızlı ve en uygun maliyetle üretilmesine, dolayısıyla da mimari tasarım ve üretim sürecinde bir paradigma değişimine yol açtığı düşünülmektedir. Çalışmanın ana amacı değişen tasarım ve üretim süreçlerinin 3B yazıcı teknolojilerinde ne gibi katkıları olabileceğini öngörmek ve sonucunda elde edilen verilerin günümüzde ve gelecekte ne tür avantajlar ve dezavantajlar sağlayabileceğini araştırmaktır.

Araştırmanın önemi

21. yy mimarisinde kullanılan 3B yazıcı teknolojilerinin tasarım ve üretim süreçlerine yeni perspektifler kazandırdığı ve tasarımcılara yeni potansiyeller sunarak, onların hayal edebilme kabiliyetlerini artırdığı göz önüne alındığında, çok çeşitli yenilikçi malzeme

kullanımı ile tasarım sürecinin özgürleşmesini/kişiselleşmesini sağlaması yeni nesil tasarım ve üretim sürecinde 3B yazıcıların önemi anlaşılmaktadır.

Materyal ve metot

Tez çalışması boyunca; konuya eleştirel bir bakış açısıyla yaklaşılmasını mümkün kılması, konunun anlaşılmasına yönelik bir yöntem olması ve veri toplama araçlarının çalışmaya esneklik kazandırması nedeniyle nitel araştırma yöntemleri benimsenmiştir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır:

- İlk bölümde, araştırma problemi tanımlanarak amaç, kapsam ve yöntem açıklanmıştır.
- İkinci bölüm, gelişen sayısal tasarım ve üretim yöntemlerinin etkisiyle mimarlık alanında yaşanan değişimler ve mimarlığın değişen dilinin incelendiği bölümdür.
- Üçüncü bölümde, 3B yazıcıların mühendislik, tıp gibi alanların yanı sıra moda, endüstri ürünleri tasarımı, kuyumculuk, kalıp hazırlama, mobilya gibi değişik alanlarında kullanımı ve barındırdığı potansiyeller ayrıntılı olarak anlatılmıştır.
- Dördüncü bölümde, 3B yazıcılar ile tasarlanan ve dünyanın çeşitli bölgelerinde 2012-2016 yılları arasında 3B yazıcılar ile üretilmiş/inşa edilmiş 7 yapı incelenmiştir.
- Beşinci bölümde elde edilen bulgular sosyal, ekonomik ve çevresel bağlamları ile değerlendirilmiş, sonuç bölümünde ise test edilen hipotez ışığında birinci bölümde yer alan araştırma soruları cevaplanmaktadır.

Varsayımlar ve sınırlılıklar

Çalışmanın ikinci bölümünde yer alan sayısal tasarım yöntemleri konusu, Branko Kolarevic'in 2000 yılında yayınlanan "*Digital Morphogenesis and Computational Architectures*" çalışmasında yaptığı sınıflandırmanın en kapsayıcı taksonomi olduğu varsayılmış ve tezin ilgili bölümleri bu sınıflama üzerine kurgulanmıştır.

Çalışmanın üçüncü ve dördüncü bölümünde yer alan ve 3B yazıcılarla üretilmiş olan örnekler 2012-2016 yıllarında tasarlanmış ve inşa edilmiş ya da fikir aşamasında kalmış projeler arasından seçilmiştir.



2. SAYISAL TASARIM-ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE MİMARLIĞIN DEĞİŞEN DİLİ

Sayısal bilgi işleme çalışmaları, ilk olarak 1950’li yıllarda Amerika’daki askeri kurumlar ve üniversitelerde başlamış ve mimari tasarım araçları açısından en belirgin gelişme Ivan Sutherland’in 1960’da günümüz bilgisayar destekli çizim programlarının atası olan *Sketchpad* (Sutherland, 2003) projesini geliştirmesi olmuştur. 1970’li yıllarda kişisel bilgisayarların yaygınlaşması ve CAD sistemlerinin gelişmesi arz-talep dengelerini şekillendirmeye başlamıştır. Mühendislik alanında kullanılan bilgisayar destekli çizim (CAD) sistemleri *General Motors*, *IBM*, *Lockheed*, *McDonnell Douglas* gibi endüstriyel kuruluşlar tarafından şekillendirilip geliştirilirken (URL-1), mimari amaçlı CAD yazılımları üniversite merkezli olarak ilerlemiştir.

Carnegie Mellon Üniversitesinde bir araştırma grubu bina tanımlama ve planlama sistemleri üzerine çalışırken, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nde (MIT) yapay zeka merkezli araştırmalar benimsenerek mimari sistemler geliştirmişlerdir (Turan, 2009). 1980’li yıllarda yazılım ve donanım alanında birçok gelişme yaşanmış, bilgisayar boyutlarının küçülmesi, maliyetlerin azalması ile mimarlık ofislerinden taleplerin gelmesi de bu gelişmeleri hızlandırmıştır. Bu bağlamda kişisel bilgisayarlar için ilk CAD yazılımları *Machintosh* için üretilmiş olan *MacDraft*, *MacDraw*, *Dreams*, *MiniCAD* ve *PowerDraw* gibi yazılımlardır.

IBM firmasının *IBM PC* adıyla çıkardığı kişisel bilgisayarlar ile daha ileri düzeyde CAD sistemleri geliştirilmiştir (URL-2). 1990’lı yıllarda artık CAD sistemleri yaygın biçimde kullanılmaya başlanmış, karmaşık geometrileri destekleyen ve 3B modelleme yapabilmeyi mümkün kılan programlar piyasaya sürülmüştür. Artık mimarlar; erişilebilir teknolojiler, güçlenen işlemci ve donanımlar ve gelişen yazılımlar sayesinde, hem iki boyutlu çizim, hem de üç boyutlu foto gerçekçi görselleştirme ile tasarımlarını sunma olanağına sahip olmuşlardır.

2000’lere gelindiğinde, tüm bilim dallarında “dijital çağ” olarak da tanımlanan bir dönem başlamıştır. Çizim ve modelleme ile ilgili bütün bu gelişmelerin devam etmesinin yanında CATIA tabanlı *Digital Project* ve *Bentley Systems Generative Components* gibi tasarım yazılımları soyut ilişkisel verilerin girilerek, modelleme işini bilgisayarların yaptığı parametrik tasarımların, üretken sistemlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Sayısal alanda

yaşanan tüm bu gelişmeler, yapı pratiğindeki geleneksel inşaat eylemini de etkilemiş ve tasarımcının kolaylıkla tasarlayabildiği karmaşık biçimleri üretebileceği, yeni teknikleri ve malzemeleri araştırabileceği bir ortam hazırlamıştır.

2.1. Sayısal Tasarım Yöntemlerinin Mimarlığa Etkisi

Mimarlıkta kullanılmaya başlayan sayısal teknolojilerin; mimari biçim, mekan ve yapı üretimini etkilemekte ve değiştirmekte olduğu bilinmektedir. Sayısal tasarım süreçleri başlangıçta dijital gösterim (*representation*) gibi algılansa da artık tasarım sürecinin tümü parametrik olarak tanımlanabilmekte ve yenilikçe üretken sistemler oluşturabilmektedir. Çünkü Şenyapılı'nın (2015) da vurguladığı gibi "...bilgisayarın bir temsil aracı değil, üretken (*generative*) ve tasarlayabilen bir makine olarak kullanılmaya başlanması ile form-algoritma ilişkisi de önem kazanmaya başlamıştır". Bu teknolojiler biçim, malzeme, geometri gibi ilişkilerin yeniden tanımlanarak tasarım sürecine etki etmesinin yanı sıra üretim süreçlerini de yeniden tariflemektedir.

Terzidis (2003) farklı olasılıktaki birleşimsel çözümlenmeleri, yinelemeyi kapsayan sayısal tasarım teknolojilerinin potansiyelini, insan zihnindeki düşünce süreçlerinde gerçekleşmediğinin de önemini vurgulayan sayısal düzenlere dayalı "fikir üreticiler" in hayal gücünü genişletmede büyük bir yeteneğe sahip olduğunu belirtmektedir (Terzidis, 2003). 21. yy'da gelişen ve yaygınlaşan sayısal teknolojilerinin tasarımda uygulanması ve bununla bağlantılı olan form arayışı, tasarım biçimleri ve süreçleri ile ilgili değişimler mimarlık disiplininde paradigmatik değişimlere yol açmıştır. Geleneksel tasarım yönteminde sonuç ürüne ulaşmak önemliyken, sayısal tasarımda, sonuç üründen çok tasarım sürecini tasarlamak (*designing design process*), tasarımcı için daha öncelikli bir problem haline dönüşmüştür (Oxman, 2008). Sayısal üretim biçimlerinin mimarlığa olan etkisini anlamak için öncelikli olarak sayısal tasarım yöntemlerinin anlaşılması önem taşımaktadır.

Birçok araştırmacı sayısal tasarımı incelemiş ve sınıflandırmıştır. Bu araştırmacılardan biri olan Kolarevic (2003) tarafından tanımlanan sayısal tasarımdaki çeşitli yaklaşımlar, metodolojik olarak Çizelge 2.1'de görüldüğü üzere dijital tasarım ve üretim tekniklerini göz önünde bulundurarak bir sınıflandırma biçimi ortaya koymuştur.

Çizelge 0.1. Sayısal teknolojilerle birlikte gelişen tasarım yaklaşımları ve seçilen örnekler (derlenerek yazar tarafından tablolştırılmıştır)

SIRA	SAYISAL TASARIM YAKLAŞIMI	ÖRNEKLER	PROJELER
1	Topolojik (<i>Topological</i>) Mimarlık	<u>Guggenheim Müzesi</u> 1997/İspanya	
2	İzomorfik (<i>Isomorphic</i>) Mimarlık	<u>BMW Pavilyonu</u> 1999/Almanya	
3	Animasyon (<i>Animate</i>) Mimarlığı	<u>Kinematics House</u> 1999/ABD	
4	Başkalaşım (<i>Metamorphic</i>) Mimarlığı	<u>Üstra Ofis Binası</u> 1999/Almanya	
5	Parametrik (<i>Parametric</i>) Mimarlık	<u>Algorithmic Spectaculars</u> Konsept halinde	
6	Evrimsel (<i>Evolutionary</i>) Mimarlık	<u>Pseudo-organism</u> Konsept halinde	
7	Performans (<i>Performative</i>) Mimarlığı	<u>GLA Yönetim Binası</u> 1995/İngiltere	

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde bu kavramlar örnekleriyle açıklanmıştır.

2.1.1. Topolojik mimarlık

TDK'ya göre, geometrik cisimlerin nitelikleriyle ilgili özelliklerini ve bağlı konumlarını, biçim ve büyüklüklerinden ayrı olarak alıp inceleyen geometri dalı olarak tanımlanan topoloji, bilginin kesinlik ilişkileri yerine göreceli ilişkiler içinde tanımlaması metodudur (Tozlu, 2017). 1993'te Greg Lynn tarafından yazılmış olan, “*architectural curvilinearity*”

isimli makalede topolojik mimarlık; “biçimleri, akışkan mantığıyla ilişkilendirmek” olarak tanımlanmaktadır. Frank Gehry’nin tasarladığı Resim 2.1’deki Bilbao müzesini topolojik tasarım yaklaşımının ilk örneklerinden biri olarak gösterilebilmektedir (Lynn,1993).



Resim 0.1. Guggenheim Müzesi, Frank Gehry (URL-3)

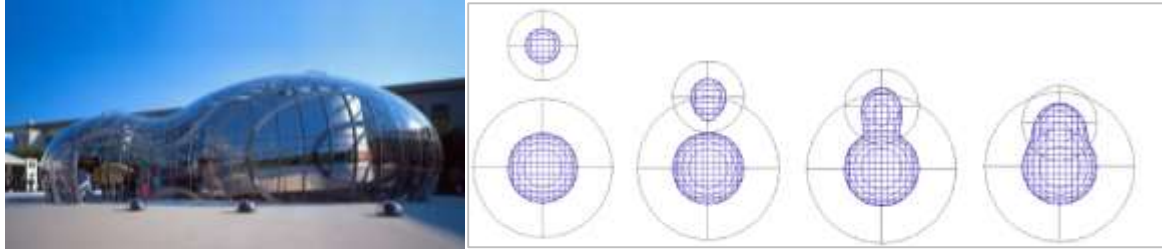
Branko Kolarevic’e göre topolojik uzay bağlamında, geometrinin bir ihtimaller dizisini tanımlayan parametrik fonksiyonlar ile temsil edilmektedir. Sürekli yüksek eğrisel yüzeyler matematiksel olarak “NURBS – Türdeş Olmayan Rasyonel B-Çizgileri” şeklinde tanımlanmaktadır. NURBS eğrilerini ve yüzeylerini çekici kılan ise kontrol noktalarını, ağırlığı ve boğumları manipüle ederek şekillerinin kolayca kontrol edilebilme özelliğidir. NURBS topolojik uzayın heterojen ve bağdaşık formlarını sayısal olarak mümkün kılmaktadır (Kolarevic, 2003). Sonuç olarak, NURBS eğrileri ve kontrol noktaları topolojik mimarlığın önemli özelliklerindedir.

2.1.2. İzomorfik mimarlık

İzomorf aynı zamanda eş biçimli demek olup, öklid geometrisi ve kartezyen uzayından farklılaşmak anlamına da gelmektedir. Kolarevic’e göre su damlası şekli (*blob form*) parametrik objelerin karşılıklı çekim gücüyle form değiştirmesiyle ve kütlelerinin gücüyle oluşmaktadır. Damlalar eklenebilmekte, farklı bağlantılar ile birçok olasılık sağlanabilmektedir (Kolarevic, 2000).

İzomorfik yüzeyler iki farklı boyutta olan kürenin birleşip, çıkarılması ve birleşim yerlerinin yuvarlatılmasıyla elde edilmektedir, bu şekillerin iç kısımlarında kütle, dış kısımlarında etki alanı bulunmakta ve eksi ve artı şeklinde etki etmektedirler (Turan, 2009).

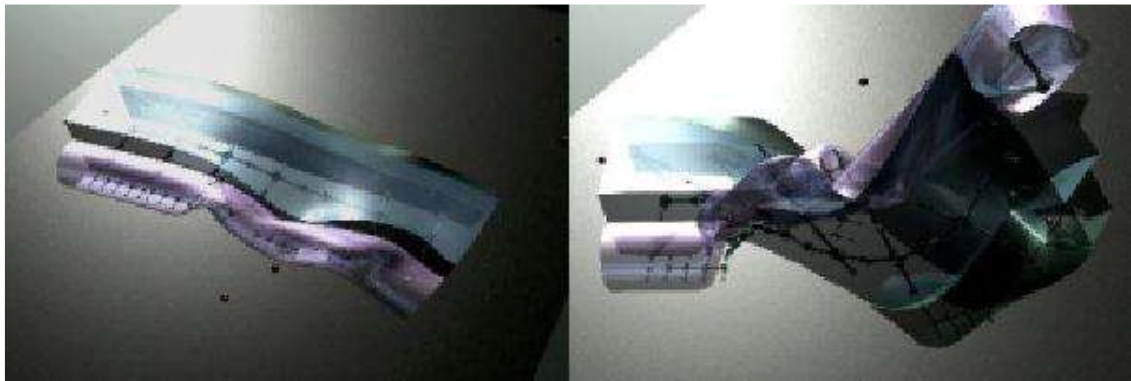
Frankfurt Araba Fuarı için 1999 yılında tasarlanmış olan BMW pavilyonu söz konusu tasarım biçimi konusunda öne çıkan bir örnektir (Resim 2.2).



Resim 0.2. BMW pavilyonu, Bernard Franken (Kolarevic, 2000)

2.1.3. Animasyon mimarlığı

Animasyon ilk olarak mimari sunum alanında canlandırma yapmak için kullanılmaya başlamıştır. Ancak tasarım aracı olarak bu tekniğin kullanılması ilk olarak Greg Lynn tarafından olmuştur. Biçimin evrimini ve biçimi şekillendiren güçleri tanımlamasıyla birlikte, canlandırma, büyüme canlılık dirilik anlamlarını da çağrıştırmaktadır (Lynn, 2002). Lynn'e göre "devinim hareket ve eylem ifade ederken animasyon bir formun ve onu şekillendiren kuvvetlerin evrimi anlamına gelmektedir". Projelerinde, ana yaklaşım olarak animasyonu, ileri-geri kinematik dinamik ve partikül emisyonu gibi hareketlerle modelleme teknikleri kullanan Lynn, *Long Island House* prototipinde (Şekil 2.1) iskelet sistemi olarak tasarladığı modelde çevresel etki ile ters kinematiği birlikte kullanarak deformasyonlar yaratmıştır (Kolarevic, 2000). Ayrıca Lynn'e göre *keyframe animation*, *path animation*, *forward-inverse kinematics*, *particle emissions* başlıkları altında toplanabilecek 4 farklı hareket tabanlı modelleme tekniği bulunmaktadır (Turan, 2009).



Şekil 0.1. Kinematics House, Greg Lynn (Kolarevic, 2000)

2.1.4. Başkalaşım mimarlığı

Çeşitli yöntemlerle biçimin deformasyonu sağlanarak, istenen aşamada durdurularak ortaya çıkan biçim alınmakta, seçilen doğrultu boyunca biçim hareket ettirilmekte ve deforme edilmektedir. Bu şekilde alternatif morfolojiler üretilebilmektedir (Kolarevic, 2000). Frank Gehry Hanover’da yer alan Üstra Ofis Binasını temel bir prizmatik biçimi deforme ederek tasarlamıştır (Resim 2.3).



Resim 0.3. Üstra Ofis Binası, Hanover Frank Gehry (URL-4)

2.1.5. Parametrik mimarlık

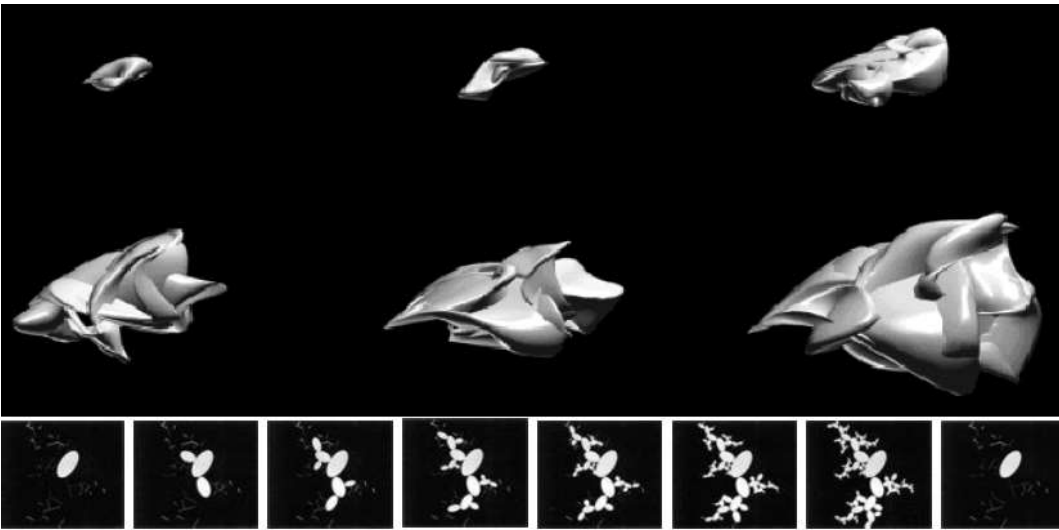
Parametre terimi, tanımlanan veya değiştirilebilen bir nicelik olarak adlandırılabilir. Parametrik ya da algoritmik tasarım ifadeleri aynı anlamda kullanılmakta olup, bilgi ve değişkenlerden oluşan bir hesap çizelgesini, etki ve tepkilerden meydana gelen bir tasarımın tümünü tanımlamaktadır. Algoritma tasarımın aşamalarını, sürecini ve işleyişini belirlerken, parametre ise bu süreç içerisindeki değişkenleri ifade etmektedir. Tasarımın algoritması iyi bir şekilde kurgulanmış ise tasarım değerlerine atanan farklı parametreler sonuç üründe büyük farklılıklara yol açacaktır (Güney, 2016). Parametrik tasarım olgusu, tüm iç ve dış etkilere cevap verirken, malzemeden kullanıcıya kadar pek çok parametreyi kapsamaktadır. Parametrik tasarıma örnek olarak, Marcos Novak’ın birçok değişken tanımlayarak oluşturduğu matematik modeller ve üretken süreçlerle ortaya koyduğu “*Algorithmic Spectaculars*” çalışması gösterilebilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 0.2. Algorithmic Spectaculars, Marcos Novak (Kolarevic, 2000)

2.1.6. Evrimsel mimarlık

Evrimsel mimarlık, genetik ve biyolojik değişimin sayısal olarak genetik algoritmalar yardımıyla ve bilgi teknolojilerinin etkisiyle işlenerek, karmaşık formların oluşmasını sağlar. Bu formlar, evrimsel bir mantıkla buldukları ortama adaptasyon sağlayarak gelişmekte, büyümekte ve çevresel duruma göre yok olmaktadır (Erbaş Korur, 2012). Kurallar genellikle gen çaprazlamaları, mutasyonlar ile belirlenerek genetik algoritma sayesinde uygulanmakta ve bu sayede genetik algoritma evrimsel mimarlığın anahtarı olmaktadır. Parametrelerin değeri, türetme sürecinde değişmekte ve türetilen şekiller genetik algoritmada kodlanan uygunluk değerine göre seçilmektedir. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, türetilen şeklin önemi genetik kodlama esnasında ortadan kalkarken biçim türetme sisteminin kurgulanmasının mantığı önem kazanmaktadır (Kolarevic, 2000).

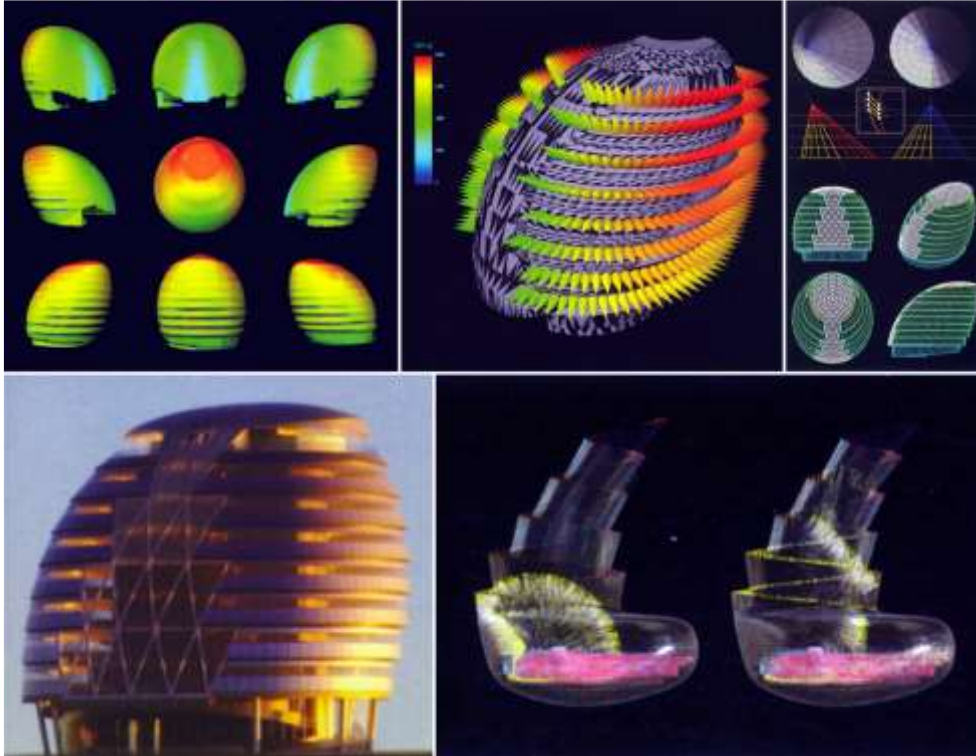


Şekil 0.3. Pseudo-organism, J. Frazer (Kolarevic, 2000)

2.1.7. Performans mimarlığı

Tasarımdan optimum düzeyde verim alınabilmesi amacıyla performansa dayalı tasarım mimaride de kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür tasarımlarda şehir, manzara, sirkülasyon akışı gibi bina performansında etkili olan değişkenler yer almaktadır. Performansa dayalı tasarım yönteminde sayısal yöntemler kullanılmakta ve yapılaşmaya yeni bir tasarım anlayışı getirilmektedir.

Simülasyon ve bilgiye bağlı olan performansa dayalı tasarımda; finansal, mekansal, sosyal, kültürel ve teknik (yapısal, termal, akustik) açıdan incelenmektedir. Bina tasarımları ve işlevleri hakkındaki beklentiler bina performansı üzerindeki önem ile yeniden tanımlanmaktadır (Köksal, 2005). Norman Foster ve ortakları tarafından 1995 yılında tasarlanan The Greater London Authority Yönetim Binası (Resim 2.4), performansa dayalı mimari tasarım anlayışıyla tasarlanmış olup, yapının enerji, akustik gibi performansları sayısal ortamlarda analiz edilerek, cephe yüzeyinin eğrisel biçiminin yıllık güneş alma verilerine göre eniyi olduğu anlaşılmaktadır (Kolarevic, 2003).



Şekil 0.4. Greater London Authority Yönetim Binası, Foster and Partners, tasarım sürecinde kullanılmış güneş enerjisi ve akustik performans analizleri (Kolarevic, 2003)

2.2. Dördüncü Endüstri Devrimi ve Sayısal Üretim Yöntemleri

Tarih boyunca yaşanan teknolojik gelişmeler tüm disiplinlerde önemli etkiler yaratmıştır. Bu etkilerin sonucunda sosyolojik, ekonomik, politik, ideolojik, gibi birçok kavram değişmiş, yeni anlamlar bulmuş ya da yeniden var olmuştur. Mimarlık disiplini de tarihin başlangıcından beri bu tür değişimlerden etkilenen disiplinlerdendir ve olmaya da devam etmektedir (Bostancı Sabur, 2019).

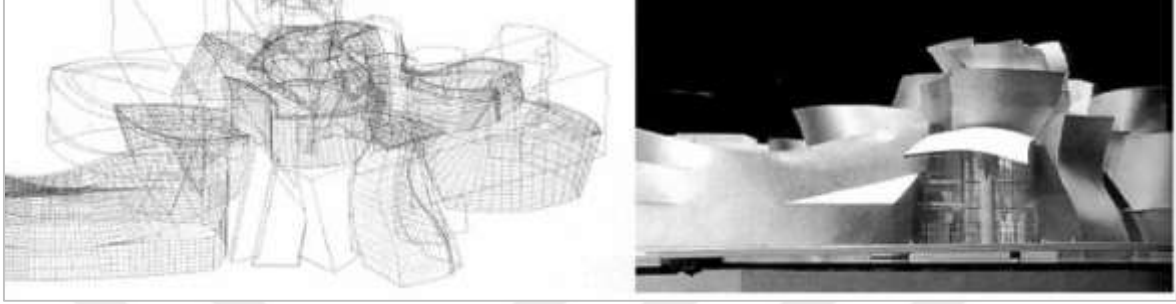
Birinci, İkinci ve Üçüncü Endüstri Devrimleri (Şekil 2.5) başta olmak üzere bilim ve teknolojiadaki gelişmelerin tümü mimarlık alanında sosyo-kültürel ve ekonomik önemli değişimlere yol açmıştır. Ancak günümüzde yaşanmakta olan Dördüncü Endüstri Devriminin çok daha hızlı yaşanan ve değiştirici/dönüştürücü olan gücünün tüm alanlarda olduğu gibi tasarım ve üretim konusunda çalışan tüm disiplinlerde ve mimarlıktaki etkisi devrimsel niteliktedir (Alçın, 2016).



Şekil 0.5. Yaşanan Dördüncü Endüstri Devriminin kavramsal bir açıklaması (Alçın,2016)

Sayısal teknolojilerdeki gelişmeler, mimari tasarım aşamasında ve tasarımın en iyi hale getirilmesi sürecinde performansa dayalı analiz ve simülasyon ortamı sağlamakla birlikte; uygulama aşamasında da bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojileri sayesinde üretimin daha hassas, hızlı ve ucuz yapılabilmesinin önünü açmıştır. Sayısal evrimin kaçınılmaz sonucu olarak tanımlamayabileceğimiz dosyadan fabrikaya (*file to factory*) anlayışının öncül örneği kuşkusuz ki Frank Gehry'nin Guggenheim Bilboa Müzesidir (Resim 2.4). Bilgi teknolojilerinin ve mühendislik alanında tasarım ve üretimin yaygın olarak kullandığı araçların ilk kez Gehry'nin kompleks tasarımının biçim arayışlarına, yapının

“imalatına/üretimine” destek olması, karmaşık biçimlerin, titanyum, cam ve taş gibi malzemelerin sıra dışı bir araya gelmesi ve yapı elemanlarının özelleşmiş seri üretimle üretilmesinin, mimarlıkta CAD/CAM kullanımı için bir dönüm noktasıdır (Gönenç Sorguç, 2010).



Resim 0.4. Frank Gehry'nin Guggenheim Bilbao (Kolarevic, 2003)

Sayısal üretim teknikleri ile karmaşık geometrilerin hatasız biçimde üretilebilmesi ve yeni nesil malzemelerin mimarların kullanımına sunulması sonucunda mimarlık paradigmasında farklı tektoniklerin deneyimlenmesine olanak sağlamıştır. Genel olarak iki boyutlu üretim (CNC kesim işlemleri), çıkarmalı üretim (katı objelerin frezelenmesi), katmanlı-eklemeli üretim (serbest biçimli katı obje üretimi/hızlı prototipleme) ve biçimlendirici üretim teknikleri (Kolarevic, 2003:54) olarak sınıflandırılabilir bu sistemler her geçen gün gelişmekte ve disiplinler arası çalışma ortamlarını ve araştırma alanlarını tetiklemektedir.

Mimarlık alanında kullanılan sayısal üretim tekniklerini dört temel başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar:

- İki boyutlu üretim teknikleri (*two-dimensional fabrication*)
- Çıkarmalı üretim teknikleri (*subtractive fabrication*)
- Katmanlı-eklemeli üretim teknikleri (*additive fabrication*)
- Biçimlendirici üretim teknikleri (*formative fabrication*)

olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Kolarevic, 2003:54).

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde sayısal üretimde kullanılan araçlar açıklanmış ve sayısal üretim yöntemleri örnekler ile anlatılarak mimarlık alanında yarattığı etkiler tartışılmıştır.

2.2.1. İki boyutlu üretim teknikleri

Mimarlık disiplininde en çok kullanılan üretim yöntemi iki boyutlu üretim tekniğidir ve lazer ışını, plazma arkı ve su jeti gibi, çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Lazer ışını, plazma yay ve su püskürtme ismi verilen farklı metotların kullanıldığı bu üretim yönteminde kesim işlemini gerçekleştirmek amacıyla iki eksenli hareketi ile sayısal ortamdan sağlanana veriler doğrultusunda form üretmek için bir başlık bulunmaktadır.

Kesme ucu çok yüksek sıcaklığa dayanıklı levha şeklindeki malzemeyi plazma yayında bulunan elektrikli yay, kesim alanı üzerinden sıkıştırılmış gaz jetiyle kesmekte olup, bu teknik ağırlıklı olarak ısıya dayanıklı metal malzemelerin kesim işlemi için kullanılmaktadır. Plazma yayı yönteminde kullanılanın aksine, hemen hemen her kalınlıktaki malzemenin kesim işleminin gerçekleştirildiği su jeti yönteminde ise gaz yerine yüksek basınçlı su kullanılmaktadır. Lazer ışınlarıyla kesilebilecek malzeme cinsi ve kalınlığı da sınırlı olsa da, lazer ışını ile kesme tekniğinde yüksek yoğunluklu infrared ışık, karbon dioksit gazıyla birleştirilerek kesilecek alan üzerine gönderilmekte ve kesim işlemi tamamlanmaktadır (Çakır, 2006).

2011 yılında Seville’de tamamlanan Metropol Parasol yapısı (Resim 2.5) mimarlık disiplininde kullanılan iki boyutlu üretim tekniğine örnek olarak gösterilebilmektedir.



Resim 0.5. Metropol Parasol (URL-5)

2.2.2. Çıkarmalı üretim teknikleri

Sayısal üretim tekniklerinden biri olan çıkarmalı üretim tekniğinde; üretilmesi hedeflenen üründen daha büyük boyuttaki ana malzemedan bir miktar malzemeyi çıkartarak, sonuç ürüne ulaşmak amaçlanmaktadır. Bu yöntem eksiltme tekniği ya da çıkarmalı üretim tekniği olarak adlandırılmaktadır. Çıkarmalı üretim tekniği, kimyasal, mekanik veya elektronik azaltma şeklinde uygulanabilmektedir (Kolarevic, 2003:52). Çıkarmalı üretim tekniğine, Resim 2.6’da görülen ve Almanya’nın Duesseldorf şehrinde bulunan Frank Gehry tarafından tasarlanan, dış duvarları betonarmeden yapılan ve CNC frezeleme ile üretilmiş kalıpların kullanıldığı Zollhof Towers projesi, bu bağlamda literatüre giren önemli bir yapı olarak örnek gösterilmektedir.



Resim 0.6. Beton panellerin kalıbı için köpüğün oyulması Zollhof Towers, Dusseldorf, Almanya (URL- 6)

2.2.3. Katmanlı (eklemeli) üretim teknikleri

Eklemeli üretim tekniği olarak adlandırılan bu yöntem için farklı terimler kullanılmaktadır. Hızlı prototip üretme (*rapid prototyping*), masaüstü üretim (*desktop manufacturing*), katmanlı üretim (*additive manufacturing*) bunlardan bazılarıdır (Sabur ve Arslan Selçuk, 2017). Temel olarak eklemeli üretim tekniği, katman katman ekleme yöntemi kullanılan bir süreçtir ve sayısal ortamda 3B olarak tasarlanan modelin, 2B olarak dilimlendiği varsayılarak, üretimi yapacak olan makineye iletilerek makine ucundan yapı malzemesinin katmanlanarak dökülmesiyle (Kolarevic, 2003:56) son ürün ortaya çıkarılmaktadır (Resim 2.7).



Resim 0.7. Eklemeli üretim yöntemiyle basılan duvarlar (URL- 6)

Sterolitografi tekniği olarak adlandırılan yöntem ilk uygulanan yöntemlerden biridir ve lazer ışığı yardımıyla sıvılaştıran polimerlerin katılaştırılmasıyla son ürünün meydana getirilmesini sağlamaktadır (Özden, 2011). Bu yöntem için, metal toz eritilmesi ya da seramik tozu yapıştırılması gibi, daha farklı malzemeler de işlem görmekte olup, pahalı ve uzun süren bir metot olması ile uygulama sürecinde genelde daha küçük boyutlu karmaşık şekilli maketler üretilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak kontür işleme (*contour crafting*) gibi tekniklerle büyük boyutlu parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır (Özden, 2011).

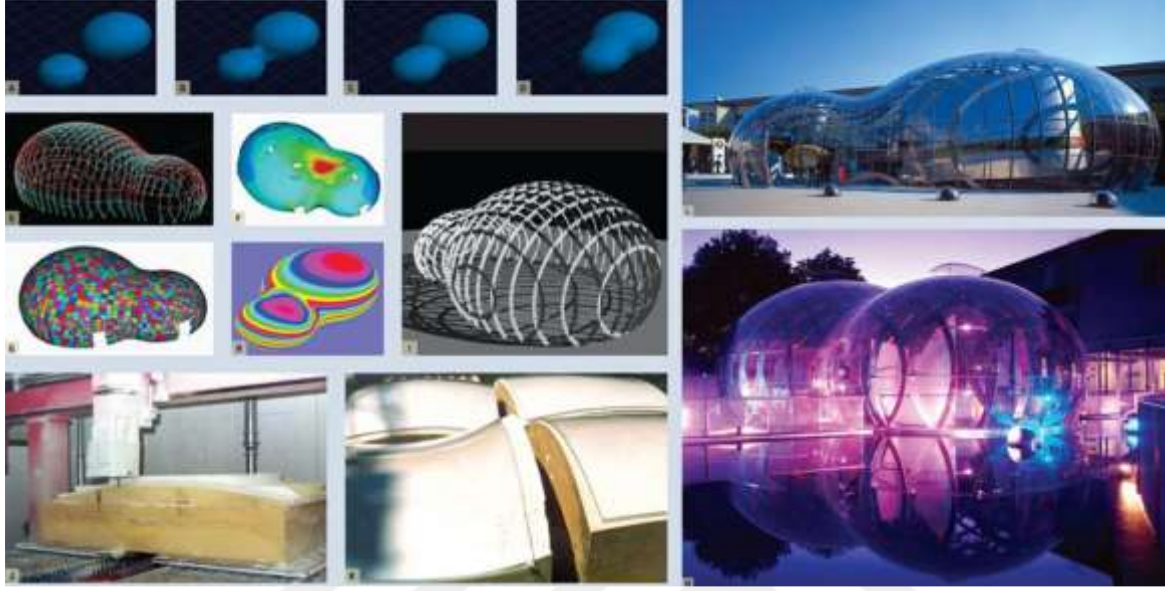
Çalışmanın ana konusunu oluşturan eklemeli üretim (*additive manufacturing*) yöntemlerinde en çok kullanılan araç olan 3B yazıcılar ise çalışmanın 2.3. Bölümü'nde "3B Yazıcıların Gelişimi ve Çeşitleri" başlığında detaylarıyla anlatılarak örneklerle açıklanmıştır.

2.2.4. Biçimlendirici üretim teknikleri

Biçimlendirici üretim yönteminde malzemenin, yeniden şekillendirme ve deformasyona uğratarak istenilen forma ulaşması için bazı kuvvetler uygulanmaktadır. Uygulanan, mekanik, kısıtlayıcı ve ısı veya su buharı gibi bu kuvvetler, aksenel ve yüzeysel kısıtlanmalı olabilmektedir. 2000'li yılların başlarında izomorfik tasarım yöntemiyle Franken Architects tarafından tasarlanan BMW Pavilyonu (Resim 2.8) bu üretim yöntemine örnek olarak gösterilebilmektedir.

21. yy'ın getirdiği teknolojik gelişmeler, tasarımcılara sınırlarını zorlama imkânı sağlayarak "yeni formlar üretme" cesareti vermiştir. Sayısal tasarım ve sayısal üretim teknolojilerinde gelinen son nokta ile bilgisayarlar aracılığıyla her hayal edileni tasarlamak, her tasarlanamı

üretmek mümkün olmuştur. Yaşanan bütün bu gelişmeler 3B yazıcı teknolojilerinin otomasyondan sağlığa, sanattan moda, endüstri ürünlerinden mimarlığa kadar çok geniş bir alanda ve birçok disiplininde kullanımın önünü açmıştır (Tozlu, 2017).



Resim 0.8. BMW Pavilyonu (Kolarevic, 2003:31)

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde 3B yazıcı teknolojilerinin tarihsel gelişimi ve çeşitleri detaylarıyla anlatılmıştır

2.3. 3B Yazıcıların Gelişimi ve Çeşitleri

3B yazıcıların tarihsel gelişimine bakıldığında ilk olarak 1984 yılında Charles Hull tarafından üretilmiş olduğu görülmektedir (URL-7). CAD sistemlerinin yaygın biçimde kullanılmaya başlaması, üretim teknolojisindeki gelişmeleri de ivmelendirerek arttırmış ve baş döndürücü bir hızla çeşitlendirmiştir. 1988 yılında SLA-250, *Selective Laser Sintering* (SLS) ve *Fused Deposition Modelling* (FDM) teknolojileri keşfedilmiştir (URL-8). 1993 yılında MIT’de iki boyutlu yazıcılarda kullanılan *inkjet* teknolojisinden yola çıkarak yeni bir teknoloji geliştirilmiş ve buna *3 Dimensional Printing* (3DP) ismi verilmiştir (URL-9). 1995 yılında üç boyutlu yazıcıların satışı yapılmaya başlanmış, 1996 yılında Z Corporation yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcıyı tasarlamıştır (URL-10). 2009 yılında *Reprap* (URL-11) adıyla ilk açık kaynak (*open source*) kodlu yazıcılar piyasaya çıkmış, bu gelişme üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşma hızını arttırmıştır. 2008 yılında Object Geometries Şirketi, *Connex500* (URL-12) ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak

ürün üretebilmiş, 2009 yılından itibaren ise *Makerbot* ve *3B Systems*'in geliştirmiş olduğu *Cubify* gibi modeller sayesinde ev tipi üç boyutlu yazıcıların satışları artmaya ve kullanımı yaygınlaşarak gündelik hayata girmeye başlamıştır (URL-13).

21. yy tasarımını şekillendiren 3B yazıcı teknolojileri, *mock up* ve ölçekli modellerin hızlı prototiplemesinden, otomobil, yapı bileşeni, bina gibi büyük ölçekli üretime kadar kullanılmaktadır. Özellikle yapı sektöründe, inşaatın yapım şeklini değiştirdiği için doruğa ulaşmıştır. Diğer robot türleri gibi 3B yazıcı da para, zaman ve enerjiden tasarruf sağlayarak yapıların inşaat süresini kısaltmış ve daha önce hiç elde edilmeyen kesintisiz ve kesin detaylarla sonuçlanmıştır (Hager ve diğerleri, 2016, aktaran Bostancı Sabur, 2019).

3B yazıcılar genelde katmanlı imalat uygulamalarının içinde yer almaktadır. Bu uygulamalar yöntemine ve malzemelerine göre sınıflandırılmaktadır. Bazı temel yöntemler aşağıda açıklanmaktadır:

Lazer Eritmeli Sistemler (*Selective Laser Melting - SLM*): Bu yöntem lazer eritme yöntemi olarak da bilinir. Toz içerisinde tasarımın bir kesiti lazer ile eritilir. Üzerine yeni bir katman toz ilave edilerek sıradaki katman eritilerek eklenir.

Erimiş Çökelme Modelleme Sistemi (*Fused Deposition Modeling – FDM*): Aslında 3B yazıcı olarak adlandırılan üretim yöntemidir. Polimer ve plastik malzemeler, filamentler halinde eritilerek hareketli bir kafaya iletilir ve eritilmiş malzeme katmanlar halinde üst üste basılır. Basım işlemi sırasında gerekli yerlerde destek malzemesi eklenir, sonuç ürün elde edildiğinde, destekler atılır.

Stereolitografi Sistemi (*Stereolithography – SL*): Işık ile kür edilen polimer yüzeyde lazer ile katman katman ürün basılır. Hassas şekiller verilmesi ve düzgün yüzeyler oluşturması açısından bu yöntemin avantajlarındandır. Ancak fotopolimer malzemeler çok kararlı olmadığından ve mekanik özellikleri değişken olduğundan genelde bazı kalıp uygulamalarında ve hızlı prototiplemelerde kullanılmaktadır.

Malzeme Jeti Sistemi (*Material Jetting – MJ*): Malzeme jeti olarak adlandırılan bu yöntemde sıvı ve eriyik balmumu türü malzemeler kontrollü olarak mürekkepli yazıcı benzeri hareketli

kafalar tarafından püskürtülerek ve kürlenerek şekil oluşturulması sağlanır. Bu yöntemin avantajlarından biri hassas ve parlak yüzeylerin kolaylıkla üretilmesidir.

Yapıştırıcı ile İmalat Sistemi (Binder Jetting –BJ): Kalıp imalatında kullanılan bu yöntemin bir diğer ismi de yapıştırıcı ile imalattır. Toz malzeme üzerine mürekkepli yazıcılardaki gibi bir kafayla yapıştırıcı uygulanır ve üzerine yeni katman serilerek sertleştirilir.

Elektron Kaynağı Sistemi (*Electron Beam Melting* –EBM): Isı kaynağı olarak bu sistemde elektron tabancası kullanılmaktadır. Isıtılan odak merkezine eritilecek malzeme kablo şeklinde beslenmekte ve bir katman oluşturmaktadır. Katman katman oluşturulan kaba şekil sonradan diğer yöntemlerle işlenmektedir (Hadia,2007).



Şekil 0.6. 3B yazıcıların gelişimini gösteren çizelge (yazar tarafından hazırlanmıştır)

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi yaklaşık 30 yıla sığdırılabilecek bu ilerlemelerin sonunda bilgisayarda tasarlanabilen hesaplanabilen her şeyi üretebilmek mümkün hale gelmiştir. Artık "Bu form yapılabilir mi?" değil, "Bu formu üretecek dijital araçlar nelerdir?" sorusu teknolojiadaki gelişimin yönünü belirlemektedir. Bu sürecin en önemli aracı olan 3B yazıcılar

günümüzde yüksek detaya sahip objeleri, en yüksek kalitede ve optimum maliyetle üretebilecek seviyeye ulaşmışlardır.

3B yazıcıların en çok kullanılan araçları kontür işleme (*contour crafting*) ve *d-shape*'tir. Teknolojik süreçleri bakımından benzer prensiplere sahip olan ve yapı endüstrisinde kullanılan bu iki metot dışında da eklemeli üretim alanında daha farklı yöntemler de araştırılmaktadır.

Kontür işçiliği (*contour crafting*) : Kontür işçiliği, bir nesnenin yüzey kabuğunu oluşturmak amacıyla ekstrüzyonu ve nesnenin çekirdeğini oluşturmak için dökülme veya enjeksiyona dayanan bir dolum işlemi birleştiren karma bir otomatik üretim yöntemidir. Güney Kaliforniya Üniversitesinden, heykeller ya da pavilyonlar yapmak yerine yaşanabilir yapılar tasarlamak ve üretmek üzerine yoğunlaşan Behrokh Khoshnevis tarafından patenti alınarak icat edilen, yeni bir eklemeli üretim teknolojisi olan kontür işçiliği yönteminde yüksek binaların oldukça hızlı bir şekilde üretilmesine olanak sağlanmaktadır. *Contour Crafting* (CC) metoduyla ticari yapılaşmanın maliyetleri düşürülebilmekte ve maliyetler, konstrüksiyonların geleneksel üretimine göre 1/5 oranında azalmaktadır (Perrot, 2019:65).



Resim 0.9. Kontür işçiliği metoduyla beton döküm işlemi (Gardiner ve Harris, 2013)

Bu makine malzeme olarak, elyaf takviyeli hızlı kürlü betonarme kullanmaktadır. Resim 2.9'da görüldüğü gibi bu 3B yazıcının ucundaki “nozül” isimli bir ağız bulunmaktadır ve beton bu ağızdan tıpkı bir pasta kreması gibi, katman katman dökülerek, yapıyı ya da yapı bileşenlerini oluşturmaktadır (Gardiner ve Harris, 2013).

Yapı malzemeleri israfını ortadan kaldırmayı taahhüt eden CC yöntemiyle aynı zamanda inşaat projeleri hızlanması ve 2000 m² bir ev 24 saatte inşa edilebilecek duruma gelmesi

mümkün olmaktadır. Bu yöntemle, son derece hızlı bir şekilde ilerleyen yapı faaliyetlerinde, yapım süresi en az 6 ay sürecek projelerin maliyetleri en aza indirilmektedir. İşçilik maliyetleri de önemli ölçüde azaltılırken, inşaat sektöründe beyin gücü ile fiziksel güç alışverişi yapılabilmekte ve ilk kez kadınlar ve yaşlıların inşaat sektöründe çalışmalarının önü açılabilir (Perrot, 2019:78).

D-Shape: Robotik mühendisi Enrico Dini buluşu, kum ve kimyasal yapıştırıcı bağlayıcı maddeler kullanarak taş benzeri malzemeler üreten yazıcılar olan D-shape 3B yazıcılar (Resim 2.10) aynı kontur işçiliğindeki gibi büyük formatlarda olmakla birlikte inşaat ölçeğinde yazıcı almak için tasarlanmıştır.



Resim 0.10. D-Shape yazıcı görünümü (URL-14)

Günümüzde 60 m'lik ölçülere sahip bir yapının bileşenlerini ve hatta daha büyüklerini üretebilen bu yazıcılar büyük bir kızak sistemi kullanmaktadır. Bu sistem 5 mm kalınlığında, magnezyum oksitle karıştırılmış bir tür kumdan oluşan, alt tabaka katmanı biriktirmektedir. Baskı işi bitene kadar kızak sistemi sürekli yükselerek bu süreç devamlı tekrarlanmaktadır. Fazlalık olan kum karışımı dikkatlice çıkartılarak sertleşen ve gömülü duran sentetik kum objenin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem, ezilmiş dolomittik kireç taşı, sağlam bir taş baskı malzemesi haline getirmekte ve mermer ve volkanik kaya gibi ezilmiş agregalarına karşı patentli doğal bağlayıcıdan kaynaklanan yenilikçi bir yöntem olmuştur (URL-15). Bu yenilik günümüzde, mimari taş işleme, peyzaj ve deniz projelerine uygulanan sıkıştırılmış yapı elemanları üretmek için toz bağlayıcı sistemleri içinde bir çözüm sunan inşaat ölçekli 3B yazıcı olanaklarını ortaya çıkarmaktadır. (URL-15) Bu üretim yöntemiyle

yapılmış Elipsoid isimli ve 3 metre yüksekliğindeki, kendi kendini destekleyen pavyon şeklindeki heykelsi yapı (Resim 2.11), D-shape yazıcısının tüm kapasitesini ortaya koymaktadır (Cockburn, 2014).



Resim 0.11. Elipsoid heykelsi yapı (URL-16)

Fordian şeklinde tanımlanan seri üretim sistemlerindeki dikte edici, belli kalıplarda ve basit geometrilerle üretilen ürünler tasarımcılar için kısıtlayıcı olurken, aslında basit ve düşük maliyetlerle 1000 adet aynı nesneyi hızlı şekilde üretmek yerine, farklı, özelleşmiş, karmaşık formları aynı maliyetlerle üretmek kişiselleştirilmiş ürünlerin seri üretimi kavramını ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte maliyetler düşmüş, kişiselleştirilmiş ve çeşidi artmış ürünlerin üretilmesi sağlanmıştır (Kolarevic, 2003:84).

Cockburn'ın belirttiği üzere internetin kişilere bireysel alanlar kazandırması ve bu şekilde kişisel gereklilikleri keşfetme şansı yaratmasıyla, üretme sürecinin değişen paradigması ortaya çıkmaktadır. 1980'li yılların sonunda “ortalama kullanıcılar ne ister” (Cockburn, 2014) sorusunun yanıtlarını arayan, kalite ve maliyeti optimize etmeyi amaçlayan araştırmacılar “seri üretim (*mass customization*)” kavramını tartışmaya başlamış ve yüksek miktarda ürünü, düşük fiyatlarla müşteriye ulaştırma biçimleri geliştirilmiştir (Kolarevic, 2003:84).

Söz konusu seri üretim sistemi, internetin gelişmesi ve yaygınlaşması ile 21. yy kullanıcılarının isteklerini karşılayamamaya başlamış ve bu üretim sürecinin tam tersine, özelleşmiş, kişiselleşmiş tamamen bireysel istekleri barındıran 3 B baskı teknolojilerinin

keşfi ve gelişimi hızlanmıştır. Bu teknolojiler, hassas üretim olanağı sağlayan, geleceğin mimarisini biçimlendirme potansiyeline sahip olan 3B yazıcılar özellikle “kitlesel bireyselleştirme” (Akipek ve İnceoğlu, 2007) yaklaşımı ile öncelikle otomobil ve uçak endüstrisinde kullanılmakta ve her türlü mimari bileşenin üretilebilmesine olanak sağladığı için mimarlık gündeminde olan yaklaşımlar olmaktadır. 3B yazıcı teknolojilerinin yardımıyla, süper hafif hava aracından başlayıp, bir hastanın kafatasından, kulağına hatta böbreklerine kadar uzanan bir aralıkta üretim yapılabilir (Cockburn, 2014).

Bu teknoloji her ne kadar mimarlık alanında başlangıç aşamasında olsa da, literatür araştırması paralel endüstriler arasında, örneğin, mühendislik, otomotiv tasarımı, hava aracı mühendisliği, tıp gibi alanların (hızlı ve ucuza protez üretimi, canlı doku üretimi) yanı sıra moda, endüstri ürünleri tasarımı, kuyumculuk, kalıp hazırlama, mobilya, gibi değişik alanlarda da yoğun biçimde kullanılmaya başlamıştır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015).

Yapı endüstrisinin geleceğini şekillendirme potansiyeli olan 3B yazıcı teknolojisi, yapı sürecinde devrim yaratmaktadır. Yapı endüstrisi için 3B yazıcı teknolojilerinin çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar:

- Dosyadan yapıya üretim / sahada ya da üretim tesislerinde doğrudan üretim,
- Tasarımın daha az atıkla üretilmesi için gerektiği kadar malzeme kullanılması,
- Geri dönüştürülmüş plastik, biyoplastik, beton vb. gibi çeşitli hammadde kullanımının sağlanması,
- Hassas üretim gerçekleştirilmesi,
- Farklı yapım yöntemlerini benimseme yeteneğine sahip olması,
- Birden fazla malzemeyi presleyebilmesi,
- Nakliye ve işçilik için düşük maliyet sağlaması,
- Geleneksel yapı ile mümkün olmayan karmaşık formları oluşturması,
- Sağlık ve güvenlik risklerinin azaltılması olarak gösterilebilmektedir (Beyhan ve Arslan Selçuk, 2017).



3. 3B YAZICILARIN FARKLI DİSİPLİNLERDE BARINDIRDIĞI POTANSİYELLER

3B yazıcılar, mühendislik, tıp gibi alanların yanı sıra moda, endüstri ürünleri tasarımı, kuyumculuk, kalıp hazırlama, mobilya gibi değişik alanlarda yoğun biçimde kullanılmaya başlamıştır. Her gün karşımıza çıkan değişik kullanımlar, dünya devleri olarak nitelendirilen firmaların bu teknolojiyi kullanarak üretim yapmaya başlamaları, ünlü tasarımcıların sıra dışı tasarımlarının yanı sıra, yoksul ülkelerdeki çocuklar için yapılan protezler de bu teknolojinin gelmekte olduğu noktanın habercileridir.

Cockburn (2014) “3B yazıcılar daha ucuz, hızlı ve ulaşılabilir oldukça, küçük üreticilerin arttığını ve büyük üreticilerle yarıştıklarını ve onlara meydan okumaya başladıklarını da görebileceğiz. Bu teknolojiler fabrikayı alıp, süreci azaltacak ve bireyi öne çıkaracak bir potansiyele sahip” şeklindeki sözleriyle aslında konunun özünü ve önemini vurgulamaktadır. Benzer şekilde Rifkin (2013) “...nasıl ki internetin hayatımıza girmesiyle Google ve Facebook üzerinden yürütülen iş olanakları bir anda ortaya çıktı, 3B yazıcı teknolojisi de üretim şekillerinde benzer bir etki yaratacaktır” ifadesiyle Cockburn’ın bu argümanını desteklemektedir.

3B yazıcılar daha ucuz, hızlı ve ulaşılabilir oldukça, küçük üreticilerin artmasına yola açacak ve büyük üreticilerle yarışmaya ve onlara meydan okumaya başlayabilecektir. Bu teknoloji, üretim sürecini azaltarak bireyi ön plana koyacak bir potansiyele sahiptir. Bu bağlamda işlem yapan firmalardan olan *Shapeway* isimli 3B market, müşterilere kendi tasarımlarını tasarlayıp üretmeyi öneren bir oluşuma örnek olarak gösterilebilmektedir. Üretilen tasarımları kargolama olanağı sunan şirket, aynı zamanda istenirse, tasarımı web üzerinden satışını da yapabileceklerini söylemektedir.

Benzer şekilde, Boeing firması 3B yazıcı teknolojisinin havacılık endüstrisinde kullanımına öncülük etmeye başlayan ilk firmalardandır ve otuzun üzerinde 3B yazıcı ile üretilen parçaları bulunmaktadır. Bu firma sadece titanyum gibi pahalı malzemelerden kaçınmak için değil, aynı zamanda kullanılan malzemelerin ağırlığının azaltılması için de bu teknolojiye adapte olmaya çalışmaktadır. Bilindiği üzere bir uçağın bir kilogram daha hafif üretilmesi, yaklaşık 70 bin litre yakıt tasarrufu ile sonuçlanmaktadır. Firma neredeyse tüm

kanat kısmının 3B yazıcılarla yekpare üretilmesi için çalışmalara devam etmektedir (Cockburn, 2014).

Daha hafif ve daha sağlam olan karmaşık kafes sistemleri gibi doğadan esinlenilerek üretilen sistemlerin geleneksel üretim metotları kullanılarak üretilebileceğini birçok otomotiv firması düşünmemektedir. Aynı zamanda bu firmalar, ürünün tasarımı ile son ürün arasındaki sürenin 3B yazıcı teknikleri kullanıldığında çok fazla azaldığını da görmüşlerdir. Örneğin *Ducati* isimli otomotiv firması, hızlı prototip üretme metodu sayesinde yeni motorlarının tasarım sürelerini 28 ay sürecektir üretim sürecini 8 aya düşürmeyi başarmışlardır. Kullanılan 3B yazıcı yüksek kalitede baskı almaya, sağlam prototipler üretmeye ve mühendislerin üretilen son ürünlerin tasarım kusurlarını tanıyıp, hızlıca düzeltmesine olanak sağlamaktadır (Rifkin,2013).

Söz konusu 3B yazıcı teknolojileri sağlık, moda, endüstriyel tasarım, gıda ve sinema olmak üzere birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmakta olup, çalışmanın bundan sonraki bölümü bu sektörler üzerinden örneklerle detaylandırılmıştır.

3.1. 3B Yazıcıların Sağlık Sektöründe Kullanımı

Katmanlı-eklemeli üretim teknolojilerinin yaygın olarak kullanıldığı sağlık bilimlerinde, hem medikal ve dental araçların üretimi hem de “*bioprinting*” adı verilen doku üretimi süreçlerinin gerçekleşmesinde büyük aşamalar kaydedilmiştir. Resim 3.1’de görüldüğü gibi medikal alanda, çok hafif ve estetik görünümlü kişiye özel protezler-ortezler üretilmektedir. Benzer şekilde, geleneksel alçılardan farklı olarak hafif ve deriye zarar vermeyen, hava aldırın, herhangi bir kaşıntı ve alerjik reaksiyona sebep olmayan ve estetik görünüm sağlayan yeni nesil alçılar üretilmektedir (URL-17).



Resim 0.12. Çok hafif ve estetik görünümlü kişiye özel üretilen protezler-ortezler (URL-18)

Walter Reed Askeri Sağlık Merkezi'nde askerlerde oluşan kafatası yaralanmalarında kullanılmak üzere 3B yazıcılarla üretilen tabakaların (Resim 3.2) kafatasına yerleştirilme süresi 6 saatten 90 dakikaya düşürülmüştür ve bu teknoloji ile üretilen tabakaların altında ödem birikmesi daha az görüldüğünden enfeksiyon riski de azalmaktadır (Cockburn, 2014)



Resim 0.13. 3B yazıcı teknolojileriyle üretilmiş kafatası doku örneği (Cockburn, 2014)

3B yazıcıların sağlık sektöründe kullanılması için araştırmacılar başka bir fikir daha geliştirmişlerdir. Yaşayan hücreleri kullanarak, insan dokularının ve organlarının, nakil bekleyen hastalar için üretilmesine çalışılmaktadır. Resim 3.3'te görüldüğü gibi, 3B yazıcılarla üretilen bu organların hastaların vücuduna yerleştirilmesine başlanmıştır (Gu, Hao, Lu, Wang, Wallace, Zhou, 2015). Benzer şekilde, Queensland Teknoloji Üniversitesi'nde oluşturulan "bio-üretim" merkezinde araştırmacılar kıkırdak, kemik, hatta insan dokusunu 3B yazıcılarla basma çalışmaları yapmaktadırlar (URL-19).



Resim 0.14. Kişiyeye özel doku ve organların geliştirilmesi (URL-19)

3B tarama ve yazıcı teknolojileri ile dental endüstrisi geliştirilerek "dijital dişçilik" e dönüştürülmüştür (Sandalcı, 2016). Bütün bunların yanında dental tedavide kişiyeye özel, tam

uyumlu, protezler ve takma dişler hızlı ve uygun maliyetlerde üretilmeye başlanmıştır (Resim 3.4). Align Technologies her yıl 17 milyon tane her biri özgün olan *ortodontik aligner* (hizaya sokucu) üretmektedir. 3B üretim yöntemiyle belirlenmiş özel bir modele göre tasarlanarak kağıt içerikli bir malzemenin ısı işlem görmesiyle meydana gelmektedir (Gu ve arkadaşları, 2015).



Resim 0.15. 3B yazıcılarla basılan diş protez kalıpları (URL-20)

3.2. 3B Yazıcıların Endüstriyel Ürün Tasarımında Kullanımı

Endüstri ürünleri tasarımında kullanılan 3B üretim teknikleri, havacılık, otomotiv sektörünü, savunma sanayisini, tüketici ürünlerini ve elektronik endüstrilerini kapsamaktadır.

Havacılık sektöründe; 1990'ların ortalarında tamamlanan Boing ve Bell helikopteri, normal üretim yöntemleriyle üretilemeyen parçalarını 3B yazıcı teknolojileri aracılığıyla polimer içerikli malzeme kullanarak elde etmiş olup, 200'den fazla özel parçayı sergileyerek, bu parçaları 16 farklı ticari ve askeri uçaklarında kullanmışlardır (Sandalcı, 2016).

Dünyanın ilk 3B yazıcılarla basılmış uçağı (Resim 3.5) Southampton Üniversitesi tarafından tasarlanmıştır. Bu tasarlanan insansız hava aracının (UAV) yapısının tamamı, arka arkaya bir katmanlama tekniği ile plastik veya metal parçalardan oluşan bir 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir (URL-21). Southampton araştırmacılarına göre, uçak tasarımının ilk konseptinden uçan prototiplerine geçişi normalde aylar sürmesi gerekirken, bu yeni teknoloji ile yapılan üretim sadece birkaç gün sürmüştür. Herhangi bir üretim ekipmanına ihtiyaç

duyulmadığından, bitmiş uçağın tasarımında değişiklik yapmak veya farklı parçalarda yer değiştirmeyi denemek de hiçbir ücrete tabi olmamaktadır (URL-21).



Resim 0.16. SULSA- ilk 3B basılmış insansız hava aracı (URL-21)

Otomotiv sektöründe ise üretici firmalar bu teknolojilere yatırım yaparak, motorlu araçların hızlı prototiplerini üretmek adına eklemeli üretim yöntemlerini kullanmaya devam etmektedir. Gövdesi 3B yazıcı ile üretilen *Urbee* (Resim 0.17) isimli prototip araba geliştirilmiştir. Tüm dış aksamaları, 3D Systems tarafından geliştirilen *Red Eye on Demand* servis sisteminden elde edilerek üretilmiştir. (URL-22)



Resim 0.6. *Urbee* -3B prototipi üretilmiş araba (URL-22)

Oldukça geniş bir ürün yelpazesine sahip olan tüketici ürünleri ve elektronik sektörü cep telefonları, ev elektronik aletleri ve eşyaları, bilgisayarlar, mutfak araç ve gereçleri, tamir aletleri ve oyuncaklar gibi çeşitli ürünlerden oluşmaktadır. Bu endüstrilerde genellikle büyük hacimlerde ama buna kıyasla yaşam döngüleri kısa olan ürünler üretilmektedir. Katmanlı üretim

teknolojisi, ürün geliştirme işlemini hızlandırırken hızlı tasarım değişikliklerine ve optimizasyonlara gidilmesine de olanak sağlamaktadır (Sandalcı, 2016). Resim 3.7’de görülen 3B yazıcı teknolojileriyle üretilmiş ev aksesuarlarından, poliamid çerçeveli gözlüğe kadar türlü mikro ölçekten makro ölçeğe tüketim ürünü bu kategoride üretilebilmektedir.



Resim 0.18. a: 3B yazıcıların endüstriyel ürün tasarımında kullanılması (URL-23), b: 3B baskılı gözlük, menteşeler yerine esnek bağlantılara sahip tek parça baskılı poliamid çerçeveli gözlük (Taylor ve Unver, 2014)

Savunma endüstrisinde ise 3B üretim teknolojileri, üretilen silah gibi ürünlerin boyutlarının küçülmesini ve ağırlığın azalmasını sağlamakta olup, montaj sürecinin de kolaylaşmasını sağlamaktadır (Sandalcı, 2016). Savunma endüstrisinde çığır açan gelişmelere rağmen, 3B yazıcıların açık kaynaklı dosyalarının tüm bilgisayara indirilip, kolayca silah üretimi yapılmasına olanak sağlıyor olması bazı tartışmalara da zemin hazırlamıştır. Resim 3.8’deki gibi bir silahın yazdırılabilir ve tasarım dosyalarının ücretsiz indirilebilir olması ve yerel bir 3B yazıcı ile kolayca üretilmesi bazı güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bunu engellemek için ABD’nin iç güvenlik birimleri bu tür öğelerin kolayca üretimini engellemek için bazı kısıtlamalar içeren bildirimler yayınlamaya başlamıştır. Ancak bu kısıtlamalar silah tasarım ve üretim dosyalarının internetten 100.000 kez indirilmesini önleyememiştir (Cockburn, 2014)



Resim 0.19. 3B yazıcılarla üretilen silah (Cockburn, 2014)

3.3. 3B Yazıcıların Moda Sektöründe Kullanımı

Moda ve tekstil alanlarında 3B yazıcılar, malzeme, tasarım ve üretim süreçlerini birleştiren bir teknolojik yeniliktir. Özellikle bu yöntemle tasarımın kişisel özellikleri tamamen karşılayacak şekilde yapılabilmesi ve buna göre ürün geliştirilebilmesi; giyilebilir teknolojiden, sanatsal ve yaratıcı ürünlerde henüz çok yaygınlaşmamış olsa da, hazır giyim koleksiyonlarına 3B yazıcılar kullanılarak üretilmiş tasarımların önünü açmaktadır (Yıldıran, 2016).

Moda sektöründe 3 B yazıcılar farklı şekillerde kullanılmaktadır. Öncelikle tüm kıyafet bir bütün olarak üretilmekte olup, diğer taraftan dokuma ve örme kısımları yazıcılardan basılabilmektedir. Ayrıca 3B yazıcıların farklı ara yüz programlarıyla özgün ve birbirinden değişik kumaş desenleri tasarlanıp, 3B olarak üretilmektedir. Tasarımcı Michael Schmidt ile mimar Francis Bitonti yenilikçi malzemeler ve teknikler kullanarak Dita Von Teese için 3B yazıcılarla Resim 3.9'da görülen ve 3000 hareketli parçadan oluşan elbiseyi üretmişlerdir (Ferrier, 2014 aktaran Yıldıran,2016).



Resim 0.20. 3000 hareketli parçadan oluşan ilk 3B elbise ve detayı (Taylor ve Unver, 2014)

3B yazıcı teknolojileri kullanılarak dünyaca ünlü stilistler ile moda tasarımcıları hem desen tasarımında hem kumaşların üretiminde bilgisayar modellerinden faydalanmaktadır.

İsraili moda tasarımcısı Noa Raviv, 3B yazıcı unsurları içeren dijital çizimlerden etkilenmiş ve kumaşların üzerine 3B yazıcılarla basılmış farklı gridlerden oluşan kumaşlar tasarlamıştır. Noa Raviv, Resim 3.10'da yer alan elbise tasarımları için “Bir 3B yazılım üzerinde çalışırken 2B ekranda gösterilen gridlerden ve siyah tekrarlayan satırların hacimli nesnelere tanımlanmasından etkilendim ve çizgileri bir tür optik yanılsama olarak kullandım” diyerek en yenilikçi görünüme sahip malzemeleri seçip, yazılımda nesnelere kenarlarını seçilen renkle işaretleyen bir özelliği kullandığını belirtmiştir (URL-24).



Resim 0.21. Noa Raviv tarafından 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak tasarlanmış kıyafetler (URL-24)

Catherine Wales, 3B yazıcı teknolojileri kullanarak kıyafet ve ayakkabı (Resim 3.11) üretmek için vücudun 3B taramasının yapılıp, bir model oluşturulduğunu ve bu modele uygun kıyafet ve ayakkabıların kişiye özel bir şekilde 3B yazıcılarla basıldığını anlatmaktadır.



Resim 0.22. 3B yazıcılarla üretilen ayakkabı modelleri (Taylor ve Unver, 2014)

Standart beden ölçüleri yerine kişiselleştirilmiş üretim yapılması da moda sektöründeki tasarımların kısıtlılıklarını ortadan kaldırmakta olup, 3B yazıcı teknolojisinin avantajlarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. (Wales, 2013 aktaran Yıldırım, 2016). Resim 3.12' de görüldüğü üzere, birçok aksesuar kişinin vücut yapısı, kemiklerinin şekli, boyunun uzunluğuna göre kişiye özel olarak üretilebilmesinin sebebi 3B yazıcı teknolojisinin moda sektörüne kattığı 3B tarayıcılar ve bunların modellenmesini sağlayan yazılımlardır.



Resim 0.23. Kişiyeye özel tasarlanan aksesuarlar (URL-25)

3.4. 3B Yazıcıların Gıda Sektöründe Kullanımı

Exeter ve Brunel Üniversitelerinin önderliğinde, yazılım geliştirici *Declam* ile birlikte 3B yazıcı teknolojisi olan ink jet ilk defa çikolata gıda malzemesi için kullanılarak hassas ısıtma ve soğutma döngülerini gerektiren çikolatanın basımı gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem,

araştırma takımının bu işleme özel geliştirdiği yeni bir sistemle tamamlanmıştır (Sandalcı, 2016).

Barcelona’da *Natural Machines* tarafından üretilen ve “*foodini*” adı verilen ve 1400 dolara mal olan 3B yazıcı ile burgerden keke kadar çeşitli yiyecekler basılmaya başlanmıştır. Resim 3.13’te de yer alan yiyecekler bu teknolojiyen yararlanılarak yapılan üretime örnek olarak gösterilebilmektedir.



Resim 0.24. *Foodini* pizza ve çikolata (Taylor ve Unver, 2014)

3B yazıcı teknolojisinin, tasarımcılara evinde ya da ofisinde kolayca, maliyeti düşük bütçelerle tasarlama ve tasarladığı ürünü birebir üretme şansı vermesi çeşitli sektörlerde geleneksel yöntemler yerine 3B yazıcılarla çalışma sürecine hızlı bir başlangıç yapılmasına sebep olmuştur. Sağlık, otomotiv, savunma, moda, endüstriyel tasarım ve gıda alanlarında kullanılan bu teknolojinin, mimarlık alanında da kullanılabileceği araştırılmış olup, çalışmanın bundan sonraki bölümünde, mimarlık paradigmasının 3B yazıcı teknolojileriyle nasıl değiştiği bazı örnekler üzerinden detaylı biçimde anlatılmıştır. Ayrıca, 3B üretim teknolojilerinin mimarlık alanında hızlı ve maliyeti düşük yapıların inşa edilmesini kolaylaştıracağı ve sonucunda yapı endüstrisinde büyük bir devrim yapacağı da anlatılmaktadır.

4. 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN MİMARLIK DİSİPLİNİNDE UYGULANMIŞ ÖRNEKLER KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Modern dünyanın gereksinimlerini karşılamak, yenilikçi ve yol gösterici tasarım süreçleri ve sonuçları elde etmek amacıyla kullanılmakta olan sayısal tasarım ve üretim araçlarının yapı endüstrisinde “ana bileşen” olduğunu kabullenmekle başlamaktadır. Schon’un vurguladığı gibi “...tasarımdaki kurallar, büyük ölçüde örtüşen ve çeşitli şekillerde uygulanmış, bağlamsal olarak bağımlı ve istisnalar ile kritik değişikliklere tabidir.” (Loukissas ve Sass, 2004).

Mimarların tasarımlarını yaparken, belirli süreçlerden geçerek, bu süreçte yetenekleri kapsamında tasarımlarını kavramsallaştırarak 3B sonuç ürünü elde etmek ve geometrik verileri oluşturmak için bilgisayar ortamında çalışabilecek tamamlayıcı bir araca gereksinimleri vardır. Öncelikle tasarım konsepti oluşturularak bu aşamayı gerçekleştirmek için kullanılacak programa bir kod yazılmakta, sonrasında yazılan kod ile 3B model geliştirilerek sonuç ürünün 3B yazıcılarla üretilmesi ile süreç tamamlanmaktadır. Tüm bu teknolojiler hem mimari konsept aşamasından son ürünü elde etmeye kadar yaşanan tüm süreçleri hızlandırmakta hem de “sonuç ürünün” bilgisayar ekranında görüldüğü şekliyle yazıcılara iletilmesi ve üretilmesine olanak vermektedir. Kuşkusuz ki bu gelişim “mimarlık paradigmasında” köklü değişikliklere yol açma potansiyeline sahiptir. Loukissas ve Sass (2004)’a göre 3B yazıcı teknolojisi tasarımcılar arasındaki tasarım faaliyetlerini sayısal ortamda ifade etme ve sonuç ürünlerin baskılarına hızlı ulaşarak, eleştirel bir tasarım süreci yaratmada ayrıcalık sağlamaktadır. Burada elde edilen prototipin aynı zamanda son ürün (*end product*) olabilme özelliğini vurgulamak da potansiyelin büyüklüğünü gösterecektir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde, 21. yy’da gelişen bu teknolojilerin mimarlık alanındaki tasarım ve üretim süreçlerini nasıl etkileyeceği ve 3B yazıcılarla üretilen sonuç ürünlerinin; gerek bina gerek bina bileşenleri olmak üzere gelecekteki yapı endüstrisini nasıl şekillendirebileceği, inşa edilmiş ya da fikir aşamasında olan mimari proje örnekleri incelenerek, “sosyal, ekonomik ve çevresel” bağlamlarda konunun tartışılmasına bir zemin hazırlanmıştır. Bu bölümün ilk kısmında 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak inşa edilen yapılar incelenmiştir. Bölümün ikinci kısmında ise; fikir aşamasında olan, uzayda inşa edilmesi planlanan projelere yer verilmiştir.

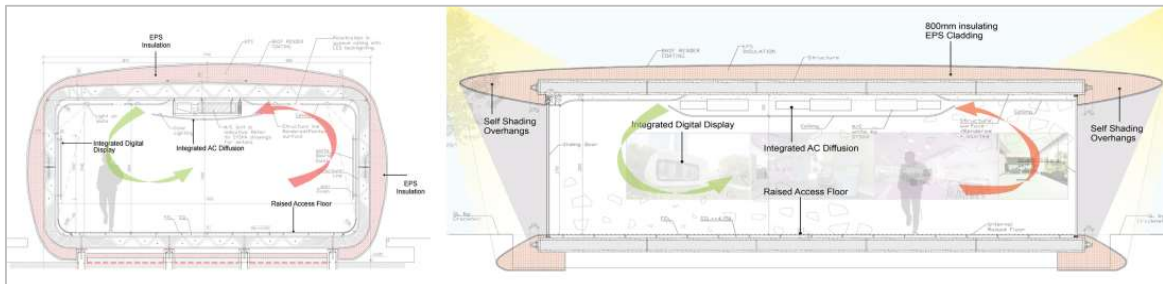
4.1. Geleceğin Ofisi (*Office of the Future*)

“Geleceğin Ofisi” (*Office of the Future*) ismi verilen bu yapı 2016 yılında Killa Design şirketi tarafından tasarlanarak, Dubai’de 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Söz konusu ofis yapısı (Resim 4.1) dünyanın tamamen işlevsel ve sürekli kullanılan 3B yazdırılan ilk binası olmakla beraber, geleceğin ofisi olarak yenilikçi ve ilham verici teknolojiler için bir sergi mekanı ve kuluçka merkezi (*incubation center*) olarak tasarlanmıştır.



Resim 0.1. Yapının genel görünümü (URL-26)

Binada yapım tekniği olarak eklemeli üretim yöntemleri kullanılmıştır. Betonarme malzemenin katmanlar halinde yerleştirilerek inşa edilen bu binada büyük ölçekli bir yazıcı kullanılmıştır. 45°C’den fazla sıcaklığa dayanabilen ve 800 mm kalınlığındaki malzemeler Resim 4.2’de görüldüğü sıcak iklim koşullarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik seçilmiştir. Projede, camdan doğrudan gün ışığı alınmamakta olup, gölgelemek için bazı saçaklar tasarlanmıştır.



Resim 0.2. Geleceğin Ofisi yapısında kullanılan enerji korunumu stajileri (URL-26)

Binada yaratıcı ekipler için Resim 4.3'te görüldüğü gibi, sessiz ve huzurlu bir iç mekan tasarlanmıştır. Tasarımında ve yapımında kullanılan yenilikçi (*inovative*) teknolojiler sayesinde, gelecekteki teknolojilerin önemli bir kuluçka merkezi olmak için başlatılan bir stratejinin parçası olmuştur.



Resim 0.3. Geleceğin Ofisi yapısının iç mekanı (URL-26)

4.2. ETFE – Plastik Çatı Kanopisi (*The ETFE Plastic Roof Canopy*)

2014 yılında, Londra'nın merkezinde yer alan 6 Bevis Marks binasının çatı terasında ETFE Plastik Çatı Kanopisi, dekoratif bir çelik kılıf olarak gölgelik şeklinde tasarlanmıştır (Resim 4.4). Projenin mimarı Priestman, bu yapının inşaat sektöründe belirli bir kullanım için dünyanın ilk 3B yazıcılarla üretilmiş “yapı bileşeni” olduğunu iddia etmektedir (Beyhan ve Arslan Selçuk, 2017).



Resim 0.4. ETFE – Plastik Çatı Kanopisi (URL-27)

Parçalar, binanın kolonları ve kanopinin bağlantı kolları arasında karmaşık bağlantılar oluşturmaktadır. Bir dizi çelik dal kolonun diyagonal olarak oluşturulduğu ve ETFE yastıkları ile yağmura karşı korunma sağlayan çatı bahçesine üst örtü olarak tasarlanan bu

yapı (Resim 4.5), diyagonal strüktürünün cephesiyle sağladığı uyumla bilinen ve dünyaca ünlü Gherkin Binası ile bir doku uyumluluğunu yakalamayı hedeflemektedir.



Resim 0.5. Çelik dal kolonlar ve ETFE yastıkları (URL-27)

Çelik çerçeve kullanılan kanopi yapısında istenilen hafiflik ve şeffaflık Resim 4.6’da görüldüğü gibi sağlanmış olup, çatı katındaki bahçeye yayılarak kesintisiz dairesel bir bölüm oluşturmaktadır. Bu da ağaç şeklinde 8 adet diyagonal (*diagrid*) yapıdan meydana gelmektedir.



Resim 0.6. Kolonlardaki bağlantı detayları (URL-27)

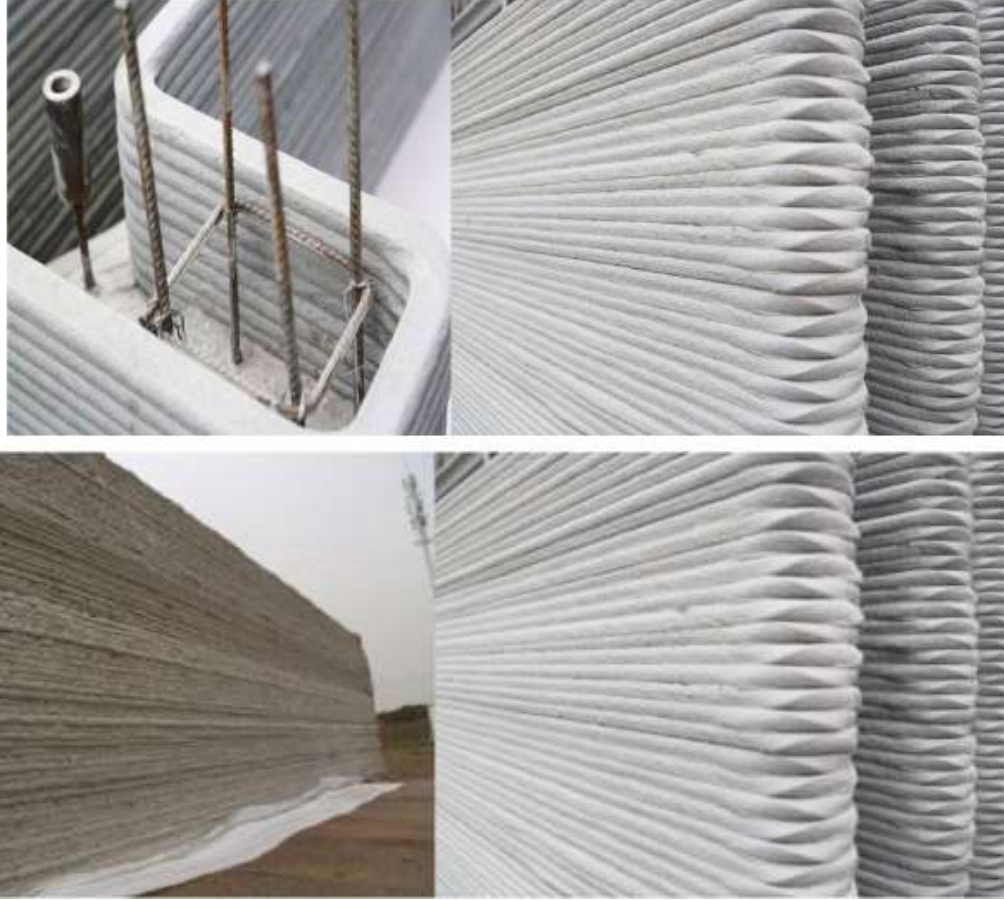
4.3. Winsun – 5 Katlı Ev (*The Five-Storey Building*)

Çin’in Suzhou bölgesinde 3B yazıcılarla, geri dönüştürülmüş beton kullanılarak 5 katlı olarak üretilen bir apartman yapısı olan bu projede (Resim 4.7), söz konusu teknolojiler kullanılarak 2013 yılında dünyanın en yüksek binası üretilmiştir.



Resim 0.7. Winsun, 3B yazıcılarla üretilen 5 katlı ev (URL-28)

Yapıyı özel ve önemli kılan bir diğer konu ise yapımında geri dönüştürülmüş şantiye atıklarından oluşan “patentli bir beton malzemenin” kullanılmış olmasıdır (Resim 4.8).



Resim 0.8. Beton duvar örneği – donatı detayı (URL-28)

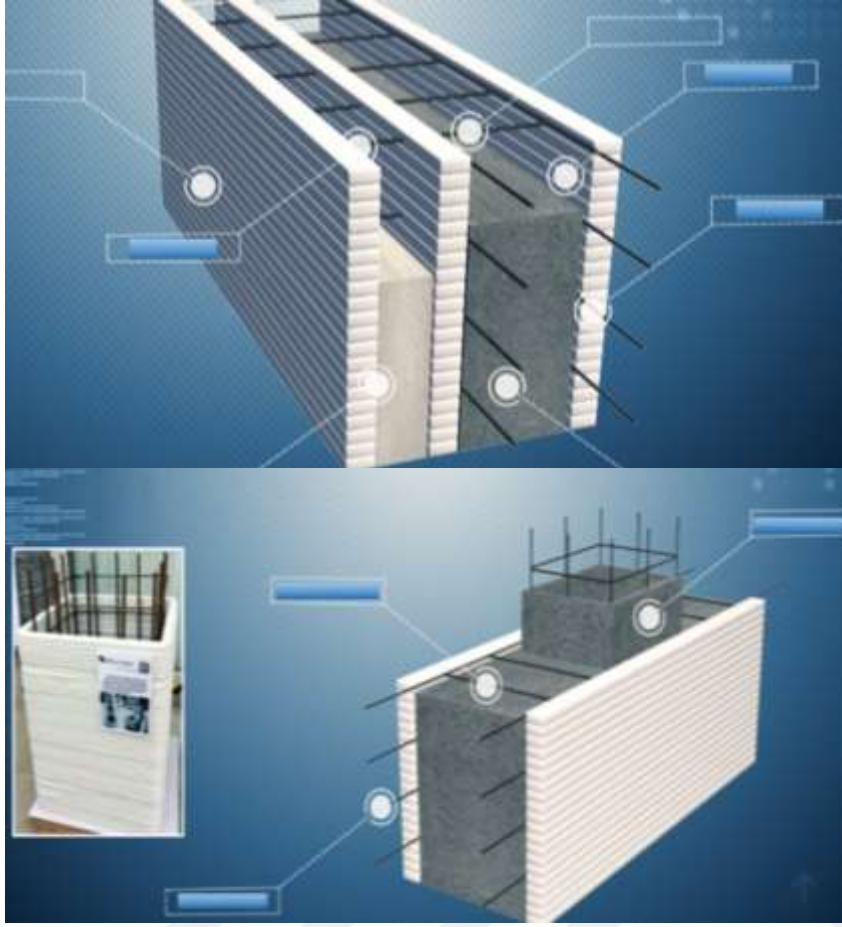
Winsun firması halen farklı yüksekliklerde/katlarda konut üretimi için bu teknolojilerin sağladığı potansiyelleri araştırmaktadır. Örneğin Resim 4.9 da görülen 2 katlı başka bir binanın temeli ve duvarları 3B yazıcılarla üretilmiş olup, çatı kısımları metal konstrüksiyondan yapılmıştır. Ayrıca maliyeti 5.000 ABD dolarının altında olan her bir yapının basılması için çok az insan gücüne gereksinim duyulmaktadır.



Resim 0.9. Binanın yapım aşamaları ve şantiyeden görünüşler ve 3B yazıcılarla üretilen duvarların yerinde monte edilmesi (URL-28)

Söz konusu konutların basılmasında kullanılan 3B yazıcı 6.6 metre yüksekliğinde, 10 metre genişliğinde ve 150 metre uzunluğundadır. Üretim tekniği olarak eklemeli üretim kullanılmıştır. Atık üretimi engellenmiş ve atık beton kullanılarak sürdürülebilirliğe katkı sağlanmıştır. Binanın yapımında kullanılan yapı malzemeleri, ortalama %30 ila 60 arasında bir tasarruf sağlamıştır. Bunun yanı sıra, binanın yapım süresi de %50 ila 70 arası kısalmışken, işgücü maliyeti de %50 ila 80 arasında azaltılmaktadır (URL-28).

Winsun firmasının ürettiği bu evler, geleneksel şantiye alanına göre, çevreyi rahatsız etmeyen, çevre ve gürültü kirliliği yaratmayan, kuru yapım tekniği kullanan ve zaman kaybını azaltan bir yapım metodu sunmaktadır. Bu yöntem ile pahalı ve inşası zor olan alanlarda 3B yazıcılar kullanılarak üretilmiş köyler inşa edilmesinde kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi bu teknolojiler sayesinde geleneksel malzeme kullanımları da gelişmekte ve yeni tektonikler açığa çıkmaktadır. Bir başka ifade ile “beton” alışlagelmiş kullanımlardan farklı detaylarla bir araya gelen / birleşen bir yapı malzemesine dönüşmektedir.



Şekil 0.1. Duvarların yapım şekli -kiriş donatısı ve kolon donatısı (URL-28)

4.4. Kanal Evi (*Canal House*)

2013 yılında başlayan, kamusal erişimi olan ve farklı disiplinlerden araştırmacıların bir araya geldiği uluslararası bir ekip tarafından yürütülen "*Research & Design by Doing*" projesi kapsamında Amsterdam merkezli DUS Mimarlık Ofisi tarafından tasarlanmıştır.

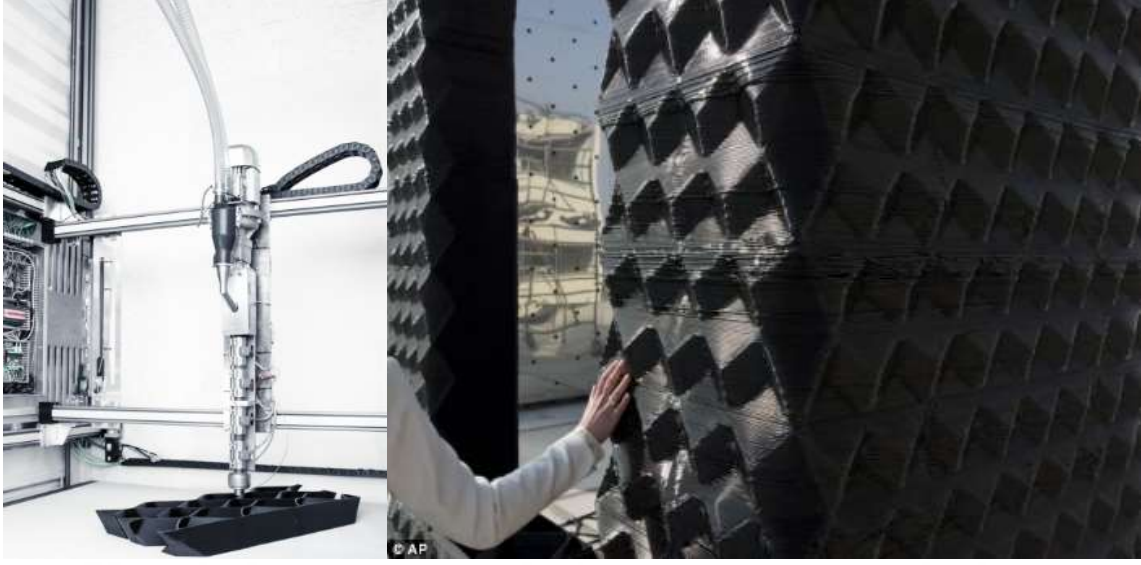
Kanal evi (Resim 4.10) Amsterdam- Hollanda'da yapımına 2013 yılında başlanmış olan ve KamerMaker (*RoomMaker*) ismi verilen 3B yazıcı ile üretilen bir binadır. 3.5 metre uzunluğunda yazıcı, Henkel firması tarafından üretilmiş ve %80 oranında biyolojik temelli sıcak eriyik bir malzeme ile çalışın ve yapı bileşenlerinin basılarak, birleştirilmesine olanak sağlayan bir teknolojiye sahiptir. Yapı aynı zamanda doğası itibarıyla bir araştırma merkezi olarak hizmet etmektedir (URL-29).



Resim 0.10. Binanın alana yerleştirilmesi ve konumu (URL-29)

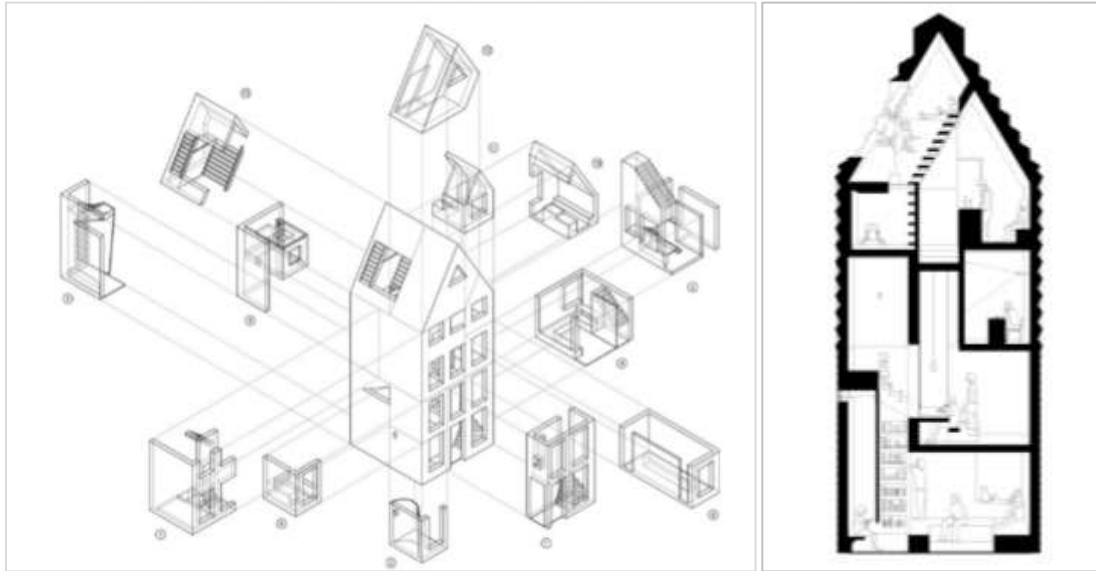
DUS mimarlarından Hans Vermeulen'in "Çok çeşitli sektörlerden farklı ortaklar bu projede birlikte çalışıyor ve birlikte yaparak öğreniyoruz" ifadesini kullandığı bu yapı halka açık şantiye alanıyla bir sergi olarak tasarlanmıştır. İzleyicilerden gelen geri bildirimler, araştırma ve pazar araştırmaları kapsamında şekillenmiş ve araştırma sürecini yoğunlaştırıp hızlandıran kullanıcı testi ve geri bildirim döngüsünün oluşturulduğu bu yapı, araştırma süreci boyunca altı maddeden oluşan *Research and Do* temasıyla üretimi yürütülmüştür:

- Parametrik tasarım yöntemiyle hazırlanmış indirilebilir özel yapım mimari uygulamaları
- XL baskı: KamerMaker'ın gelişimi büyük ölçekli 3B yazıcı (kendi geliştirdiği taşınabilir XL FDM yazıcı) (Resim 4.11 a)
- Yeni biyo-bazlı, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerin geliştirilmesiyle üretilen yapı endüstrileri için sürdürülebilir 3B baskı malzemesi (Resim 4.11 b)
- Yeni inşaat ve yapım teknikleri
- Akıllı teknolojilerin entegrasyonu ile tamamlanan akıllı bina
- Global özelleştirilebilir konut çözümlerini içeren *Scripted* şehir planlaması (Özden,2011).



Resim 0.11. a. KamerMaker'ın gelişimi büyük ölçekli 3B yazıcı b. Biyo-bazlı, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler (URL-29)

Şekil 4.2'deki montaj planlaması şemasında görüldüğü gibi bütün bir ev olarak montajlanmadan önce her oda ayrı ayrı yazdırılmış ve söz konusu birimler montaj öncesi test edilmiştir. Her oda farklı, karmaşık bir eşsiz bir mimari tasarıma sahiptir.



Şekil 0.2. a. Binanın montaj planlaması b. Yapı kesiti (URL-29)

4.5. Echoviren Pavilyonu (*Echoviren Pavillion*)

Echoviren adı verilen geçici strüktür 150 dönüm büyüklüğündeki bir sekoya (kızılağaç) ormanında doğaya saygılı ve duyarlı olarak tasarlanmış ve 2013 yılında 3B yazıcı teknolojisi

ile Gualala, Kaliforniya, ABD’ da üretilmiştir. Şekil 4.3’te projenin konumu ve insan ölçeğiyle karşılaştırılması görülmekte olup, tüm bileşenler tasarımcılar tarafından montajlanarak sahada inşa edilmiştir (URL-30)



Şekil 0.3. Projenin konumu, kesit ve görünüşü (URL-30)

Projenin tasarımcıları Smith | Allen Studio, insan makine ve doğa arasındaki bağlantıları keşfetmek için mimarlık, sanat ve teknolojiyi birleştirmeyi amaçladıklarını ifade etmektedirler. Masaüstü 3B yazıcılarla, parametrik teknolojiler kullanılarak tasarlanan bu geçici strüktürün bileşenleri bire bir ölçekli olarak üretilmiş ve sahada birleştirilmiştir. Birbirinden farklı 585 parça (Resim 4.12) kullanılarak inşa edilen bu strüktürün inşasında 7 tane yazıcı kullanılmıştır. Bu yazıcılar 10800 saat boyunca sürekli çalıştırılarak 2 ay gibi bir sürede tüm bileşenlerin basımı tamamlanmıştır. Bileşenlerin birbirine geçmeli bağlantıları sayesinde monolitik bir forma ulaşılmıştır (URL-30).

Pavyonun üretiminde kullanılan ve PLA (*polylactic acid*) isimli ve tamamen bitki bazlı biyo-plastikten oluşan malzemenin asıl özelliği 30-50 yıl arasında geçen bir sürede tekrar inşa edildiği ormanın ekosistemine katılacak olmasıdır. Bu geri dönüşümlü malzeme, yıllar geçip de çözünmeye ve geri dönüşmeye başladığında, ormanın içindeki böceklerle, yosunlara ve kuşlara bir mikro yaşam alanı oluşturacaktır (Cockburn, 2014).



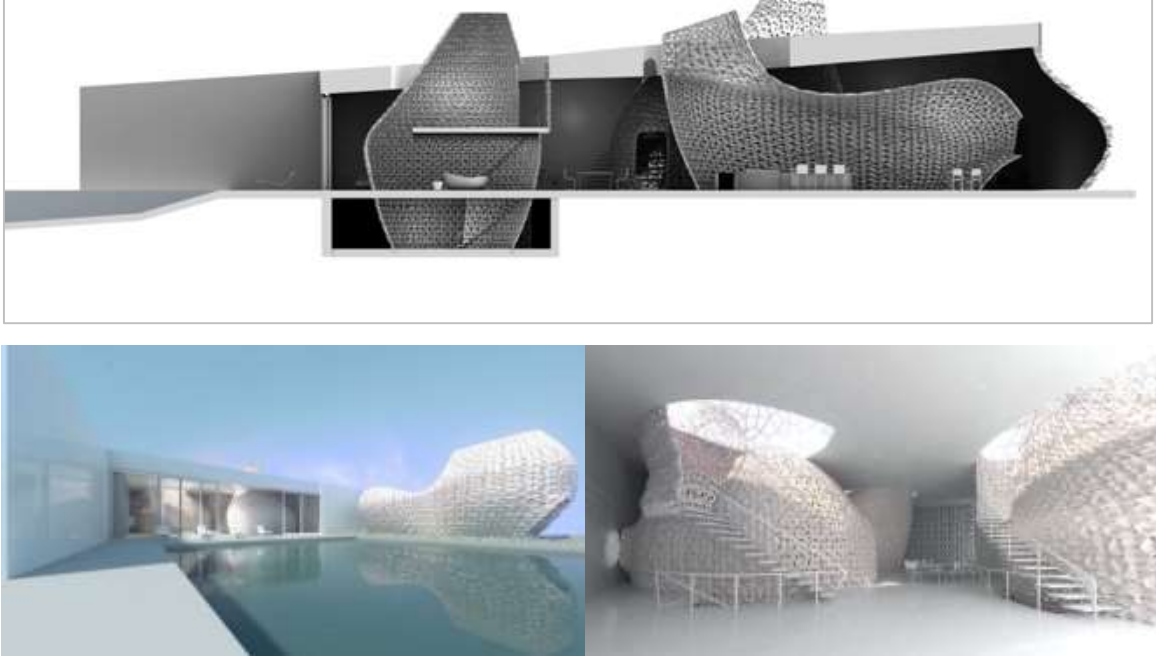
Resim 0.12. Echoviren Pavilyonu'nun orman sahasında montajlanmış son durumu (URL-30)

Orman alanı içindeki bir greft olan Echoviren Pavilyonu, doğal alanla mimari yapı arasındaki bağı anlamak için oluşturulmuş bir alan niteliğindedir. Ormanın özüne sadece doğal bir sistem olarak değil, aynı zamanda *palimpsest* olarak odaklanan bu yapı, parçalar içindeki hibrid deneyim, güncel peyzaj içinde gizlenmiş, bir alanın birikmiş yinelemelerini vurgulamaktadır. Dinamik bir şekilde doğal olan ve olmayan müdahalelerin ekosistemini ve bunun teknolojiyle ve insanla bağlantısını doğayı kullanarak ele almaktadır (URL-31).

4.6. 3B Basılmış Ev 1.0 (3D Printed House 1.0)

3B yazıcı teknolojilerinin kullanıldığı bu yapı, ABD'de Kaliforniya eyaletinde *Emerging Objects* isimli firma tarafından üretilmiştir. Bu firmanın sahibi ve Kaliforniya Üniversitesi profesörlerinden Ronald Rael 3B yazıcı teknolojileri ile geleneksel ev yapım yöntemlerinin

bütünleşmesi ile inşa edildiğini bildirmektedir. Bu projede binanın dış duvarları değil, iç duvarları 3B yazıcılarla üretilmiştir. Çin'in Beijing bölgesinde, binanın tamamı olmasa da bazı bileşenlerinin 3B yazıcılar kullanılarak basılan 3B Basılmış Ev 1.0 geleneksel üretim tekniği ile yazıcı teknolojisinin iç içe geçmesiyle inşa edilmiştir.



Şekil 0.4. 3B Basılmış Ev 1.0 a. Yapının kesiti b. Yapının genel görünüşü c. Yapının iç mekan görünüşü (URL-32)

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere bu bina geniş odaların damar şeklinde alt odalara bölünmesinden oluşmaktadır. Bu damarlı yapı hem yeterince ışığı geçirmekte hem de dışarıda bulunan insanlara karşı bir mahremiyet sağlamaktadır. Binadaki malzemelerin hepsi patentli olup, çimento/tuz polimer ve fiber betondan üretilmiştir. Çok hafif bir malzeme olmasına rağmen, geleneksel çimentodan daha güçlü olan yapısı, kumlanmış parlak ve saten bitişli görüntüsüyle ilham vericidir (URL-32)

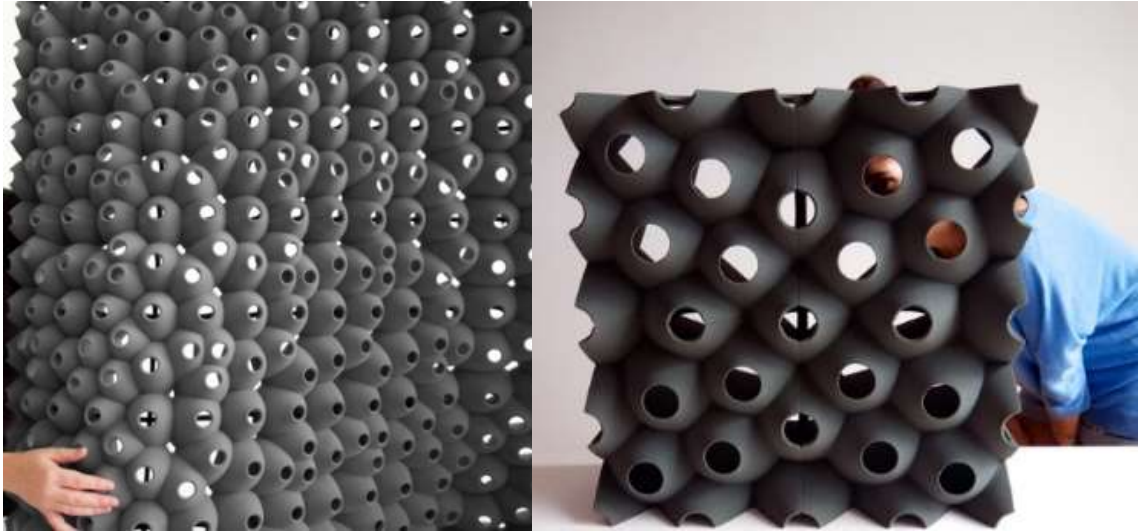
Yapımında birden fazla endüstriyel düzeyde 3B yazıcı kullanılmış ve bunlarla binanın tuğla ve sıva-fayans gibi küçük parçaları üretilmiştir. Üretilen materyaller; atıklardan, yenilenebilir enerji kaynaklarına kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır. Bu şirket, hem yenilikçi hem de yenilenebilir ve üretimde kullanılacak parçaları üretmektedir. Mesela çimento ve tuz polimerinin bir arada kullanımıyla "saltygloo" adı verilen kabuklar üretilmiştir (URL-32). Bir çeşit yapıştırıcı ile güçlü, sert, hafif, yarı saydam, ucuz, su geçirimsiz bir yapı elde edilmiştir. Kullanılan tuz, kristalleştirme göletinden çıkarılmıştır.

Yani bu teknoloji yerel ve doğal malzemelerin hatta geri dönüştürülebilir tüm malzemelerin kullanımını da desteklemektedir. Patentli olan bu çok hafif malzeme, geleneksel çimentodan daha güçlü olan yapısı, aynı zamanda daha kumlanmış parlak ve saten bitişli görünmektedir.

Üretilen malzemeler; atıklardan geri dönüştürülebilir malzemelere kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır. Bu 3B yazıcıların toz halindeki maddeyi kullanabilme özelliği toz haline getirilebilecek tüm malzemeleri baskı amacıyla kullanabilmek anlamına gelmektedir. Bu ise özellikle mimarlık alanında paradigmatik değişimlerin artarak devam edeceğinin en büyük göstergesidir. Hem malzeme hem de kullanılan yazıcı sayesinde kesinlik (*precision*) ve hassasiyet diğer örneklerle göre daha fazla olmuştur (URL-32).

Binanın üretiminde tek bir büyük ölçekli 3B yazıcı kullanılmamıştır. Bunun yerine sürekli üretimin sigortası gibi olan bir yazıcı çiftliği kurulmuş ve bina bileşenleri bu yazıcılarla üretilmiştir. Böylelikle herhangi bir yazıcının bozulması üretimi durdurmamış, diğer yazıcılarla binanın bileşenlerinin basımına devam edilmiştir.

Dış duvarlar 30x30x30 cm'lik bloklardan oluşmaktadır. Bu blokların özelliği yüzeyindeki açıklıklardan iç mekâna ışığın alınmasına olanak vermesidir (Resim 4.13).



Resim 0.13. Duvar blokları (URL-32)

4.7. Proto Evi (*Proto House*)

Proto Evi, Soft Kill Design şirketinin tasarımcıları olan Nicholette Chan, Gilles Retsin, Aaron Silver, Sophia Tang'dan oluşturulan bir ekiple tasarlanan kavramsal bir konut projesidir (Resim 4.14). Tasarımın prototipi 2012 yılında 3B yazıcıyla üretilmiştir (URL-33).



Resim 0.14. Soft Kill Design tarafından kemik dokusundan ilham alınarak tasarlanan ev (URL-33)



Resim 0.15. Kemik yapısını andıran lifli duvar dokusu kaynak (URL-33)

Evin parçaları üç haftada fabrikadan çıkabilecek ve bir günde birleştirilecek şekilde planlanmıştır. Tek katlı plastik ev, 8 metre genişliğinde ve 4 metre uzunluğunda tasarlanmıştır. Evin parçaları birleştirilirken farklı bir yöntem kullanılmaktadır. Parçalar birbirine vidalamak ya da kaynaklamak yoluyla değil de, düğme benzeri bir sistemle birleştirilmektedir (Cockburn, 2014). Resim 4.15'te de görüldüğü gibi evin yapısı kemik büyümesini taklit eden ve lifli bir ağ gibi biriken bir malzemeden üretilmiştir. Yapının

gözenekli olması, yağmur suyunun içeriye girmesine olanak sağlamakla birlikte, içten su geçirmez bir yapıya sahiptir.

Mevcut olan en büyük 3B yazıcı ile üretilmesi planlanan ev, büyük kamyonlarla şantiye alanına taşınacak ve toplamda 31 bileşenden oluşan ev bir araya getirilecektir. Söz konusu ev için hem maliyetin azalacağı hesaplanmış, hem de kullanılan malzemelerden ötürü enerji verimliliği ön plana çıkması planlanmıştır (Cockburn,2014). Ayrıca giydirme cephe ve çatı malzemesinin suya dayanıklı paneller ve esnek kumaşlardan basılabilmesi ve bina üzerine dökülebilmesi öngörülmektedir.

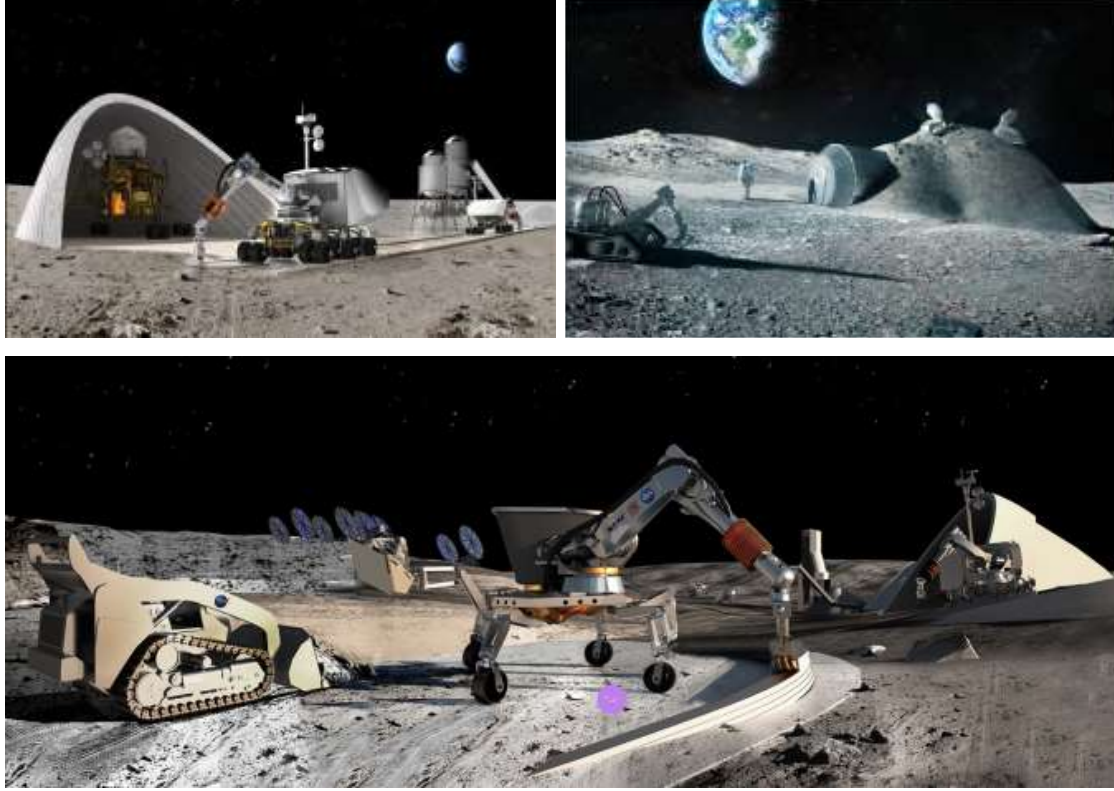
4.8. Uzayda İnşa Edilecek Yapılar

Dünyanın giderek tükenen kaynakları, insanoğlunu dünya dışında hayatta kalma fikrine yönlendirmiştir. Bu sebeple, dünya dışı habitatlarda ve laboratuvarlarda, uzun vadede insan hayatının sürdürülebilir olması açısından, farklı üretim teknikleri araştırılmaktadır. Dünya dışında yaşamaya başlamadan önce, Mars ve Ay'da bulunan alanları insan yaşamına uygun şekilde inşa etmek gerekmektedir. Mars gezegeninde ya da Ay'da insan hayatının uzun vadeli sürdürülebilir olması için gerekli strüktürlerin, habitatların laboratuvarların insanlardan önce uzaya ulaştırılmış ve inşa edilmiş olması hedeflenmektedir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015).

Bundan ötürü, gelecekte kurulması planlanan koloniler için, hızlı bir şekilde altyapı inşa edecek teknolojiler üretilmeye başlanmıştır. Örneğin NASA, uzay istasyonlarında kullanılmak üzere ilk 3D yazıcıyı onaylarken, yılın başında mimar Foster + Partners aydaki yaşanabilir yapıları basmak için teknikler üzerinde çalıştığını açıklamıştır (URL 34). Bu teknoloji arazideki kaynaklardan yararlanmayı amaçlamakta ve Ay yüzeyindeki, ay tozu da (*lunar regolith*) denilen, malzemenin bir yapı malzemesine dönüştürülerek kolayca kullanılmasını ve dolayısıyla sürdürülebilir yapılaşmaya olanak sağlayacaktır (Leach, 2014).

Bu NASA tarafından yoğun bir biçimde ele alınmakta ve genç tasarımcıların uzaydaki insan habitatı ve inşaat süreci üzerine düşüncelerini ve üretmelerini sağlayacak yarışmalar düzenlenmektedir. Örneğin, 2015 yılında gerçekleştirilen "In-Situ Materials Challenge" yarışmasını Kennedy Space Center ve Swamp Works firmaları kazanmıştır. Önerilen 3B yazıcı teknolojisi, sıfır yerçekimi koşullarında etkin bir şekilde çalışılabilmesinden ötürü,

Uluslararası Uzay İstasyonunda yedek parça ve araçların imalatı için ideal bir sistem olarak değerlendirilmiştir (URL 34).



Resim 4.19. Ay yüzeyinde ay tozu ile üretilmesi planlanan projeler (URL 34)

NASA dünya dışı malzemelerle ve 3B yazıcıları kullanarak, "yeni" habitatlar geliştirmek için açtığı yarışmada insanın en önemli ve temel ihtiyacının "hala" barınak olduğunu vurgulamaktadır. Başka bir gezegende yeni yaşam alanı inşa etme gayretindeki tasarımcılar için "sürdürülebilir" konut çözümleri, malzeme ve inşaat teknolojilerini geliştirme sürecinde 3D yazıcıların esin verici olması hiçte şaşırtıcı değildir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015).

Çizelge 0.1. 3B yazıcı teknolojisiyle tasarlanan veya üretilen yapılar (derlenerek yazar tarafından tablolştırılmıştır)

	İSİM	GÖRSEL	KÜNYE	YAPILIŞI / ÖZELLİĞİ
1	GELECEĞİN OFİSİ		DUBAİ 2016	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> TÜM BİLEŞENLER 3B YAZICI İLE ÜRETİLDİ
2	PLASTİK (ETFE) ÇATI KANOPİSİ		İNGİLTERE 2014	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> TÜM BİLEŞENLER 3B YAZICI İLE ÜRETİLDİ
3	5 KATLI APARTMAN		ÇİN 2013	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> TÜM BİLEŞENLER 3B YAZICI İLE ÜRETİLDİ
4	KANAL EVİ		HOLLANDA 2013	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> TÜM BİLEŞENLER 3B YAZICI İLE ÜRETİLMEMEYE BAŞLANDI
5	ECHOVİREN PAVİLYONU		ABD 2013	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> TÜM BİLEŞENLER 3B YAZICI İLE ÜRETİLDİ
6	3B BASILMIŞ EV 1.0		ÇİN 2013	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> BAZI BİLEŞENLER 3B YAZICI İLE ÜRETİLDİ
7	PROTO EVİ		Henüz inşa edilmedi. 2012	<u>EKLEMELİ ÜRETİM</u> PROTOTİPİ 3B YAZICI İLE ÜRETİLDİ. HENÜZ İNŞA EDİLMEDİ.



5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Tez çalışması boyunca yapılan araştırmalar ve bir önceki bölümde incelenen 3B yazıcılarla tamamı veya bazı bileşenleri üretilmiş yapılar üzerinden 3B yazıcı teknolojilerinin mimarlık alanındaki etkileri araştırılmış olup, bu etkilerin sosyal, ekonomik ve çevresel açılardan nasıl sonuçlar getirdiğine dair bazı bulgular elde edilmiştir. Bu bağlamda, 4. Bölümde açıklanan mimari örneklerin analiz tabloları oluşturulmuş, hesaplamalı tasarım ve üretim tekniklerinin 21.yy dünyasında yapılaşmaya katkılarının ve etkilerinin potansiyelleri tartışılmıştır.

5.1. Mimarlıkta 3B Yazıcı Kullanımının Sosyal Boyutu

3B yazıcıların mimarlık alanında ve inşaat sektöründen kullanılmasının pek çok sosyal değişime dönüşüme yol açacağı tahmin edilmektedir. Örneğin, geleneksel yöntemlerle inşaat yapılan şantiyelerde erkekler çok daha yüksek oranda çalışmaktadır. Kadınların inşaat sektöründe çalışma oranları oldukça azdır. Aynı zamanda yaşlı ve engelliler de inşaat sektöründe fiziksel güç gereksinimi fazla olduğundan iş bulmakta zorlanmaktadırlar. Ancak 3B baskı teknolojilerinin inşaat sektöründe kullanılmaya başlanmasıyla, her profilden insana iş olanağı sağlanmaya başlayacaktır.

Geleceğin şantiyelerinde yeni rollerin ve sorumlulukların neler olacağını söylemek zor olsa da, manuel işçilik azalırken, otomasyon artacaktır. Böylelikle alanında uzmanlaşmış, 3B yazıcıların bakımlarını onarımlarını yapabilen, her yaş gurubundan ve profilden işçiye çalışma olanağı sağlanması beklenmektedir.

Teknik açıdan daha fazla zeka ve otomasyonun işin içinde yer almaya başlaması ile bu teknolojiler, inşaat sektörünün şimdiki algısının değişiminde iyi bir yol kat etmesini sağlayacaktır. Bu da inşaat sektöründe kadınlara ve yaşlılara ve engellilere daha fazla iş imkanı verecektir. Şantiyelerde işçi sayısının azalıp, otomasyonun artması ile iş kazaları ve yaralanmalar azalacaktır.

3B yazıcılarla üretilen konutları, dünyada giderek artan evsizlik sorununa iyi bir çözüm getirebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, savaş mağduru mülteciler ve afetzedeler için,

çadırdan daha konforlu ve hızlı bir şekilde üretilen barınma alanları bir rehabilitasyon yöntemi olabileceği düşünülmektedir.

5.2. Mimarlıkta 3B Yazıcı Kullanımının Ekonomik Boyutu

Mimarlık disiplini inşaat sektörünün baş aktörüdür. İnşaat sektörü ise tüm dünyada ekonominin dinamiklerinin sürdürülebilir olması açısından önem arz eden bir sektördür. Bir başka ifade ile mimarlık alanında yaşanacak paradigmatik değişimler inşaat sektörünün dolayısı ile ekonomiyi doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyecektir. 3b yazıcıların tüm disiplinlerde olduğu gibi mimarlık alanında da ekonomik açıdan etkiler yaratacağı ön görülmektedir.

Örneğin, geleneksel inşa etme yöntemlerinde kullanılan betonun kuruması ve istenen düzeye gelmesi uzun zaman almaktadır. Ancak 3B yazıcılarla üretilen beton blokların ya da duvarların böyle uzun sürelere ihtiyacı kalmamaktadır. Geleneksel yöntemlerle 6-7 ay kadar inşaat süresi olan bir ev, 3B yazıcı teknolojisi ile 24 saatte üretilebilmektedir. Bu da daha az işçi sayısı ve daha az tüketim anlamına gelmektedir. Ayrıca şantiyede işçi ve malzeme sayısı azaldığından, atık oluşumu da en aza indirgenmiş olup, şantiyelerin masrafları düşmektedir. Ayrıca nakliye ve lojistik sırasında montajlanacak malzemelerin zarar görmemesi için eklenen bazı malzemeler, inşaat sırasında işe yaramamaktadır. 3B yazıcılarla, şantiye alanında üretime geçileceğinden, nakliye sırasında gerekli olan fazla malzemeler taşınmaz, bu da lojistik açıdan tasarrufa sebep olmaktadır.

Yapıların tasarım sürecinde mimarlar, mühendisler, müteahhitler, müşteriler ve yöneticiler etkin roller oynamaktadırlar. Bu teknolojilerin kullanımıyla beraber, yapı bütünlüğünü sağlamak için modelleme ve simülasyon teknikleri mimarlar tarafından kullanılabilir ve bu da tasarım maliyetini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Ayrıca mimarlara karmaşık tasarımlar kısa sürede ve az maliyetle tasarlama ve üretme olanağı sağlayan 3B yazıcılar dünyada daha yaygınlaşacak düzeye gelmektedir.

Bu teknolojileri kullananlar tasarım sürecinde oluşturulan matematiksel modellerle çalıştıkları için iyi bir model işçiliğine gerek duymaktadırlar. Uygun ve doğru modellenmiş bir tasarımda ise üretim aşamasında sadece gerektiği kadar malzeme kullanılacak ve bu teknolojiler sayesinde malzeme israfı azalmaktadır. Bir başka ifade ile bu teknolojilerde

genel olarak geri dönüştürülmüş malzemeler kullanıldığından ve malzemeleri israf etmeden, sadece tasarımda ne kadar gerekliyse o kadarı kullanılarak üretim yapıldığından, malzeme tasarrufu sağlanarak, maliyet düşürülebilmektedir.

5.3. Mimarlıkta 3B Yazıcı Kullanımının Çevresel Boyutu

İnşaat endüstrisi dünya çapında en büyük atık üreten sektörlerin başında gelmektedir. İnşaatlardan ortaya çıkan atık hacminin geleneksel yapım yöntemleriyle azaltılamadığı açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Ancak 3B yazıcı teknolojileri ile sadece sonuç ürün için gerekli olan malzeme tüketildiğinden, yapının tüm parçaları eksiksiz üretilmekte ve geleneksel inşaatlarda kullanılan kalıp gibi sonradan atık oluşturacak malzemelere yer verilmemektedir.

Ayrıca bu teknolojilerde biyo-malzemeler de kullanılmaktadır ve biyo-bozunabilir kategorisine giren bu ürünler bir süre sonra doğada çözünebilmektedir. Doğaya zarar vermeyen ve ekosistemdeki dengeye katkı sağlayan malzemelerin 3B yazıcıların üretiminin artması ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu şekilde atık malzemelerden geri dönüştürülen ya da doğada çözünebilen malzemeler, doğada çöp oluşumunu azaltmaktadır ve çevre dostu bir yaklaşım sergilemektedir. Şantiye alanlarında gürültü ve çevre kirliliğini en aza indiren ve çevreyi daha fazla koruyan 3B yazıcı teknolojilerinin ileriki yıllarda giderek yaygınlaşması beklenmektedir.

3B yazıcıların mimarlık alanına sosyal, ekonomik ve çevresel açılardan katkıları anlatılmış olup, çalışmanın bundan sonraki bölümünde, tezin 4. Bölümünde yer alan örnekler üzerinden analiz tabloları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Çizelge 5.1 - Çizelge 5.7, bu bölümde, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında birçok faydası olan 3B yazıcılarla bina inşa edilmesini bazı mimari örnekler üzerinden sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmiştir.

Çizelge 0.1. Geleceğin Ofisi (*Office of the Future*) Binasının Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolatırılmıştır)

GELECEĞİN OFİSİ (Office of the Future)	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (<i>Parametric Design</i>)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (<i>Additive Manufacturing</i>)
Yapım yeri/yılı	DUBAİ/2016
Ortaklar	Dubai Belediyesi
Killa Design şirketi üretmiştir. Ben Piper ve Hatem Husseni tarafından tasarlanan tek katlı bir ofis binasıdır.	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> • Şantiyede iş kazaları azalır, işçilerin yaralanma oranı düşer. • Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekmediğinden kadınlar ve yaşlılar da çalışabilir.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> • Daha hızlı inşa süresi, iş gücü ve malzemeden tasarruf sağlamaktadır. • Nakliye ve montaj için ek malzemeye gerek kalmaz • Daha az işgücü kullanımı ile işçi sayısı azaldığından maliyet düşer. • Şantiye alanında atık ve çöp oluşumu azalır. • Maliyeti düşük geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılır. • Karmaşık tasarımlar minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir. • Tasarımcılar modelde gördükleri tüm 2B çizimleri, 3B modele bire bir taşındığını görür, hatalara erken müdahale eder, emek ve zaman israfını azaltır.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Nakliye azalacağından enerji tüketimi ve çevre kirliliği azalır. • Atık oluşumu sadece sonuç ürün için kullanılacak malzeme basılacağından azalmaktadır. • Kalıp gibi sonradan atık oluşturacak malzemeler kullanılmadığından şantiye çöpi azalmaktadır. • Hammadde tekrar kullanılır ve sürdürülebilirliğe katkı sağlanır. • Çöl iklimine uygun olarak tasarlandığından enerji kaybı azalır.

Dünya’da 3B yazıcı teknolojisini en çok destekleyen ülkelerin başında Dubai gelmektedir. Çizelge 5.1’de ifade edildiği gibi, Dubai Belediyesi’nin katkılarıyla üretilen, “Geleceğin Ofisi” isimli tek katlı yapının öncelikle çöl iklimine uygun malzemeler ile tasarlandığından, enerji verimliliği fazla olduğu görülmektedir. Enerji kaybının az olması, atık malzemelerin 3B yazıcılarda daha fazla kullanılması, bu teknolojinin çevresel katkılarından bazılarıdır.

Ayrıca sosyal açıdan bakıldığında; bu teknolojiyle üretilen binalarda iş kazaları azalmakta, ekonomik açıdan ise inşaat süreleri azaldığından maliyetlerde hızlı bir düşüş gözlemlenmektedir.



Çizelge 0.2. Plastik Çatı Kanopisi (The ETFE Plastic Roof Canopy) Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolatırılmıştır)


PLASTİK (ETFE) ÇATI KANOPİSİ	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (<i>Parametric Design</i>)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (<i>Additive Manufacturing</i>)
Yapım yeri/yılı	İNGİLTERE/Londra/2014
Ortaklar	Monteverde Bevis Marks Ltd. Şirketi
<p>Dal şeklinde çelik kolonlardan oluşan çatı örtüsü</p> <p>Fletcher Priest Architects tarafından tasarlanmıştır.</p>	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> • Şantiyede iş kazaları azalır, işçilerin yaralanma oranı düşer. • Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekli olmadığından kadınlar ve yaşlılar da çalışabilir.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> • İnşaat süreleri kısaltmakta ve yapılar hızlı kullanıma geçmektedir. • ETFE (etilen tetrafloroetilen) hafif bir malzemedir, nakliye maliyetini azaltır. • Daha az işgücü kullanımı ile işçi sayısı azaldığından maliyet düşer. • Şantiyede daha az atık oluşur (malzeme ve işçi sayısı azaldığından) • Karmaşık tasarımlar (8 farklı diagrid şeklinde kolonlar) minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Atık oluşumu sadece sonuç ürün için kullanılacak malzeme basılacağından azalmaktadır. • Nakliye sırasında karbon ayak izi azalır. • Kalıp gibi sonradan atık oluşturacak malzemeler kullanılmadığından şantiye çöprü azalmaktadır. • Hammadde tekrar kullanılabilirdiğinden, sürdürülebilir yaşam döngüsü devam eder.

Çizelge 5.2’de ifade edildiği gibi, İngiltere’nin başkenti Londra’da Bevis Mark Binasının çatı katında ETFE malzemesiyle dekoratif bir çelik kılıf olarak tasarlanan çatı kanopisi sekiz farklı ağaç şeklinde kolondan oluşmaktadır. Yapıdaki kısıtlılıklar sonucunda; şantiyede bir araya getirilen ve civatalarla birleştirilen yapıda bağlantı detaylarının görünmemesi gerekmektedir. Ayrıca ETFE yastıkları 3B yazıcılar tarafından kavisli bir şekilde üretilmiştir.

Projede kullanılan ETFE malzemeler çok hafif olduğundan, nakliye sırasında karbon ayak izinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca sistem iklim kontrolünü sağlamakta ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır.




Çizelge 0.3. 5 Katlı Apartman (*The Five-Storey Building*) Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolştırılmıştır)

5 KATLI APARTMAN (<i>The Five-Storey Building</i>)	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (<i>Parametric Design</i>)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (<i>Additive Manufacturing</i>)
Yapım yeri/yılı	ÇİN/Suzhou/2013
Ortaklar	Winsun Firması
<p>Betonun tektoniği değiştii için yenilikçi bir yaklaşım sergilenmiştir.</p> <p>3B yazıcılarla üretilen en yüksek katlı binadır.</p>	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> • Şantiyede iş kazaları azalır, işçilerin yaralanma oranı düşer. • Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekli olmadığından kadınlar ve yaşlılar da çalışır. • Küresel evsizlik sorununu uygun değerde çözebilir. • Açık kaynak kodlarla kullanıcılar kendi evlerinin tasarımına dâhil olabilirler, kiralayacakları yazıcıyla evlerini üretmeye başlayabilirler.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> • İnşaat süreleri kısaltmakta ve yapılar hızlı kullanıma geçmektedir (24 saatte 10 bina üretilebilmiştir). • Montaj için ek malzemeye gerek kalmayacağından malzeme maliyetinden tasarruf edilir. • İşçi sayısı azaldığından maliyet düşer. • Nakliye maliyetleri azalır. • Malzeme ve işçi sayısı azaldığından şantiyede daha az atık oluşur • Karmaşık tasarımlar minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Atık oluşumu sadece sonuç ürün için kullanılacak malzeme basılacağından azalmaktadır. • Şantiyede toz ve gürültü kirliliği azalır. • Nakliye azalacağından daha az enerji tüketimi ve daha az karbon salınımı gerçekleşir • Kalıp gibi sonradan atık oluşturacak malzemeler kullanılmadığından şantiye çöpü azalmaktadır. • Hammadde geri dönüştürülebilir. • Atık beton ve çimento kullanımı ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi, dünyanın, 3B yazıcılarla üretilmiş en yüksek binası olan 5 katlı apartman, atık beton ve çimento gibi malzemelerin geri dönüştürülmesi ile inşaat maliyetini büyük oranda düşürmektedir. Ayrıca binanın duvarlarının arasında kalan boşluklar ile yalıtım yapılabilmekte ve tesisat boruları içinden geçebilmektedir. Bu durum binanın düşük maliyetli olmasının bir diğer sebebi olarak gösterilebilmektedir.

Son zamanlarda artan afetlerden ve savaşlardan sonra, insanların barınma ihtiyaçlarını çadırlar yerine kalıcı konutlarla sağlamak hem uzun vadede maliyeti azaltmakta, hem de insanların kendilerine ait evlerinin olması, afetzedelerin ve mültecilerin rehabilitasyonunu hızlandırmaktadır. 3B yazıcı teknolojileri ile 10 tane ev 24 saatte basılarak, 3B yazıcılarla üretilmiş bir sığınma köyü bile kurulmasına olanak sağlayacaktır. Şantiyede toz ve gürültü azalacağından, nakliye sırasında daha az malzeme taşınması ile masraflar düşeceği için, bu teknoloji daha fazla kullanılmaktadır. Geri dönüştürülebilir hammadde 3B yazıcılar tarafından kullanıldıkça, çevresel sürdürülebilirliğe bu teknoloji katkı sağlamaktadır.

Çizelge 0.4. Kanal Evi (Canal House) Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolaştırılmıştır)


KANAL EVİ (Canal House)	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (<i>Parametric Design</i>)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (<i>Additive Manufacturing</i>)
Yapım yeri/yılı	HOLLANDA/Amsterdam/2013
Ortaklar	Alman Henkel Firması + DUS Architects
<p>Şehrin silüetine uygun bir tasarımı olduğundan sosyal sürdürülebilirlik kavramını desteklemektedir.</p> <p>%80 biyolojik temelli sıcak eriyik malzemeden üretilmiştir.</p>	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> • Şantiyede iş kazaları azalır, işçilerin yaralanma oranı düşer. • Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekli olmadığından kadınlar ve yaşlılar da çalışır. • Küresel evsizlik sorununu uygun değerde çözebilir. • Mülteciler ve afetzedeler için kendi barınma mekânlarını inşa etmek rehabilite edebilir. • Yerel dokuya uyumlu cephe tasarımı ile sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağlanabilir.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> • İnşaat süreleri kısaltmakta ve yapılar hemen kullanıma geçmektedir. • Malzeme maliyetinden tasarruf sağlamaktadır. • Daha az işgücü kullanımı ile işçi sayısı azaldığından maliyet düşer. • Şantiyede daha az atık oluşur. (malzeme ve işçi sayısı azaldığından) • Karmaşık tasarımlar minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Biyolojik malzemeler kullanılır ve sürdürülebilirlik sağlanır. • Tasarımda kullanılacak malzeme basıldığından atık oluşumu azalır. • Nakliye olmadığından (hareketli KamerMaker) enerji tüketimi düşer. • Kalıp gibi sonradan atık oluşturacak malzemeler kullanılmadığından şantiye çöpü azalmaktadır. • Hammadde tekrar kullanılabilirdiğinden, sürdürülebilir yaşam döngüsü devam eder.

Çizelge 5.4’de görüldüğü gibi, Hollanda’da yapımı devam eden ve KamerMaker isimli dünyanın her yerine taşınabilir olan 3B yazıcı ile oda oda üretilen “Kanal Evi” bir çok açıdan tasarımcılara ilham kaynağı olmaktadır. Öncelikle her odanın ayrı ayrı üretilmesi ile binanın farklı aile yapılarına ve ihtiyaçlara göre büyüyüp küçülmesi, tasarımının değişmesi mümkün kılınmaktadır. Bu da tasarımda özgürleşen mimarlar ve kısalan proje sürelerini işaret etmektedir.

Ayrıca kanal evi isimli projenin üretildiği şantiye alanının tüm ziyaretçilere açık olması, 3B yazıcı teknolojilerinin çevreye duyarlı, tozdan ve gürültüden arındırılmış alanlar oluşturduğu görülmektedir. Bu teknoloji ile yerel silüet korunarak, kanal boyunca inşa edilen evlerin dokusunda bir ev tasarlanması da, sosyal sürdürülebilirlik kavramına, 3B yazıcı teknolojilerinin desteğini ortaya çıkarmaktadır.

Son olarak, binada %80 oranında biyolojik temelli sıcak eriyik bir malzeme kullanılması ile çevreye zararlı atıkların oluşması engellenmekte ve bu geri dönüştürülebilir ürünler, atık oluşumunu azaltıp, maliyeti de düşürmektedirler.


Çizelge 0.5. Echoviren Pavilyonu (Echoviren Pavillion) Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolaştırılmıştır)

ECHOVIREN PAVİLYONU (<i>Echoviren Pavillion</i>)	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (Parametric Design)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing)
Yapım yeri/yılı	ABD/ Kaliforniya /2013
Ortaklar	Smith Allen Studio
<p>Biyo-bozunur malzeme ile inşa edilen pavilyon, 50 yıl sonra,ormanın içindeki böceklerle, yosunlara ve kuşlara bir mikro yaşam alanı oluşturacaktır.</p>	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> • Şantiyede iş kazaları azalır, işçilerin yaralanma oranı düşer. • Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekli olmadığından kadınlar ve yaşlılar da çalışır. • Tasarımcılar kendi tasarladıkları mekanları inşa etme özgürlüğüne sahip olabilirler.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> • Montaj süresinin azaltır, hızlı üretim sağlar. • Malzeme maliyetinden tasarruf eder (Nakliye ve montaj için ek malzemeye gerek kalmaz) • Daha az işgücü kullanımı ile işçi sayısı azaldığından maliyet düşer. • Şantiyede daha az atık oluşur (Malzeme ve işçi sayısı azaldığından) • Karmaşık tasarımlar minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Biyolojik malzemeler (biyo-bozunur) doğada çözünür. • Atık oluşumu azalır (Sadece tasarım gerektirdiği kadar malzeme kullanılır) • Nakliye azalacağından daha az enerji tüketimi ve daha az karbon salınımı gerçekleşir • Kalıp kullanılmadığından en az düzeyde şantiyede çöpü oluşur. • Hammadde tekrar kullanılabilirliğinden, sürdürülebilir yaşam döngüsü devam eder.

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi, bir sekoya (kızılağaç) ormanının ortasında inşa edilen Echoviren Pavilyonu'nda PLA (*polylactic acid*) isimli ve tamamen bitki bazlı biyoplastikten oluşan malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin asıl özelliği 40-50 sonra doğada tamamen çözünebilir, bozunabilir olmasıdır. Bu da söz konusu teknolojinin çevreye duyarlı ve atık oluşumunu en aza indirgeyen bir yaklaşımı olduğunu göstermektedir. Ayrıca 3B yazıcı ile üretilen yapı bileşenlerinin tasarımcılar tarafından birleştirilmesiyle de görülüyor ki, şantiye alanında, yapının sahipleri kolayca çalışabilmekte ve sonuç ürünün montajlanmasında yer alabilmektedirler.




Çizelge 0.6. 3B Basılmış Ev 1.0 (3D Printed House 1.0) Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolatırılmıştır)

3B BASILMIŞ EV 1.0 (3D Printed House 1.0)	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (Parametric Design)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing)
Yapım yeri/yılı	ÇİN / Beijing/ 2013
Ortaklar	Jinhai Lake Development + Emerging Objects
Geleneksel üretim tekniği ile 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin iç içe geçmesiyle inşa edilmiştir.	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> • Şantiyede iş kazaları azalır, işçilerin yaralanma oranı düşer. • Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekli olmadığından kadınlar ve yaşlılar da çalışır. • Küresel evsizlik sorununu uygun değerde çözebilir. • Geleneksel beton duvarları olmayan, yüzeyindeki açıklıklardan iç mekâna ışığın alınmasını sağlayan duvarlar, mekânı ilham verici kılmaktadır.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> • Daha hızlı inşa süresi • Malzeme maliyetinden tasarruf (nakliye ve montaj için ek malzemeye gerek kalmıyor) • Daha az işgücü kullanımı ile işçi sayısı azaldığından maliyet düşer. • Şantiyede daha az atık oluşur. (malzeme ve işçi sayısı azaldığından) • Karmaşık tasarımlar minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Yerel malzemeler (<i>salty-gloo</i>) kullanılarak üretilmiştir. • Sadece gerektiği kadar kullanılacak malzeme basıldığından atık oluşumu azalır. • Nakliye azalacağından daha az enerji tüketimi ve daha az karbon salınımı gerçekleşir • Asgari düzeyde şantiyede çöpü oluşur (örn. kalıp kullanılmaması) • Hammadde tekrar kullanılabilirliğinden, sürdürülebilir yaşam döngüsü devam eder.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi, geleneksel yapım yöntemi ile 3B yazıcı teknolojisinin birleşimiyle ortaya çıkan 3B Basılmış Ev 1.0 , yerel malzeme kullanımının dikkat çekmesi ile sürdürülebilirlik kavramına destek olmaktadır. Kullanılan yerel malzeme çimento/tuz polimer ve fiber betondan üretilmiş olup, atık oluşumunu en aza indirmekte ve çevreye zarar vermeyen bir şantiye alanında inşa edilmektedir. Bina yapımında tek bir yazıcı yerine birden çok yazıcı kullanılması ile, hızlı bir inşa süreci meydana gelmektedir. Bu da sonuç ürünün maliyetini en aza indirmektedir.



Çizelge 0.7. Proto Evi (Proto House) Analizi (derlenerek yazar tarafından tablolaştırılmıştır)

PROTO EVİ (Proto House)	
Tasarım yaklaşımı	Parametrik Tasarım (Parametrical Design)
Üretim yöntemi	Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing)
Yapım yeri/yılı	2012 (prototip üretildi)
Ortaklar	Soft Kill Design
<p>Kemik yapısını andıran lifli duvar dokusu sağlamlığı artırmaktadır.</p> <p>Prototip şeklinde üretilmiştir.</p>	
3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN BU PROJE ÖZELİNDE MİMARLIK ALANINA OLASI KATKILARI	
SOSYAL	<ul style="list-style-type: none"> Fiziksel güç ve uzmanlaşmış işçilik gerekmediğinden kadınlar ve yaşlılar da çalışabilir. Küresel evsizlik sorunu çözülebilir.
EKONOMİK	<ul style="list-style-type: none"> Daha hızlı inşa süresi, iş gücü ve malzemeden tasarruf sağlar. Nakliye ve montaj için ek malzemeye gerek kalmaz Daha az işgücü kullanımı ile işçi sayısı azaldığından maliyet düşer. Şantiyede daha az atık oluşur. Daha uygun maliyetli geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılır. Karmaşık tasarımlar minimum maliyetle özelleştirilmiş olarak üretilir.
ÇEVRESEL	<ul style="list-style-type: none"> Bu teknolojiler doğaya zarar vermeyen, lifli yapıda doğal malzemeler kullanımına izin verir. Lifli şekilde üretilen yapı enerji tüketimini azaltır. Nakliye azalacağından enerji tüketimi ve çevre kirliliği azalır. Atık oluşumu azalır. Hammadde tekrar kullanılacağından sürdürülebilirliğe katkı sağlanır.

Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi, Proto Evi, parçaları 3 haftada üretilip, 1 haftada birleştirilecek şekilde tasarlanmıştır. Gerçek boyutlarda üretilmesi planlanan evin parçaları büyük kamyonlarla şantiye alanına taşınacaktır. Söz konusu ev için hem maliyetin azalacağı hesaplanmış, hem de kullanılan malzemelerden ötürü enerji verimliliği ön plana çıkması planlanmıştır. Söz konusu ev için hem maliyetin azalacağı hesaplanmış, hem de kullanılan malzemelerden ötürü enerji verimliliği ön plana çıkması planlanmıştır.

Sonuç olarak Çizelge 5.1-5.7 arasında anlatılan tüm örnekler ışığında, 3B yazıcılar kullanılarak tasarlanan, tamamı ya da bazı parçaları üretilen yapılar üzerinden bazı analizler yapılmış ve bu analizler sonucunda, çağımız dünyasının geldiği inşa etme sürecinin nasıl değişip geliştiği sosyal, ekonomik ve çevresel konular üzerinden irdelenmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çağımız mimarlığının geldiği noktayı analiz edebilmek için, 21. yy'da hızla değişen teknolojik gelişmeleri anlamak ve irdelemek gerekmektedir. Gelişen teknolojinin etkisiyle mimari tasarım/üretimine yönelik yenilikçi teknik ve yöntem arayışları hız kazanmıştır. Bu bağlamda günümüz mimarlarının tasarlama ya da yapma biçimleri ve mesleki rolleri teknolojideki gelişimin yol açtığı değişimler sebebiyle geçmişteki mimarlara göre farklılıklar göstermektedir. Tasarımcılar, ürünü tasarlamaktan çok süreci tasarlama ve yapma eylemi yerine seçme eylemine doğru yönelmektedirler.

Teknoloji ile birlikte değişen/gelişen ve sayısal mimarlık adı altında toplanabilecek mimari yaklaşımların sonucunda ortaya çıkan ürünlerin/denemelerin hem sayıları hem de nitelikleri her geçen gün artarak yaygınlaşmaktadır. Yakın geçmişe kadar salt bir çizim ve sunum aracı olarak kullanılmakta olan dijital ortam artık bu yüzyılda karmaşık verilerin ve çok sayıda ve çeşitte bilginin işlenebildiği bir platforma dönüşmüştür. Tezin 2. Bölümünde detaylı olarak ele alınan bu konuda “sayısal ortamın tasarım anlayışına olan etkilerinin” neler olabileceği şöyle sıralanabilir:

- Sayısal ortamın sunduğu hesaplama gücü tasarımın kavramsal sürecinin somutlaştırılarak bir tasarım ürününe dönüştürülebilmesini kolaylaştırmaktadır.
- Bu teknolojiler sayesinde karmaşık geometriler ve özgür formlar ile çalışılabilme olanağı artmış, farklı mekanların deneyimlenebilmesi sağlanmıştır.
- Tek bir model üzerinden tasarımdan üretim kadar pek çok paydaşla eş zamanlı ve üretken işbirliği olanaklı hale gelmiştir.
- Dijital teknolojiler ile strüktürel optimizasyon, iklimlendirme hesaplamaları, akustik analizleri gibi bina performansına yönelik simülasyonlar yapmak mümkün olmakta ve elde edilen alternatiflerin içinden eniyilenmiş olanın (*optimized*) seçilmesi kolaylaşmaktadır.

Özellikle hesaplamalı ortamlarla eş zamanlı çalışabilen üretim araçlarının yaygınlaşması, mimarlık alanında kullanımını kolaylaştıran arayüzlerin gelişmesi ve neredeyse her türlü malzemenin filament olarak kullanılabilirdiği 3B yazıcı teknolojileri devrim niteliğinde bir potansiyelle sektöre girmiştir. Böylelikle bilgisayarlar tasarımda işbirlikçi bir rol oynamanın yanı sıra üretim sürecini de etkilemiş ve dönüştürmeye başlamıştır.

Bu bağlamda, bu tezde milenyum sonrası 3B yazıcıların mimarlık alanında yapmış olduğu etki değerlendirilmiştir. III. Endüstri Devriminin mimarlık alanında yaratacağı olası değişimlerin ve hızla gelişen 3B yazıcı teknolojilerinin mimarlıkta kullanım olanakları tartışılmıştır. Araştırma problemi olarak tariflenen ve “söz konusu teknolojilerin mimarlığın bugününü ve geleceğini nasıl şekillendireceği” sorusu ise maddeler halinde şu şekilde yanıtlanmıştır;

- Tasarım bilgisi üretim bilgisi ile eşzamanlı olarak gelişmekte ve bu durum tasarımcının tüm süreçlerde etkin bir rol almasını sağlamakta/zorunlu kılmaktadır.
- 3B yazıcılarla uyumlu çalışabilen yenilikçi malzemelerin üretimi ve malzeme ile strüktürün beraber çalışması sayesinde, tasarım sürecinde ve binanın inşasında geçen süre kısalmaktadır
- Yenilikçi teknolojilere ve gelişen tasarım ve yapım tekniklerine hakim olmak, tasarımcının ayrılmaz parçası olan modelleme programlarını kontrol altında tutmak, masa başında çizilen bir fikrin, anında sonuç ürününü elde etmek, mimarlık dünyasında paradigmatik değişimin öncüleri olabilecek yapılar üretmenin inşa etmenin önünü açmaktadır.
- Malzemenin hesaplanabilirliği sayesinde kısıtlayıcı özellikleri aşılmakta ve malzemenin kendi doğal kapasitesini en üst düzeye çıkarabilecek tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum alışılmış tektoniklerin de sınırlarını zorlayarak yenilikçi tektoniklerin oluşmasının sağlamaktadır.
- Hesaplamalı tasarım araçları ve bilgisayar destekli üretim/tasarım/üretim ve malzemeleştirme süreçleri arasında geleneksel yöntemlere göre daha etkin bir entegrasyon sağlamaktadır.
- Bu teknolojiler tüm "sürecin" bütüncül olarak tasarımını olanaklı kılmış, böylelikle başta karmaşık formların tasarımı, eniyilenmesi ve üretimi olmak üzere, pek çok avantajı beraberinde getirerek mimarlık alanında paradigmatik bir değişimi/dönüşümü de başlatmıştır.

Bahsedilen değişimin ve gelişimin birçok açıdan ele alınması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, mimarlık ve yapılaşma dünyasındaki 3B yazıcıların kullanımının, sosyal çevresel ve ekonomik alanda hangi açılardan katkıları olduğu ve gelecekte hangi alanlarda sorunlarla karşılaşılacağı tartışılmıştır. Buradan yola çıkarak, “inşaat yapım tekniklerinde 3B yazıcı teknolojisi kullanımının artması ile sosyal, ekonomik ve çevresel bağlamda

mimarlık paradigmaları nasıl değişecek ya da etkilenecek ve ne gibi sonuçlar ortaya çıkaracaktır?” şeklinde ortaya çıkan alt problemler ise incelenen örnekler sonucunda şöyle yanıtlanmıştır:

- 3B yazıcı teknolojilerinin mimarlık ve yapım alanında kullanımının artması ile geleneksel yapım tekniklerine meydan okumaya başlayan bir süreç ortaya çıkmakta olup, malzemelerin yapısal özelliklerini, performanslarını ve sürdürülebilirliğini sorgulama ve keşfetme ihtiyacı oluşmaktadır.
- Özellikle 3B yazıcılarda kullanılan malzemelerin biyolojik bazlı olması, doğada bozunabilirliği, geçmişten gelen yapılaşmaya ait bazı kesin kabulleri sorgulatmaktadır. Yani bir bina 40-50 yıl sonra doğadaki ekosisteme katılacak, işlevini tamamladıktan sonra, yenisi büyük bir hızla tasarlanıp, üretilebilecektir.
- 3B yazıcı teknolojileri malzeme bilgisini ve ilgili tektoniğin sorgulanmasına yol açmıştır. Örneğin beton tektoniğinin değişmesi ile geleneksel olarak çalışan kolon- kiriş-donatı-çimento birleşimleri yerini pasta kreması şeklinde üretilen sağlam ve güçlü duvarlara bırakmaktadır.
- Dünyada inşaat endüstrisi çok dinamik olduğundan ve hızlı bir ilerleme kaydettiğinden, 3B yazıcı teknolojisinin inşaat sürelerini azaltmasıyla, işçi sayısı ve giderleri azalmakta, maliyetlerde de düşüş yaşanmaktadır. Ayrıca yapım sektöründe otomasyonun artması ile iş gücü maliyetleri azalmakta, fiziksel güç gereksinimi azaldığından, kadın ve yaşlıların istihdamı artmaktadır.
- Şantiyelerde üretim ulaşım maliyetlerini düşürmekte, nakliye sırasında ortaya çıkan enerji tüketimi ve kirlilik azalacağından, çevresel sürdürülebilir bir etki gözlemlenebilecektir.
- 3B yazıcılardan çıkan ürünler hassas (*precise*) üretimler olduğu için gerektiği kadar malzeme kullanılmakta, atık üretimi en aza indirgenip hammadde tasarrufu sağlanmaktadır.
- 3B yazıcılarda kullanılan ve filamentler haline getirilebilen ve geri dönüştürülebilen malzemenin kullanımına olanak sağlamaktadır.
- Yine bu teknolojiler toz haline getirilebilen malzemelerin kullanımına da olanak sağladığı için farklı dünyalarda (Ay, Mars gibi) yapı yapma hayalinin önünü açmaktadır.
- Günümüz toplumunda, değişen iklim koşulları sebebiyle eskiye nazaran daha fazla insan afetlere maruz kalmakta ve bunun sonucu artan bir evsizlik ortaya çıkmaktadır.

Kaynakların yetersizliğinden ve aynı anda çok fazla barınma alanına hemen ihtiyaç doğmasından ötürü, 3B yazıcı teknolojileri sayesinde, 24 saat gibi bir sürede insanlar kendi konutlarını tasarlayıp, üretebilme olanağına sahip olacaklardır. Aynı durum savaş mağduru mültecilerin kendi barınma alanlarını inşa ederek rehabilitasyonlarına katkı sağlamasını da kapsamaktadır.

- Ayrıca 3B yazıcı teknolojisinde meydana gelecek olan her bir gelişim ve değişim, sadece dünyamızda yankı bulmayacak ve uzay teknolojilerine de büyük oranda katkı sağlayacak ve o alandaki gelişmeleri ivmelendirecektir.

3B yazıcıların mimarlık alanına yapacağı sosyal, ekonomik ve çevresel katkıları göz önünde bulundurularak, büyük değişim ve gelişimin günümüz ve gelecekteki inşaat endüstrisini derinden sarsacağı öngörülmektedir.

Öte yandan hala sınırlı ve pahalı bir teknoloji olması, mimarlıkta ilgili sektörlerde tüm paydaşlar arasında yaygınlaşmamış olması, yapılan uygulamalar henüz çok yeni olduğundan kullanım sonrası değerlendirmelere dair verilerin oluşmamış olması bu teknolojilerin zayıf yönleri olarak dikkat çekmektedir. Tüm bu etkilerin yanı sıra, öngörülemeyen bazı problemler de ortaya çıkabilecektir. Örneğin, ürün ve bina tasarımları, açık kodlu kaynak paylaşımı dünyasında korunmasız bir şekilde dolaşmaya ve indirilmeye devam ettikçe, fikri mülkiyet ve tasarım sahipliği anlamında ilginç tartışmaların önüne geçilemeyecek ve 3B yazıcılarla üretim yaygınlaştıkça, mülkiyet ve hesap verme sorumluluğu kanun koyucuları yeni yasal düzenlemeler yapmaya zorlayacaktır.

Sonuç olarak, bu teknolojilerin tüm tasarım ve üretime dayalı disiplinlerde olduğu gibi mimarlık alanında da zengin ve çeşitliliği olan diyaloglara yol açacak, yeni keşiflere ve uygulamalara olanak sağlayacak potansiyeller barındırdığını söylemek mümkündür. Çalışma sonunda elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda sayısal tasarım ve üretim araçlarının özellikle de 3B yazıcıların sağladığı tüm bu olanakların mimari tasarım ve üretim süreçlerine yeni perspektifler kazandırdığı, sosyal ekonomik ve çevresel etkileri ile “yapma biçimlerimizi” değiştirmeye/dönüştürmeye başladığının altını çizmek önemlidir. Mimarlık gündemi için “yeni” sayılabilecek bu teknolojilerin mimarlık pratiği için geniş bir tartışma alanı oluşturması beklenmektedir. Konunun farklı platformlarda farklı perspektiflerde disiplinler arası bir yaklaşımla tartışılması ise gelecekteki çalışmaların yönünü belirleyecektir.

KAYNAKLAR

- Akipek, F. ve İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları Megaron. *YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi*, 2(4), 237-253.
- Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics*, 3(2), 19-30.
- Arslan-Selçuk S. ve Gönenç-Sorguç A. (2015) “Bilgisayar Ekranından Şantiyeye” *Yapı Dergisi*, 407:154-160 (Design and Applied Arts Index (DAAI)).
- Cockburn, M. (2014). *A Printed World: The Possibilities Of 3B Printing In Architecture*, Yüksek Lisans Tezi, Strathclyde Üniversitesi, İskoçya. 10-45, 51-69.
- Çakır, M. (2006). *Bilgisayar Teknolojilerinin Gelişimi İle Ortaya Çıkan Form Üretim Teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 41.
- Erbaş-Korur, Z. N. (2012). *Genetik Mimarlık Kavramının Günümüz Mimarlık Anlayışları İçindeki Yeri*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 63-70.
- Gönenç-Sorguç, A. (2010). Mimarlıkta Sayısal Teknolojilerin Kullanımı: Yeni Tektonikler ve Hibridleşen Malzemeler *Mimarlıkta Malzeme*, Dosya: 21. Yüzyıldan Geleceğe Malzeme, Teknoloji ve Mimarlık no: 15, 41-46.
- Gu, Q., Hao, J., Lu, Y., Wang, L., Wallace, G. G. and Zhou, Q. (2015) Three-dimensional bio-printing. *Science China Life Sciences*, 58(5), 411-419.
- Hadia, H. A. A. (2007). *Form Production Process in Digital Architecture: Thinking, Modelling And Fabrication*. İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 73-75
- İnternet: Güney, Z. (2016). Parametrik Tasarım Nedir?,
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fv3.arkitera.com%2Fg99-.html%3Fyear%3D%26aID%3D2070&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-1, General Motors IBM Lockheed McDonnell Douglas.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teknomold.com.tr%2Fteknomold-kalip-imalat-sanayi_cadcam.html&date=2019-04-03, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.
- İnternet: URL-2, Bilgisayarın İcadı ve Tarihi Gelişim Süreci.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teknokoliker.com%2F2013%2F06%2Fbilgisayar-icadi-gelisim-sureci.html&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-3, Guggenheim Bilbao.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bilbaoactual.com%2Fel-museo-guggenheim-cierra-un-2016-lleno-de-exitos%2F+&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-4, Üstra Ofis Binası, Hanover Frank Gehry.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fi.pinimg.com%2Foriginals%2Fe1%2F2b%2Fd0%2Fe12bd013d0980158124b03740d329871.jpg&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-5, Metropol Parasol.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pinimg.com%2Foriginals%2Fdd%2Ff8%2F48%2Fddf848799f9c7834e41f1a91e654bdbb.jpg&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-6, Zollhof Towers, Dusseldorf, Almanya.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Farc.space.com%2Ffeature%2Fder-neue-zollhof%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-7, Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fpatents%2FUS4575330&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-8, History of additive manufacturing.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwohlersassociates.com%2Fhistory2014.pdf&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-9, 3 Dimensional Printing (3DP).

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mit.edu%2F%7Etdp%2Fwhatis3dp.html&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-10, How 3D Printing works The Vision, Innovation and Technologies Behind Inkjet 3D Printing.

URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.zcorp.com%2Fdocuments%2F791_8914-3DPrintingWhitePaper.pdf&date=2019-04-03, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-11, RepRap Ltd.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Freprapltd.com%2Fabout%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-12, 3D Yazıcı Teknolojisi.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.priyoid.com%2F3d-yazici-teknolojisi%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-13, MakerBot.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.makerbot.com%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-14, D-Shape yazıcı görünümü.

URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fcommons.wikimedia.org%2Fwiki%2FFile%3AD-shape_printer.png&date=2019-04-03, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-15, D-Shape Yazıcı.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fshape.com%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-16, Elipsoid heykelsi yapı.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Finhabitat.com%2F3d-printer-creates-entire-buildings-from-solid-rock%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-17, Yeni nesil alçılar.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frealpharmacy.com%2F3d-printed-cast-lets-broken-arms-breathe-odor-free%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-18, Çok hafif ve estetik görünümlü kişiye özel üretilen protezler-ortezler.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.dezeen.com%2F2016%2F11%2F04%2Fnyq-align-fashionable-3d-printed-back-brace-replaces-current-chunky-designs%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-19, Bio-üretim.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.engadget.com%2F2016%2F11%2F28%2Fhospital-to-get-first-dedicated-3d-tissue-printing-facility%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-20, 3B Yazıcılarla basılan diş protez kalıpları.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fall3dp.com%2F2%2Fdental-3d-printing-all-you-need-to-know%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-21, SULSA- ilk 3 boyutlu basılmış insansız hava aracı.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fnewatlas.com%2F3d-printed-aircraft-flown%2F19383%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-22, Urbee.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fkorecologic.com%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-23, 3B yazıcıların endüstriyel ürün tasarımında kullanılması.

URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tessapicks.com%2Findex.php%3Froute%3Dproduct%2Fproduct%26path%3D63%26product_id%3D77&date=2019-04-03, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-24, Noa Raviv tarafından 3B yazıcı teknolojileri kullanılarak tasarlanmış kıyafetler.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.dezeen.com%2F2014%2F08%2F21%2Fnoa-raviv-hard-copy-fashion-collection-grid-patterns-3d-printing%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-25, Kişiyeye özel tasarlanan aksesuarlar.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.3dhubs.com%2Fknowledge-base%2Fjewelry-3d-printing-applications&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-26, Geleceğin Ofisi.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.killadesign.com%2Fportfolio%2Foffice-of-the-future%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-27, ETFE – Plastik Çatı Kanopisi.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Finhabitat.com%2Fbritish-architect-designs-first-3d-printed-element-for-use-in-the-construction-industry%2Fadrian-priestman-3d-printing-bevis-marks-1%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-28, Winsun.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.winsun3d.com%2Fen%2Fabout%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-29, Kanal Evi.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F3dprintcanalhouse.com%2Fpresskit%2Fe87d3541651c65c485569ee9acb8fc92.pdf&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-30, Echoviren Pavilyonu.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.detail-online.com%2Fblog-article%2Fechoviren-pavilion-by-smith-allen-studio-24731%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-31, Palimpsest.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F419306%2Fechoviren-smith-allen&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-32, Duvar blokları.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F3dprint.com%2F6974%2F3d-printed-house%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-33, Proto Evi.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.dezeen.com%2F2012%2F10%2F23%2Fprotohouse-by-softkill-design%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

İnternet: URL-34, Uzayda İnşa Edilecek Yapılar.

URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcontourcrafting.com%2Fspace-applications%2F&date=2019-04-03>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2019.

Kolarevic, B. (2000, 25-28 Eylül). *Digital Morphogenesis and Computational Architectures, Constructing The Digital Space*, 4th SIGRADI Conference Proceedings, Rio de Janeiro/Brezilya, 98-103.

Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, London: Spon Press.

Köksal, H. (2005). *Dijital Mimarlıkta Tasarım ve Üretim Süreci*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 27-28.

Leach, N. (2014). *3D Printing in Space*. *Architectural Design*, 84(6), 10–113.

Loukissas, Y. and Sass, L. (2004). Rulebuilding: A Generative Approach To Modeling Architecture Using 3d Printers. *In Fabrication: Examining the Digital Practice of Architecture: Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, Cambridge*, 176-185.

Lynn, G. (1993). Architectural Curvilinearity: The folded, the Pliant and The Supple, *Architectural Design*, 102, 24-31.

Lynn, G. (2002). *Canlanan Biçi*. (Çev. N. Togay), Mimarlık ve Sanallık, İstanbul: Boyut Yayınları, 63-89.

Oberti, I. and Plantamura, F. (2015). Is 3D printed house sustainable? *In Proceedings of International Conference CISBAT 2015 Future Buildings and Districts Sustainability from Nano to Urban Scale, Switzerland, 9-11, 173-178*.

Oxman, R. (2008). Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium. *Design Studies*, 29(2), 99-110.

Özden, O. (2011). *Sayısal Mimarlık Uygulamalarının Yapım Süreçlerinin İrdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 55-59.

Perrot, A. (2019). *3D Printing of Concrete: State of the Art and Challenges of the Digital Construction Revolution*. Wiley-ISTE.

Pizzirani, A. (2015). After the Hype: The Way Forward for 3D Printing. *UChicago Undergraduate Business Journal, Spring, (2)*.

Rifkin, J. (2012). The third industrial revolution: How the internet, green electricity, and 3-d printing are ushering in a sustainable era of distributed capitalism. *World Financial Review*, 1(1), 4052-4057.

Sabur, H.B. ve Arslan-Selçuk S. (2017). New Construction Methods and Hybrid Tectonics: Robotics in Architecture” *Proceeding of ICOCEE – Cappadocia2017* (Nevşehir, May 8-10).

- Sandalcı, N. (2016). *Türkiye’de Endüstriyel Tasarımcıların 3 Boyutlu Yazıcıları Kullanımları Hakkında Bir İnceleme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 29-36
- Şenyapılı B. (2015). Bilgisayarlar ve Mimarlık Tartışmalarının Tarihçesini Filmler Üzerinden Bir Okuma İle Giriş. *Doşya 35 TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi*, (2), 4-6.
- Tandırıcıoğlu, F. E. ve Arslan-Selçuk S. (2016). 3 Boyutlu Yazıcılar ve Geleceğin Mimarlık Teknolojisi, *International Symposium on 3D Printing Technologies 3D-DTS2016, Istanbul*, 5-7.
- Terzidis, K. (2003). *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*, London: Spon Press, 91-96.
- Tozlu, S. (2017). *21. Yüzyıl Tasarım ve Üretim Teknolojilerindeki Gelişmelerin Mimarlık Paradigmasına Etkisi: Sayısal Mimarlık*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 40-48, 62.
- Taylor, A. ve Unver, E. (2014). *3D Printing-Media Hype or Manufacturing Reality: Textiles Surface Fashion Product Architecture*, 59-60.
- Turan, B. O. (2009). *Dijital Tasarım Sürecinin Geleneksel Tasarım Stüdyosuna Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 57.
- Van Wijk, A.J.M. and Van Wijk, I. (2015). *3D Printing with Biomaterials: Towards a Sustainable and Circular Economy*; IOS Press: Amsterdam, The Netherlands, 47-56.
- Yıldıran, M. (2016). Moda giyim sektöründe üç boyutlu yazıcılarla tasarım ve üretim. *Art-e Sanat Dergisi*, 9(17), 155-172.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BULUT, Fatma Elif
 Uyuğu : Türkiye
 Doğum tarihi ve yeri : 11.02.1983, Ankara, Türkiye
 Telefon : 0 (537) 022 18 29
 e-mail : elifandircioglu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık Bölümü	Devam ediyor
Lisans	ODTÜ/Mimarlık Bölümü	2008
Lise	Nene Hatun Fen Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010- Devam ediyor	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Mimar
2008-2009	Arma Mimarlık	Mimar

Yabancı Dil

Türkçe, İngilizce

Yayımlar

Tandircioglu, F. E. ve Arslan Selçuk S. (2016). 3 Boyutlu Yazıcılar ve Geleceğin Mimarlık Teknolojisi. *International Symposium on 3D Printing Technologies (3D-DTS2016, Istanbul, May 5-7.*

Hobiler

Kitap Okumak, Spor Yapmak, Seyahat Etmek



GAZİ GELECEKTİR..