
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

MİMARLIKTA ROBOT KULLANIMI VE 21. YÜZYILIN HİBRİT TEKTONİKLERİ

Hafize Büşra BOSTANCI SABUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2019

Hafize Büşra BOSTANCI SABUR tarafından hazırlanan "MİMARLIKTA ROBOT KULLANIMI VE 21. YÜZYILIN HİBRİT TEKTONİKLERİ" 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. Sare SAHİL

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. ……..

TezSavunmaTarihi: 01/02/2019

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 çalışmasında;

- 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 çalışmasında 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.

Hafize Büşra BOSTANCI SABUR

01/02/2019

MİMARLIKTA ROBOT KULLANIMI VE 21. YÜZYILIN HİBRİT TEKTONİKLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hafize Büşra BOSTANCI SABUR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2019

ÖZET

Tarih boyunca mimarlıkta malzeme seçimi, kullanımı ve yapı yapma biçimleri tartışıla gelmektedir. Özellikle 18. yy'da başlayan Endüstri Devrimiyle beraber sanayi ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, mimarlık disiplininde yeni kavramlar, yeni malzemeler ve yeni üretim biçimleri oluşmasına olanak vermiştir. İlk dönem mimarlığından itibaren Vitruvius'un söylemleriyle anlam kazanan "tektonik" kavramın geleneksel uygulamaları, 20. yy'ın ikinci yarısından sonra gelişme gösteren teknolojiler ile ortaya çıkan dijital teknolojilerin yaygınlaşması ile paradigmatik değişimler geçirmiş ve dijital tektonik kavramına evrilmiştir. Hesaplamalı tasarım ve üretim (CAD/CAM) araç ve teknolojilerinin 21. yy'daki gelişimi ve yaygınlaşması, mimarları, mühendisleri ve yapı ile ilgili tüm paydaşları yeni hesaplama araçlarını ve üst düzey otomasyon teknolojilerini, tasarım ve yapımda uygulamaya teşvik etmektedir. Bugün, en son teknolojiler ve yenilikçi malzemeler, mimarların geleneksel "tasarım ve üretim" biçimlerini eniyilemeleri için, tasarım sürecini tasarlayan yeni bir süreci takip etmelerini sağlamakla beraber, hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojileri mimarları yeni yapım yöntemlerini kullanmaları konusunda cesaretlendirmiştir. Özellikle üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin ve robotiklerin üretim süreci ile bütünleştirilmesi, tasarımcıları, malzemenin kulanım biçimleri, montaj ve ilgili bağlantı detayları yeniden düşünmek noktasında zorlamaktadır. Bu bağlamda, sayısal tasarım ve üretim yöntemleri ile otomatik yapım teknikleri, hibrit tektonikleri ortaya çıkarmıştır. Beton, çelik, ahşap ve tuğla gibi geleneksel malzemelerin dijital araçlarla kullanımı sonucu tektonikler hibritleşirken; granüllü malzeme, FBR gibi yenilikçi malzemeler de tasarım ve yapımda yorumlanmaya başlamıştır.

Bilim Kodu : 80111

Anahtar Kelimeler : Mimari tektonik, hesaplamalı tasarım ve üretim, robot, hibrit tektonikler

Sayfa Adedi : 124

Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

ROBOTICS IN ARCHITECTURE AND HYBRIDS TECTONICS OF 21ST CENTURY

(M. Sc. Thesis)

Hafize Büşra BOSTANCI SABUR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2019

ABSTRACT

Materials selection, usage and construction methods in architecture have been discussing throughout history. The developments in the field of industry and technology, especially with the Industrial Revolution which started in the 18th century, enabled the creation of new concepts, new materials and new forms of production in the discipline of architecture. The traditional practice of "tectonic" concept that gained meaning through the discourses of Vitruvius since the first period architecture has been evolved into the concept of digital tectonics with the emergence of digital technologies emerging with technologies developed after the second half of the 20th century. The development and expansion of computational design and production (CAD/CAM) tools and technologies in the 21st century encourages architects, engineers and all stakeholders to implement new computational tools and high-level automation technologies in design and construction. Today, state-of-the-art technologies and innovative materials not only enable architects follow "designing the design process" in order to optimize traditional "design and production" approaches but also computational design and manufacturing technologies have encouraged architects to use new construction methods. In particular, the integration of 3D printer technologies and robots into the manufacturing process forces designers to re-think the use of materials, mounting and related connection details. In this context, computational design techniques with digital design and production methods revealed hybrid tectonics. The tectonics with the use of traditional materials such as concrete, steel, wood and brick have been hybridized with digital tools and new materials like granular materials and FBR have also begun to be interpreted in design and construction.

Science Code : 80111

Key Words : Architectural tectonics, computational design and fabrication, robotics, hybrid tectonics

Page Number : 124

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi, deneyim ve yönlendirmeleri ile araştırmama yön verip, yol gösteren, katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen, anlayışlı yaklaşımıyla çalışmalarım konusunda beni her zaman cesaretlendiren kıymetli danışmanım Sn. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a teşekkürü bir borç bilirim.

En zor anımda yanımda olan kıymetli yol arkadaşım Tuğba ERSEN'e, bütün duaları ve içtenlikleriyle hayatıma değer katan, benim için kız kardeşten öte olan Ayşenur, Elif, Merve, Özlem, Selin ve Begüm ile Zahide ablama destekleri ve hayatımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olup, fikir ve yardımlarıyla bana destek olan, hayatımda varlığı çok önemli bir yere sahip kardeşim Ali Çağrı BOSTANCI'ya, varlıkları ile bana güç veren, maddi manevi emek ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım annem Hatice BOSTANCI ve can babam Fuat BOSTANCI'ya, bana ağabeyden öte Alparslan DEMİRCİ'ye ve tüm aileme en içten duygularımla çok 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. KURAMSAL ÇERÇEVE 7

2.1. Mimarlıkta Tektonik Kavramı 7

2.1.1. Tarihsel gelişim ve klasik tektonik düşünce 9

2.1.2. Dijital tektonik düşünce 14

2.2. Mimari Anlatımda Malzeme Kullanımı ve Üretim Yöntemleri 22

2.2.1. Geleneksel yöntemler 22

2.2.2. Endüstrileşmiş yöntemler 24

2.2.3. İleri üretim teknolojileri 28

3. İLERİ ÜRETİM/YAPIM YÖNTEMLERİ VE ROBOTLAR 29

3.1. Hesaplamalı Teknolojiler 30

3.1.1. CAD/CAAD/CAM/BIMgelişimi ve uygulamaları 31

3.2. Mimarlıkta Hesaplamalı Teknolojiler 42

3.2.1. Hesaplamalı tasarım 47

3.2.2. Hesaplamalı üretim 58

Sayfa

3.3. İleri Yapım Yöntemleri ve Robotlar 70

3.3.1. Robotların kısa tarihi 71

3.3.2. Mimarlıkta robot kullanımı 75

4. MİMARİDE ROBOT KULLANIMI VE 21. YÜZYILIN HİBRİT TEKTONİKLERİ 85

4.1. Geleneksel Malzemelerin Robotlar Aracılığı ile Yenilikçi Kullanımı ve Tektoniklerin Hibritleşmesi 85

4.2. Yenilikçi Malzemelerin Robotik Kullanımı ve Yeni Tektonikler 95

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 101

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 109

KAYNAKLAR 113

ÖZGEÇMİŞ 123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Farklı amaçlarla kullanılan CAD araçlarının CAAD yaklaşımları olarak karşılığı 32

Çizelge 3.2. Hesaplamalı mimari kavramları 49

Çizelge 3.3. Mimari tasarım sürecinde robotiğin rolü 76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. 21. yy teknolojileriyle şekillenerek mimarlıkta kullanılmaya başlayan yeni kavramlar 2

Şekil 2.1. Semper'ın ilkel kulübesi 1. Duvarlar-dokumacılık 2. Ocak- seramikçilik 3. Çatı iskelet-marangozluk 4. Platform-duvarcılık 12

Şekil 2.2. Semper'ın tanımladığı düğüm çeşitleri 14

Şekil 2.3. Tektonik kavramının tarihsel değişimi 21

Şekil 3.1. CAAD araçlarının avantajları 33

Şekil 3.2. Dijital üretim makineleri 35

Şekil 3.3. Frank Gehry tarafından Fondation Louis Vuitton için çizilen taslak 40

Şekil 3.4. Fondation Louis Vuitton için hazırlanan BIM modeli 41

Şekil 3.5. Dijital bir modele yönelik tümleşik roller 44

Şekil 3.6. İzomorfik yüzeyler 50

Şekil 3.7. Robotların tarihsel gelişimi 74

Şekil 3.8. Robotun seri portu üzerinden Grasshopper ile robot programlama 82

Şekil 4.1. DFAB House katmanları 94

Şekil 5.1. Ahşap malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi 103

Şekil 5.2. Tuğla malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi 104

Şekil 5.3. Beton malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi 105

Şekil 5.4. Demir/çelik malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi 106

Şekil 5.5. Granüllü malzeme ile FRP malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi 107

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Kunstform - Yunan (Helen) Mimarisi - Aphaia Tapınağı (kunstform – sanatsal form) ve Cephe Görünüşü 11

Resim 2.2. Kernform - Gotik Mimari - Notre Dame Katedrali (kernform – ana form) ve Cephe Görünüşü..... 11

Resim 2.3. El-Tajin Piramidi, Meksika 23

Resim 2.4. Giza Piramitleri..... 24

Resim 2.5. Demir Köprü, T. F. Pritchard, 1777-1779 (The Iron Bridge)..... 26

Resim 2.6. Kristal Saray,J. Paxton- 1851 27

Resim 2.7. G. Eiffel, Eiffel Kulesi - 1889 28

Resim 3.1. Fondation Louis Vuitton..... 39

Resim 3.2. Yelken görünümlü cam yüzeyler..... 40

Resim 3.3. Buzdağı yapısı ve çelik çerçeve..... 41

Resim 3.4. F. Gehry, Guggenheim Müzesi - 1993 43

Resim 3.5. F. Gehry, Guggenheim Müzesi - 1993 50

Resim 3.6. Franken Architects tarafından hazırlanan BMW Bubble Pavillion..... 51

Resim 3.7. G. Lynn, M. Mcluturf ve D. Garofalo tarafından hazırlanan Kore presbiteryen kilisesi..... 51

Resim 3.8. G. Lynn, Kinematics house 52

Resim 3.9. G. Lynn, Port Authority Bus Terminal..... 53

Resim 3.10. P. Eisenman, BŞ software ofisi..... 53

Resim 3.11. M. Novak, Algorithmic Spectaculars 54

Resim 3.12. John ve Julia Frazer, Interactivator (1995): gerçek ziyaretçiler ve çevresel sensörler ile etkileşim yoluyla formun deneysel evrimi. 56

Resim 3.13. Foster and Partners, GLA (1995)..... 57

Resim 3.14. Guggenheim Müzesi, CATIA 3D- CAD çizimi, CAM ve üretim aşaması 59

Resim **Sayfa**

Resim 3.15. D-Fab Robotu ve Venedik Bienali'nde robotik olarak üretilen tuğla duvar 63

Resim 3.16. Yapının 3 boyutlu modeli ve 3D yazıcı ile üretilmiş hali 63

Resim 3.17. SXM Pavilyon, ETH Zurich 64

Resim 3.18. TU Darmstadt HOBIT 2008 için üretilen fuar standı 65

Resim 3.19. Hoofddorp otobüs durağı 65

Resim 3.20. Angerpark Landmark 66

Resim 3.21. Herzog ve de Meuron tarafından Barcelona'da yapılan Unesco Forum ... 67

Resim 3.22. O. Zieta, Architonic Concept Space 68

Resim 3.23. Filipinler'de üretilen otel 70

Resim 3.24. Leonardo'nun humanoid robot eskizleri 72

Resim 3.25. Çok araçlı (multi-tooled), Hidro güçle çalışan (hydropower) ve çevre dostu (eco-friendly) yıkım robotları 77

Resim 3.26. Kaynak robotları (welding robots) 78

Resim 3.27. Tuğla ören robotlar (bricklaying robots) 78

Resim 3.28. Drone kontrollü yapı süreci 79

Resim 3.29. Atık beton kullanarak 3D-PRINT ile üretim 80

Resim 3.30. 4D-PRINT ile tek bir sarmalın üç boyutlu bir küp halinde kendiliğinden katlanmasını gösteren sekans 81

Resim 3.31. Achim Menges yürütücülüğündeki ICD/ITKE araştırmacıları tarafından tasarlanıp üretilmiş Araştıma Pavilyonu 83

Resim 3.32. Red Bull Kemer: KUKA KR-150 frezeleme (solda), belirmiş EPS formları (alt orta), alüminyum döküm (üst orta) bitmiş Red Bull kemer projesi (sağ) 83

Resim 3.33. Robotik Zımbalama: 2B bir görüntüyü kinematik simülasyon tarafından takip edilen yöntemlerle takım yollarına dönüştürme ve son üretim 83

Resim 4.1. The Sequential Wall 87

Resim **Sayfa**

Resim 4.2. The Sequential Structure 88

Resim 4.3. Sewn Timber Shell 89

Resim 4.4. Structural Oscillations– Robot koluyla üretilmiş tuğla duvar 90

Resim 4.5. Uyarlanabilir kalıplı, standart, çift eğrili, beton panellerinin robotik kontrollü üretim aşaması 90

Resim 4.6. Smart Dynamic Casting (SDC) üretimi 91

Resim 4.7. Keller AG Ziegeleien firması için üretilen tuğla cephe 92

Resim 4.8. Croatian Pavilion 93

Resim 4.9. DFAB House 93

Resim 4.10. Reinforce Expose: The Inner Forms of Tomorrow sergisinde sunulan çelik heykeller 95

Resim 4.11. Aggregate Pavilion 96

Resim 4.12. MIAW Pavilyon 96

Resim 4.13. Design and Robotic Fabrication of Jammed Architectural Structures kapsamında gerçekleştirilen granüllü yapı örneği 97

Resim 4.14. University of Stuttgart Fair Stand 98

Resim 4.15. ICD/ITKE Araştırma Pavilyonu 2016-2017 99

Resim 4.16. The Elytra Filament Pavilion 99

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
m	metre
cm	santimetre
mm	milimetre

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
3DPRINT	Üç Boyutlu Baskı
AM	Eklemeli Üretim – *Additive Manufacturing*
BIM	Yapı Bilgi Modellemesi - *Building Information Modeling*
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım - *Computer Aided Design*
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim - *Computer Aided Manufacturing*
CAAD	Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım - *Computer Aided Architectural Design*
CATIA	Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Etkileşimli Uygulama-*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol - *Computer Numerical Control*
DDRC	*Digital Design Research Center*
ETFE	Etilenetetrafloroetulen - *Ethylenetetrafluoroethulene*
ETH	*Eidgenössische Technische Hochschule*
FDM	Eritmeli Modelleyiciler - *Fused Deposition Modelling*
FEM	Sonlu Elemanlar Yöntemi - *Finite Element Method*
FIC	*Facility Information Council*

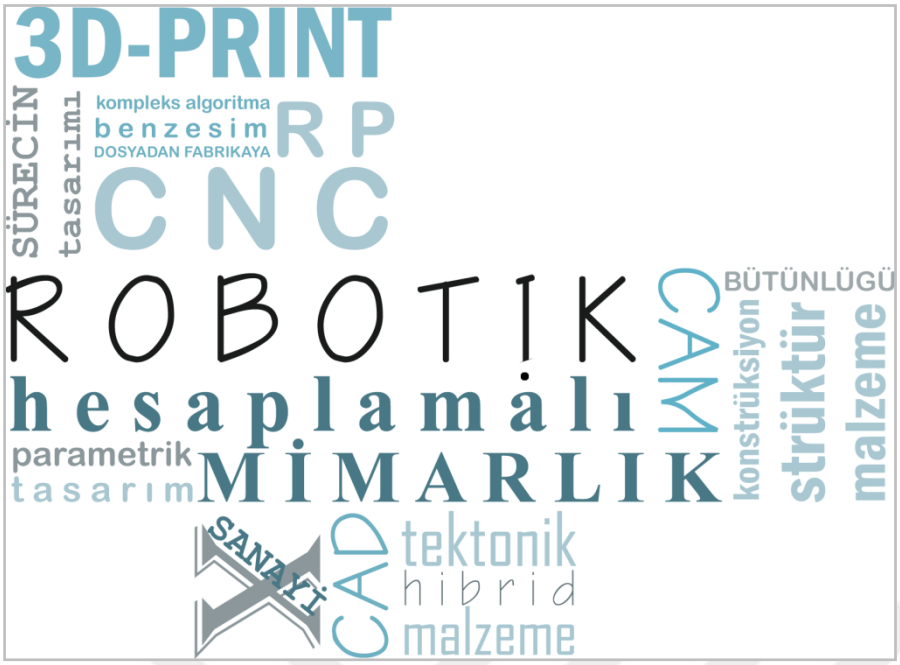
Kısaltmalar	**Açıklamalar**
FIDU	Serbest İç Basınç Oluşturma - *Free Internal Pressure Forming*
FRP	Fiber Güçlendirilmiş Polimerler - *Fiber Reinforced Polymers*
ICD/ITKE	*Institute for Computational Design / Institute of Building Structures* ve *Structural Design (Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen)*
ITE	*Institute of Technical Education*
LOM	Katmanlı Nesne Modelleme - *Laminated Object Modeling*
MIAW	*Milan International Architectural Design Workshop*
MJM	MultiJet Modelleme - *MultiJet Modeling*
NBIMS	*National Building Information Modeling Standard*
NIBS	*Committee of the National Institute of Building Sciences*
NURBS	Tekdüze Olmayan Rasyonel B-Spline - *Non-Uniform Rational B-Spline*
ROB	*Robotic Operating Buddy*
RP	Hızlı Prototipleme - *Rapid Prototyping*
SDC	*Smart Dynamic Casting*
SLA	Stereolitografi
UAV	*Unmanned Aerial Vehicle*
UHPC	*Ultra-High Performance Concrete*
WAIC	*World Artificial Intelligence Conference*

1. GİRİŞ

Yaşamın geçtiği her tür "yapılı çevrenin" tasarımı ve üretimiyle ilgili olan "mimarlık" insanlık tarihinin en eski mesleklerinden biri olarak kabul edilir. Göçebe hayat tarzından yerleşik yaşama geçildikçe değişen ve gelişen yapı ihtiyacı, başta "malzemeye şekil verme ve onunla bir çatkı oluşturma" olmak üzere pek çok alanda mimarlık bilgisinin gelişimine/değişimine yol açmıştır. Benzer şekilde sosyo-kültürel ve ekonomik değişimler, bilim ve teknolojide yaşanan gelişmeler mimarlık disiplinini doğrudan etkileyen unsurlar olmuştur ve olmaya da devam etmektedir.

20. yüzyılın sonlarında, bir taraftan sanayi devrimlerinin sonuçlarıyla evrilen geleneksel tasarım ve yapım yöntemleri kullanılmaya devam etmiş, bir taraftan da başta CAD/CAM teknolojileri olmak üzere 3. ve 4. Endüstri Devrim'lerinin sonuç ürünleri mimarlık disiplinine ve ilgili yapım sektörüne yeni bakış açıları kazandırmıştır. Yeni ve karmaşık biçimli/strüktürlü binalar yapma konusunda istekli olan mimarlar sektörün diğer tüm paydaşları ile birlikte ileri otomasyon teknolojileri sayesinde kendilerine yeni hareket alanları bulmaya başlamıştır. Söz konusun yenilikçi yöntemlerden biri de tüm tasarım disiplinlerinde olduğu gibi mimarlık alanında da paradigmal değişimlere yol açan "hesaplamalı tasarım ve üretim araçlarının" kullanılmaya başlamasıdır. Bu araçların mimarlık disiplininde kullanılmaya başlamasıyla da, Şekil 1.1'de görülen yeni kavramlar oluşmuştur.

Tasarımda form, strüktür ve malzemenin eş zamanlı olarak ele alınmasını, bir başka ifade ile "süreçlerin tasarlanmasını" gerektiren bu araçların biri de mimaride "robotların" kullanımıdır. Özellikle son yıllarda Zürih'teki *Eidgenössische Technische Hochschule* (ETH) bünyesinde Profesör Fabio Gramazio ve Profesör Matthias Kohler ve Stuttgart'taki *Institute for Computational Design / Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen* (ICD/ITKE) bünyesinde Profesör Achim Menges'in yaptıkları araştırmalar; hesaplamalı ortamlarda yapılan tasarımların robotik üretimlerle entegrasyonunu sağlayan öncül çalışmalar olarak literatüre girmiştir. Bu ve benzeri Ar-Ge çalışmalarının ilerletilerek yaygınlaştırılması robotların inşaat sektöründe kullanımının önünü açmıştır.



Şekil 1.1. 21. yy teknolojileriyle şekillenerek mimarlıkta kullanılmaya başlayan yeni kavramlar (yazar tarafından hazırlanmıştır)

21. yy'ın ilk çeyreği geleneksel ile yenilikçinin buluşmaya başladığı, "robotlar" gibi mimaride kullanım olanakları kısıtlı olan araç ve ortamların kesişim ürünlerinin verilmeye başlandığı ve "hibrit" yaklaşımların benimsendiği bir dönem olarak literatüre gireceğini söylemek mümkündür.

Bu bağlamda, bu tez çalışması; hesaplamalı teknolojilerin mimari tasarım ve üretime yeni bir boyut kazandırdığı ve paradigmaları değiştirdiği savıyla yola çıkmaktadır. 21. yy'da üretimle ilgili alanlarda kullanımı hızla yaygınlaşan "robotların" mimari tasarımların yapımı aşamasında da kullanım potansiyellerinin araştırılması bu tezin ana konusudur.

Araştırmanın amacı

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler mimari tasarım ve üretim alanlarında da etkisini göstermektedir. Hesaplamalı tasarım ve üretim araçları mimarlık disiplininde paradigmatik değişimlere yol açmaktadır. Bu tez, özellikle 3 boyutlu yazıcı teknolojilerinin ardından son dönemlerde örneklerini görmeye başladığımız robotik imalatların mimarlık ile entegrasyonu ve mimarlık nesnesinin yeniden sorgulanmasını ve onu oluşturan tektoniklerin nasıl hibritleştiğinin araştırılmasını amaçlamaktadır.

Araştırmanın önemi

Yeni yüzyılın yeni tasarım ve üretim olanakları, -özellikle robotların üretim sürecine dahil olmasıyla birlikte- strüktürel sistem ve malzeme kullanımını büyük ölçüde dönüştürmekte/değiştirmektedir. Mimarlık üretiminin henüz tanıştığı hassas (*precise*) üretim ve hibritleşen tektonikler kavramlarının araştırılarak 21. yy mimarisinin yeni dilini oluşturan örneklerin incelenmesi, tez sürecinde yapılacak tasarım ve üretim örnekleriyle birlikte mimari tektoniğin nereye evirildiğinin sorgulanabilmesi açısından önemlidir.

Araştırma sorusu

Bu çalışmanın motivasyonunu oluşturan ana "araştırma sorusu", hesaplamalı teknolojiler ve özellikle robot kullanımının mimari tektoniğin evrimindeki rolü nedir? sorusunun cevaplarının aranmasıdır. Bu amaçla yapılacak araştırma kapsamında cevapları aranacak alt problemler şu şekilde sıralanabilir.

1. Hesaplamalı teknolojilerin tasarım/üretim/yapım süreçlerine etkileri mimari tasarım ve üretim biçimlerini nasıl etkilemektedir?
2. CAD/CAM teknolojilerinin tasarım/üretim/yapım aşamalarında barındırdığı potansiyeller nelerdir?
3. Hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojilerindeki değişimin mimarlık paradigmasındaki yansımaları nasıl olmaktadır?
4. Robotik üretimlerin mimariye entegrasyonu ile birlikte mimari tasarımların kurgusunda önemli bir aşama olan tektonik seçimi ya da oluşumu nasıl etkilenmektedir?

Araştırma hipotezi

Gelişen hesaplamalı tasarım ve üretim araçları ile birlikte robotların mimariye entegre olması, malzeme seçiminden strüktür kurgusuna kadar geniş bir yelpazede tasarımı etkilemekte ve kullanılana gelen tektonikleri dönüştürerek değiştirmekte ve hibritleştirmektedir.

Araştırma yöntemi

Nitel yöntemlerin kullanıldığı bu çalışmada, öncelikle mimari tektonik kavramına odaklanılmış ve hesaplamalı tasarım ve üretim yöntemlerinin kullanıldığı ve robotik teknolojilerle bütünleşmiş olan sonuç ürünler araştırılmıştır. Literatür taramasının ardından, mimarlıkta hesaplamalı tasarım ve üretim bileşenlerinin ve hibritleşen tektoniklerin (strüktür ve malzeme seçimi) belirlenmesi, hesaplamalı tasarım ve üretim araçlarıyla mimaride robot kullanımı ve 21. yüzyılın hibrit tektoniklerinin araştırılması, geleneksel malzemeler ile yenilikçi malzemelerin robot kullanımı ile değişen paradigmaların ve hibrit tektoniklerinin tarihsel gelişimini gösteren analiz ile yorumlanması ana araştırma yöntemidir.

Bu bağlamda tez kapsamında;

- Giriş bölümü çalışmanın amacı, önemi, soruları, hipotezi, sınırlılıkları ve kapsamını içermektedir.
- İkinci bölümde oluşturulmaya çalışılan "kuramsal çerçeve" ilgili literatür taramasını içermekte olup, tektonik kavramı ile mimari anlatımda malzeme ve üretim yöntemlerinin incelendiği bölümdür.
- Üçüncü bölümde, ileri yapım/üretim yöntemleri ile CAD/CAM/BIM tekniklerinin gelişimi anlatılmıştır. Yenilikçi yapım teknolojilerinin taşıyıcı sistem ve malzeme üzerindeki rolüne yer verilen bu bölümde, elde edilen verilere dayanarak, söz konusu teknolojilerin mimarlıkta geldiği nokta ve mimarlıkta robot kullanımı ayrıntılı olarak anlatılmıştır.
- Dördüncü bölüm mimaride robot kullanımı ve 21. yüzyılın hibrit tektoniklerinin geleneksel malzemelerle yenilikçi malzemelerin, yeniden yorumlanarak tasarım/üretim/yapım süreçlerine nasıl dahil edildiği ve dijital tektoniklerin hibritleşmesi anlatılmıştır.
- Beşinci bölümde elde edilen bulgular değerlendirilmekte ve altıncı bölümde ortaya konulan hipotez test edilip birinci bölümde yer alan araştırma soruları cevaplanmaktadır.

Sınırlılıklar

Çalışmanın ikinci bölümünde açıklanan tektonik kavramı için, kavramı tartışan birçok kuramcı olmasının yanında, bu kavrama yeni bakış açısı kazandıran beş önemli kuramcının yaklaşımına odaklanılmıştır. Bu bağlamda, söz konusu kavram açıklanırken, "Tarihsel Gelişim ve Klasik Tektonik Düşünce" başlığı Karl Müller, Karl Bötticher ve Gottfried Semper'ın yaklaşımlarıyla sınırlandırılmış, "Dijital Tektonik Düşünce" başlığı ise salt Eduard Sekler ve Kenneth Frampton'un yaklaşımlarıyla ele alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde açıklanan "Hesaplamalı Üretim" başlığında kullanılan sınıflamalarda; Branko Kolarevic'in 2003 yılında yayınlanan "Dijital Çağda Mimarlık - *Architecture in The Digital Age*" kitabında tanımladığı üretim teknolojileri ile, Moritz Hauschild ve Rüdiger Karzel'in 2012 yılında yayınladığı "Dijital Süreçler: Planlama, Tasarlama, Üretme - *Digital Processes: Planning, Designing, Production*" isimli çalışmalarında ele aldıkları tanımlamalar baz alınmıştır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

İnsanlığın varoluşundan beri süregelen mimarlık eylemi; sosyo kültürel ve ekonomik değişimlerden/gelişmelerden, felsefe, psikoloji, biyoloji, fizik, matematik ve geometri gibi alanlarda yaşanan bilimsel gelişmelerden ve daha birçok alandan etkilenmiş, bina yapımında kullanılan malzeme ve yöntemler çağların koşullarıyla şekillenerek günümüze ulaşmıştır. 18. yy'da Sanayi Devrimi sonrasında gelişen endüstri koşulları ile malzemelerin işlenme ve uygulanma biçimleri çeşitlenmiş, bu sebeple malzemeyi bir araya getirterek çatkı kurma yöntemleri de gelişmiştir.

20. yy ile gelen bilgi çağında, bilim ve teknolojinin gelişmesi tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimaride de etkilerini göstermiştir. Dijital ortamda yaşanan gelişmelerle, bilgisayarlar tasarımdan üretime, süreç yönetiminden son ürünün kalite kontrolüne kadar her alanda yaygın olarak kullanılmıştır. Tüm bu gelişmeler tasarımcıyı bilindik modellerin dışına çıkmaya cesaretlendirerek, formdan strüktüre, malzeme seçiminden malzemenin yenilikçi kullanımlarına kadar her alanda özgür kılmıştır. Dijital araç ve ortamlar sayesinde eğrisel yüzeyli ve karmaşık biçimli yapıların, çok sayıda alternatifin eş zamanlı test edilebilmesi ve optimizasyonu ile hayata geçirilebildiğinin ve üretilebildiğinin görülmesi ile tasarım anlayışı ve mimari tektonikler de değişmeye başlamıştır.

Liu'ye (2006) göre bir mimari yapıtın tektonik ifadesi, onun taşıyıcısı, malzemesi ve konstrüksiyonun bütünlüğünden, yapısal özelliklerinin tümünden gelmektedir. Buradan yola çıkarak bu bölümün genel kurgusu "tektonik" kavramı ile başlatılmıştır. Tektonik kavramının ortaya çıkışı, mimarlık disiplinindeki yeri, önemi ve hesaplamalı teknolojilerinin kullanımı sonrasında geldiği nokta ve dijital tasarım ortamının gelişmesiyle ortaya çıkan "dijital tektonik" kavramları açıklanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda mimaride malzeme kullanımı ve tasarım/üretim/yapım (*design/fabrication/construction*) için geçmişte kullanılan yöntemler ile günümüzde gelişmiş olan ileri üretim teknolojileri incelenmiştir.

2.1. Mimarlıkta Tektonik Kavramı

> Gerektiği gibi bir bina gerçekleştirmek için işe ölçülemeyenle başlamalısınız ve ölçülebilir yollardan geçmelisiniz. Sadece bu şekilde inşa edebilirsiniz, binayı sadece bu şekilde varlığa erdirebilirsiniz, ölçülemeyen vasıtasıyla. Kuralları takip etmelisiniz

> ancak nihayetinde, bina yaşantının bir parçası olduğunda ölçülemeyen nitelikler uyandırmalıdır. Tuğla miktarları, inşa yöntemleri ve mühendislik içeren tasarım aşaması sona erdiğinde yapının varlık tini devreye girer (Konuralp, 2014).

Tektonik, jeoloji biliminde yeryüzü tabakalarının yapısını ve bu yapıyı oluşturan evrimi anlatmaktadır. Eski Yunancada marangoz veya inşa eden anlamına gelen "*tekton*" ya da teknoloji veya yapı yapma sanatı anlamına gelen "*techne*" terimlerinden türeyen tektonik kavramı, mimarlık disiplininde, bir yapının ihtiyacı olan konstrüksiyon/strüktür/malzeme bütünlüğünü temsil etmektedir (Frampton, 1995). Mimarlığa varoluşsal bir bakış açısı ile bakan tektonik kavramı yapı yapma sanatı olarak da tanımlanmaktadır (Armağan, 2011).

Mimarlığı sağlamlık (*firmitas*)– kullanışlılık (*utulitas*) – estetik (*venustas*) olarak üç temel faktöre dayandıran Vitruvius (2017, M.Ö. 90-20) kavramı ilk kullanan kuramcı olmuştur. Vitruvius tektonik kültür üzerine yazılmış ilk metinlerinde, "*techne*" kavramını özel bir araç ya da üretim şekli yerine doğru bir akıl yürütmeye dayanan ve insanın kendisi tarafından tasarlanmış bir şeyi ortaya çıkarmasını sağlayacak zanaat/sanat olarak tanımlamaktadır (Güncü, 2007). Vitruvius aynı zamanda malzeme seçimi ve kullanımında, malzemenin doğasının önemine değinmiş ve böylece yüksek nitelikli yapıların inşa edilebileceğini belirtmiştir (Özdemir, 2014).

Birkaç yüzyıldır mimarlık literatüründe kullanılmakta olan tektonik kavramı, 19. yy'a kadar kavramsal açıdan fazla gelişme göstermese de 19. yy'dan sonra Karl Mürrel, Karl Bötticher, Gottfried Semper, Eduard Sekler, Carles Vallhonrat, Vittorio Gregotti, Marco Frascari, Kenneth Frampton, Mitchell Schwarzer ve Rivka Oxman gibi teorisyenler tarafından çeşitli boyutlarıyla tanımlanmış ve tartışılmıştır.

Klasik dönem mimarlığında Vitruvius'un söylemleriyle anlam kazanan kavram, 20. yy'ın ikinci yarısından sonra gelişme gösteren bilgi teknolojilerinin sonucunda ortaya çıkan dijital teknolojilerin, geleneksel mimari yapıda paradigmatik değişim meydana getirmesiyle "*dijital tektonik*" kavramına evrilmiştir. Dijital kavramı, tektonik teriminin içeriğini bütünleştiren, yönelten ve farklılaştıran bilgilendirici bir medya haline gelmiş ve bu sayede hesaplamalı araçların sağladığı kolaylıklar ile geliştirilen tektonik kavramı, terimin içeriğini değiştirmiştir (Oxman, 2012). Günümüzde dijital tektonik kavramı, malzemenin tasarımdaki işlevini genişletmekte ve tektoniklerin hesaplamalı yöntemlerine yeni bir bakış açısı getirmektedir.

Tezin bu bölümünde tektonik kavramı iki temel başlık altında incelenmiştir: ilki, 19. yy'dan önce tektonik kavramını değerlendiren "Klasik Tektonik Düşünce"*;* ikincisi ise 20. yy'ın ikinci yarısından sonra, dijital teknolojilerin mimarlık disiplininde kullanılmaya başlamasıyla ortaya çıkan ve Kenneth Frampton'un söylemleri ile literatüre girmiş olan dijital tektonik kavramının anlatıldığı "Dijital Tektonik Düşünce" oluşturmaktadır.

2.1.1. Tarihsel gelişim ve klasik tektonik düşünce

> Tektonik, birleşim detayı sanatıdır. Burada "sanat", "techne" terimini kapsayacak şekliyle anlaşılmalıdır ve bu nedenle sanat, tektoniği, sadece yapı parçalarının birleşimi değil, aynı zamanda nesnelerin, daha dar anlamda sanat eserlerinin de bir araya getirilmesini ifade eder… Tektonik, kelimenin eski anlamına bakılırsa, zanaatkar ya da sanatsal bir ürünün inşasına ya da yapımına yönelir… Bu, zanaat kurallarının doğru ve yanlış uygulamalarına ya da yararlılığına ne derece ulaşıldığına bağlıdır. Tektonik, ayrıca sanat üretimine ne ölçüde katkı sağladığı düşüncesini barındırır. Bu bağlamda, günümüz sanat tarihine bakıldığında bu yaklaşımın detaylı bir şekilde açıklanması ve uygulanması için tektonik kavramına yeni bir bakış açısı getirilmektedir: estetik bakış açısı (bir fayda amacı gütmeksizin), tektonun ürün ve üretimini özelleştiren kavram olarak tanımlanırken daha sonrasında bu çözümleme"tektonik" terimini "estetik bir yargı" haline dönüştürür. (Borbein, 1982'den aktaran Frampton, 1995:8)

İlk zamanlarda avcılık ve toplayıcılıkla yaşamını sürdüren insanoğlunun, tarımsal faaliyetler göstermeye başlamasının sonrasında göçebe hayattan yerleşik yaşama geçmiş ve barınma ihtiyacı hızla artmıştır. Bu dönemde barınma ihtiyacını öncülleyen insanoğlu, sembolik ifadelerden daha çok işlevselliğe önem vererek yapılarını oluşturmuştur. Bu amaçla doğada bulduğu her türlü malzemeyi ihtiyaçları doğrultusunda kullanmış, artan teknik bilgisi ile malzemelerin performans ve işlenmişlik düzeyini artırarak kullanmaya yönelmiş böylelikle mimarinin form/malzeme/strüktür gibi kavramları ile yüzleşmeye başlamıştır.

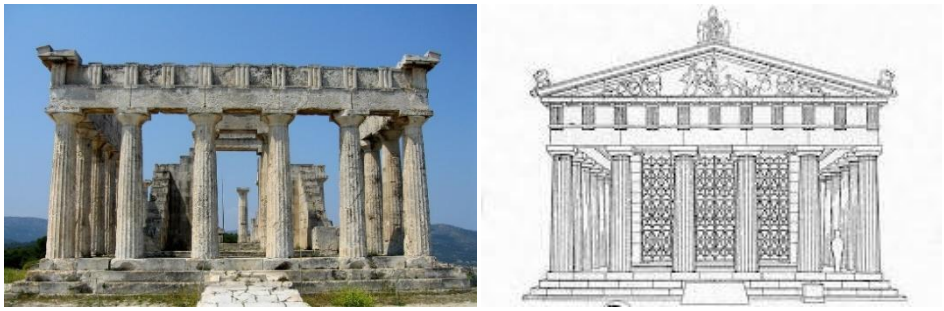
18. yy'da sanatsal faaliyetlerin artmasıyla birlikte mimarlıkta estetik kavramı da önem kazanmaya başlamış; mimarlar, mühendisler ve zanaatkarlar yapılarında, yaşadıkları dönemlerin belli imgelerini kullanmıştır. Strüktürel ifadelerin yanında sembolik ifadelerin de mimarlık disiplininde önemli olduğunun vurgulandığı bu dönemde form, yüzey, konstrüksiyon gibi çeşitli kavramlar da mimarlık disiplininde karşılık bulmuştur. Bunların başında, "*tektonik*" kavramı gelmektedir (Oxman, 2012).

Her dönemde teknoloji ile temsil arasındaki dualiteye bağlı olan tektonik kavramının ilk mimari kullanımı, Alman mimarlık kuramcısı Karl Otfried Müller'in (1797-1840) 1830 tarihinde yayınlanan "*Handbuch der Archaologie der Kunst – Handbook of the Archaeology of Art*" isimli kitabı ile literatüre girmiştir. Müller, "*tektonische*" terimini kap, vazo, konut ve toplanma mekanları gibi bir dizi sanat terimine uygulayarak tanımlamıştır (Frampton, 1995:4). Bir başka ifade ile bu terimi teknik anlamda"parçaların bir araya getirilmesiyle ilgili sanatsal eylem" olarak kullanırken "bir araya gelmenin sembolik değeri" olarak da anlam kazandırmıştır.

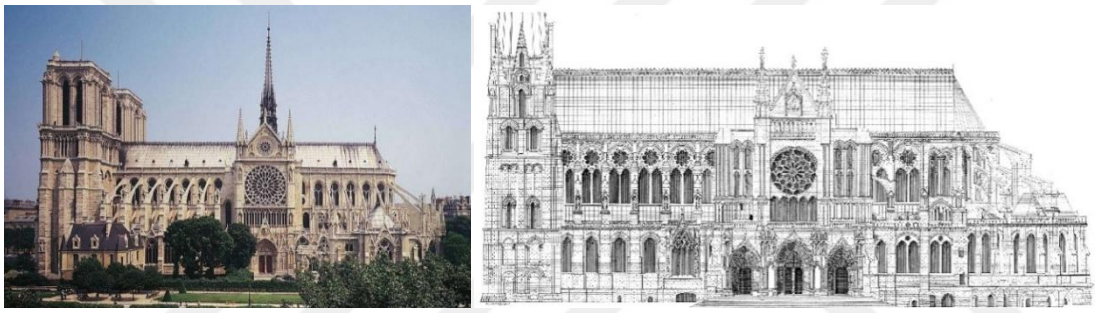
Mürrel'den etkilenen, Alman mimarlık kuramcısı Karl Bötticher (1806-1889), yapı ve kaplama arasındaki tektonik dualiteyi kabul ederek tektoniğin mimarlıkta "çekirdek içyapı ve dış cephe kaplaması" (*nuclear inner structure and outer cladding*) olmak üzere iki ana unsura sahip olduğunu savunan ilk kişi olmuştur. Aynı zamanda tektonik kavramını kullanırken "mimari formun strüktürel ilkeleri doğrultusunda biçimlendiğini" de vurgulamıştır. Bötticher, mimarlıkta, fonksiyonel, kültürel ve strüktürel etmenlerin bütünlüğünü sağlama amacı olan "varlıkbilim - strüktür düzeni" (*ontoloji*) ve tek başına işlevsiz olarak yapının geri kalanından ayrılan "temsili - süsleme" (*representation*) arasındaki farkı ortaya koymuş ve süslemeyi, bir yapının kendine özgü düzeniyle etkileşimi olarak yorumlamıştır. Mimarlık ve tektonik terimlerini birleştirerek (*architectonic*) bir yandan bilim ve teknolojiyi bir araya getirmiş, diğer yandan da sanatla bütünleştirmenin yolunu açmıştır (Schmidt, 2005).

Gotik ve Yunan Mimarlığı üzerine araştırma ve incelemelerini yapmış olduğu "*Die Tektonik der Hellenen- The Tectonics of Greek*" (1843-1852) isimli çalışmasında "tektonik" kavramını bir Yunan tapınağının tüm elemanlarını birleştiren ayrıntılı bir sistem olarak elen alan Bötticher, araştırmalarının sonucunda ikisinin birleşiminden oluşan üçüncü bir mimarlık ontolojisi önermektedir (Güncü, 2007). Resim 2.1 ve Resim 2.2'de örnekleri görülen Gotik mimarlığından strüktürel özellikleri, Yunan mimarlığından ise süsleme özelliklerini birleştirerek Alman Tektonik kuramının temel unsurları haline gelen ana-form (*core-form-kernform*) ve sanat-form (*art-form*) ayrımını yapmıştır. *Kernform*, taşıyıcı sistem çekirdeği olarak tanımlanırken, *kunstform* ise strüktürel sistemin kültürel geleneğini temsil ve sembolize etme görevinde olan çekirdeğin dekoratif kaplamasıdır (Frampton, 1996:10). Bötticher, teknolojik ilerleme ve gelişmeler doğrultusunda ortaya

çıkan çekirdek biçiminin özünün tarihsel taklit içinde değil, yapıcı performansta bulunduğunu da iddia etmiştir (Schwarzer, 1993).



Resim 2.1. Kunstform - Yunan (Helen) Mimarisi - Aphaia Tapınağı (*kunstform* – sanatsal form) ve Cephe Görünüşü (URL-1, URL-2)



Resim 2.2. Kernform - Gotik Mimari - Notre Dame Katedrali (*kernform* – ana form) ve Cephe Görünüşü (URL-3, URL-4)

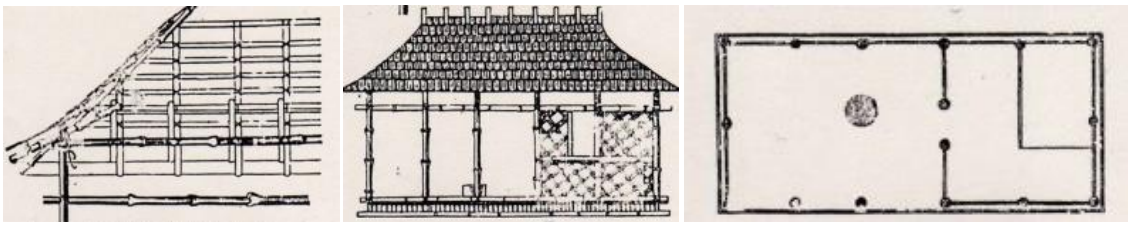
Schwarzer (1993) Bötticher'in tektonik kuramına yaklaşımını ele aldığı "*Ontology and Representation of Karl Bötticher's Theory of Tectonic*" isimli çalışmasında, Bötticher'in mimari tektoniği, yapı oluşturma aktivitesi olarak tanımladığını belirtmiştir. Nesnelerin taklit edilmesine (ya doğrudan ya da benzetimler yoluyla) odaklanan en eski mimari teorisinin aksine, Bötticher tektoniği, yapıyı oluşturan süreçlerle incelemiştir (Schwarzer, 1993). Tasarıma zihinde oluşturulan bir modelle başlamak yerine, mimarların yapıya, yapının mimari biçim ve mekan yaratılmasını destekleyen plan, çatı örtüsü ve dikey destekler gibi yapısal gerekliklerini içeren sosyal ve fiziksel güçlerin analizi ile başlamasını tavsiye eden Bötticher, mimarinin temelinin işlevsel ihtiyaçlar ve yapısal güçlerde bulunduğu savunmuştur.

"Bina strüktürünün parçalarının tüm dekoratif özellikleri, onların işlevleri, özü, fizyonomik başlangıcı, gelişimi, dönüşümü, sonuçları ve bağlantılarının somut göstergeleridir. Kısacası sanat, bütünü parçalarıyla birleştiren organizmanın bir açıklamasıdır" ifadesiyle,

mimaride sanatsal sembolizmi, ihtiyaç, malzeme ve teknolojik inovasyona bağlı olarak ifade etmiştir (Schwarzer, 1993).

Helenik süslemelerle ilgilenen Bötticher'e göre tektonik, bir binanın tüm unsurlarını bir bütün olarak birbirine bağlayan "sistem" ya da "kavramdır" (Andersson ve Kirkegaard, 2006). 1840'larda, plan ve yapı kavramına, daha sonra da yapının sembolizmine dayanan, mimari ifade ile ilişkili sistem önermiştir (Schwarzer, 1993). 19. yy'da yeni bir yapım malzemesi olan demirin kullanımı ile yakından ilgilenen Bötticher, yapılarda demir kullanımıyla daha geniş açıkların geçilmesine ve böylece daha geniş mekanlar üretilebilmesine, dolayısıyla da yeni konstrüksiyon ve yapı formlarının tasarlanabileceğini belirtmektedir (Güncü, 2007). Teknoloji ve bilim ile sanatı birleştirmekle ilgilenen Bötticher, demirin yapılarda kullanılmaya başlamasıyla, tektonik için mimaride çelik konstrüksiyon için detaylı bir teori önermiştir.

Bötticher, "Mimarlığın Dört Elemanı (*Four Elements of Architecture*)" isimli çalışmasıyla, mimaride tektonik kavramını ve her biri ya teknik ya da sembolik olarak ayrılabilen, konstrüksiyon yöntemlerini temel alarak kendi tanımlamış olduğu mimarlığın dört elemanını (yer [*earthwork*], ocak [*hearth*], iskelet/çatı [*framework/roof*], hafif kaplama [*light-weight enclosing membrane*]) ele alan Gottfried Semper'a öncü olmuştur. Şekil 2.1'de görünen ilkel bir kulübe modeline dayanarak hazırlamış olduğu çalışmasında, mimarlığı uygulamalı sanatlarla ilişkili yukarıda bahsedilen dört eleman kapsamında göstermiştir (Semper, 1989/2015:52).



Şekil 2.1. Semper'ın ilkel kulübesi 1. Duvarlar-dokumacılık 2. Ocak- seramikçilik 3. Çatı iskelet-marangozluk 4. Platform-duvarcılık (URL-5)

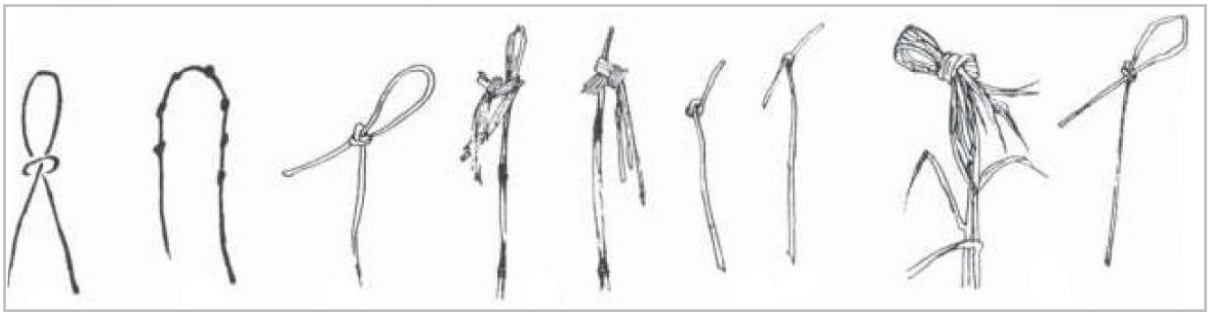
Bu kavramlar kapsamında tektonik teriminde önemli faktörün birleşim detayı (*joint*) olduğunu vurgulayan Semper (1851), bu taksonomiye dayanarak, yapı sanatını iki temel sürece indirgeyerek sınıflandırmıştır:

- Hafif, doğrusal bileşenlerin mekansal bir matrisi kapsayacak şekilde bir araya getirildiği "yapı iskeletinin tektoniği" (*tectonics of frame*)
- Ağır iş öğelerinin tekrarlanarak yığılması yoluyla kütle ve hacmin birlikte oluşturulduğu, taş ya da kerpiçten yapılan ve yük taşıma kapasitesi olan duvarların varlığına bağlı olan "yerin stereotomikleri" (*stereotomics of earthwork*)

Kaya, taş, granit gibi malzemelerin belirli bir şekilde kesilmesiyle yapı malzemesi olarak kullanılmasını ifade eden "*stereotomy*" terimi, *stereos* (*solid* – katı) ve *tomia* (*cut* – kesmek) kelimelerinden türemiştir (Frampton, 1995:5). Semper için her yapı tektonik ve stereotomik teknikleri bir arada içermektedir. Tektonik, temel strüktürü içerirken stereotomik ise yapının konstrüksiyonunu içermektedir.

Semper (1851/2015:84), görüşlerini; "…mimari biçimler dünyası eskiden olduğu gibi günümüzde de, malzeme tarafından koşullanan ve malzemeden doğan bir dünya olarak benimsenmiştir. Bunun nedeni, konstrüksiyonun mimarinin özü olarak görülmesidir" şeklinde özetlemektedir. İnsanların değişik teknik becerilerini de tanımladığı bu dört öğeye göre düzenlenmiştir: Ocak çevresinde önce seramik, sonra da metal işleme; yığma toprak çevresinde suyla ilgili işler ve duvar işçiliği, çatı ve çatı aksamlarında ahşap işçiliği (Semper, 1851/2015:86). Semper, 19. yy'ın ikinci yarısında endüstri devrimin etkisi ile ve teknolojik gelişmeler hızlanmasıyla, bilim, endüstri ve sanatı kapsayan tektonik kavramını "teknoloji ve mimarlığı bütünleyen" bir kuram olarak savunmuştur.

Yapı ve bezeme arasındaki ilişkiler hakkında pek çok kavramını Bötticher'den alan Semper, teknik ve sembolik konular arasında bir ayrım yaparak malzeme ve üretim yöntemi arasındaki tutarlılığın önemine değinirken, "düğüm"ü (*knot*) en eski ve konstrüksiyonun en orijinal yapısı olduğunu düşünmüştür. Benzer şekilde birleşim detayına (*joint*) çok önem vererek bunun yapısal elemanlar arasında bir geçiş ve yapının güzelliğini ortaya çıkaran en önemli unsur olduğunu belirtmiştir (Andersson ve Kirkegaard, 2006). Semper'ın, düğümü, temel tektonik bileşen olarak tanımladığı düşüncesinde, düğüm (*knot*) ve birleşim detayı (*joint*) kelimeleri etimolojik olarak benzerlikler göstermektedir. Semper için birleşime karşılık gelen Şekil 2.2'de görünen düğüm aynı zamanda yapıda stereotomiden (kütle-kesme) tektonik çerçeveye geçişi göstermektedir (Frampton, 1995:7).



Şekil 2.2. Semper'ın tanımladığı düğüm çeşitleri (Frampton, 1995)

1851 yılında Paxton'ın demir ve camdan prefabrik olarak üretilmiş dev bir yapı olan Crystal Palace'da düzenlenen Londra Uluslararası Fuarı'nı gören Semper, teknolojik yeniliklere hayranlığını; "Sanat zanaatın ikincil bir ürünüdür ve stilistik formlar her seferinde mevcut malzemenin tikelliğine, malzemeyi işleme tekniğine ve üretilecek nesnenin işlevine uyum sağlayacak biçimde, az ya da çok mekanik olarak üretilir…" ifadesi ile dile getirerek teknolojinin önemine dikkati çekmiştir (Semper, 1851, aktaran Masiero, 1999).

Tektonik kavramına çeşitli anlamlar kazandıran kuramcılar, klasik tektonik düşüncede asıl önemli olanın konstrüksiyon/strüktür/malzeme bütünlüğünün sağlanması olduğunu savunmuşlardır. Semper, mimarlığın doğayı taklit etmeyi amaçlamadığını ve mimari yapıtların tamamen hayal gücünün, deneyimin ve hayal gücü ile deneyimi birleştiren üretimin sonuçları olduğunu savunmuştur. İklim, doğal unsurlar ya da başka güçlerin etkilerinden korunmak ve barınmak isteyen insanların, doğanın sunduğu malzemeleri bir araya getirerek yapı konstrüksiyonunu statik ve mekanik ilkelere dayandırarak çözümlemenin gerekli olduğunu vurgulamıştır (Semper, 1851/2015:133).

Sonuç olarak, klasik tektonik düşüncede doğanın sunduğu ve insanoğlunun şekillendirdiği malzemeleri, bilim ve teknik ilkeler ışığında yorumlayarak yapının strüktür ve konstrüksiyon bütünlüğünü sağlamak yapıların tektoniği açısından oldukça önem taşımaktadır.

2.1.2. Dijital tektonik düşünce

1990'lardan bu yana yaygınlaşarak kullanılan dijital teknolojiler, "tasarım sürecini yönlendiren" yeni bir ortamın parçası olarak mimarlık disiplinindeki yerini almıştır.

Dinamik manipülasyon süreci, malzemesizlik (*immateriality*) ve sıfır yerçekimi durumu gibi dijital ortamın birçok özelliği, mimari tasarım/üretim/yapım süreçlerini ve yöntemlerini aşamalı olarak etkilemiş ve yeni bir duruma evirmiştir. 3 boyutlu modelleme, çok boyutlu üretken sistemler/algoritmalar ve CAD/CAM fabrikasyonu gibi teknolojiler mimaride yaşanan bu değişime katkıda bulunarak, geleneksel tasarım/üretim/yapım süreçlerini ve mimari düşünme biçimlerini farklılaştırmıştır (Liu ve Lim, 2006).

Dört önemli endüstri devrinde yaşanan gelişmeler sonucunda sürekli gelişen teknolojiyle beraber sanayide üretkenlik artmış ve sonuç olarak mimarlık disiplininde paradigmatik değişimler meydana gelmiştir. 1970'lerin başında yaşanan III. Endüstri Devriminde; üretim süreçlerinin elektronik ve bilgi teknolojileri ile otomasyonun sağlanmasıyla; programlanabilir makineler gelişerek endüstriyel robotlara dönüşmüş ve dijital devrim, elektroniklerin kullanımı ve Bilgi Teknolojilerinin (BT *[Information Technologies –IT]*) gelişmesiyle de üretim otomatikleşmeye başlamıştır. Elektronik ve enformasyon teknolojilerine dayalı yüksek düzeyde otomasyonu içeren III. Endüstri Devrimini takip eden IV. Endüstri Devriminin ya da güncel kullanımıyla Sanayi 4.0 sadece otomasyondaki gelişiminin sağlandığı bir dönemdir. Teknolojinin fabrikasyon yöntemleri için günümüz adına getirdiği en büyük avantajlardan biri olarak geçen Sanayi 4.0 faydaları; kendi kendini yöneten akıllı fabrika olarak da kısa bir özet ile geçilebilmektedir. Sanayi 4.0 ile geleneksel fabrikalar dijital fabrikalara dönüşmekte ve otomasyon; maliyeti düşürmek ve üretimi hızlandırmak adına büyük bir avantaj sağlamaktadır. Üretimde maliyetler azalırken hız, kalite ve verimlilik artmasıyla günümüzde büyük önem taşıyan Sanayi 4.0 sayesinde yapay zeka, büyük veri, bulut bilişim, robotik sistemler, makine öğrenimi, arttırılmış gibi kavramlar oluşurken siber-fiziksel sistemlerin otonom kararlar aldığı yapıların yaygınlaşacağı ön görülmektedir (Alçın, 2016).

Geometrik olarak serbest formların dijital oluşumlarının yeni olanakları birçok mimarın eğrisel yapı oluşturmasına ilham vermektedir. Dijital araçların ortaya çıkmasından kaynaklanan stilistik kırılma, yapısal teknoloji, süreklilik ve morfoloji kavramını görünüşte reddeden mimarlıkla sonuçlanarak mimarlıkta klasik ya da temsili yaklaşım kullanılmaya başlanmıştır (Andersson ve Kirkegaard, 2006). Tasarım/üretim/yapım süreçlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler sonucunda, yeni malzemelerin tasarlanması ya da var olanların farklı biçimde kullanılmasıyla malzemenin konstrüksiyonla eş zamanlı üretimi sağlanmış ve sonuçta yeni tektonikler ortaya çıkmıştır (Sabur ve Arslan Selçuk, 2017). Dijital tektoniğe

geçiş, dijital araçların her yerde bulunmasının doğrudan bir sonucu olmuştur. Bilgisayar programları aracılığıyla kullanılması yaygınlaşmış yeni teknik ve araçlar, hem mühendislik hem de mimarlık disiplininde karmaşık şekillerin özellikle karmaşık formlardaki yapıların tasarımı ve üretim alanlarında yenilikçi ve devrimsel nitelikteki çalışmalara yön vermiştir. Söz konusu teknolojilerle şekillenen bu tasarlama ve üretme biçimleri kendi tektoniğini yaratmaya başlamış ve "dijital tektonik" olarak adlandırılabilecek yeni yapma biçimleri, mimarın malzeme ve strüktürle olan diyaloğunu da yeniden biçimlendirmiştir (Andersson ve Kirkegaard, 2006).

Dijital, sanal, soyut ve doğa yasalarından arındırılmış olarak, tektonik ise dokunsal, somut ve daha önce tarif edildiği gibi, doğa yasalarının bir tepkisi olarak ortaya çıktığı düşünüldüğünde dijital ve tektonik terimlerinin birbirleriyle çeliştikleri sonucuna varılsa da, dijital tektonik terimini tektonik kavramından ayırmak mümkün değildir. Tektonik kavramında olduğu gibi, dijital tektonik teriminin yorumlanması konusunda da birçok farklı görüş bulunmaktadır. Dijital tektonik kavramının tanım önerilerinden biri "dijital olarak tasarlanmış, strüktürel olarak açıklanmış ve doğrudan üretilmiş mimarinin bütünsel ifadesidir" (Andersson ve Kirkegaard, 2006).

Mimarlıkta tektonik kavramı, araştırmacılar ve kuramcılar tarafından çeşitli şekillerde yorumlansa da 20. yy'ın sonlarına doğru Eduard Sekler 1965 yılında "*Structure, Construction and Tectonics*" isimli çalışmasında strüktür ve konstrüksiyon kavramları arasındaki farkları anlatmaktadır. Sekler bu çalışmasında, tektoniği, konstrüksiyonel formun statik direncinden kaynaklanan belirli bir ifade olarak tanımlamış ve sonuçta ortaya çıkan ifadenin tek başına strüktür ve konstrüksiyon ilkeleri bakımından açıklanamayacağını ifade etmiştir (Frampton, 1995:11). Konstrüksiyon, yapım yöntemi ve malzeme ile ilişkili olarak tartışılırken, strüktürün, seçilen sistemin etkinliği ile değerlendirilmesi gerektiğini savunan Sekler, mimari formda strüktürün ve konstrüksiyonun birbirinden ayrı düşünülemeyeceğini belirterek bu iki kavramın etkileşim içinde olması gerektiğini ileri sürmüştür. Sekler, strüktür ve konstrüksiyonun benzer kombinasyonlarının, anlatımdaki ustaca yapılmış bir varyasyon için nasıl fırsat olabileceğini göstermeye devam ederek, konstrüksiyon ve strüktür arasındaki bu ilişkide görsel sonucun sanatsal bir ifadeyi doğuracağını söylemiş (Sekler, 1965) ve bu görsel ifadeyi ise "tektonik" olarak tanımlamıştır. Sekler'in ulaştığı son nokta, strüktürün soyut

içeriğinin dokunsal özelliklere sahip konstrüksiyonla gerçekleştirilebilir olduğu ve "tektonik" karakter ile görsel ifadeye ulaşılabileceğidir.

Sekler (1965), strüktür, konstrüksiyon ve tektonik arasındaki ilişkiyi ayırt etmek için örnekler kullanmış ve strüktür ve konstrüksiyonu tektonikten ayırt etmişken, Sekler'i takip eden Vallhonrat (1988) strüktür ve konstrüksiyon tekniklerinde tektoniğin etkisi üzerinde durmuştur. Gregotti (1983), detayın, malzemenin tasviri ve strüktürün ilkesi olduğunu düşünmüş ve Tadao Ando, Stephen Holl ve Mario Botta'nın yapıtlarını, yapım yönteminin mimari anlamın bir tezahürü olabileceğini göstermek için kullanarak yapıyı malzemenin kendisinin ayrıntılı tanımından geliştirildiğini belirtmiştir (Liu ve Lim, 2006). Mimarlık tarihçisi Elias Cornell (1996) ise tektoniği "mimarideki merkez kavram" olarak nitelendirirken, "yapıcı veya yapı elemanları ve parçaları ile açıkça inşa edilmiş, ya gerekli ya da yalnızca figüratif" anlamına karşılık kullanmıştır (Nilsson, 2007). Sven-Olov Wallensten (2004), tektonik fikrinin, gelenekselde kökten bir kırılmaya sebep olan klasik düzenlemelerin doğası ve süslemeleri üzerindeki tartışmaların, modern mimarlığa yönelik gelişmelerdeki dönüm noktası olduğunu ileri sürmüştür.

Dijitalin ortaya çıkışıyla, tektonik tartışmalar mimarlık disiplininde farklı boyutlara ulaşmıştır. Semper'ın mimarlığa yaklaşımı ve mimarlığın doğası hakkında ortaya koyduğu görüşler, III. Endüstri Devriminde yaşanan teknolojik gelişmelerle tektonik terimine başka bir bakış açısı getiren, dijital kavramların ortaya çıktığı 1990'lı yılların başlarında mimarlıkta "tektonik" kavramını inceleyen ve kavrama yeni bir bakış açısı kazandıran isim olan Kenneth Frampton'un çalışmalarına da yön vermiştir. Neil Leach (2004), Kenneth Frampton tarafından tektonik üzerine yapılan çalışmalarının dijital dünyaya karşı bir hareket olarak nitelendirmektedir (Schmidt, 2005). Frampton (1995) tarafından yeniden tanımlanan tektonik kavramının dijital alanda tartışmaya ilişkin açıklaması, kavramın yapı eylemi için başka bir kelime olarak daha basit bir anlayışa sahip olduğunu göstermektedir. Teknolojik gelişmelerin yaşandığı 20. yy'da "*dijital tektonik*" kavramını oluşturarak mimarlıkta bilgi teknolojilerinin de önemine değinmiştir. 1995 yılındaki "*Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*" isimli kitabında, mimari morfolojik analiz yöntemi ile geçmiş mimarlığı kendi bakış açısıyla tekrar yorumlayan Frampton (Tozlu, 2017), materyal kültürü ve konstrüksiyon ayrımını reddederek bu iki kavramı birleştiren mimarlık görüşünü benimsemiştir. Aris Konstantinidis'in tektonik kavramına yaklaşımını benimseyen

Frampton, konstrüksiyonun iyi mimarlıkta her zaman etkin olduğunu belirtmektedir. Konstrüksiyonun materyali biçimlendirdiğini ve malzeme özelliklerinin kullanımıyla ilişkili olduğunu, bu nedenle mimarlıktan ayrı düşünülemeyeceğini söyleyen yazar, yapının konstrüksiyonunun ve ona ait dilin var olabilmesinin materyalde dayalı tasarımda önemli olduğunu belirtmektedir (Frampton, 1995:11).

Dijital mimarlığın ortaya çıktığı dönemde "tektonik form" kavramı bir binanın tüm konstrüksiyon mantığını gösteren açık bir strüktür ve birleşimler yoluyla yük transferini yansıtan detaylardan ortaya çıkan bir form/biçim olarak tanımlanmaktadır (Güncü, 2007). Frampton, amacının "mimari formun hacimsel karakterini yadsıma riskine girmeden, mekan oluşturmak için gerekli yapının ve yapısal tarzların tekrar göz önünden tutulmasıyla mekana verilen üstünlüğü ortaya koymayı ve zenginliği araştırmak" olduğunu belirtmiştir. Frampton için mimarlık disiplininde öncelikli olan yapının taşıyıcı sistemiyken, yüzey, hacim ve plana bağlı ifadedir (Frampton, 1995:11).

Frampton, tektoniğin "teknolojik kategoriden ziyade estetik" olduğunu iddia ederek, teknolojinin estetik değerlendirmelere göre daha baskın olduğu herhangi bir tektoniğin olamayacağını kabul eder (Frampton, 1995:12). Ayrıca, bir yapının, mimarideki yük ve destek etkileşimi görsel olarak ihmal edildiğinde tektonik olduğunu savunmaktadır. Böylece, teknoloji sanatsal olarak kullanılması gereken bir olgudur. Ona göre (1995), tektoniğin ontolojisi aynı anda teknoloji ve estetiğin yüksek kaliteli kullanımlarına dayanmaktadır. Başka bir deyişle, eğer teknoloji yapıyı sadece estetik amaçlı giydirmek için kullanılıyorsa, sonuç sadece ontolojik olmaktan çok skenografik olabilir (Hürol, 2016).

Frampton'a göre mimarlık; strüktür, malzeme ve konstrüksiyon ile etkileyici niteliklerin estetik ve kültürel yorumlarından gelişmiştir. Tektoniğin, mimari formun gelişiminde strüktürel formun önemli olduğu şeklinde yorumlanması (Frampton, 1995:12), tamamen görsel veya deneyimsel tektoniğin içeriğinin ötesine geçmiştir. Bu düşünce, modern mimari formun gelişmesinde tektoniği temel bir unsur olarak ele alınmasını sağlamıştır. Frampton, modern mimarinin temeli olarak potansiyel bir "*poetics of constrcution*" elde etmek amacıyla strüktür ve konstrüksiyon için daha proaktif bir rol vurgulamıştır (Oxman, 2012). Frampton için, strüktürel ve konstrüksiyonel birleşenlerin; mimari forma, mekana ve düzene entegrasyonu, modern mimarinin gelişmelerinden biridir ve ona göre modern

mimari mekan ve formdan daha çok, strüktür ve konstrüksiyonla ilgilidir. Bununla birlikte, onun teorisi strüktür/konstrüksiyon ve mekan/form arasındaki dengeyi korur. Bu genişletilmiş yorumlama aynı zamanda, fabrikasyon ve imalatın dijital olarak bilgilendirilmiş sistemler olarak görüldüğü çağdaş bir tanıma daha da yaklaşır (Oxman, 2012).

Frampton'a göre üç farklı yapı yapma durumu mevcuttur. Bunlar:

- Belirli bir ihtiyacı karşılamak üzere "teknolojik nesne"
- Soyut bir elemanı ima etmek üzere "skenografik nesne"
- Varlığın bilimsel ve temsili biçimde görüldüğü "tektonik nesne"

olarak ifade edilmiştir (Frampton, 1996).

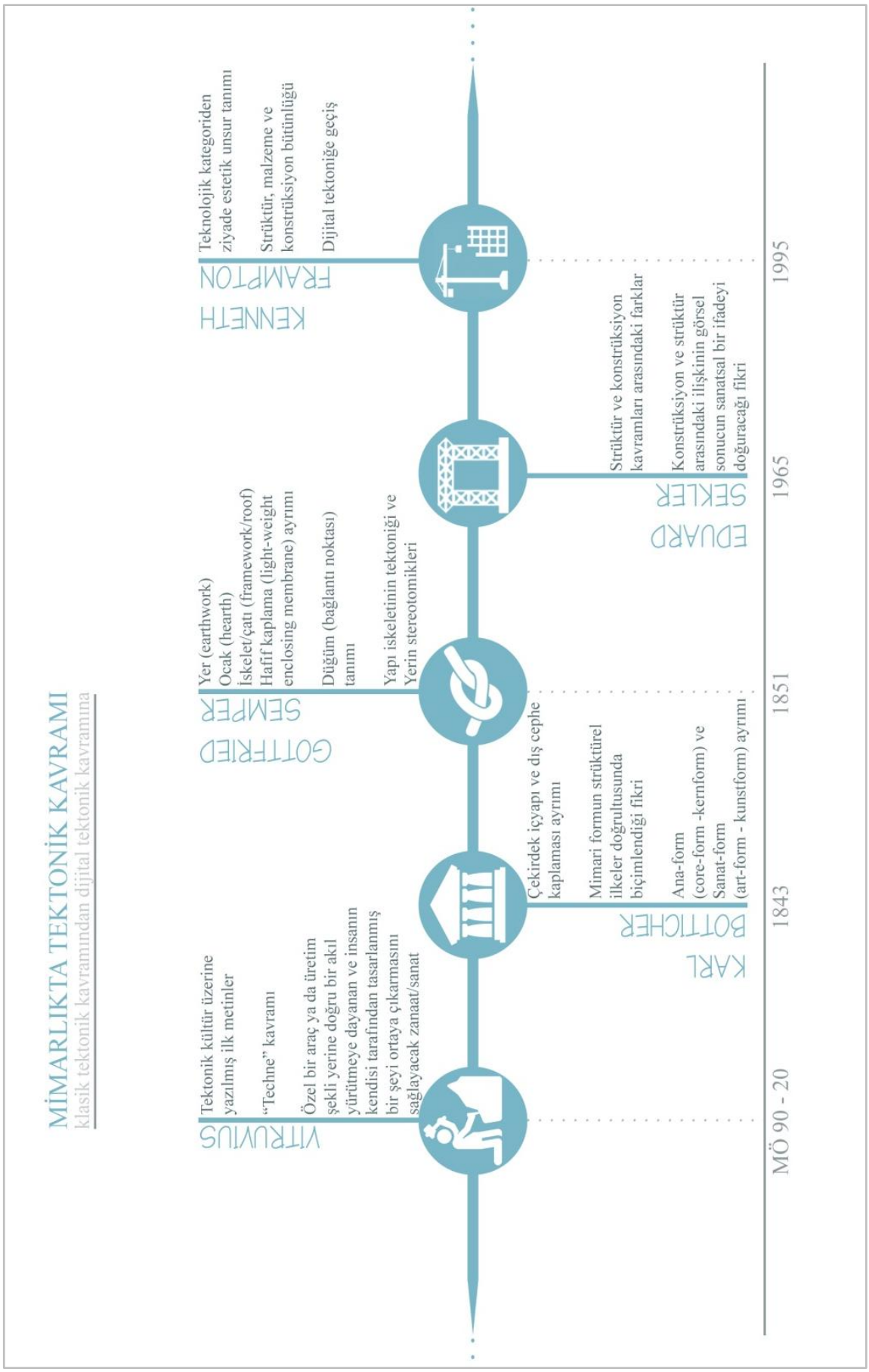
Tektonik, sadece bina yapım tekniklerini değil, aynı zamanda yapım süreçlerinin bütünleşmesinin söz konusu olduğu bir kavramdır. Dijital tektonik ise geleneksel tektonik terimine sadece dijital mimarinin eklenmesi değil, karmaşık bir sürecin açık ve mantıksal bir sonucu olarak mimariyi düşünmenin yeni bir yoludur. Bu durumda mimarlık ve tektonik terimi bir arada düşünüldüğünde kavram yapı ve yapı içeriğini temsil etmektedir. Yeni teknolojik avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, dijital tektonik, malzeme, konstrüksiyon ve açık ve anlaşılır bir strüktür arasındaki etkileşimin birleşimidir.

Tektonik terimi ile asıl ifade edilmek istenen malzeme ve konstrüksiyon arasındaki etkileşim ile strüktür mantığının iletişimidir, günümüz bilgi ve teknolojisine bakıldığında ise dijital mimari araçlar ile istenen ve düşünülen tasarıma ulaşmanın mümkün olduğu bilinmektedir. Yeni teknoloji sayesinde gelişen dijital mimari araçlar etkisiyle mimarların yapı sanatını değiştirmek ve geliştirmek için form bulma sürecinde düşünmeden istenen geometriye mantıksal bir yapı bulmak mümkün olmuştur.

Dijital ve klasik öğelerle süreçleri birleştiren yeni tektoniğin daha sistematik yapısı olan dijital tektonik çalışmalar, dijital teknolojiyle birlikte geleneksel mimarlık disiplinindeki dramatik değişimi fark ederek, mimarlık disiplinindeki dijital teori anlayışını değiştirmiştir (Liu ve Lim, 2006). Dijital teknolojilerle beraber değişen yapısal gelişmeler; strüktürel teknoloji, süreklilik ve morfoloji kavramlarını da değiştirerek mimarlık disiplininde klasik veya temsili yaklaşımın önü açılmıştır. Dijital tektoniklerin geliştirildiği bu dönemde

bilgisayarlı tasarım ve üretim teknolojileri ile karmaşık tasarım problemlerine yeni çözümler sunulabilmektedir. Dijital üretken süreçler, formun ortaya çıkan ve uyarlanabilir özelliklerine odaklanmış bir mimari morfolojiyi eklemleyerek, kavramsal, biçimsel ve tektonik araştırma için yeni bölgeler açmakta (Kolarevic, 2003:17) ve böylece önem, "form oluşturma" dan, çeşitli dijital tabanlı üretken tekniklerin ortaya çıktığı "biçim bulmaya" doğru kaymaktadır.

Sonuç olarak insanların değişen yaşam koşulları, sosyo-ekonomik durumları, tüketici davranışları, algıları köklü değişime uğradıkça ihtiyaçları da değişiklik göstermiş ve sanayi ile teknolojinin gelişimi de insanlığın varoluşundan bu yana toplumların davranışları üzerinde etkili olmuştur. Kronolojik gelişimiyle beraber, seçilen beş teorisyenin tektonik kavramına olan katkıları göz önüne alındığında net ve anlaşılır bir yapı yapma vurgusu anlaşılmaktadır. Günümüzde mevcut olan malzeme ve konstrüksiyon çeşitliliği, bu durumu kolaylaştırmaktadır. Bilgisayar teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla da, hemen hemen her türlü malzemeyi herhangi bir konstrüksiyonla birleştirmek mümkün olmakla beraber yapı inşa edilmeden önce arz/talepleri karşılamak için malzemelerin detaylı bir şekilde boyutlandırılması, değiştirilebilmesi ve yapının güçlendirilmesi sağlanabilmektedir. Geçmişten günümüze, geleneksel yöntemlerden ileri üretim yöntemlerine kadar yaşanan değişikliklerle yapı yapma biçimi malzeme kullanımı ve üretim yöntemleri açısından da gelişme göstermiştir (Şekil 2.3). Çalışmanın bundan sonraki bölümünde, mimari anlatımda malzeme kullanımı ve üretim yöntemleri, geleneksel yöntemlerden ileri üretim yöntemlerine doğru kronolojik sırada açıklanmıştır.



Şekil 2.3. Tektonik kavramının tarihsel değişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)

2.2. Mimari Anlatımda Malzeme Kullanımı ve Üretim Yöntemleri

TDK Türkçe Sözlüğü'ndeki anlamı "bir eserin hazırlanmasında yararlanılan bilgi ve kaynakların tamamı" olan malzeme; mimari ve mühendislik anlatımında "insanların hayatlarını sürdürebilmeleri ve üretimde bulunmaları için kullandıkları yapı maddeleri" olarak tanımlanmaktadır. Mimarlık disiplininde malzeme, tasarımın yapımı ve üretimi içi önemli bir yer teşkil etmektedir. Malzeme çeşidi ve malzemeyle ilgili gelişen teknoloji, mimarlıkta tasarlama ve üretme biçimini büyük oranda etkilemiş ve malzeme seçimi yapılarda büyük rol oynamaya başlamıştır.

"İnsanlığın başlangıcından bu yana farklı sektörlerde, farklı türlerde pek çok malzeme kullanılmıştır. Yapı sektöründe ise geçmişten günümüze en çok kullanılan malzemeler; ağaç, beton, tuğla, plastik, cam, lastik, çelik, alüminyum, bakır ve kağıttır" olarak ifade eden Smith (2001)'in söylemine ek olarak, günümüzde yeni malzemelerle yeni kompozisyonlar oluşturulabilmekte, geleneksel yöntemler yeniden yorumlanabilmektedir.

2.2.1. Geleneksel yöntemler

Tarihin ilk zamanlarında insanoğlu, tarımsal faaliyetlerde bulunmalarıyla göçebe hayat tazına son vermiş ve yerleşik yaşama geçmişlerdir. Barınma ve güvenlik ihtiyacını karşılamak maksadıyla yerleştikleri bölgelerde yapılaşma faaliyetleri başlamıştır. İlk zamanlarda yapılarda kullanılan malzemeler, yaşanılan çevrede bulunan yerel malzemeler olmuştur. Çevrenin ekolojik ve iklimsel özelliklerinin göz önünde bulundurulmasıyla gerçekleştirilen tasarım süreci mimari özellikleri biçimlendirmiştir. Bu sayede, toprak, taş, çakıl, sıkıştırılmış çamur, kerpiç gibi yerel malzemelerin özelliklerine uygun yapım sistemleri geliştirilmiş ve her bölgede, kendine özgü mimari üslup ortaya çıkmıştır.

Mimarlık disiplinin gelişim süreci boyunca bina tipolojileri, yapım malzemeleri ve yöntemleri bağlamsal farklılıklar göstermiştir. Eskimolar buz bloklarını istifleyerek binalarını inşa ederken, Katalanlar mahzenlerini yapmak için çeşitli malzeme içerikleriyle ve çeşitli boyutlarda kerpiç üretmeyi öğrenmiş, örme yöntemleri geliştirmiş, Afrikalılar ise sıkıştırılmış çamurdan elde edilen malzemelerle kerpiç yapılar elde etmiştir.

Hem tasarıma, hem de yapı bilgisine sahip olması beklenen mimarın, malzeme, teknoloji ve yapım sistemlerinin sağladığı olanaklar oranında, kullanıcı ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak yapı üretimini gerçekleştirebilmesi için, gerekli yapı malzemelerinin özelliklerini kavramış olması ve malzeme seçimi ve kullanımı konusunda daha titiz davranması gerekmektedir. Tarihin önemli mimarlık kaynaklarından olan, Vitruvius'un malzemelerin teknik özellikleri, kullanımı ve yapım sistemlerine yer verdiği "Mimarlık Üzerine On Kitap" çalışması, metal malzemenin Yunan ve Roma Uygarlıklarında yalnızca ankraj ve taş bağlama elemanı olarak kullanıldığı, kerpicin tuğlaya tercih edilmesi gerekliliği, puzolanlı kireç bağlayıcı içine pişmiş toprak kırıkları ve toz katarak, çok etkili ve aşınması düşük döşemeler elde edilebileceği gibi bilgiler barındırmaktadır (Karadağ, 2011).

Geleneksel dönemde, yapı malzemelerinin kullanımında yaşanan gelişmeler, daha çok strüktürel sistemde ve bağlayıcı malzemelerde gerçekleşen yeniliklere bağlıdır. Bu dönemde yapımda en çok ihtiyaç duyulan bağlayıcı malzeme olmuştur. İnce toz halinde olan ve su ile karıştırıldığında katılaşan maddelere bağlayıcı malzeme adı verilmektedir. Doğal taş, kerpiç ve tuğla duvarların ilk bağlayıcı malzemesi çamur olmuşken, diğer bağlayıcı malzemelere alçı, kireç, çimento örnek verilebilmektedir. Kirecin bağlayıcı malzeme olarak, tarihe tanıklık eden yapılardan olan Meksika'da yapılmış El-Tajin Piramidi (Resim 2.3) ve Mısır'daki Giza Piramitleri (Resim 2.4) gibi yapılarda görülmesi, bu malzemenin değişik zamanlar ve yörelerde kullanıldığının kanıtıdır. Günümüzde ise beton ve çimentonun bulunmasında, endüstriyel üretimi günümüzden 600 yıl önce düşey fırınların gelişmesiyle mümkün olan kirecin önemli rolü olduğu söylenebilmektedir (Akman, 2009).



Resim 2.3. El-Tajin Piramidi, Meksika (Akman, 2009)



Resim 2.4. Giza Piramitleri (Akman, 2009)

Geleneksel yöntemlerin gelişmesi, 18. yy'da yaşanan Endüstri Devrimine kadar yavaş olsa da; kimyasal, mineralojik ve mekanik yönden çimento ve beton alanında ileri düzeyde yapılan bilimsel araştırmalar kapsamında, çimento endüstrisinde ve beton teknolojisinde yaşanan büyük gelişmeler yapım sistemlerin endüstrileşmiş yöntemlerle kimlik değiştirmesini sağlamıştır.

2.2.2. Endüstrileşmiş yöntemler

18. yy'da İngiltere'de başlayıp insanlığı etkilemesiyle tüm dünyaya yayılan ve etkileri günümüzde hala devam etmekte olan "Endüstri Devrimi", endüstride makineleşme döneminin başlamasını sağlamıştır. Teknolojinin gelişimi, yeni buluşların üretim alanında hayata geçirilmesi, enerji kullanımındaki yenilikler, buhar enerjisinin bulunması ve buhar gücüyle çalışan makinelerin üretilmesiyle 18. yüzyılda başlayan makineleşmiş endüstri, üretimde sosyal, ekonomik, teknolojik yönden hızlı bir değişim süreci başlatmıştır (Yurttaş, 2010).

Enerji ve hammadde konusunda yaşanan gelişmelerle, kömür, demir, petrol ve çimento/beton gibi kimyasal maddeler üretim sürecine katılmıştır. Kömürün kullanılmasıyla, makine üretimiyle metal işleme teknikleri gelişmiş; kömürün gazlaştırılmasıyla gaz aydınlatması sağlanmış, buhar gücünün kullanılmasıyla demiryolu, denizyolu ve ulaşım olanakları artmıştır.

1800'lü yıllardan itibaren başlıca dört etmen malzemenin gelişmesinde katkı sağlamıştır:

- Elektrik enerjisi (Volta'nın 1800'lü yıllarda pili bulmasıyla, yeni ve güçlü bir enerji biçimi elde edilebilmiş, böylece malzemelerin sentezlenmesi ve üretimi süreçlerinin kontrol edilebilmesi sağlanabilmiştir)

- Periyodik tablo: Mendelev'in 1871 yılında doğal elementleri birbirleriyle ilişkilendirerek sıralaması malzeme gelişimini çok büyük oranda hızlandırmıştır
- Malzeme içyapısının üzerinde çalışmayı sağlayan aletler (mikroskoba ilave olarak XRD (X ışınları kırılımı, nötron kırılımı, çeşitli spektroskopi yöntemleri, nükleer
- manyetik rezonans ve diğer uzman araçlar);
- Bilimsel iletişim- sempozyum, panel, bilimsel yayın, patent gibi iletişim araçları yoluyla bilimsel bilginin düzenli bir şekilde yayınlanması (Tanaçan, 2010).

Endüstri Devrimiyle yaşanan gelişmeler ve malzeme/üretim süreci ile yeni yapım yöntemleri; 19. yy ortalarına kadar süren, üretimin akıllı fabrikalara ve daha büyük ölçeklere geçtiği makineleşme çağı olan "Yarı Endüstrileşmiş Yöntemler" ile19. yy'ın ortalarından itibaren süren, içten yanmalı motor ve elektriğin bulunmasıyla başlayan "Tam Endüstrileşmiş Yöntemler" olmak üzere iki ayrı dönemde ele alınmıştır.

Yarı endüstrileşmiş yöntemler

Endüstri Devriminden itibaren 19. yy ortalarına denk gelen erken endüstrileşme döneminde, yeni malzemeler ve yapım sistemlerinde geleneksel kalıpların dışına çıkılmasa da, yaşanan makineleşme çağı dönemine sanayi yapıları, fabrikalar, toplu konut gibi yeni mimari ihtiyaçlar getirmiş ve yapılar yeni işlevsel özellikler ve içerik kazanmışlardır. Dönemin başlarında, yeni malzemelerin varlığı kabul edilse de, malzemeyi işleyecek yeterli düzeyde bilgi ve teknoloji birikimi olmadığından, yapılar geleneksel strüktür yöntemleri ile üretilmiştir. Yeni malzemelerin yapı üretiminde kullanıldığı ilk örnekleri köprü, su kemerleri, su kuleleri vb. yapılar olmuştur. Yeni malzemelerin bulunmasıyla, bu malzemelerin mimari yapılarda kullanılması için yeni yapım teknikleri gelişmiş ve sonuç olarak mimarlıkta köklü bir değişim yaşanmış ve yeni yapım sistemleri ve malzeme çeşitleri mimarların yapım sürecinde etkin bir rol almasına sebep olmuştur. 1777-1779 yılları arasında mimar T. F. Pritchard tarafından İngiltere'nin Severn Nehri üzerinde inşa edilen Resim 2.5'teki ilk dökme demir köprü yaşanan köklü değişimin ilk örneğidir. Bu köprüde strüktürel olarak eski yapım sistemlerinin özelliği gözlemlense de malzeme olarak demirin kullanılmasıyla mimarlıkta yaşanan değişimin başlangıcı olmuştur.

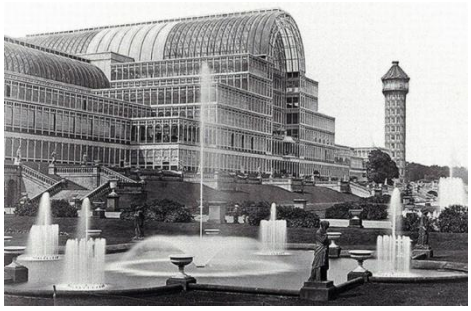


Resim 2.5. Demir Köprü, T. F. Pritchard, 1777-1779 (*The Iron Bridge*) (URL-6)

Dönemin görülen ilk yapılarında, yeni malzemelerin hafiflik, geniş açıklık geçebilmeleri, kesitlerinin inceliği, yapım sürelerinin kısalığı gibi özelliklerinden yararlanılmış olsa da, yeni bir strüktür sistemi oluşturulamamış ve geleneksel strüktürle bağlı kalınmıştır. Kesintisiz bir hacme ihtiyaç duyulan sanayi yapılarında geniş açıklıkların geçilebilmesi önemli bir gelişme olsa da malzeme ile yapının strüktürü ile arasındaki uyum daha sonraki aşamalarda görülmeye başlanmıştır (Yurttaş,2010). Bu gelişme, sanayi yapılarından önce, Endüstri Devrimin öncelikli yapılarını oluşturan sergi yapılarında ortaya çıkmıştır.

19. yy öncesinde genellikle sera gibi yerlerde kullanılan işlenmiş demir ve cam gibi malzemeler, asıl mesleği bahçıvanlık ve bitki uzmanlığı olan ve sera yapılarından dolayı demir ve cam malzemelerini tanıyan Joseph Paxton tarafından tasarlanan ve 1851 yılında Londra'da açılan büyük sanayi sergisinde ilk kez büyük bir yapıda görülmüştür. Malzeme ve strüktür arasındaki ilişkinin öne çıktığı yapıların başında Resim 2.6'da görülen Kristal Saray (*Crystal Palace*) gelmektedir. Dökme demir ve camın bir arada kullanıldığı yapıda, yapım sistemleri ve mimari anlayışın değişimi ve teknolojinin forma etkisi gözlemlenmektedir. Bu fuar ve sergiden çıkan sonuçlar mimarlıkta yaşanacak değişimin önünü açmıştır:

- Sanayi geleneksel tasarım kimliklerini makineleştirmekte
- Yeni ve özgün kimlikler yaratılmakta
- Sergiler yoluyla ilk küreselleşme etkileri yaratılmaktadır (Küçükerman ve Erda, 2006)



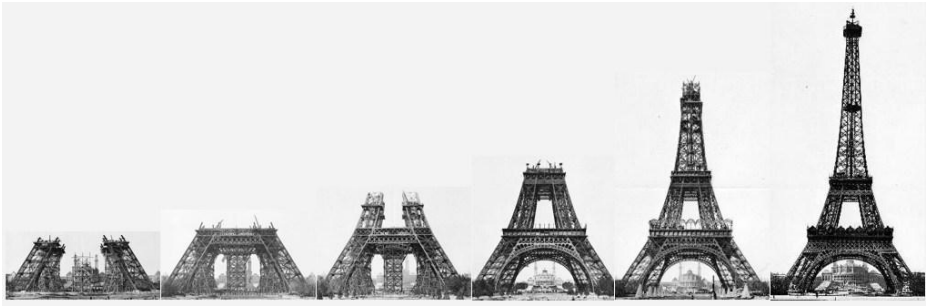
Resim 2.6. Kristal Saray,J. Paxton- 1851 (*Crystal Palace*) (URL-7)

Bu dönemde, yaşanan devrimin etkisiyle beraber yeni olaşan ve zenginleşen ticaret sınıfının istekleri doğrultusunda, kamu, konut-ticaret, müze, parlamento, üniversite, kütüphane binaları gibi yeni yapılar oluşmuştur. 19. yy'da Almanya ve Fransa'da betonarme denen ve içine demir ya da çelik çubuklar yerleştirilerek elde edilen donanımlı beton, bina yapımında kullanılmaya başlanmıştır (Yurttaş, 2010).

Tam endüstrileşmiş yöntemler

> ... Endüstri devrimiyle her şey değişirken değişimi öngören mantık sürecin dışında kalamamıştı. Bu sonuç dünyayı ve insanlığı endüstri devriminin getirdiği ve getireceği kurumsal ve yapısal köktenci değişimlere hazırladı… Aslında serüven Ortaçağın karanlığında sessizce başlamıştır. Yapılar hala yapıtaşlarının üst üste yığılmasıyla yükseliyordu ama Floransa'da kubbenin kasnağına bir çekme zinciri gerilmişti. Rönesans, klasik çağlardan Endüstri Devrimine uzanan köprü ayağını tutmuştu (Güvenç, 2005 aktaran Yurttaş, 2010).

Rönesans'ın ardından akılcı düşüncenin, bilimsel araştırma metotlarının ve deneysel bilimin gelişimi, felsefe, bilim ve sanattaki büyük değişimi ve gelişimi ortaya çıkarmıştır (Yurttaş, 2010). Tarihsel süreç içerisinde insanların yaşayış biçiminde meydana gelen (ilkel toplumdan tarım toplumuna) değişimler, 19. yy' ın ortasından 20. yy'ın başlarına kadar sanayi toplumunun bilgi toplumuna evrilmesiyle devam etmiştir. Ortaya çıkan yeni malzemeler, yeni kavramlar ile yeni yapım/üretim tekniklerinin oluşmasını sağlamış, bu durum da mimarın düşünme şeklini değiştirmiştir. Makineleşme, demirin işlenerek yapıların strüktüründe kullanılmasının önünü açmıştır. 19. yy ortasından sonra demirin yapı teknolojisine girmesiyle yeni bir dönem başlamıştır. 1889 yılında, Paris'te gerçekleştirilen dünya fuarı için Gustave Eiffel tarafından inşa edilen simgesel bir yapı olan Eiffel Kulesi de (Resim 2.7), malzeme olarak sadece demirin kullanılmasıyla teknolojinin ve malzemenin mimari biçime yön verdiği örneklerin başındadır.



Resim 2.7. G. Eiffel, Eiffel Kulesi - 1889 (URL-8)

20. yy'ın başlarından itibaren, bilgi ve teknoloji çağının yaşanmasıyla, modern mimarlık yeniden tanımlanmıştır. 1950'li yıllarda itibaren yapım alanında ortaya çıkan önemli değişimler, yeni yapı malzemeleri, geliştirilmiş yapım teknikleri, bilgisayar destekli sanal gerçeklik uygulamaları ve CAD/CAM uygulamaları, binaların yüksek birer teknoloji ürünü haline gelmelerini sağlamış ve dünyayı değiştirecek yeni bir yapılanmayı beraberinde getirmiştir (Tozlu, 2017).

2.2.3. İleri üretim teknolojileri

Endüstri Devrimiyle yaşanan gelişmeler, 21. yy teknolojilerinin yeniden biçimlenmesine, günümüzde Sanayi X'in yaşanmasına ve otomasyon yöntemlerinin kullanımına hız kazandırmıştır. 20. yy sonu itibariyle bilgisayar teknolojilerinin gelişimi, mimari yapım ve üretimde yaşanan süreçlerin ilerlemesine katkı sağlamıştır. Bu süreçte malzeme çeşitliliğinde yaşanan gelişmeler, mimarın hem malzeme hem de strüktür seçimini etkilemiştir. Bir yanda yeni teknolojileri ve tasarım ortamını kullanmak, diğer yanda yapılı çevre ile doğal çevre arasında her geçen gün arttığı gözlenen gerilim, tasarımda form, strüktür, malzeme, enerji kaynakları, inşaat teknikleri ve benzeri birçok bileşende yeni arayışları zorunlu kılmıştır (Gönenç Sorguç, 2010). Son zamanlarda hesaplamalı teknolojilerin gelişimi, tuğla, beton, çelik, ahşap gibi geleneksel malzemelerin mimaride yeniden yorumlanmasına ve ilerleyen teknolojilerle beraber granüllü malzeme, fiber gibi yeni malzemelerin yapı inşasında strüktür ve konstrüksiyonla beraber eş zamanlı üretiminin gerçekleşmesine katkı sağlamıştır.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında, ileri üretim/yapım yöntemleri ile bu yöntemlerin kullanımı sonucunda 21. yy teknolojileriyle beraber, geleneksel malzemeler ile yeni malzemelerin hibritleşmesi detaylarıyla açıklanmıştır.

3. İLERİ ÜRETİM/YAPIM YÖNTEMLERİ VE ROBOTLAR

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.

Yapı sektörü, malzeme endüstrisi ve bilgisayar teknolojilerinin etkisiyle hızlı bir ilerleme göstermiş ve yapı malzemelerinin çeşitliliği artmış ve bu çeşitlenme mimarın malzeme seçim sürecini de etkilemiştir. Uzun bir zaman diliminde gelişen bu yöntemler, benzersiz mimari formları ve tektonik gelenekleri günümüze taşımıştır (Liu, 2009). Mimarlık 20. yy'da hızla gelişen bilgisayar teknolojileri ile bilgi çağındaki yerini almış, gelişmekte olan teknolojilerle arasındaki etkileşimin kurulmasıyla mimarları tasarım/üretim/yapım konusunda cesaretlendirmiştir.

Endüstriyel devrim sırasında yaşanan teknolojik yenilikler (*innovation*) ve standardizasyon kavramı, mimarlık disiplini için itici bir güç oluşturmuşken, 21. yy'ın sağladığı teknolojilerle elde edilebilen kişiselleştirilmiş parçaların üretimi de (*masscustomisation*), günümüz mimarlığı için itici güç olma özelliği taşımaktadır. Collier'e (2017) göre bu yüzyılın makineleri (CNC), teorik olarak endüstriyel seri üretim için zorunlu olan standardizasyonu aşmayı mümkün kılarken mimarinin üretim koşullarında da çok geniş kapsamlı bir değişime neden olmuştur. Bu değişimin belki de en önemli göstergesi "kişiselleştirilmiş ve bir kerelik" fiziksel nesnelerin gerçekleştirilmesini sağlayan hesaplamalı tasarım araçlarının bilgiyi doğrudan üretim araçlarına aktarmasında (*file to fabrication*) kullanılan teknolojilerdir. Söz konusu teknolojiler tasarımları doğrudan etkileyen ve standartlaşmayla gelişen bir endüstriden farklı "iş akışlarının" geliştirilmesine neden olmuştur (Collier, 2017).

Bugün, teknolojide yaşanan gelişmeler sonucunda endüstride bilginin doğrudan üretim araçlarına aktarılması, tasarım ve mimarlık disiplinlerini de kapsayan çok yaygın bir alana yayılmıştır. Bu bağlamda, tasarım ve yapım süreçlerinin birbirinden bağımsız yapılamayacağı düşünülmektedir. Yaşanan bu gelişmeler sonucu Bilgisayar Destekli

Teknolojiler (CAD-CAAD-CAM) ortaya çıkmış ve mimar ve mühendislere tasarımın hem yapımında hem de üretiminde sınırlarını zorlaması noktasında yeni açılım imkanları sunulmuştur.

3.1. Hesaplamalı Teknolojiler

Dünyayı her alanda etkilemiş olan Endüstri Devrimleri, tıptan mühendisliğe, sanattan mimarlığa birçok disiplinde çeşitli değişikliklere yol açmıştır. 1970'lerin başında yaşanan, üretim süreçlerinin elektronik ve bilgi teknolojileri ile otomasyonu sağlandığı III. Endüstri Devrimi sonrasına denk gelen 20. yy'dan itibaren bilim ve teknolojinin etkileyici gelişimiyle pek çok süreçte değişimlerin/gelişimlerin meydana gelmesi kaçınılmaz olmuş ve hesaplamalı teknolojiler ve dijital araçlar, modern dünyanın temel unsurları haline gelmiştir. Bu devrimci teknolojilerin etkisi basit günlük rutinlerden karmaşık görevlere, sosyal bilimlerden ileri teknolojilere, sanattan tıbba hayatın her alanında görülmektedir. Tüm gelişmeler, evreni anlama ve yeniden şekillendirme ihtiyacına dayanmaktadır.

Genel olarak, ileri teknolojiler (bilgisayar ve bilgisayar tabanlı teknolojiler gibi), toplumların refahına katkıda bulunmaya devam eden araçların geliştirilmesinde yol gösteren savunma ve saldırıların askeri ihtiyaçları olmuştur. Mimarlık disiplininde ise hesaplamalı teknolojiler, hem tasarım hem de yapım süreçlerine yeni potansiyeller getirmekte, tasarım süreci için yeni araçlar sağlamakta ve aynı zamanda mimar ve yapıcı arasındaki işbirliğine de olanak oluşturmaktadır. Bu değişim sürecinde en önemli etki bilgisayarların tasarım/üretim/yapım (*design/fabrication/construction*) kullanılmasıyla başlamıştır.

1940'larda bir makinenin adı olarak benimsenen bilgisayar, 1970'lere kadar hesap makinesi olarak kullanımının yanında verileri depolamak, almak ve işlemek için kullanılan bir cihaz olarak tanımlanmıştır (Özkan, 2008). Bilgisayarlar, içindeki bilgileri matematiksel yollarla işleyerek, kullanıcının isteği doğrultusunda hedef bilgiye dönüştürürken, günümüzde bilgisayarlar, çok çeşitli karmaşık işlemleri yerine getirebilmekte ve ihtiyaçlarımıza cevap vermektedir. Çeşitli kapasite ve boyutlardaki bilgisayarlar, iletişimden muhasebeye, mühendislikten oyuna, tasarımdan üretime kadar her alanda hızla gelişmekte ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bilgisayar Destekli Tasarım

ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) teknolojileri bu gelişmelerin en çarpıcı örneklerindendir.

3.1.1. CAD/CAAD/CAM/BIM gelişimi ve uygulamaları

CAD / CAAD

CAD genel anlamda hem yazılım hem de özel amaçlı donanım içeren, tasarım faaliyetlerinde mühendislere ve mimarlara yardımcı olan çok çeşitli bilgisayar tabanlı araçların kullanımıdır. CAD, Bilgisayar Destekli Tasarım (*Computer-Aided Design*), Bilgisayar Destekli Çizim (*Computer-Aided Drafting*) ya da benzer şekilde Bilgisayar Destekli Tasarım ve Çizim (*Computer-Aided Design and Drafting*) çalışması anlamına gelen CADD ve Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım (*Computer-Aided Architectural Design*) anlamına gelen CAAD benzer anlamlarda kullanılabilmektedir (Grobman, 2008).

Tarihsel gelişimine bakıldığında, ilk CAD araçları makine veya havacılık gibi mühendislik alanlarında geliştirilmiş ve kullanılmıştır. 1960 yılında Ivan Sutherland, MIT'in Lincoln Laboratuarında geliştirilen TX-2 bilgisayarını, CAD endüstrisi için atılan ilk adım olarak kabul edilen *SKETCHPAD* adlı bir proje üretmek için kullanmıştır (Hadia, 2007). 1963 *Spring Joint Computer* Konferansı'nda *SKETCHPAD* projesinin tanıtımının yapılmasıyla, bilgisayar destekli tasarım potansiyelleri pek çok mühendis arasında ilgi uyandırdığı gibi 1960'ların sonlarında da bazı mimarlar çalışmalarında bu araçların önemini ve gerekliliğini görmüşlerdir. 1970'lerde CAD, çizim tahtasının elektronik ve genellikle iki boyutlu çalışmalara yönelik olan bir versiyonu iken, iki boyutta çizgilerin örüntülerini (*patterns*) görüntülemek için basit "algoritmalar" kullanmıştır. CAD ihtiyacı ve kullanımı giderek artmakta olduğundan, 1980'den beri mimarlar ve tasarımcılar için CAD araçları geliştirilmektedir (Choo, 2004).

1970'lerde kişisel bilgisayarların üretilmesiyle CAD için önemli adımlar atılmış ve bu dönemden sonra CAD sistemlerinin gelişimi:

- Makine mühendisleri başta olmak üzere, mühendislik disiplinlerinin arz/taleplerini karşılamak için otomasyon ve havacılık gibi endüstrilerdeki uygulamaları tamamlamak için geliştirilen "Geometrik modelleme sistemleri"

- Bina ve yapı endüstrisinde tasarım/üretim/yapım sistemlerini karşılayan "Bina özelindeki sistemler"

olmak üzere iki yolla gerçekleştirilmektedir (Tozlu, 2017).

General Motors, McDonnell Douglas firmaları gibi endüstri kuruluşları tarafından, 1970'li yıllarda mühendislik disiplininde kullanılan CAD sistemlerinin yapı endüstrisinde kullanılması için yapılan araştırmalar üniversite tabanlı araştırmalar kapsamında yapılmıştır. 1980'li ve 1990'lı yıllarda CAD sistemlerinin hızlı gelişimi sayesinde, ilk fikirleri 1950'lerde atılan (Choo, 2004) CAAD sistemleri de hayat bulmuş ve bu sistemler sayesinde tasarımcıların yaratımlarının optimizasyonunu değerlendirmede bilgisayarların kullanımının önü açılmıştır. Son yıllarda CAAD sistemleri, mühendislik analiz programlarının daha kullanıcı dostu olmasını sağlamış ve ortaya çıkan tasarım çözümlemesinin bilgisayara aktarılma yöntemleri kolaylaştırmıştır. Hem donanım hem de yazılımın performans ve modelleme yetenekleri açısından önemli ölçüde gelişen en son CAAD sistemleri, nesne yönelimli teknikleri kullanarak ürün modelleme kavramlarına dayanmaktadır (Choo, 2004).

CAD ile devamında ortaya çıkan ve mimarlık alanında da kullanımı kolaylaştıran CAAD'in işlev farkı Tablo 3.1'de gösterilmiştir. CAD araçlarıyla sağlanan form tasarım yöntemlerinin, CAAD yaklaşımında karşılığı tabloda açıkça ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1. Farklı amaçlarla kullanılan CAD araçlarının CAAD yaklaşımları olarak karşılığı (Zboinska, 2014)

CAD araçları	CAAD yaklaşımı
Serbest-form yüzey modelleme Animasyon Parametrik modelleme Hesaplamalı analizler ve simülasyonlar	Manuel tasarım Hareket tabanlı tasarım Algoritmik tasarım Performans tabanlı tasarım

Özetle, CAAD sistemlerinin başlıca avantajları; ilki, projeyi kolayca düzenleyebilme, yeniden çizebilme, depolayabilme ve üretebilme becerisini içeren çizim ve sunumda kullanımı; ikincisi ise bilgisayarların tasarım aracı olarak kullanılması ve bilgisayarların tasarım için, modifiye edilebilecek ve yeniden oluşturulabilecek bir ortam oluşturması olmak üzere iki kategoride incelenebilmektedir. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere CAAD

uygulamalarının ve diğer dijital uygulamaların bu avantajları: zamandan kazanımı, 3D ve sunum kapasitesi ve hassasiyeti azaltması yönünden dört kategoriye ayrılabilmektedir.

KATEGORİ	ÖZELLİKLER	SONUÇLAR
ZAMAN	Komutları niteleme Çizimler kolayca düzenle ve düzeltme Farklı programlar arasında aktarım sağlama Verileri paylaşma ve yayınlama	Tasarım için daha çok zaman
3D KAPASİTESİ	Formları 3B ortamında düzenleme, nitemele ve yeniden tasarlama Müşteri ve tasarımcı arasında köprü oluşturma Görsel geçeklik sağlama	Formu gerçekmiş gibi deneyimleme
SUNUM	Mobilya, doğal gereçler gibi çizimler içeren 2B ve 3B kütüphane Farklı doku, renk ve malzemelerde daha fazla kopya yapabilme Yüksek kalite render imkanı	Gelişmiş sunum fikirleri
HASSAİYET	Hata yapma oranını düşürme Tam ve doğru ölçü verme	Yüksek kaliteli ürünler

Şekil 3.1. CAAD araçlarının avantajları (Elhardudi, 2007) (yazar tarafından uyarlanmıştır)

Sonuç olarak, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Çizim teknolojilerinin gelişmesi, tasarım ve üretimle ilgili hemen her disiplini, tasarım sürecinin dijital araçlar ile bütünleştirilmesinden dolayı önemli ölçüde etkilenmiş ve bu gelişmelerin sonucunda ortaya çıkan çeşitli bilgisayar grafikleri ve CAD yazılımları gibi multimedyalar aracılığıyla, form üretimi (*form making*), yapısal ve geometrik modellemeye dair analizler ve problem çözme konularında tasarımcıya yön göstermektedir.

CAM

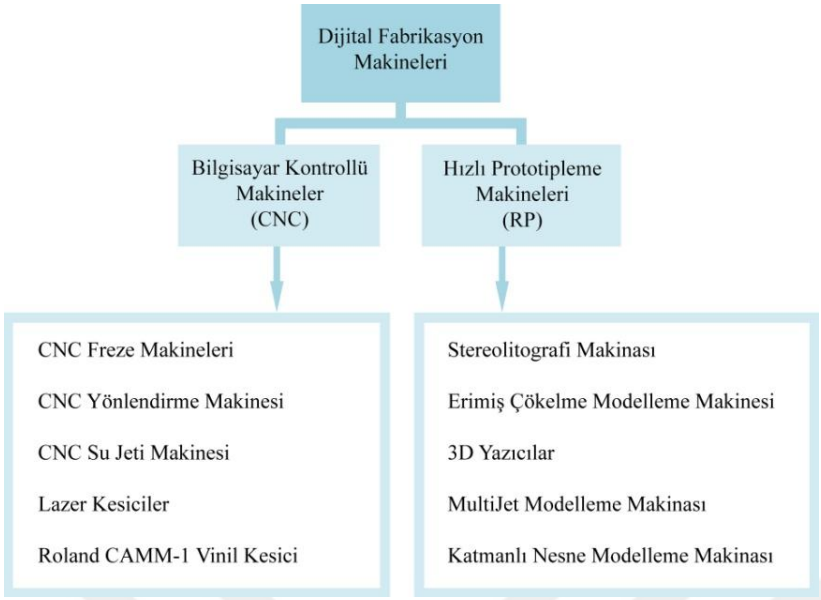
CAD sistemlerinin gelişimi ileeş zamanlı olarak bu araçların kullanılmasıyla gerçekleştirilen tasarımların aynı hassasiyet, hız ve ekonomi ile üretilmesi ihtiyacı doğmuştur. Özellikle gemi ve uçak endüstrisindeki hassas (*precision*) üretim hedefi bu alandaki gelişmeleri tetiklemiş, söz konusu teknolojilerin kullanımı artmıştır.Bir dizi otomatik işleme dayanan *CAM* (*Computer Aided Manufacturing* - Bilgisayar Destekli Üretim) için işlem sürecini kontrol etmek amacıyla çeşitli arayüzler geliştirilerek kullanımı kolaylaştırılmıştır. CAM araçlarının temeli, aslında, metal işleme uygulamaları için geliştirilen işleme araçlarının kontrolüne izin veren sayısal kontrol (*numerically-controlled - NC*) araçlarının geliştirilmesine dayanmaktadır. 1960'larda, bu araçların, bilgisayarlar tarafından kontrol edilmeye başlanmasıyla, NC terimi Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (*Computer Numerical Control - CNC*) terimine evrilmiş ve otomatik operasyonlar ve bilgisayar kontrollü üretim teknolojisindeki gelişmeler ile CAM terimi genel kullanım için kabul edilmiştir (Özkan, 2008).

CAM araçları hızlı üretim makineleri:

- Bilgisayarlı Sayısal Kontrol Makineleri (*Computer Numerical Control Machines - CNC*)
- Hızlı Prototipleme Makineleri (*Rapid Prototyping Machines - RP*)

şeklinde iki kategoriye ayrılabilmektedir. Bu iki üretim türü arasındaki temel fark, RP işlemlerinin, eklemeli yöntemle (katmanlaştırarak üretme) ve CNC işlemlerini, çıkarmalı yöntemle (modelden malzeme çıkarılarak) kullanarak ürün oluşturmasıdır. Bu yöntemlerin her biri, nesneyi, kullanılan malzemeyi, vb. üretme biçimine göre değişmekte ve genellikle değişken tasarım ve sayısal kontrollü komut yöntemlerine ihtiyaç duymaktadır.

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere RP süreçleri 3D baskı, stereolitografi ve erimiş çökelme modellemeyi (*fused-deposition modeling*) içerirken, CNC süreçleri frezeleme, su jeti ile kesme (*water-jet cutting*) ve lazer kesmeyi içerir.



Şekil 3.2. Dijital üretim makineleri (Hadia, 2007) (yazar tarafından uyarlanmıştır)

Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (*Computer Numerical Control - CNC*) Makineleri

Makinelerin bilgisayar işlemcilerinin kontrolü altında malzemeleri keserek işlediği süreci ifade eden "CNC işleme", çok hassas ve çok karmaşık olan parçaların üretilmesine ve çok hızlı bir şekilde işlenmesini imkan sağlamayan oldukça esnek bir üretimi ifade etmektedir.

a. CNC Freze Makineleri (*CNC Milling Machines*): CNC freze makineleri ahşap, metal, plastik ve köpük gibi malzeme bloklarından formlar oluşturmak için kullanılır. Bu imalat aracı, küçük, tekil mimari bileşenleri oluşturmak için en kullanışlıdır (Seely, 2004).

b. CNC Yönlendirme Makinesi (*CNC Routing Machine*): Büyük kontrplak veya köpük levhalar gibi malzemelerden büyük alan modelleri veya diğer karmaşık formların üretilip uygulanabilirliğini sağlayan CNC yönlendirme makineleridaha küçük blok malzemelere karşı büyük, düz, tabaka malzemelerin kesilmesigibi freze işlemine benzer bir şekilde çalışmaktadır (Seely, 2004).

c. CNC Su Jeti Makinesi (*CNC Waterjet Machine*): Kontrplak ve köpüğe ek olarak, metal, taş, cam, kauçuk, kompozit malzemeler ve daha birçok malzemeyi içeren geniş bir malzeme yelpazesine sahip olan CNC su jetiyle işleme büyük, düz malzeme tabakalarını kesmek için kullanılmaktadır.

d. Lazer Kesiciler (*Laser Cutters Machines*): CNC freze makineleri gibi, lazer kesiciler de masaüstünden mekan büyüklüğüne kadar çeşitli boyutlarda üretilmektedir. Lazer kesiciler genellikle ahşap, kağıt, sunta, karton, mukavva, köpük levha ve plastik gibi ince tabaka malzemelerini kesmek için kullanılırlar (Seely, 2004).

e. Roland CAMM-1 Vinil Kesici (*Roland CAMM-1 Vinyl Cutter*): Beşinci CNC makinesi, kesin, düzgün kesimler oluşturmak en büyük avantajı olan, küçük bir bıçakla çok ince vinil, kağıt, asetat ve folyo tabakalarını kesen Roland CAMM-1 vinil kesicidir (Seely, 2004).

CNC plazma kesim, tel kesme, tornalama ve taret delme gibi birçok CNC makineleri mevcut olsa da bahsi geçen beş makine dijital tasarım ve üretim sürecinde en kullanışlı olanları ifade etmektedir.

Hızlı Prototipleme (*Rapid Prototyping - RP*)Makineleri

"Hızlı prototipleme" (RP) terimi, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) verisinden fiziksel modelleri otomatik olarak oluşturabilen teknolojiler sınıfını ifade eder. İlgili dijital teknolojilerin Hızlı Prototipleme veya eklemeli üretim (*additive fabrication*), üç boyutlu baskı, katı serbest formluüretim (*solid freeform fabrication*) ve katmanlı üretim (*layered fabrication*) isimleriyle de bilinen bu üretim şekli tasarımcıların, sadece iki boyutlu imajlardan ziyade tasarımlarının somut prototiplerini hızlı bir şekilde oluşturmasını sağlamaktadır. Hızlı prototipleme (RP) olarak sınıflandırılan tüm üretim yöntemleri, bilgisayar kontrollü hareketler yoluyla malzemenin katman-katman kesilerek nesnelerin oluşturulma yöntemini içerir. İşlemin başlatılma şekli genellikle CNC işlemlerinde olduğu gibi aynıdır. Kullanıcı bilgisayarda hazırladığı 3D dosyayı, makineyi kurması ve sonra dosyayı "yazdır - *printed*" olarak gönderir.

a. Stereolitografi Makinası (*Stereolithography – SL*): Stereolitografi sürecinde, lazer bir fotosensitif sıvı reçinenin üst yüzeyinde,üst yüzeyi sertleştirerek istenen cismin bir katmanını çizer. Her bir katmanın işlenmesiyle oluşan bu süreçte, katılaşmış reçineyi tutan destek yüzeyi tek seferde veüst yüzeyi sıvı reçine ile yeniden kaplayarak bir katmanın kalınlığında aşağı doğru hareket ettirir ve bir sonraki katman tekrar üst yüzeye yazılır. Sonunda, modeller çok dayanıklı, saydam bir reçine ile yapılır.

b. Erimiş Çökelme Modelleme Makinesi (*Fused deposition modeling – FDM*): Bu modellemede, erimiş plastik ile bir seferde istenen nesnenin bir katmanını çizilir. Bir katman tamamlandığında, taban aşağı doğru hareket eder ve bir sonraki katman bir öncekine çekilir. Stereolitografide olduğu gibi, süreç boyunca gereken yerlerde destek malzemesi eklenerek çizilme işlemi tamamlanır.

c. 3D Yazıcılar (*3D Printers*): 1990'ların sonlarında ticarileştirilen üç boyutlu baskı (*3DPRINT*), diğer RP yöntemleri arasında mimari tasarım sürecinde en çok kullanılan üretim yöntemidir. Mürekkep püskürtmeli baskı kafası, belirli bir nesnenin tüm katmanını, ince, toz (*starch*) veya alçı bazlı bir tabanın üst yüzeyinde su bazlı bir bağlayıcı akışkan ile basmaktadır. Birinci baskı katmanı yapıldığı zaman, taban aşağıya doğru hareket eder, tozun ince bir katmanı yeni basılmış katman üzerine yayılır ve baskı kafası, nesne tamamlanana kadar işlemi tekrarlar. Sonunda, modeller kırılgan, alçı benzeri bir malzemeden yapılmış olur.

d. MultiJet Modelleme Makinası (*MultiJet Modeling MJM*): Mürekkep püskürtmeli baskıya benzer şekilde, multiJet modelleme (MJM), baskı oluşturmak için küçük, erimiş, opak balmumu damlaları bırakan bir kafa ile baskı yapar. Bir katman tamamlandığında, taban aşağıya doğru hareket eder ve sonraki katman yazdırılarak nesne tamamlanır.

e. Katmanlı Nesne Modelleme Makinası (*Laminated Object Modeling - LOM*): Katmanlı nesne modelleme (LOM) işlemi, ince kağıt, plastik veya kompozit tabakaları tekrar tekrar katmanlayarak nesnelerin oluşturulduğu yöntemdir. Her katmanın bir lazer veya bıçak ile kesilmiş bir profili vardır ve bir önceki katmana lamine edilir.

BIM

Building Information Modeling (BIM), tasarım uygulama biçimleri ile yapı tasarımının ve sürecinin standartlarını dönüştürmeye yarayan bir uygulama olmasının yanı sıra, nesne tabanlı parametrik modellemeden olgunlaşan ve mimarlık, mühendislik ve inşaat mesleklerinde yaygın olarak kullanılan programlar kapsamında yenilikçi yazılım şirketleri ile üniversiteler tarafından geliştirilen bir sistem olmuştur. BIM, tüm tasarım ve yapım grubuna, yapı fiziksel olarak üretilmeden önce karmaşık yapım sürecini dijital olarak

koordine etme imkanı sağlamaktadır. 1980'lerde ve 1990'larda tasarım pratiğine verilen teknolojik gelişmelere dayanan yeni bir tasarım metodolojisi olan BIM, tasarımcıya "karmaşık bilgisayar grafikleri araçlarını kullanarak, ilk boyutlandırma aşamasında, projenin daha birçok yönünü" bulmasına öncü olmaktadır (Garber, 2014:14). Bir modelleme teknolojisi olan BIM, bina modellerini üretmek ve analiz etmek üzerine, yapı süreç yönlerini yansıtan ve vurgulayan ve yalnızca yapıların nasıl inşa edildiğini değil (verimlilik ve operasyonlar) aynı zamanda yapıların nasıl tasarlandığını da etkileyen bir teknolojidir.

National Building Information Modeling Standard (NBIMS),*Committee of the National Institute of Building Sciences* (NIBS), *Facility Information Council* (FIC) kuruluşları tarafından BIM teknolojisinin vizyonu ve tanımı yapılmış; NIMB, BIM'i "her tesis (*facility*) için, bu tesis hakkında oluşturulan ya da toplanan tüm uygun bilgileri bir formatta içeren, kullanım ömrü boyunca herkes tarafından kullanılabilen, yeni ya da eski standart bir makine tarafından okunabilir bilgi modelini kullanarak geliştirilmiş bir planlama, tasarım, inşaat, işletme ve bakım sürecidir" olarak tanımlamıştır. NBIMS Girişimi, BIM'i üç şekilde sınıflandırmaktadır:

- Bir ürün olarak
- BT etkin, açık standartlara dayalı bir işbirliği süreci olarak
- Tesis yaşam döngüsü yönetimi gereği olarak (NIBS, 2008, aktaran Sacks, Eastman, Lee, ve Teicholz, 2018:14)

Yapıya dair tasarımdan yıkıma kadar süregelen döngü içerisinde gerçekleşen bütün sürecin, paydaşlar tarafından etkileşimli bir şekilde yürütülmesini sağlayan BIM, yapıya ve çevresine ait geometrik ve geometrik olmayan (teknik veriler, coğrafi özellikler, çevresel faktörler, malzeme davranışları vb.) bütün verileri içinde barındıran ve işleme alınan verilerin eşgüdümlü ve etkileşimli olarak işlenip hesaplanabildiği bir model üretilmesini sağlamaktadır. Bu özellikleriyle inşaat sektöründe paradigmatik değişikliğine neden olan BIM hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının bütünleşik olarak çalışabildiği bir ortam sunmaktadır. İhtiyaç duyulan tüm veri türlerini tek bir dosya veya modele entegre etme vaadinde bulunan BIM'in daha geniş anlamı sadece modellemekten çok daha büyüktür ve başlangıçtan yıkıma kadar tüm varlık ömrü boyunca genel bilgi yönetimi için büyük etkileri bulunmaktadır.

Yapı modellerini üretmek ve analiz etmek için bir modelleme teknolojisi ve ilişkili süreçler seti olan BIM:

- Hesaplanabilir grafik ve veri niteliklerini parametrik kurallarla ilişkilendirilebilen ve ne olduklarını bilen dijital görsellerle temsil edilen bileşenleri oluşturmak
- Başlangıç noktası, şartname ve enerji analizi gibi analizler ve iş süreçlerinin nasıl davrandıklarını açıklayan verileri içeren bileşenlere sahip olmak
- Bileşen verilerindeki değişikliklerin, bileşenin tüm görünümlerinde temsil edildiği şekilde tutarlı hale getirmek
- Bir modelin tüm görüşlerinin koordineli bir şekilde temsil edileceği şekilde ilişkili veriler açığa çıkarmak olmak üzere kategorize edilebilmektedir (Kumar, 2016:23).

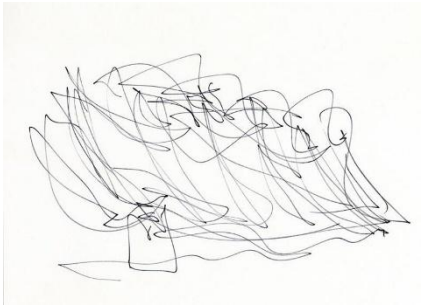
Bütün bu gelişmelerin ötesinde BIM'in CAD olmadığı görüşü bulunmaktadır. CAD'den çok daha fazlası olan ve bilgisayar destekli uygulamanın gelişiminde doğal bir ilerleme olarak görülen BIM, yapı ortaklarının tasarım sürecinin niteliğini değiştirse bile işlerini uygulama ve belgeleme yönteminde devrim yaratmakta ve paydaşların çalışma ve etkileşim şeklini önemli ölçüde değiştiren önemli bir teknoloji olmaktadır (Kensek ve Noble, 2014).

Frank Gehry tarafından tasarlanan ve Ekim 2014'te açılan, kalıcı bir sanat koleksiyonuna, performanslara, derslere ve çeşitli sergilere ev sahipliği yapan yeni bir sergi alanı *Fondation Louis Vuitton* (Resim 3.1) 2012 *BIM Excellence Award* ödülü alan yapı olmasının yanında mimarlık disiplininde BIM kullanımında dönüm noktası olan projedir. Yapı, özellikle yeni malzeme kullanımı ve üretim teknolojisine ilişkin olarak, yeni yapım yöntemleri ve mekansal karakter gösteren iddialı bir mimari ve inşaat paradigması ortaya koymaktadır.



Resim 3.1. *Fondation Louis Vuitton* (Sacks ve diğerleri, 2018:437)

Frank Gehry'nin referans olarak ürettiği akıcı ve eğimli taslak (Şekil 3.3), doğal çevresiyle görsel bir diyalog sunan ve aynı zamanda Paris şehri ile ilgili organik bir mimari yapı yaratma niyetini göstermektedir (Sacks ve diğerleri, 2018:437).



Şekil 3.3. Frank Gehry tarafından *Fondation Louis Vuitton için* çizilen taslak (Sacks ve diğerleri, 2018:438)

Yapıda, doğanın varlığını vurgulamak ve saygı duymak için, içte ve dışta benzersiz bir görsel ayrım sağlayan bir materyal olmasından dolayı serbest biçimli şeffaf camı kullanılmıştır. Yapı yüzeyinin çok katmanlı karmaşıklığı ve Resim 3.2'de görülen yelken görünümlü yüzeyler ile gölgelendirmenin sağlandığı proje, üretim ve yapım aşamalarında, çok üreticili sürüm kontrolünde, ayrıntılı değişken tasarım oluşturma görevlerinde, model senkronizasyonunda, toleranslarda, değişken kirişlerin ve bağlantıların yapısal analizinde, değişken yüzeylerde çığır açmıştır.



Resim 3.2. Yelken görünümlü cam yüzeyler (URL-9)

Yapı, montaj şeklinden dolayı:

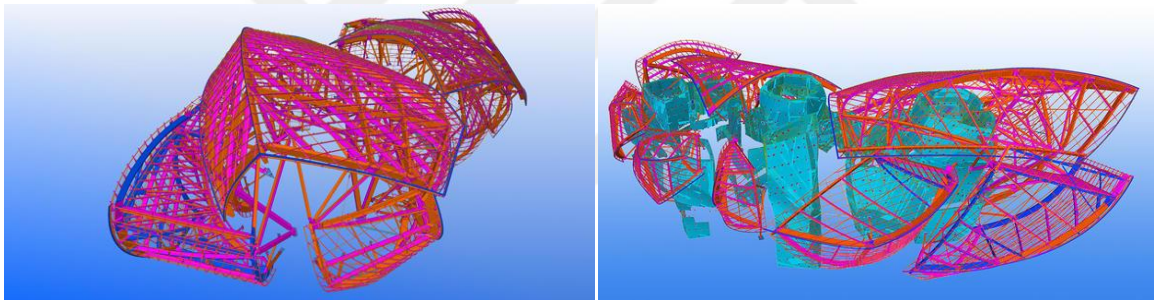
- Buzdağı *(iceberg*)
- Yelkenli *(sail)*olmak üzere iki ana bileşene ayrılabilmektedir.

Iceberg yapısı (Resim 3.3), yapısal çekirdek olarak görev yapar ve ana mekanik sistemleri barındırmaktadır. Ductal beton panellerden yapılmış bir deri ile kaplanmıştır ve şeffaf yelkenleri desteklemektedir. FLV'nin benzersiz geometrisi karmaşık bir dizi strüktürel

kuvvetlere yanıt vermektedir. *Iceberg*, binanın dış görsel katmanını oluşturan *sail* olarak adlandırılan yapısal parçalara destek sağlamaktadır. *Sail* cepheler, *iceberg*'in ana yapısal gövdesinden görsel olarak ayrılmakta, ancak özel derzlerle yapıya tutturulmaktadır (Sacks ve diğerleri, 2018:442). Yapısal çekirdek, cam grid için yükleri, Şekil 3.4'te gösterildiği üzere BIM aracılığıyla hazırlanıp üretim süreci tamamlanmıştır.



Resim 3.3. Buzdağı yapısı ve çelik çerçeve (Sacks ve diğerleri, 2018:442)



Şekil 3.4. *Fondation Louis Vuitton* için hazırlanan BIM modeli (URL-10)

Bu yapıda BIM modeli, yüksek kaliteli ayrıntıları yakalama nedeniyle, projeye dahil olan tüm yetkinliklerden gelen bilgileri içeren model, olası tüm sorunların görselleştirilmesine ve sorunların önlenmesi için zaman içinde çözümlerin geliştirilmesine olanak sağlamasından dolayı, tasarımdan inşaata kadar projenin tüm aşamalarında kullanılmıştır. Çoğu yapı parçası, CNC kullanılarak imal edildiğinden, bileşenlerin üretiminde zamandan tasarruf sağlamış, üretilen tüm parçalar lazerle taranarak geometrilerini ve toleranslarını doğrulamak için 3D modelle karşılaştırılmıştır. Fiziksel olarak yapının kurulumdan önce ihtiyaç duyulan yerlerde düzeltmeler yapılarak, modeldeki her bir panel, yerleştirildikten sonraki haliyle eşleşecek şekilde güncellenmiştir. Proje ile ilgili tüm bilgiler BIM modeline entegre edilmiş ve böylece üretim süreci boyunca yapıyla ilgili bütün paydaşlar için süreci yönetmek ve optimize etmek için kullanılacak geçerli verilerle dolu bir kaynak oluşturulmuştur.

Özetle ifade edildiğinde BIM teknolojileri:

- Nesne tabanlı bilgi modellemeye dayanmaktadır
- Model, nesnelerin hiyerarşisine göre düzenlenmektedir
- Her nesne, parametreleri (kullanım sırasında önceden tanımlanmış veya kullanıcı tarafından tanımlanmış olabilir) ve davranışlarıyla ilgili bir dizi kural içermektedir
- Nesneler hakkında bu tür bir bilgi organizasyonu, davranışları hakkındaki sebeplerin yanı sıra farklı parametreleri hakkında bilgi almayı oldukça basitleştirmektedir.

Ayrıca, BIM teknolojileri:

- Önceden tanımlanmış standart nesneler kullanımına imkan vermek
- Kullanıcıların yeni nesneler tanımlamasına ve kullanıcıların mevcut nesnelerin özelliklerini değiştirmelerine izin vermek
- Bir bina ile ilgili tüm bilgileri tek bir yerde saklayabilme
- Binanın (ve bileşenlerinin) farklı yönleri hakkında faydalı bilgilerin tek bir sistemden çıkarılmasını kolaylaştırmak yönünden de çeşitli avantajları bulunmaktadır.

Öte yandan, geleneksel CAD teknolojileri:

- Temelde, birkaç farklı yaklaşım kullanarak ilkel geometrik formları bir araya getirmektedir
- Daha yeni olan modern CAD sistemlerinin bazıları nesneye dayalı yaklaşımlar kullanmaktadır (Kumar, 2016:20).

Sonuç olarak, CAD/CAM/BIM teknolojilerinin mimaride ve diğer tasarım alanlarında kullanılması, literatüre yeni kavramlar kazandırmış ve CAD/CAM/BIM sistemi, belirli endüstri ihtiyaçlarına göre gelişmiştir. Yenilikçi teknolojilerin benimsenmesinin etkisinin derinleştiği ürün tasarımı, otomotiv, havacılık ve gemi inşa endüstrilerinde de CAD/CAM/BIM teknolojilerine dayalı üretim süreçleri yaygın olarak kullanılmakta, günümüzde çeşitli cihazlar, arabalar, uçaklar ve gemiler tamamen dijital ortamda tasarlanmış, geliştirilmiş, analiz ve test edilmiş ve dijital olarak kullanılan teknolojiler kullanılarak üretilmektedir. Mimarlık disiplininde ise CAD/CAM/BIM teknolojilerinin gelişmesiyle beraber, hem hesaplamalı tasarım hem de hesaplamalı üretimde yeni gelişmelerin yaşanması kaçınılmaz olmuştur.

3.2. Mimarlıkta Hesaplamalı Teknolojiler

Bilgisayarların mimari tasarımda kullanılması, yapıların tasarlanma ve inşa edilme şekli üzerinde önemli bir etki yaratmıştır. Modern tasarım sürecinde teknolojinin yapı sektöründen daha hızlı ilerlediği söylenebilmektedir. Dijital teknoloji devrimleri, tasarım/üretim yazılımı, bilgisayar tabanlı üretim, simülasyon araçları gibi mimari tasarım

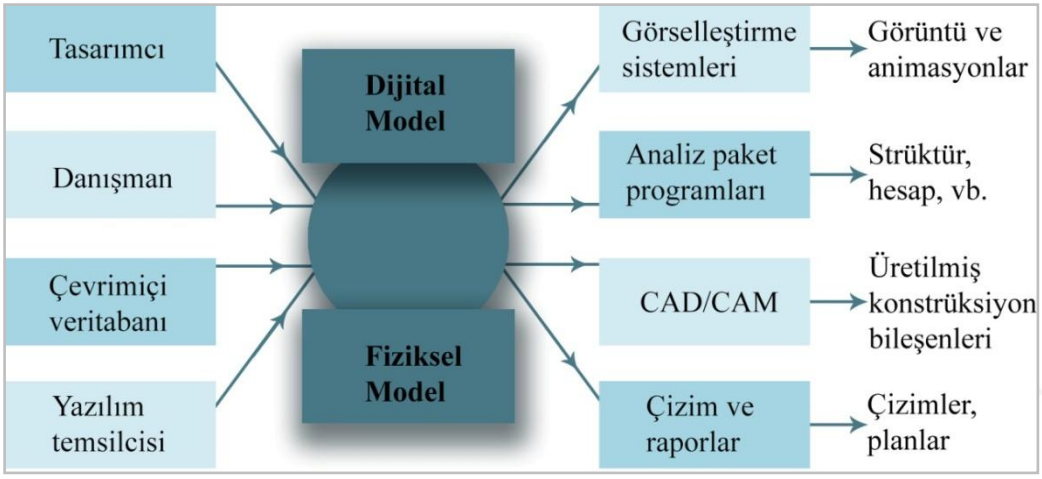
ve üretim araçlarının geliştirilmesine olanak tanıyan teknolojileri de beraberinde getirmiştir. Dijital Bilgi Çağında, daha önceki Sanayi Çağında olduğu gibi, sadece yapıların nasıl tasarlandığı değil, aynı zamanda yapıların nasıl üretilip inşa edildiği de önem kazanmıştır. Sanayi devriminin etkisiyle cam ve demir gibi yeni malzemeler mimarlık disiplininde kullanılmaya başlamıştır. Malzemenin önem kazandığı yapıların başında gelen Kristal Saray ve Eiffel Kulesi gibi yapılar gelirken; Bilgi Çağının mimarisi, Frank Gehry'nin 1993 yılında Bilbao'da tasarladığı Resim 3.4'teki Guggenheim Müzesi ile kendini hissettirmeye başlamıştır. Söz konusu tasarımın üretiminde, Fransız havacılık endüstrisi (*Dassault Systems*) için geliştirilen ve uçakların tasarımı ve üretimi için üç boyutlu modelleme ve üretim yapımında kullanılan CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application* - Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Etkileşimli Uygulama) kullanılmıştır. Bina tasarım sürecinde CATIA kullanımı böylelikle başlamıştır.



Resim 3.4. F. Gehry, Guggenheim Müzesi - 1993 (URL-11)

Takip eden yıllarda ve özellikle 21. yüzyılın ilk çeyreğinde hızla gelişen ve yaygınlaşan hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojileri tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimari tasarım ve üretim alanlarında da yenilikçi ve devrimsel nitelikteki çalışmalara yön vermiştir. Özellikle bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) teknolojileri ile tasarım ve yapım süreçleri için yeni bakış açıları geliştirilmiş ve son ürün tasarımı, yerini "sürecin tasarımı" odaklı bir yaklaşıma bırakmaya başlamıştır. Mimari ile hesaplamalı teknolojilerin bütünleşmesi; mimaride yeni anlatımların, yapılarda yüksek kalite ve verimliliğin, ekonomik strüktürlerin önünü açmıştır. Dijital araçlar, mimarlar ve mühendislerin birlikte çalışma yöntemlerini ve ifade biçimlerini de büyük ölçüde etkilemiştir (Nilsson, 2007). Mimari tasarım ve üretim konusunda etkisini her geçen gün daha fazla hissettiren CAD/CAM teknolojileri tasarım/üretim/yapım (*design/fabrication/construction*) arasındaki bağlantıyı dijital yöntemlerle geliştirip şekillendirmede önemli roller üstlenen araçlardır ve tasarımcının ihtiyaçları doğrultusunda

gelişerek şekillenmektedir. Şekil 3.5'te ifade edildiği gibi, tasarımcılar, müşteriler ve ilgili diğer kişilerin birbiriyle ilişkili çalıştığını ve bu çalışmaların çıktılarını kategorize eden ve tasarımdan imalata dijital bir süreklilik kuran bir tümleşik roller modelinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur (Afify and Elghaffar, 2007). CAD/CAM teknolojilerinin gelişmesiyle de tasarımı ve üretimi zor ve pahalı olan karmaşık biçimlerin yapımını kolaylaştırmıştır. Konsept ve üretim arasındaki ilişkiyi yeniden yorumlayarak neyin tasarlanıp neyin üretilebileceği arasında doğrudan bir bağ oluşturan bu teknolojilerle, yapılar sadece dijital olarak tasarlanmayıp dijital olarak kontrol edilen üretim teknolojileriyle artık doğrudan "dosyadan fabrikaya" üretilebilmektedir (Kolarevic, 2003:46).



Şekil 3.5. Dijital bir modele yönelik tümleşik roller (Mitchell, 1995)(yazar tarafından uyarlanmıştır)

CAD, mimarlık alanında, çizim için hızlı bir araçtır, bu bağlamda çizerek düşünen mimarlar için iyi bir tasarım ortamı da olma potansiyeline sahiptir. Düşündüklerini ve hayal ettiklerini kusursuzca hayata geçirme eğiliminde olan mimarlar, CAD ile düşündüklerini detaylı yapma fırsatı bulmuşlardır. İlk başlarda CAD'e uyum sorunu yaşanmış olsa da, günümüzde mimarlık sektörünün tüm paydaşları arasında kullanılmaktadır. İlk yazılım, basit iki boyutlu çizimler üretme kapasitesine sahipken zamanla, *spline, patch* ve *poligonal* yüzeyler gibi yeni veriler geliştirilmiştir. Teknoloji ve bilgisayar kullanımının hızlı gelişmesiyle hesaplamalı tasarım yöntemleri de artmış ve mimaride yeni formlar, mekansal düzenlenmeler, yapım sistemleri artmıştır. Performans hesaplamaları, değerlendirme araçları ve sunum tekniklerinin de geliştirilmesiyle, *wire-frames* ve *flat-shaded* görüntüler yerine, hem müşterilerin hem de tasarımcıların, tasarım

kararlarının sonuçlarını daha iyi anlamasını sağlayan çok gerçekçi, etkileşimli, sanal gerçeklik modelleri geliştirilmiştir.

Bu sistemler son yıllarda mimarlık mesleği ve akademisinde de önemli roller üstlenmiştir (Botchway, Abanyie, ve Husunukpe, 2015). 1980'lerin sonlarında bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, mimarlık uygulamalarına CAAD teknolojileri eklenmiştir. Mimari uygulamalarda bilgisayar uygulamasının yaygın kullanımı ve CAAD sistemlerinin tasarım sürecinde oynadığı rol mimarlığın öğretilme biçimini etkilerken, yeni geliştirilen uygulamalar bilgisayar programları için yeni tanımlara neden olmuştur. Kısa sürede karmaşık işlemleri yerine getirebilecek şekilde tasarlanmış olan CAAD sistemlerinde bir tasarımın geliştirilmesine yönelik girişim iki kategoriye ayrılabilir (Choo, 2004):

- Biri tasarımın nasıl olması gerektiğine dair dilbilgisi kurallarını tanımlamak ve aralarından seçim yapılacak birçok çözüm üretir,
- Diğer bir yaklaşım ise, mevcut tasarımların, veri tabanındakilere benzer yeni çözümler elde etmek için analiz edilmesidir.

Günümüzde, sadece bir çizim ve depolama aracı olarak kullanılmayan CAAD araçlarının mimarlık disiplininde uygulanması:

- Üretim ve veritabanı aracı
- Tasarım aracı
- İletişim aracı
- Öğretim aracı olmak üzere kategorilere ayrılabilmektedir (Elhardudi, 2007).

1960'lı yılların başlarına dayanan Bilgisayar Destekli Tasarım (*CAD -Computer-Aided Design*) yazılım teknolojilerinin gelişmesiyle mimarlık disiplininin kavramsal çerçevesinde paradigmatik gelişimlerin yaşandığı görülmektedir. 1980'li yıllarda ise kişisel bilgisayarların ortaya çıkışıyla yaygın hale gelen bilgisayarın mimari tasarımda kullanılması, mimari yapım ve üretim sürecini önemli ölçüde etkilemiştir. Bu süreçte, tasarımların büyük bölümü temelde iyi bilinen, uzun süre önce oluşturulmuş biçimsel yaklaşımlara dayanan tasarım yöntemlerinin hesaplamalı ortamdaki devamına yönelik araştırmaları oluşturmaktadır (Yıldız, 2010). Dijital araçlar, sunum amaçlı kullanımının

dışında tasarım sürecini oluşturan ortamlar olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu gelişmenin sonucunda Hesaplamalı Tasarım (*Computational Design*), Hesaplamalı Üretim (*Computational Manufacturing*), Hesaplamalı Mimari (*Computational Architecture*) gibi farklı şekillerde tanımlanan oluşumlar ortaya çıkmıştır.

Hesaplamalı tasarım, mimarlığın, doğası gereği multidisipliner bir çalışma olan ve mimari tasarımın karmaşık ve zor problemlerine çözüm getirmek için gelişen sayısal çözümlemeleri yönlendiren bir alt bilimi olmuştur. Tasarım teorisini esas alan pek çok alanında (mimarlık, biyoloji, matematik, vb…) kuramsal, bilişsel ve hesaplamalı yaklaşımların üstünde pek çok etkisi görülmüş ve interdisiplin çalışmaların da önü açılmıştır. Böylece tasarımda, daha planlanmış ve bilgilendirilmiş bir fikir sürecinden yararlanmak amacıyla, mimar/tasarımcı/mühendis işbirliğinde gelişmiş yöntemler sağlanmış olur. Hesaplamalı üretim ise, tasarım yönteminin çeşitli cihazlar kullanılarak fiziksel bir temsile çevrildiği tasarım sürecinin bir parçasıdır; bu nedenle hesaplamalı üretim her alanın birçok örtüşen olasılıkla yüklendiği tasarım, hesaplama ve hızlı prototiplemenin birleşimdir. Hesaplamalı üretim araçları, tasarım sürecini düşünce veya çizimden fiziksel varlığa dönüştüren bilgisayar ve makineler kullanılmasıyla fikirlerin fiziksel üretilmesine olanak tanımaktadır.

Hesaplamalı mimarlık, çeşitli bakış açılarından farklı biçimlerde tarif edilebilmektedir**.** Aynı arayışın farklı görüntüleri olarak nitelendirilebilecek bu tanımlayıcı yaklaşımlar,

- Mimari temsildeki ve mekansal algıdaki değişimler
- Yeni üretim teknikleri ve yapı malzemeleri
- İnşaat organizasyonu, yönetimi ve iletişim süreçlerindeki yenilikler
- Mimari tasarımın bilişsel süreçlerindeki değişimler

gibi çeşitli üst çerçeveleri odak noktası almaktadırlar (Yazar, 2009). Hesaplamalı mimari, özellikle, “hesaplama kökenli ve dönüşümlerin hesaplama tabanlı süreçleri” anlamına gelir.

Bu bölümde, öncelikle hesaplamalı tasarım ve hesaplamalı üretim kavramlarına değinilmiştir. Tasarım ürününün, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarına bağlı olarak nasıl tasarlanacağı ve sonrasında hesaplamalı üretim sürecinin nasıl işlediği ele alınmıştır.

3.2.1. Hesaplamalı tasarım

Kişisel bilgisayarların kullanılmaya başlanması ile mimari tasarımda yaygınlaşan hesaplamalı teknolojiler, veri girdilerinin, ikili sistemin kodlarına göre sayısallaştırılmasıdır (Yazıcı, 2013). Günümüzde, bir yandan geleneksel tasarım yöntemleri uygulanmaya devam ederken, diğer yandan bilgiyi bilgisayar ortamında depolama, işleme ve matematiksel ifadeler ile sanal ortama aktarma sistemine dayalı hesaplamalı tasarım (HT) sürecine geçiş dönemi başlamıştır (Yıldız, 2010).

Hesaplama (*computation*), bilgisayar ile yürütülen kontrol süreçlerinden (*computerization*) farklı, ancak genellikle birbiriyle karıştırılan bir terimdir. Hesaplama, bir durumu matematiksel veya mantıksal yöntemlerle belirlerken; otomasyon, mekanizasyon, sayısallaştırma ve dönüşüm ile ilgili olan bilgisayar ile yürütülen kontrol süreçleri, bir bilgisayara veya bir bilgisayar sistemine bilgi girme, işleme veya saklama eylemi olarak ifade edilmektedir (Terzidis, 2006). Kavram genel olarak, yerleşmiş, önceden belirlenmiş ve iyi tanımlanmış olan varlıkların veya işlemlerin sayısallaştırılmasını içerir.

Mimarinin tarih boyunca yeni ve karmaşık biçimlerle birlikte yenilikçi tasarım şemaları ve fikirleri aradığı söylenmektedir. 1960'larda CAD'in ortaya çıkmasından ve mimarlık alanında 1980'lerde kabul edilmesinden önce, mimarlar karmaşık işlevler ve mekansal kısıtlamaları ele almak için eğimli ve karmaşık formları incelemiş ve karmaşık geometrilere sahip binalar tasarlamışlardır. Büyük ölçekli karmaşık biçimli formların oluşturulmasının cazibesi, mimarın/tasarımcının uygun yapım yöntemlerine adapte olmasını gerektirdiğinden, bilgisayar destekli teknolojilerin mimarlıkta kullanılmasıyla, tasarımın da teknoloji aracılığıyla geliştirilmesi sağlanmıştır. Hesaplamalı tasarım teknikleri, mimarlar ve mühendisler arasındaki işbirliklerinde analiz araçlarının rolünü değiştirmektedir.

Günümüzde hem donanım hem de yazılım alanı dahil olmak üzere hesaplamalı teknolojilerde yaşanan gelişmeler, dijital modelleme bir adım daha ileri gitmiş ve tasarım için bir yöntem haline gelmiştir. CAD/CAM ile birlikte 3D dijital modelleme, tasarımla ilgili tüm süreçlerin merkezinde durmakta ve tasarım fikrinin dijital gösteriminden (*represantation*), üretimin analizi ve yöntemleriyle ilgili tüm içeriklerin temelini yapmaya kadar çeşitli amaçlarla kullanılma potansiyeline sahiptir.

Tasarım düşüncesi ile hesaplamalı tasarım modelleri arasındaki ilişkiyi araştıran ilk araştırmacılardan biri olan Rivka ve Robert Oxman'a göre sentez, analiz ve değerlendirmenin dijital geri bildirim döngüleri, yapısal çözümlerin evrimleştiği ve belirli gereksinimlere uyarlandığı bir "birleştirme süreci" kurar. Dijital teknikler, tasarım ve üretimde tam olarak entegre edildiğinde son derece farklı yapılar mümkündür (Oxman ve Oxman, 2010). Oxman'ın da belirttiği üzere teorisyenler, dijital teknolojinin düşünsel etkisine dayanarak mimarlıkta paradigmatik yaklaşımları tanımlamaya çalışmış, sonuç olarak da hesaplamalı tasarım teorisi, form kavramını oluşum (*formation*) kavramına dönüştürmüştür (Oxman, 2008). Geleneksel tasarım yönteminde kavramsal tasarım sürecinin, tasarımcıların bilgisayar becerilerinin artmasıyla algoritmik düşünce sistemine uygun yeni paradigmatik değişimler yaşanmıştır. Bu değişen süreçte, geleneksel tasarımda öncelikli olan sonuç ürünken hesaplamalı tasarımda tasarım sürecini tasarlamak (*designing design process*) tasarımcı için öncelikli olmuştur (Oxman, 2008). Yeni teknolojilerle beraber, tasarıma girdi olabilecek bütün veriler hesaplamalı ortama aktarılırken kullanılan parametrik ve algoritmik hesaplamalar sayesinde, sonuç ürünlerin birbirinden farklı varyasyonlarını üretmek mümkündür.

Dijital form ile dijital süreçler arasında kurulan yeni ilişkiler, günümüzde yeni kavramsal sözcüklerin ve alan bilgilerinin ortaya çıkmasıyla sonuçlanmıştır. Kolarevic'in "*Digital Morphogenesis and Computational Architectures*" çalışmasında ele aldığı gibi, mimari tasarıma yeni dijital yaklaşımlar ve hesaplama kavramlarına dayanmaktadır. Aşağıdaki Tablo 3.2, Branko Kolarevic (2000) ve Marc Aurel Schnabel (2003) tarafından tartışılan son zamanlarda dijital mimarinin kavramlarını sunmaktadır.

Çizelge 3.2. Hesaplamalı mimari kavramları (Schnabel, 2003'ten yazar tarafından uyarlanmıştır)

Hesaplamalı Mimari Kavramları
Topolojik Mimarlık (*Topological Architecture*)
İzomorfik Mimarlık (*Isomorphic Architecture*)
Animasyon Mimarlığı (*Animate Architecture*)
Başkalaşım Mimarlığı (*Metamorphic Architecture*)
Parametrik Mimarlık (*Parametric Architecture*)
Evrimsel Mimarlık (*Evolutionary Architecture*)
Performans Mimarlığı (*Performative Architecture*)
Sanal Ortamlar(*Virtual Environments*)

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde bu başlıklar kavramlar ve örnekler ışığında açıklanmıştır.

Topolojik mimarlık (*Topological architecture*)

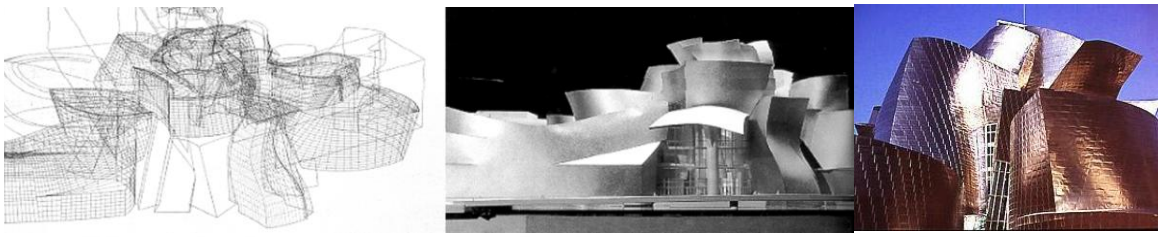
Yunanca yüzey ve yer anlamına gelen *topos* ve bilim anlamına gelen *logos* kelimelerinden türeyen topoloji teriminin temel amacı topolojik uzayları incelemek ve bu uzayların sürekli deformasyonlar yani homeomorfizmalar altında hangi özelliklerinin korunduğunu belirleyerek bu uzayları sınıflandırmaktır (Tozlu, 2017).

Greg Lynn'in (1993) "*architectural curvilinearity*" üzerine yapmış olduğu çalışma, yüksek eğrisel yüzeylerle açığa çıkan "daha akıcı bir bağlantı mantığı" (*more fluid logic of connectivity*) geliştirmek için, dominant dekonstrüktivist "çatışma ve çelişki mantığı" (*logic of conflict and contradiction*) akımından uzaklaşarak tasarlamak yeni topolojik yaklaşımının ilk örneklerinden biri olmuş (Kolarevic, 2000) ve topolojik mimarlığa örnek olarak Resim 3.5'te Gehry'nin Bilbao müzesini göstermiştir.

Topolojik mimarinin belirleyici unsuru, Kartezyen uzayında temsil edilen ayrı hacimlerin Öklid geometrisinden ayrılması ve matematiksel olarak NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline* - Tekdüze Olmayan Rasyonel B-Spline) olarak tanımlanan, topolojik sürekli

eğrilerin ve yüzeylerin "kauçuk levha" (*rubber-sheet*) geometrisinin yaygın kullanımıdır (Kolarevic, 2000).

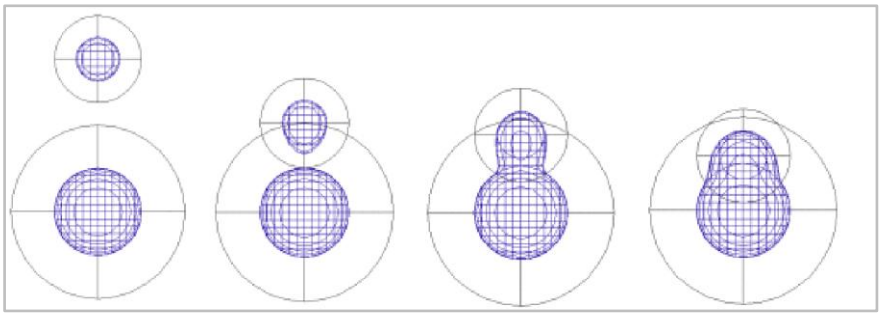
Topolojik mekanda geometri, örtük denklemlerle değil, bir dizi olasılıkları tanımlayan parametrik işlevlerle temsil edilir.



Resim 3.5. F. Gehry, Guggenheim Müzesi - 1993 (*Guggenheim Museum*) (Kolarevic, 2000)

İzomorfik mimarlık (*Isomorphic architecture*)

İzomorfik mimari "izomorfik poliyüzey" (Şekil 3.4) esasına dayanır veya özel efektler ile animasyon endüstrilerinde genellikle "*meta-clay, meta-ball veyablob model*" olarak adlandırılır.



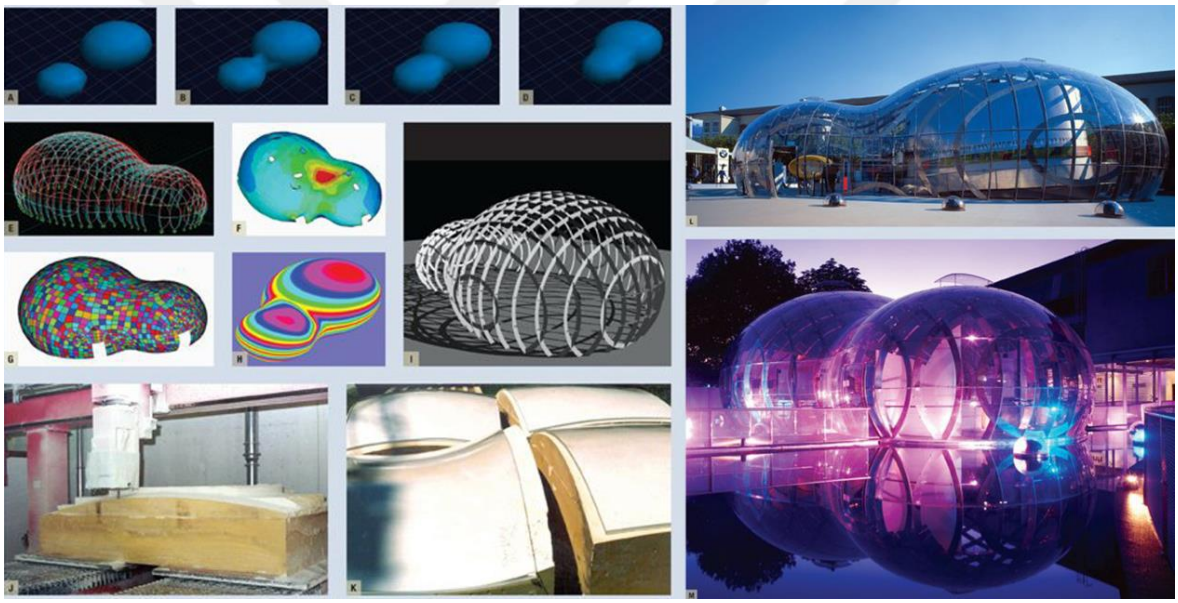
Şekil 3.6. İzomorfik yüzeyler (Kolarevic, 2000).

Öklid geometrisi ve Kartezyen uzayından başka bir çıkış noktasını temsil eden izomorfik yüzeyler karmaşık moleküllerin çalışması için geliştirilmiştir.

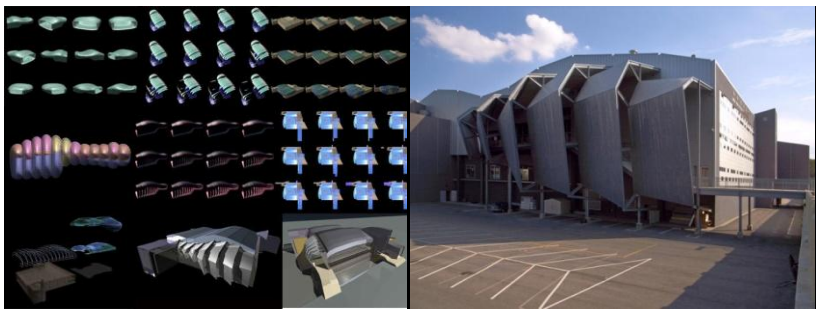
"*Blobs veya metaball*"lar, içsel kütle ve çekim kuvvetleri ile karşılıklı olarak birbirini etkileyen parametrik nesnelerin kompozit montaj (*assemblage*) olarak inşa edildiği amorf nesnelerdir. Eklemeli (*additive*) veya çıkarmalı (*subtractive*) olarak katkı maddelerinin veya etki alanlarının kullanıldığı bir yapım süreci içeren geometri, kompozit alanın aynı

yoğunluğa sahip olduğu bir yüzeyi - dolayısıyla izomorfik yüzeylerin - hesaplanmasıyla oluşturulur (Kolarevic, 2000). Bu durum, formların, yeni olasılıklara imkan tanıyan çeşitliliklerin sağlandığı başka bir biçimsel evren oluşturmaktadır. Nesneler, yeni bloblar (etki alanları) eklendiğinde veya yeni ilişkiler oluşturulduğunda, yeni imkanlar yaratarak bütünün her zaman değişime açık olduğu bir mantıkla birbirine bağlandığı etkileşim içindedirler (Hadia, 2007).

Franken Architects tarafından yapılan BMW-Pavilion (Resim 3.7) ve Greg Lynn'in, Micheal Mcluturf ve Douglas Garofalo ile işbirliği içinde tasarlanan (Resim 3.8) izomorfik mimari örnekleridir. Kore kilisesinin projesi blob kavramını kullanan ve popülerleştiren türünün ilk örneğini temsil etmektedir.



Resim 3.6. Franken Architects tarafından hazırlanan BMW Bubble Pavillion (URL-12)



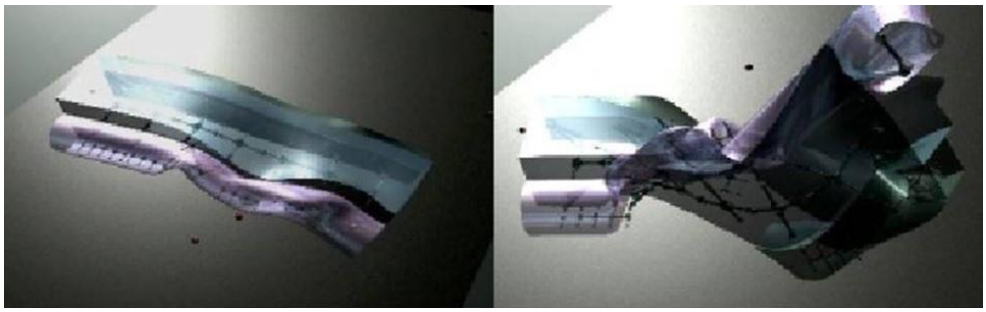
Resim 3.7. G. Lynn, M. Mcluturf ve D. Garofalo tarafından hazırlanan Kore presbiteryen kilisesi (1999) (URL-13)

Animasyon mimarlığı (*Animate architecture*)

Animasyon yazılımını bir dijital gösterim (*represantation*) aracı olarak değil, form üretme olarak kullanan ilk mimarlardan biri olan Greg Lynn'e (1999) göre mimarideki yaygın "sinematik model", formun artikülasyonundan gelen gücü ve devinimi (*motion*) ortadan kaldırır ve "optik oluşum" kavramları ve teknikleri aracılığıyla bunları daha sonra yeniden sunar (Kolarevic, 2000).

Lynn, animasyon tasarımının, hareketin ve gücün biçimsel kavrayış anında birlikte bulunmasıyla tanımlandığını belirtirken; devinimin, hareket ve eylemi gösterdiğini, animasyonun ise bir formun evrimini ve şekillendirici güçlerini ima eder. Lynn, projelerinde ana çerçeve animasyonu, ileri ve ters kinematik, dinamik (kuvvet alanları) ve parçacık emisyonu gibi tüm harekete dayalı modelleme tekniklerini kullanmaktadır (Kolarevic, 2000).

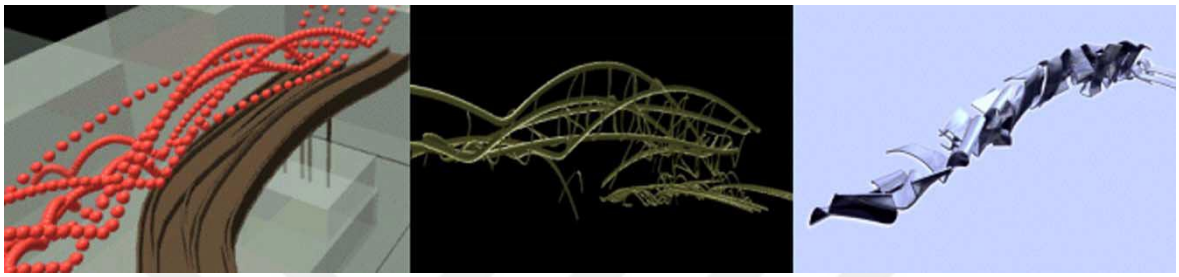
Kinematik, bir nesnenin veya hiyerarşik nesneler sisteminin, ileri kinematikte aşağı doğru ve ters kinematikte ise yukarı doğru yayılma dönüşümü gösteren hareketini, kütlesine veya ona etki eden kuvvetleri ele almadan incelemekte ve animasyon içinde gerçek mekanik anlamıyla kullanılmaktadır. Lynn'in Resim 3.8'de görülen Long Island'daki House Prototipi gibi bazı projelerinde, küresel bir örtüyle kaplanmış iskeletler, çeşitli çevresel kuvvetlerin etkisi altında ters kinematik kullanılarak deforme edilmektedir (Kolarevic, 2000).



Resim 3.8. G. Lynn, *Kinematics house* (Kolarevic, 2000)

Greg Lynn tarafından New York'ta tasarlanan *Port Authority Bus Terminal* (Liman İdaresi Otobüs Terminali) örneğinde görüldüğü üzere (Resim 3.9) kinematikten farklı olarak, dinamik simülasyonlar, bir nesnenin veya nesne sisteminin hareketleri üzerindeki

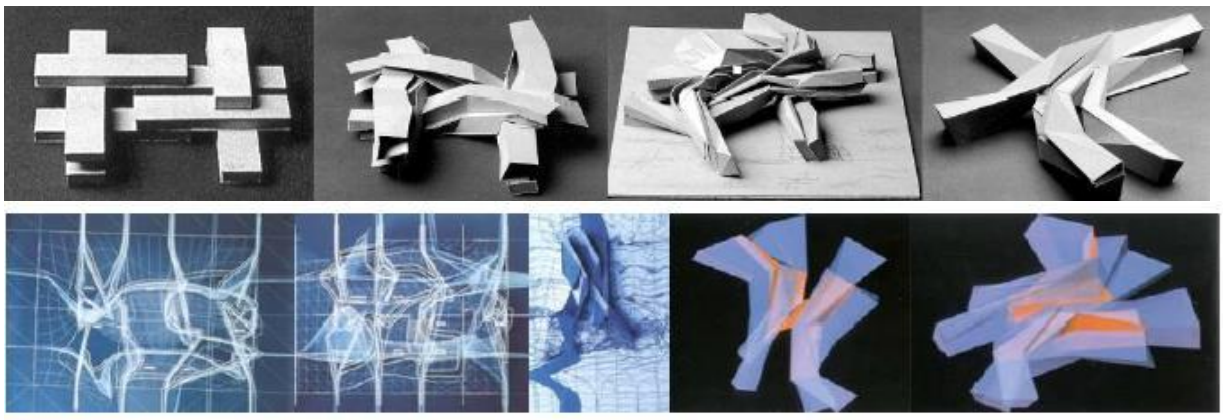
kuvvetlerin, özellikle de sistemin kendisinden kaynaklanmayan kuvvetlerin etkilerini dikkate almaktadır. Lynn'in otobüs terminali için koruyucu bir çatı ve aydınlatma planı projesi olarak tasarladığı ve yayaların, arabaların ve otobüslerin hareket akışının etki gösterdiği yapı, ilgili kuvvetler tarafından oluşturulan, sahada mevcut olan "çekim" alanlarının gradyan alanlarını görselleştirmek için parçacık sistemlerini kullanmanın çok etkili bir örneğini sunmaktadır (Kolarevic, 2000).



Resim 3.9. G. Lynn, *Port Authority Bus Terminal* (Kolarevic, 2000)

Başkalaşım mimarlığı (*Metamorphic architecture*)

Metamorfik biçim oluşturma, modelin "*key shape*" animasyon (anahtar şekil canlandırma) ve "*path*" animasyon (yön canlandırma) gibi yöntemler kullanılarak biçimin deforme edildiği bir yöntemdir. "*Bounding box*" (karakter kutusu), spline eğrisi veya koordinat sistemi ekseni ya da düzlemlerinden biri kullanılmasıyla, seçilen doğrultu boyunca hareket ettirilerek modelin deformasyonları sağlanabilmektedir. Peter Eisenman'ın Resim 3.10'daki BŞ software ofisi Başkalaşım Mimarlık örneği olarak gösterilebilmektedir.



Resim 3.10. P. Eisenman, BŞ software ofisi (Kolarevic, 2000)

Parametrik mimarlık (*Parametric architecture*)

Kelime olarak parametrelere bağlı olan parametreler tarafından üretilen anlama gelen parametrik sözcüğü, bilgisayar dilinde bir dizi komutun, sisteme girilen çeşitli veriler üzerinde işlem yapmasıyla ilgili bir terim olarak anlamlandırılabilmektedir. Başka bir deyişle parametreyi, bir durum için tanımlanan ve değiştirilebilen bir nicelik olarak ifade edilmektedir (Ertürk Gaucher, 2018).

Kolarevic'in tanımlamış olduğu, parametrelere farklı değerler atayarak, farklı nesnelerin veya konfigürasyonların kolayca üretildiği parametrik tasarımda, denklemler, nesneler arasındaki ilişkileri tanımlamak için kullanılabilir, böylece ilişkisel bir geometri, yani "karşılıklı olarak bağlı olan kurucu geometri" tanımlanmaktadır (Kolarevic, 2000). Parametrik tasarım, genellikle geometrinin yöntemsel algoritmik bir tanımını gerektirir. Marcos Novak'ın herhangi bir pragmatik kaygı olmaksızın, sayısız değişken tanımlayarak oluşturduğu matematiksel modeller ve üretim yöntemlerini göz önünde bulundurarak ortaya koyduğu Resim 3.11 "*Algorithmic Spectaculars*" çalışması parametrik tasarıma örnektir.



Resim 3.11. M. Novak, *Algorithmic Spectaculars* (Kolarevic, 2000)

Evrimsel mimarlık (*Evolutionary architecture*)

1970'lerde dünyanın ilk mikrobilgisayar tabanlı tasarım sistemlerini geliştirip somut arayüzler icat eden, üretken tasarım ve evrimsel hesaplama alanında öncü ve lider olan John Frazer, "Üretken (*generative*) ve Evrimsel Tasarım" için bilgisayarın sanal alanını doğada evrimsel süreçlere benzer bir şekilde kullanmayı gerektirdiğini belirtmiştir (Frazer, Frazer, Liu, Tang, ve Janssen, 2002).

Yapılı çevrede, doğal çevrenin karakteristik özelliği olan simbiyotik davranış ve metabolik dengeyi gerçekleştirmeye yönelik bir girişimde olan Evrimsel Mimarlık, doğanın evrimsel modelini, mimari form için üretim süreci olarak önermektedir (Frazer ve diğerleri, 2002). Frazer'e göre bu yaklaşımda,

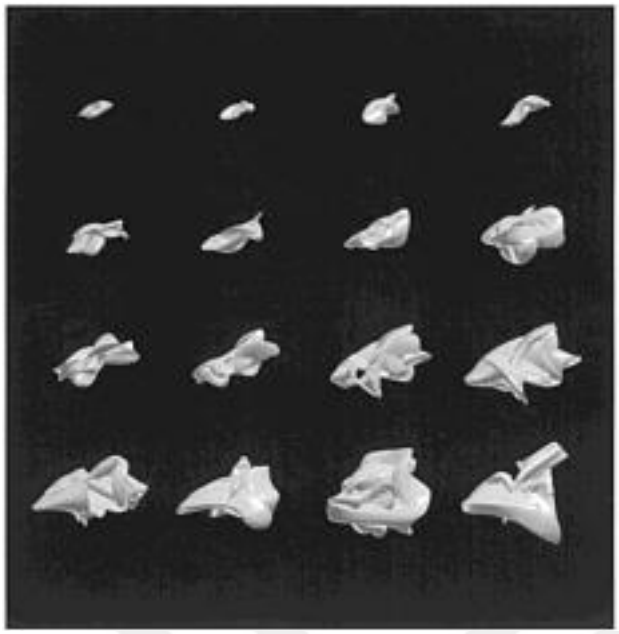
> Mimari kavramlar, evrim ve gelişimin hızlandırılabileceği ve bilgisayar modellerinin kullanımıyla test edilebileceği şekilde, üretken kurallar olarak ifade edilmektedir. Kavramlar, form jenerasyon için bir kod komut dosyası üreten genetik bir dilde tanımlanmıştır. Bilgisayar modelleri, simüle edilmiş bir ortamda performanslarına göre değerlendirilen prototip formların geliştirilmesini test etmek için kullanılır. Kısa bir süre içinde çok sayıda evrimsel adım oluşturulabilir ve ortaya çıkan formlar genellikle beklenmedik bir durumdur (Kolarevic, 2000).

Genetik algoritma tekniği, problem çözme ve optimizasyon için öncelikle hem problemleri hem de başarılı çözüm için yerine getirilmesi gereken kriterleri açıkça ortaya koyabildiği durumlarda geliştirilmiştir. Temel karakteristikleri, üreme, gen geçişi ve mutasyon kurallarının uygulandığı "doğanın kromozomlarına eşdeğer bir dize benzeri yapı" ile karakterize edilen genetik algoritmalar, yüksek derecede paralel, evrimsel, uyarlanabilir araştırma yöntemleri sınıfıdır (Frazer, 1995:58)

Evrimsel model, bilgisayar programı tarafından, simüle edilmiş ortama karşılık bir dizi modele dönüştürülüp geliştirilen "genetik kod" biçiminde tanımlanması gereken bir mimari kavram gerektirir. Evrimsel modeli gerçekleştirmek için,

- Genetik kod-betik (*script*),
- Kodun gelişim kuralları
- Kodun sanal modele eşlenmesi
- Modelin geliştirilmesi için çevrenin doğası (*the nature of the environment for the development of the model*)
- Seçilim kriteri (*criteria of the selection*)

aşamalarının tanımlanması gerekmektedir (Frazer, 1995:65). Genetik kodlama sürecinde, asıl mesele dışsal formdan ziyade içsel mantığın modellenmesidir. Diğer eşit derecede önemli konular, genellikle yanlış tanımlanmış ve çelişen kriterlerin tanımı ve tanımlanan kriterlerin "en uygun" seçim için nasıl çalıştığıdır (Resim 3.12).



Resim 3.12. John ve Julia Frazer, *Interactivator* (1995): gerçek ziyaretçiler ve çevresel sensörler ile etkileşim yoluyla formun deneysel evrimi (Kolarevic, 2003).

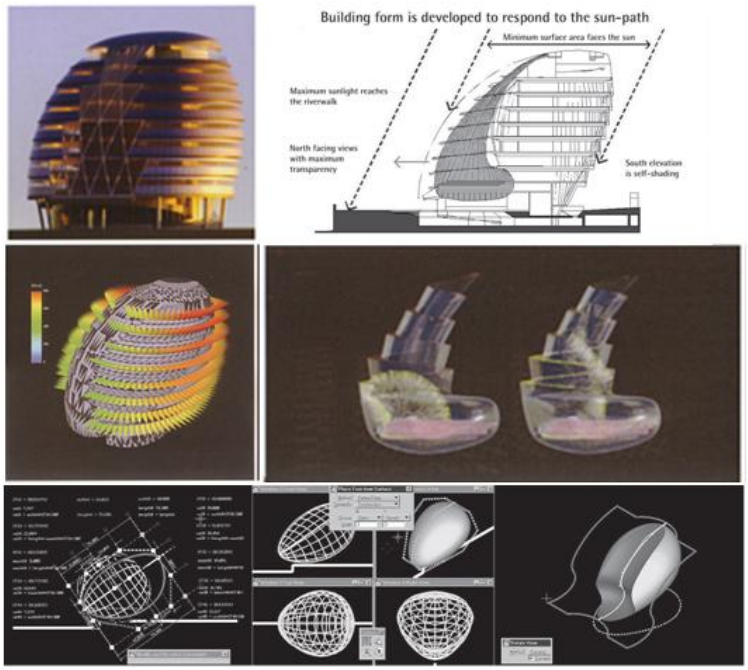
Performans mimarlığı (*Performative architecture*)

Performans mimarlığı, başka bir mimari türü olarak ortaya çıkmakta ve yapı performansının yönlendirici bir tasarım ilkesi olarak kullanılmasını ve şehirlerin, binaların, peyzajların ve altyapıların tasarımı için performansa dayalı önceliklerin yeni bir listesini benimsemektedir. Bu yeni mimarlık türü, form yapımından önce geniş bir performans tanımlamıştır; yapısal çevrenin tasarımına kapsamlı ve yeni bir yaklaşım sunmak için sayısal ve niceliksel performansa dayalı simülasyonun dijital teknolojilerini kullanır (Kolarevic, 2003:39). Bu yeni bilgi ve simülasyon güdümlü tasarım bağlamında, ortaya çıkan performansa dayalı tasarım paradigması finansaldan mekansala, sosyal ve kültürelden teknik altyapıya (yapısal, termal, akustik, vb.) kadar çok geniş bir şekilde ifade edilmektedir. Yapı performansının önem noktası, bina tasarımının, süreçlerinin ve uygulamalarının beklentilerini yeniden tanımlamaktadır (Kolarevic, 2003:39).

Performans mimarlığında, geometrik modelin küçük, birbirine bağlı ağ (*mesh*) elemanlarına ayrıldığı sonlu elemanlar yöntemine (*Finite Element Method - FEM*) dayanan analitik hesaplama teknikleri, herhangi bir biçimsel karmaşıklığı bulunan yapılar için strüktürel, enerji ve akışkan dinamiği analizlerini doğru bir şekilde gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Çeşitli analitik değerlendirmeleri çakıştırarak, tasarım alternatifleri en

uygun performansı sunan bir çözüm seçmek için nispi basitlikle karşılaştırılabilmektedir (Kolarevic, 2003:40).

Foster'ın Resim 3.13'te görünen GLA (*Greater London Authority*) binasının tasarımına yönelik performatif yaklaşımı, "*blobby*" biçimlerinin nasıl algılandığı konusunda önemli bir değişime karşılık gelmektedir. Kıvrımlı, eğrisel formlar, sadece yeni estetiğin bir ifadesi ya da dijital devrimden doğan belirli bir kültürel ve sosyo-ekonomik önem için değil, aynı zamanda sürdürülebilir yapı kapsamında yeni ekolojik bilinç için de en uygun biçim olarak ifade edilebilir.



Resim 3.13. Foster and Partners, GLA (1995) (Kolarevic, 2003)

Sanal ortamlar (*Virtual environments*)

Sanal Ortamlar, bir kişinin yapay üç boyutlu görsel veya başka bir duyusal ortamla etkileşime girmesini sağlamak için bilgisayar modelleme ve simülasyonu olarak tanımlanmaktadır. VR uygulamaları, kullanıcıyı, çeşitli etkileşimli aygıtların kullanımıyla gerçekliği simüle eden bilgisayar tarafından oluşturulan bir ortamda tutmaktadır.

3.2.2. Hesaplamalı üretim

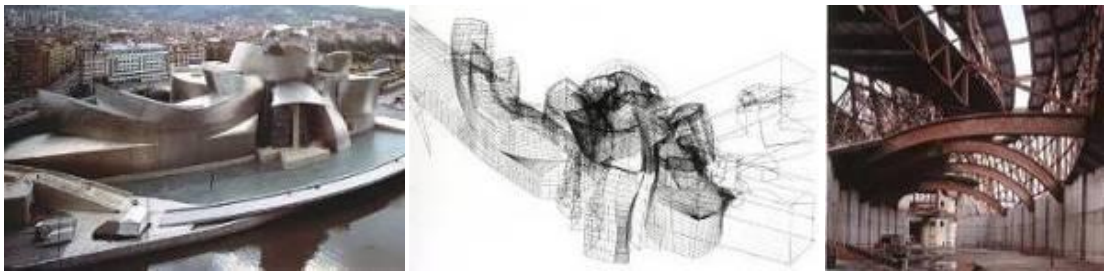
Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM) alanındaki gelişmelerle büyük ölçüde etkilenen otomotiv, havacılık ve denizcilik sektörlerinin yanı sıra; hesaplamalı teknolojilerin ve üretim tekniklerinin etkileyici sonuçları mimari tasarımda da görülmüştür. Mimarlıkta CAM, yenilikçi yöntemler ile malzemeyi biçimlendiren ve binaların yapımı süresince kullanılan bilgisayar destekli işlemler olarak tanımlanmaktadır (Baliński ve Januszkiewicz, 2016). Mimarlık alanında CAM teknolojilerinin kullanımı ise tasarımın doğal bir eylemi olan çalışma ve/ya da sunum modellerinin üretimi ile başlamış; ancak üretimin hızı, değişik malzemelerin deneyimlenebilmesi, hassasiyet gibi olanakların fark edilmesi ile birlikte bir sonraki evreye geçilmiş; tasarım-üretim ilişkisi inşaat süreç ve pratiğini de dönüştürmeye başlamıştır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015). Mimari tasarım ve uygulama sürecinde, bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin kullanılmasıyla (CAD/CAM) "dosyadan fabrikaya" (*file to factory*) olarak adlandırılan bir tasarım/üretim süreci gündeme gelmiştir. Böylece dijital ortamda geliştirilen tasarımın dijital ortamdaki bilgileri doğrudan fabrikaya aktarılmakta ve aktarılan bilgi CAD/CAM teknolojisiyle üretimi yönlendirilmektedir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Dijital araçların kullanılmasıyla büyük ölçüde etkilenen tasarım süreci, yapıların form ve strüktürel kısıtlılıklarını özgürleştirmiştir. Tasarım teorisi ile mimarlık kuramının ilişkisine dair bir takım nedensel temele sahip olmak yerine, teknolojinin tasarım teorisi ve mimari teori arasında aracı faktörü olduğunu belirten Oxman, hesaplamalı mimarinin kapsamlı teorisinin; teori ve pratik arasındaki ilişkiyi göz önüne alması gerektiğini savunmuştur (Oxman, 2008). Dijital medya ve yeni teknolojilerin biçimsel, mekansal ve malzeme yönünden mümkün olduğunu düşündüğümüz durumlar hızla gelişmeye devam ederken, dijital gösterim (*represantation*) ve inşa etme biçimleriyle ilgili olarak mimarlık disiplini sürekli bilgilendirmekte ve bilgilendirilmektedir. Kullanıcı tarafından bilgisayara aktarılan veri ile başlayan ve kimi zaman yapının tamamının, kimi zaman bir yapı elemanın üretimi ile tamamlanan hesaplamalı üretim, bir tasarım devrimini teşvik ederek, çok sayıda mimari icat ve yenilik getirmiştir (Iwamoto, 2009:4).

Hesaplamalı üretim, bir bilgisayarda tasarım yapma ve sonra bu tasarımları üretimi yapan bilgisayar kontrollü makinelere aktarma yeteneğini içermektedir. Dijital üretim kavramı, tasarım ve üretim arasındaki ilişkiyi yeniden yapılandırmaya yardımcı olurken neyin

tasarlanabileceği ile bilgisayar destekli üretimin “dosyadan fabrikaya” süreçleri CAM aracılığıyla yapılabilecekler arasında doğrudan bir dijital bağlantı yaratmaktadır. Bazı dijital modelleme sistemleri CAM modüllerinde CAM işlevlerini de destekleyerek aynı ortamdaki spesifik işlemler için dijital veriler sağlamaktadır. Mimarlar, bilgisayar ekranlarında yarattıkları her şeyin dijital olarak üretilebileceğini bilerek, benzersiz şekil ve büyüklüklerde tasarladıkları yenilikçi detaylara elde etme fırsatı yakalamışlardır.

Genel olarak mimarlık ve teknoloji arasında, özellikle dijital ve bina teknolojileri, bir bağlantı kurmak için fırsat sağlayan dijital araçları kullanmanın temel anahtarı, farklı yaratıcı fikirlerin üretilmesini kolaylaştırmasıdır. Mimarlığın büyük ustalarının mimari düşüncelerini yeniden şekillendirmede ve onlara hayallerindeki tasarımı yerine getirmeleri için geniş fırsatlar sunan CAM için en bilindik örnek Resim 3.14’te görülen Guggenheim Müzesidir. Söz konusu teknolojilerin mimarlıkta kullanımının öncül örneklerinden biri olarak literatüre giren bu örnekte farklı ölçeklerde pek çok üretimi gerçekleştirmeye olanak sağlayan CAM teknolojileri, mimarlar kadar mühendisler için de büyük potansiyeller sunmuştur. Gehry’nin yaratıcı tasarımında, *CNC* ile kavisli yüzeyleri tasarlamak ve üretmek amacıyla, havacılık endüstrisi için orijinal olarak geliştirilmiş ve üç boyutlu bir modelleme aracı olan CATIA kullanılmıştır. CATIA, geometri ile yapılabilirlik ilişkisinin kontrolünü ve formun yapısına ulaştırmasını sağlarken, heykelsi form araştırmalarına da ortam sağlamıştır. 3D-CATIA modeli ile her bir farklı yapı elemanının tüm parçaları ve bileşenlerinin yapısı ve bileşimini, özellikle bu elemanların ve bileşenlerin prefabrik olarak üretilmesi ve sabitlenmesi mümkün oluştur.



Resim 3.14. Guggenheim Müzesi, CATIA 3D- CAD çizimi, CAM ve üretim aşaması (Afify, 2007)

Yaklaşık otuz yıldır dijital olarak çizim yapan mimarlar için CAD programları, iki boyutlu çizimi verimli hale getirmekle kalmamış, aynı zamanda da düzenlemesi kolay ve küçük bir uygulama ile basitleştirmiştir. Uzun yıllar boyunca, çizimlerin analogdan dijitale evrilmesiyle, CAD kullanımı sonucu tasarım düşüncesine enerji kazandırmak ve mimari form ve yapı sınırlarını genişletmek için üç boyutlu bilgisayar modelleme ve hesaplamalı üretim araçları da gelişmiştir. Yaşanan bu gelişmeler sonucunda ise dijital çağ, teori ve üretim arasındaki ilişkiyi yeniden yapılandırırken, neyin tasarlanabileceği ve nelerin inşa edilebileceği arasında doğrudan bir bağ oluşmasını sağlamıştır. Yapı projeleri sadece dijital olarak tasarlanmanın dışında, sayısal olarak kontrol edilen (CNC) üretim teknolojilerinin "dosyadan fabrikaya" üretim süreçleri ile dijital olarak gerçekleştirilmektedir (Kolarevic, 2003:46). Branko Kolarevic, 2003 yılında yapmış olduğu çalışmasında üretim teknolojilerini:

- İki boyutlu üretim (CNC kesim işlemleri)
- Çıkarma işlemine dayalı üretim (katı objelerin frezelenmesi)
- Ekleme işlemine dayalı üretim (katmanlı üretim/ serbest biçimli katı obje üretimi/ hızlı prototipleme)
- Biçimlendirmeye dayalı üretim

olarak dört grupta incelemiştir (Kolarevic, 2003:50). Bu teknolojilerin yanında, tasarımcılara yeni ve esnek tasarımlar yapma olanağı sağlayan, "kitlesel bireyselleştirme" ile; araba ve uçak endüstrisinde verimli olması nedeniyle yapım sistemlerinde de kullanılmaya başlanan robot teknolojisi ve 3D yazıcılar da yenilikçi üretim teknolojileri olarak mimarlık gündeminde olan yaklaşımlardır (Tozlu, 2017).

Dijital üretim, dijital teknolojilerin daha geleneksel yöntemlerle eşleştiği, belirli nitelikler ve algoritmalarla ilgili yeni ve disiplinler arası bir anlayışla zanaatın yeniden canlanmasını sağlamıştır (Nick, 2012:88). Günümüzde ise tasarım, bir ürünün tek başına tamamlanmasına değil, kapsamlı bir yaşam döngüsüne odaklanmaktadır. Tasarım aşamasında bile, dijital simülasyon, inşaat sürecinde veya bir binanın yaşam döngüsünde ortaya çıkan soruları önlemektedir. Dijital tekniklerin aracılığıyla, hedefleri, tasarım aşamasında olabildiğince erken belirlemek ve daha sonra bunları adapte ederek gerçekleştirmek ve bu teknikler sonucu ortaya çıkacak son ürünlerin etkili bir şekilde tahmin edilmesi mümkün olmakla beraber olası değişikliklerin de dijital olarak simüle edilmesi ve bağlam içinde gerçekçi olarak ölçülebilmesi sağlanmaktadır (Hauschild ve

Karzel, 2012:8). İnşaattaki planlama, hesaplama, optimizasyon, ihale ve pazarlamanın yaklaşık %98'i dijital verilere dayanmakta ve bununla birlikte, bilgisayarlı tasarım süreci ve fiziksel uygulama arasında daha doğrudan bir arayüz oluşturmaktadır. Hauschild ve Karzel'in belirttiği üzere hesaplamalı üretim teknolojileri:

- Üretken yöntemler (*generative procedures*)
- Çıkartmalı yöntemler (*subtractive procedures*)
- Dönüştürücü-Biçimlendirici yöntemler (*transformative procedures*)
- Birleştirmeli-Eklemeli yöntemler (*joining-additive procedures*)

olmak üzere dört ana alana ayrılmıştır (Hauschild ve Karzel, 2012:45). Belirtilen üretim teknolojileri, tasarım bilgilerinin bir arayüz olmadan üretime aktarılmasını sağlarken, bilgisayar tabanlı yöntemlerle tasarımda artan bir verimliliğe yol açmaktadır.

Üretken yöntemler (*Generative procedures*)

Latince "*generare*" kelimesinden türeyen, oluşturmak ve üretmek anlamına gelen *generative* terimi, hesaplamalı üretim teknolojilerinde kullanılan bir yöntemi ifade etmektedir. Kimyasal ve fiziksel süreçlerle, sıvı, toz, gaz, lif veya yonga (*chips*) gibi biçimsiz malzemelerden temel ürünün malzeme özelliklerine sahip katı cisimlerin oluşturulduğu bu yöntemde malzeme ilk kez spesifik olarak oluşturulduğundan, bu yöntemler çok miktarda esnekliğe ve yüksek ekonomik potansiyele sahiptir. En önemli şekillendirme yöntemleri, sayısal olarak (veri ile) kontrollü sinterleme, genleşme ve ekstrüzyonun yanı sıra manuel döküm ve üflemeli kalıplamadır (*blow moulding*) (Hauschild ve Karzel, 2012:46).

Günümüzde farklı fiziksel ve fonksiyonel prensiplere sahip fikir üretme aşamasından sınırsız karmaşık geometriye ve tek tek şekillendirilmiş yüzeylere sahip parça parçalarının üretimine kadar bir ürün geliştirme zinciri boyunca kullanılan yaklaşık 50 farklı üretim yöntemi bulunmaktadır. Çeşitli üretken yöntemler, son ürünlerin ön aşamalarını üreten üretim yöntemleri için ortak bir terim olan "hızlı üretim yöntemleri" (*rapid procedures*) terimi altında bulunmaktadır. Karmaşık geometrilerin çok sayıda 2D üretim aşamasına indirgenmesiyle başlayan süreçte, fiziksel bir 3D bileşen parçasını hızlı ve CAD prosedürleri temelinde manuel araçlar kullanmadan üreten bu yöntemde; BIM ortamları, analitik detaylandırmalar ve üretken tasarım ardılları, bulut bağlantısıyla elde edilen

kaynaklarla hesaplama yetenekleri ve bilgi erişimi elde etmektedir (Menges ve diğerleri, 2017:19).

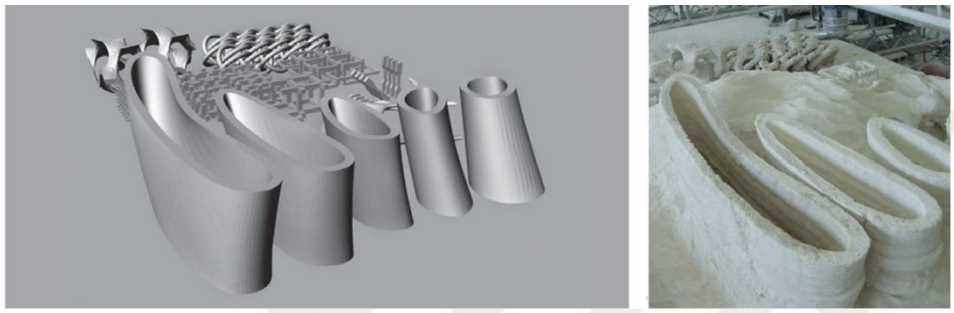
Hauschild ve Karzel'in 2012 yılında yayınlamış oldukları çalışmada belirttikleri üzere, katmanlarda yapı prensiplerini takip eden ve yapı projelerinin ölçeklendirilmesini sağlayan üç üretken yöntem vardır:

- Prefabrik beton elemanlar ile konstrüksiyon: Prefabrik beton elemanlara sahip CNC kontrollü konstrüksiyon, duvarlar gibi iki boyutlu yapı parçalarıyla sınırlıdır, ancak bunlar oldukça entegre bir şekilde üretilebilmektedir.
- Robotik katmanlama yöntemleri: Bir bilgisayar aracılığıyla, kil tuğlalar veya ahşap yapı elemanları gibi yapı elemanlarının geometrisi büyük pikseller şeklinde parçalanır ve farklılaştırılmış yapı formlarındaki katmanlamayı çok eksenli yakalayıcı robot (*gripper*) ile gerçekleştirilir.
- 1:1 ölçeğinde hızlı üretim: Kontur işçiliği (*contour crafting*) ve D-form yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntem, hızlı üretim yöntemleri prensibini 1:1 ölçekte modellerin veya prototiplerin üretimine aktarır. Yöntem, yapı elemanlarının geometrilerini katman katman oluşturan betona benzer bir malzeme ile çalışır.

Mimaride, hızlı üretim yöntemleri (*rapid procedures*), özellikle 1x1x1 m boyutlarına kadar yüksek karmaşık, bireysel ve dayanıklı modellerin, şablonların, prototiplerin ve yapı elemanlarının hızlı ve düşük maliyetli üretimi için kullanılmaktadır (Hauschild ve Karzel, 2012:46). Üretken yöntemlerde STL, SLS, SLM, 3DP, FDM gibi araçlarla gerçekleştirilen üretim, "kitlesel bireyselleştirme" (*mass customization*) yani müşteriye özel seri üretim ve talep üzerine üretim için ideal olarak uygundur. CNC prefabrik beton elemanlar, Resim 3.15'teki elemanların robot destekli montajı ve Resim 3.16'daki büyük ölçekte 3 boyutlu baskı yöntemleriyle tasarımın tamamlanıp üretiminin gerçekleştirildiği üretken yöntemlerde yeni araçların ve yeni malzemelerin ortaya çıkmasıyla, form mevcut geometrik kısıtlamalarından biraz arındırılmış ve günümüzde mimarlık disiplininde küçük ölçekten büyük ölçeğe, duvardan yapının tamamına kadar bütün süreçlerde etkileyici bir gelişim yaşanmıştır.



Resim 3.15. D-Fab Robotu ve Venedik Bienali'nde robotik olarak üretilen tuğla duvar (Hauschild ve Karzel, 2012)



Resim 3.16. Yapının 3 boyutlu modeli ve 3D yazıcı ile üretilmiş hali (Hauschild ve Karzel, 2012)

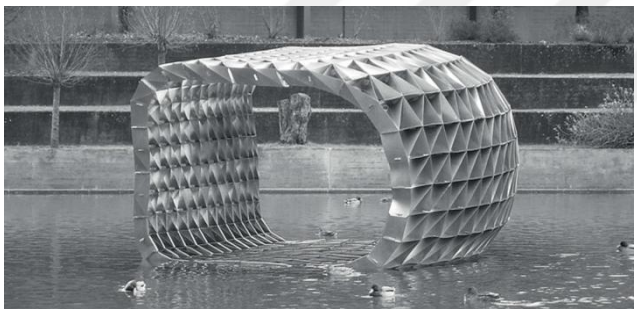
Çıkartmalı yöntemler (*Subtractive procedures*)

Malzemeleri dönüştürmek için kesme ve frezeleme işlemlerini içeren üretim yöntemleri çıkarmalı yöntemler olarak kategorize edilmektedir. Malzemeleri ayıran yöntemler ya da çıkartmalı yöntemler, parçacıkların hammaddeden ayrılarak yapı parçasının son hacmi azalması sonucunda malzemenin kohezyonunun kısmi çözülmesini sağlamaktadır (Hauschild ve Karzel, 2012:54). Çıkarmalı üretim yönteminde, elektronik, kimyasal ya da mekanik olarak indirgeyici (çok eksenli frezeleme) işlemleri kullanılarak belirli bir hacimde malzemenin katılardan ayrılması gerçekleştirilir (Kolarevic, 2003:52).

Çıkarmalı yöntemler için kullanılan makineler, kesme ve frezeleme kafaları ile hareket alanı bakımından çeşitlenmektedir. Bazıları aynı tasarımın üretimi için kullanılabilirken, her bir işleme türünün, belirli tasarımların imalatı için farklı üretim süreçlerinde tercih edilmesine olanak sağlayan kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Malzemelerin, işlem sonrasında eklenecek montaja göre yeniden düzenlenmek üzere daha küçük parçalara bölündüğü çıkarmalı yöntemlerin bir başka yönü, parça üretme potansiyelleri ve bu parçaların nasıl monte edildiği ile ilgili olmasıdır. Parçaların üretimi

öncesinde planlanan son montaj formu, parçaların geometrisi üzerinde yoğunlaşan üretim sürecini etkilemekte ve son montaj parçalar tarafından tek tek şekillendirilmektedir (Akküçük Kırım, 2014). Kesim, malzeme kalınlığının çok az değiştiği yerlerde hammaddeden düz bir şekilde parça ayırmak için kullanılmaktadır. Makaslama – kırpma (*shearing*), jetle kesme ve termokesim (*thermocutting*) gibi yöntemlerle çıkarma işlemi gerçekleştirilir (Hauschild ve Karzel, 2012:54):

- *Nibbling* olarak da bilinen makaslama - kırpma durumunda, CAM tarafından kontrol edilen bileşen parçası üzerinde bir kalıp kafası yönlendirilir ve sürekli bir şekilde yukarı ve aşağı yönde hareketler gerçekleştiren kalıp kafası, malzemeyi sayısal olarak belirlenen konumlarda ayırır. ETH Zürih üniversitesinde 2001 yılında tasarlanan, bükme açısı boyunca gerekli iç sertliğin sağlanan 1.5 mm kalınlığında 974 farklı paslanmaz çelik levha ile üretilen Resim 3.17'deki SXM pavilyon, *nibbling* yöntemi ile üretilmiş yapıların ilklerindendir.



Resim 3.17. SXM Pavilyon, ETH Zurich (Hauschild ve Karzel, 2012)

- Jet kesme durumunda makaslamanın aksine, malzeme parçalarını ayırmak için bir kesici kenar yerine bir jet kullanılmakta ve bağ enerji (*bundled energy*) (lazer jet kesim) veya gaz (torç kesim, plazma kesim) veya su (su jeti ile kesim) gibi bir ortamdan oluşur. Bu nedenle, jet kesme teknikleri, kesilecek malzemeler ve kesme koşulları için yüksek bir esneklik derecesi sergilemektedir. Kesim işlemi boyunca çok düşük malzeme kaybının yaşandığı bu yöntem, bir robot kolu tarafından yönlendirilmekte ve üç boyutlu yapı bileşenlerini de işleyebilmektedir. Resim 3.18'de görülen TU Darmstadt HOBIT 2008 fuarı için üretilmiş olan stant, sürekli bir CAD-CAM jet-kesme yöntemi ile 84 adet oluklu mukavva kesimi kullanılarak üretilmiştir.



Resim 3.18. TU Darmstadt HOBIT 2008 için üretilen fuar standı (Hauschild ve Karzel, 2012)

- Büyük ölçekli sıcak tel kesme (*thermocutting*), beton kalıplar ile hafif ve hacimli yapı parçalarının üretimine çok uygun olan tüm çıkarmalı yöntemlerin en sıra dışı olan yöntemidir. Kapsamlı CNC kontrolü uygulanan bu yöntemde sıcak tel, lineer kalır, bununla birlikte, sürekli uyarlanabilir ve dönebilir bir bileşen parçanın etkisi ile yüksek kaliteli, spesifik geometriler üretilebilir. *Polystyrene* ya da *styrodur* gibi genişletilmiş malzemeler kullanılır. Resim 3.19'de görülen, NIO Architecten tarafından 2003 yılında tasarlanan Hoofddorp otobüs durağı; bu yöntemle üretilmiş yapılara örnektir. Yapı *polystyrene* köpükten üretilmiştir ve 50x10x5 m ölçüsünde ve yüzeyi bir CTP kaplama tabakası ile korunmaktadır.



Resim 3.19. Hoofddorp otobüs durağı (URL-14)

Çıkarmalı üretim yöntemleri, bir montaj için parçaların üretilmesi ile ilgilidir. Bu yöntemler, bir malzemeyi bölerek veya parçalara ayırarak yapı bileşenlerini üretmektedir. Bir montaj için bileşenlerin tasarlanması, çıkarmalı yöntemlerin yeterliliklerinin dikkate alınmasını gerektirir. Mimarlıkta, bireyselleştirilmiş yapı bileşenlerinin gerçekleştirilmesi için büyük bir potansiyel barındırmakta olan çıkarmalı yöntemlerde, üretim süreçleri sonucunda değişime uğrayan malzemelerin biçimsel nitelikleri ile ilgili günümüzde gelinen noktada yeni tasarım metodolojileri imkan sağladığı söylenmektedir.

Dönüştürücü-Biçimlendirici yöntemler (*Transformative procedures*)

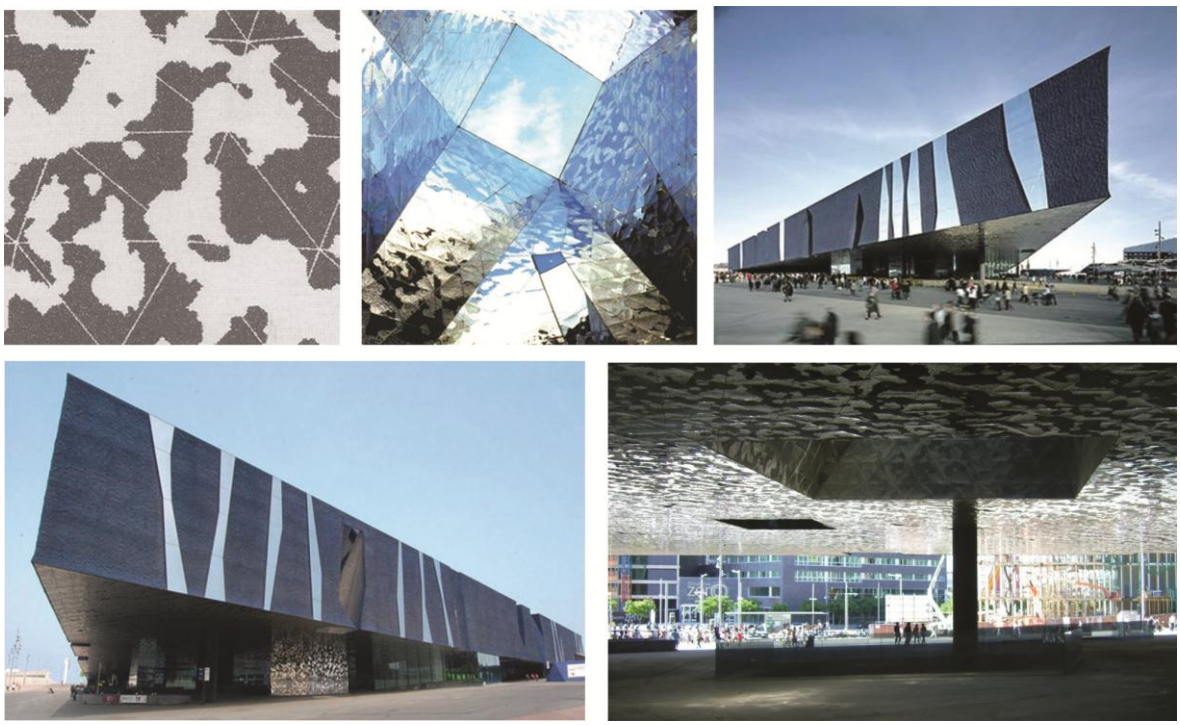
Dönüştürücü yöntemler, malzemelerin şekil değiştirmesine neden olan kuvvet kaynağına göre değişikliğe uğrar. Biçimlendirici üretimde eksenel veya yüzeyle sınırlanan mekanik kuvvetler, sınırlayıcı formlar, ısı veya buhar gibi yöntemlerle bir malzemeye, malzemeyi yeniden şekillendirme veya deformasyon yoluyla istenen forma gelecek şekilde uygulanmaktadır (Kolarevic, 2003:56). Şekillendirme işlemleri, bir bileşen parça üzerine uygulanan mekanik basınç veya gerilim yoluyla gerçekleştirilmektedir. Genel terimi itibariyle basınç ve gerilim oluşumu arasında, yuvarlama (*rolling*), serbest biçimlendirme, kalıplama (*die forming*) veya derin çekme (*deep-drawing*), basınçla şekillendirme, hidroformlama, genişleme ve aletsiz tel çekme yöntemleri arasında oluşan fark ayırt edilmektedir (Hauschild ve Karzel, 2012:62). Dönüştürücü-biçimlendirici yöntemler, oluşumlarına göre farklılaşabilmektedir:

- CNC kenar bükme (*CNC bending edges*) işlemi; levhaların bükülmesi (katlama), bir parçanın düz yüzeyinin, bir metal levhanın kalan kısmı üzerine katlanmasıyla gerçekleşir. Kavisli kenar, açı ve yarıçap parametreleri tam olarak tanımlanır ve tekrarlanabilir olması sebebiyle yöntem tamamen otomatiktir. CNC bükme teknolojisi, mimaride ağırlıklı olarak karmaşık taşıyıcı strüktür üretimi için kullanılmaktadır. Çalışma adımlarının azaltılmasıyla hızlı bir üretim akşının sağlandığı bükme teknolojisinde doğrudan veri aktarımı ve bir takım araçlar ile çeşitli serbest formların tasarımı mümkündür. CNC bükme teknolojisi ile üretilen Resim 3.20'de görülen Duisburg'daki "*Angerpark Landmark*" büyük çaplı heykelimsi yapıda, her yapı parçası geometrik olarak farklı üretilmiştir. Üretim yaklaşık uzunluktaki modüler segmentlerde gerçekleşir. Yapının formu, ana destek borusunun minimal bükülme yarıçapını belirleyen parametre limitlerine tabidir (Hauschild ve Karzel, 2012:65).



Resim 3.20. *Angerpark Landmark*(URL-15)

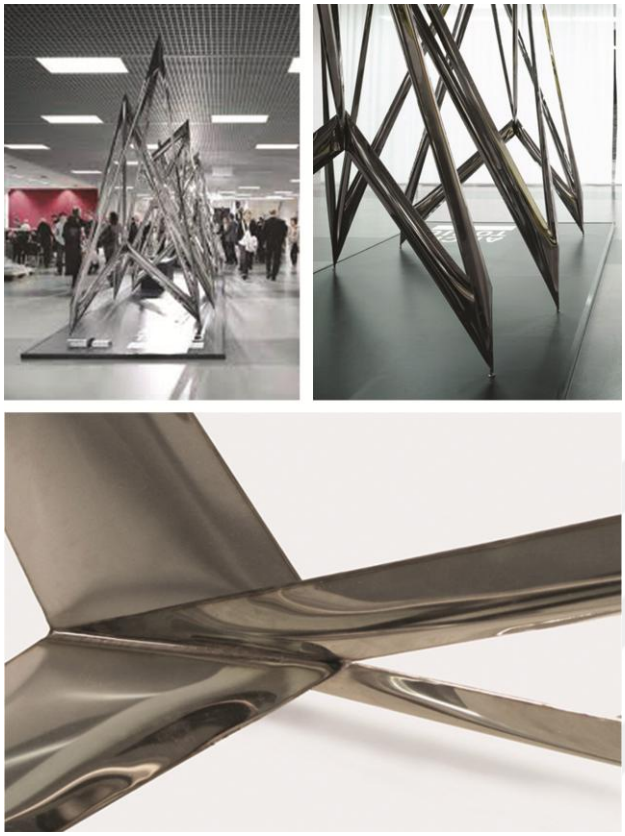
- CNC delme/zımbalama ve makaslama (*CNC punching and nibbling*) işleminde yüksek hidrolik basınç ile dikey olarak hareket edebilen bir delme/zımbalama aleti, ya aletin malzemenin üzerinden geçmesiyle ya da malzemenin sabit bir delme/zımbalama aleti altında hareket etmesiyle, taban malzeme tabakası işlenerek malzemenin formunu değiştirmektedir. Herzog ve de Meuron tarafından Barselona'da yapılan Unesco Forum projesinde (Resim 3.21), CNC zımbalanmış ve kabartmalı levhalarla, sudaki yansıma izlenimini verme fikriyle bina kaplanmıştır. Bu amaçla, gerçek bir su yüzeyinin resmi, levhanın tekstüre edilmesi için, delme/zımbalama aletinin hareket yolunu tanımlayan Photoshop kullanılarak bir vektör grafiğine dönüştürülmüştür.



Resim 3.21. Herzog ve de Meuron tarafından Barcelona'da yapılan *Unesco Forum* (URL-16)

- Basınçla formlama (*pressure forming*) işlemi, Katlama ve bükmenin yanı sıra, levha malzemelerin dönüştürülmesi için üçüncü ilgili işlemdir. Basınç oluşturma için, çelik veya çelik yarı-ürün gibi plastik olarak dağılabilir malzemeler kullanılmaktadır. Bu üretim yöntemi, dış yüksek basınçlı şekillendirme (*external high-pressure forming*) ve iç yüksek basınçlı şekillendirme (*internal high-pressure forming*) olarak ayrılmaktadır (Hauschild ve Karzel, 2012:68). Oskar Zieta,2010 yılında Köln'deki IMM Architonic fuar standı (Resim 3.22) için, ETH Zürih'te kendisi ve Phillipp Dohmen tarafından geliştirilen dönüştürücü bir üretim teknolojisi olan serbest iç basınç oluşturma (*free*

internal pressure forming - FIDU) yöntemini ilk defa kullanılarak taşıyıcı strüktüre benzeyen bir yapı gerçekleştirmiştir.



Resim 3.22. O. Zieta, *Architonic Concept Space*(URL-17)

Dönüştürücü yöntemler, malzemelerin sınırları şekil değiştirirken, ölçülebilir geometrik özelliklerinin bir kısmını sabit tutarak, malzemenin şeklini, kütlesini arttırmadan veya azaltmadan değiştirmektedir. Borular veya çelik çubuklar gibi doğrusal elemanların bükülmesi, uzunluklarını değiştirmez veya malzemelerin sürekliliğini bozmazken, bir kalıp tarafından şekillendirilen sıvı malzemeler, dönüştürücü prosedür boyunca kütlelerini korurlar. Dönüştürücü/biçimlendirici üretim yöntemleri malzemelerin topolojisini değiştirmektedir (Akküçük Kırım, 2014).

Birleştirmeli-Eklemeli yöntemler (*Joining-Additive procedures*)

Branko Kolarevic'in 2003 yılında tanımladığı şekliyle eklemeli yöntemlerde, katman katman malzemenin eklenmesiyle üretim gerçekleştirilir. Mühendislerin, mimarların ve tasarımcıların tek adımda özelleştirilmiş tasarımlar yapmasına imkan sağlayan eklemeli üretim yöntemleri (AM) dijital modellerden üç boyutlu (3D) katı nesneler oluşturmak için

katmanları oluşturan bir yöntemdir. Bu dijital üretim kategorisi en çok hızlı prototipleme olarak bilinir, ancak bu aslında bir dizi farklı teknik içeren genel bir terimdir. Bununla birlikte, tüm eklemeli üretim süreçleri, dijital tasarım bilgisini iki boyutlu katmana iletmek üzerine çalışmaktadır. Her bir katmanın verisi, üretim makinesini yönlendirmek için kullanılmaktadır (Nick, 2012:89). Dunn Nick'in ifade ettiği şekliyle;

- *Ismarlama bileşenler* (*bespoke components*) - dijital modelden doğrudan dönüşüm, benzersiz elemanların verimli şekilde üretilmesi için hiçbir ek cihazın gerekmemesi
- *Karmaşık form* -üretim için gerekli tüm alanlarda malzeme biriktiğinden, karmaşık geometri ve iç boşlukların kolayca üretilmesi
- *Üretim ortamı* - hızlı prototipleme makineleri tasarım stüdyolarına kurulabilmeleri için sessiz çalışmaları
- *Uzman olmayan kullanım* - hızlı prototipleme gibi teknikler, kullanıcıların uygulamadan önce uzman programlama dilleri veya makine becerileri edinmesini gerektirmemesi

olmak üzere eklemeli yöntemlerin çeşitli avantajları bulunmaktadır.

Yapı elemanlarının üretiminin daha etkili olması için, farklı ve ileri düzey basılabilir (*printed*) hammaddelerin formüle edilmesi ve geliştirilmesini mümkün kılan AM (*additive manufacturing*) teknolojisi, yapı endüstrisinin daha esnek ve gelişmiş bir sektöre dönüşmesini sağlamaktadır. Yapı sektöründe geleneksel tuğla katmanlama (*brick layering*) gibi tekniklerin uzun süredir uygulanmakta olduğu bu yöntemin gelişmiş yapı teknolojisine kazandırmış olduğu gerçek yenilik, mimari tasarım yazılımlarını başlangıç aşaması olarak kullanarak otomasyon için robotik teknolojinin farklı tamamlayıcı unsurlarını birleştiren ve öncesinde manuel olarak kullanılan yöntemleri gölgede bırakan dijital çağın en gelişmiş araçlarıyla birlikte yüksek verimli ve sürdürülebilir yeni malzemeleri bir araya getirmektir (Ghaffar, Corker ve Fan, 2018).

Hesaplamalı üretimde eklemeli yöntemlerin en çok bilinen metodu, bir dizi malzemeden nesnelerin hızlı üretimini zaman, maliyet ve uygulama faktörlerine bağlı olarak kolaylaştıran hızlı prototiptir (Nick, 2012:102). Bu yöntem için kullanılan çeşitli süreçlerin özelliği, üç boyutlu bir nesneyi üretmek için iki boyutlu malzeme katmanlarının kademeli olarak biriktirilmesidir. Piyasada bulunan ilk hızlı prototipleme tekniği olan 1980'lerin sonlarında kullanılan Stereolitografide (SLA), lazer ışığının işaretlenmesiyle durumunu değiştiren ve katılaşan sıvı polimerler kullanılmaktadır. Her bir katman, lazer tarafından

ışığa duyarlı bir sıvı polimeri tankı boyunca çizilmekte ve bunun sonucunda, lazer hareketi ve anahatlarla ilgili olarak malzemenin katı bir kesiti elde edilmektedir. Bir katman yapıldıktan sonra, makinenin içindeki küçük bir platform katmanı sıvının yüzeyinin altına indirmekte ve bu işlem tüm katmanlar bir araya getirilip son ürün oluşana kadar tekrarlanmaktadır (Nick, 2012:102). Resim 3.23'de görülen Andrey Rudenko tarafından 2015'te Filipinler'de 12.5x10.5x4m boyutunda üretilmiş bir otel süitinin iç kısmı, AM kullanılarak oluşturulan ilk işlemsel ve ticari yönelimli yapı haline getirilmiştir.



Resim 3.23. Filipinler'de üretilen otel (Ghaffar ve diğerleri, 2018)

Granüler, modüler veya akışkan malzemeleri sistemli şekilde dağıtarak montajın yapılmasını sağlayan eklemeli üretim yöntemlerinde parçaların düzenlenmesindeki yöntemsel mantık, eklemeli montajın planlanması için, montajın farklı elemanları arasındaki ilişkilerin ayarlanması ve parçaların montaja eklendiği organizasyonel mantığın tanımlanmasını gerektirir (Akküçük Kırım, 2014).

Gerek hesaplamalı tasarım, gerekse hesaplamalı üretim teknolojilerinde gelinen son nokta, mimarlara ve mühendislere sınırları zorlama imkanı sunmuştur. Bilgisayarlar aracılığıyla her hayal edileni tasarlamak, her tasarlananı üretmek mümkün olmuşken, otomasyonda yaşanan bütün bu gelişmeler, robot teknolojilerinin önünü açmıştır. Robot teknolojileri ile her türlü malzemede, mikro ölçekten makro ölçeğe üretim yapmanın yolları da açılmış olmuştur.

3.3. İleri Yapım Yöntemleri ve Robotlar

20. yy'da yaşanan III. Endüstri Devrimi, bilgisayar ve iletişim teknoloji alanında yaşanan gelişmelerin sonucunda bilgi çağının doğmasını yol açmıştır. Bilişim teknolojilerinin malzeme çeşitliliği konusunda sağladığı olanaklar sonucunda üretim teknolojileri, bilgiyi

toplama, iletme ve uygulama bakımından kökten bir değişikliğe uğramış ve üretim süreci otomatikleşmiştir. 21. yy'da gelişen teknolojilerinin sonucu olarak ortaya çıkan hesaplamalı tasarım ve üretim biçimleri, geleneksel malzeme anlayışlarını yeniden tanımlayarak karmaşık formdaki yapıların tasarlanıp üretilmesi için mimara ve mühendise somut olarak imkan sağlayan güçlü bir araç olmuştur. Malzeme çeşitliliğinin artmasıyla, bir yapının sadece strüktür ve tasarımla değil, malzemenin konstrüksiyonla beraber eş zamanlı üretilmesi ve K. Michael Hays'in de ifade ettiği üzere "…mimarlık nesne olmaktan çıkmış, durum ve konstrüksiyon olarak düşünülmeye" başlanmıştır (Sykes, 2010:307). Hesaplamalı yöntemler sonucunda kat edilen gelişmelere bakıldığında, hesaplamalı üretim araçlarının yanı sıra üretimde robot kullanımı, mimarlık disiplininde yapı yapma pratiğinin pragmatik bir şekilde değişimine öncü olmuştur. Mimarlıkta robotik üretim, mimarlıkta malzeme gerçekliğinin yanında bilgisayarların malzemeyi ön plana almadan çalışmasının ve bu durumun mimarlıkta tam ölçekli üretimin doğrudan karşılanamadığı dijital mimarinin önüne geçmiştir. Robotlarla, birkaç yıl önce dijital malzemeleştirme (*digital materaility*) olarak tanımlanan olgunun ortaya çıkmasına neden olarak mimarlığın fiziksel yapısını zenginleştirmek, malzeme süreçlerini bilgilendirmek ve mimarlığın ayırt edici özelliği olarak hesaplamalı tasarım ve yapısal gerçekliği birleştirmek mümkün olmuştur (Gramazio ve Kohler, 2014)

Tezin bu bölümünde, 21. yy'ı etkileyen robotların tarihi ve mimarlık disiplininde hem tasarım hem üretim bakımından robotların nasıl kullanıldığı ve çeşitleri anlatılacaktır.

3.3.1. Robotların kısa tarihi

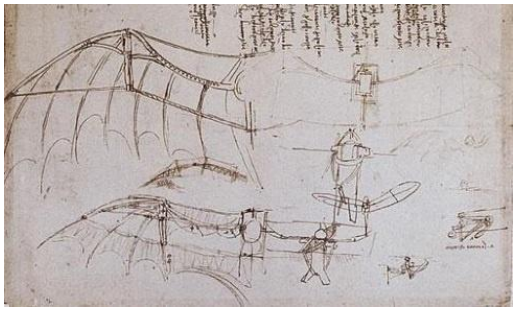
Çekçe "*robota*" kelimesinden türeyen ve yorucu bir iş anlamına gelen "*robot*" kelimesi, ilk kez 1921 yılında romanı Karel Capek tarafından "Rossum'un Evrensel Robotları" (*Rossum's Universal Robots*) adlı romanında kullanılmıştır. Capek'in robotları, insana benzeyen ve gerçek robotlarla karşılaştırıldığında gelişmiş yeteneklere sahip olan yorulmayan iş makinelerine karşılık gelmektedir (Pires, 2007).

İnsanın sıkıcı ve tekrarlayan çalışmalarını yapabilen makineler üretmek, tarihin önemli gelişmelerinden olan robotik araştırmaların önünü açmıştır. Antik Yunan döneminde, filozof ve matematikçi Tarentumlu Archytas'a (*Archytas of Tarentum*, MÖ 428-347) kadar uzanan robotik tarihi, metropol senatörlerinin önünde, buhar ve basınçlı havaya dayanarak

bir tür jet itici gücü kullanılmasıyla 200 metreden daha fazla uçma yeteneğine sahip olan ve "*the pigeon*" olarak adlandırdığı makine ile yaptığı gösteriye dayanmaktadır (Pires, 2007:4). Takip eden Antik Yunan döneminde (MÖ 270) inşaat mühendisi Ctecibius, hareketli su saatleri üretmiş ve bu çalışmaları "Mekanik Koleksiyon" (*Mechanical Collection* - MÖ 200) kitabının yazarı Mühendis Filon (*Phylo of Byzantium*) ve Matematikçi İskenderiyeli Heron (*Hero of Alexandria* – MÖ 85) ve Marcus Vitruvius (MÖ 25) gibi isimler takip etmiştir.

On ikinci yüzyılda, Arap Badias-zaman el-Jazari (1150-1220), Antik Yunan'da yaşanan bu gelişmelerden bazılarını "Ustalık Cihazlarının Bilimi" (*The Science of the Ingenious Devices*) kitabında kullanmış ve günümüze ulaşmasını sağlamıştır (Pires, 2007:5). İlk zamanlarda mekanik ve hareketin nasıl üretileceği ile ilgilenildiğinden, üretilen makineler ustaca yapılmış mekanik cihazlar olmuştur.

15. yy'da ise Leonardo Da Vinci, hareketi oluşturmak ve iletmek için mekanizmalar ve mekanik enerji depolayabilmek için bazı yöntemler tasarlamış ama pnömatik, hidrolik ya da elektrik gibi kalıcı bir güç kaynağı mevcut olmadığından bu mekanizmaları yeterince hassas bir şekilde icat etmesi mümkün olmamış ve çalışmaları tamamlanamamış ve Resim 3.24'te görüldüğü üzere kavramsal aşamada kalmıştır.



Resim 3.24. Leonardo'nun humanoid robot eskizleri (URL-18)

19. yy'ın başında Nicola Tesla'nın, bir otomata komuta etmek için Henrich Hertz'in radyo dalgalarını keşfetmesini (James Clerk Maxwell'in elektromanyetik fenomenler hakkındaki çalışması) kullanmayı düşünmesiyle, Tesla robotlar hakkında bir fikir geliştirmiş ve fikirlerini göstermek için bir model üreterek 1898'de New York, Madison Square Garden'da sunmuştur (Pires, 2007:6).Makine zekasının eksik olduğunu savunan Tesla, robotların önceden programlanmış işlemleri yapabilmesini ve istenen görevleri yerine

getirmek için özerklik gösterebilmesini savunmuştur. Bu durumun mümkün olmasıyla da 20. yy'da robotlar hızla gelişmiş ve ilk endüstriyel robotlar 1970'lerin başında ortaya çıkmıştır.

Bütün bu katkıların sonrasında, robot teknolojisi 1950'lerin sonu ve 1960'lı yılların başında popüler bir kavram haline gelmiş ve otomotiv sanayinde fabrika operatörlerine yardımcı olmak için endüstriyel robotlar istihdam edilmeye başlanmıştır. Bu dönemde endüstriyel robotların günümüzdeki gibi insan benzeri görünümleri yoktur ve kolları bilgisayar kontrollü manipülatörlerdir.

Günümüzde hala hızlı bir şekilde gelişmeye devam eden robotlar, insanlara, özellikle yüksek riskli veya tehlikeli durumlarda yardımcı olmak için tasarlanmaya başlanmıştır. Bir robot bombayı etkisizleştirebilir, aktif bir yanardağın kenarlarına gidebilir, tehlikeli malzemeleri nakledebilir, okyanus tabanını keşfedebilir ve askeri ortamda görev yapabilmektedir (Hagis, 2003). Mimarlık disiplininde de bir çok mimar tarafından üniversitelerde araştırma/geliştirme amacıyla kullanılan robot teknolojileri ile, her türlü malzemeyi biçimlendirmek ve malzeme ve konstrüksiyonun eş zamanlı üretimi sağlanmaya başlamıştır.



Şekil 3.7. Robotların tarihsel gelişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)

3.3.2. Mimarlıkta robot kullanımı

Genellikle kaynak yapmak, delmek-sondaj açmak, çapak almak ve malzemeleri işlemek için otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta olan robotlar, otomotiv ve mühendislik endüstrilerinin gelişmesiyle bütün tasarım/üretim/yapım süreçlerini etkilemiş ve bu gelişmelerin sonucunda endüstriyel robotlar tarafından binlerce farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Dünya çapında bir milyondan fazla çok işlevli robotun kullanımı ile birlikte, söz konusu teknolojilerin otomasyonda bir standart haline geldiği söylenebilmektedir. Robotların yaygın kullanımının nedeni tek bir görev için optimize edilmemiş ve çok sayıda işlevi gerçekleştirebilir olmasıdır (Gramazio ve Kohler, 2014).

Günümüzde çeşitli boyutlara ulaşan ve çeşitli işlevlerde kullanılmaya başlayan robotların popülerliği gün geçtikçe artmaktadır. Artık bir insan tarafından kullanılmaya ihtiyaç duyulmayan robotlar, boyutu küçük ama işlevi büyük bir forma ulaşmışlardır. Hızla ilerleyen ve gelişen bir tasarım alanı olan mimaride robotik ise mimari üretimde gelişen teknolojinin etkisiyle bir Ar-Ge alanı olmasıyla, mimaride robotik ile ilgili söylemlerin çoğu, son yıllarda mimarlığın hesaplamalı üretimle olan yakın etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Daas, 2014). Yapı endüstrisinde 1970'lerin sonlarından beri üretimden önce yapım sürecinde kullanılan robot teknolojilerinin, standart olmayan parçaların yanı sıra yapı bileşenlerinin küçük gruplar halinde verimli üretimi için son derece esnek dijital fabrikasyon süreçlerini sağlayan çözümleri sunmaları ve robotların inşaatlarda verimli şekilde kullanılmaya bağlanmasıyla; inşaat süresi ve maliyetinin büyük ölçüde düşecek olması bu teknolojilere olan ilgiyi artırmaktadır (Tozlu, 2017).

CAM yazılımında kaydedilen önemli ilerlemelere rağmen, mevcut tasarımdan üretime geçiş iş akışının mimarlar ve tasarımcılar için yaygınlaşması zor olsa da geleneksel anlamda, tasarım anlayışı tipik olarak iki yörüngeden oluşmakta ve daha sonra bu yörüngelerden birini izleyerek bir 3D-CAD modeline dönüştürülmektedir. Mimar veya tasarımcı, çizimlerden doğrudan bir 3D-CAD modeli oluşturabilmekte ve fikir daha da geliştikçe bazı tasarım parametrelerinin arıtılması da söz konusu olmaktadır (Payne, 2011). Son 15 yılda tasarım uygulamalarında, bir dizi tasarım varyantının sayısal olarak modellenmesi için, birbirleriyle ilişkileri bir düzine parametre vasıtasıyla tanımlanan bir veya birkaç parametre ile tanımlanan ve düzinelerce farklı formları içerebilen bir yöntem anlamına gelen parametrik modellemenin kullanılmasına yönelik bir eğilim olmasıyla, son

yıllarda bu tür tasarım metodolojisini öncelikle tasarımlar oluşturma kabiliyeti nedeniyle benimsemiş disiplinler arasında bir birlik olmuştur. Hızlı bir şekilde uyarlanabilir veya değiştirilebilir bu parametreler aracılığı ile tasarlanan yapıların, mimarlık disiplininde robotların tasarlanan parametrelere göre kodlanması ile üretimi sağlanmaktadır. Robotların mimarideki rolüne ilişkin yapılan sınıflandırmada (Çizelge 3.3), robot teknolojilerinin nasıl bilgilendirebileceği, nasıl yardımcı olabileceği, nasıl dönüşebileceği ve hatta mimariyi nasıl etkileyebileceği gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Mimari tasarım sürecinde robotiğin rolü (Daas, 2014)

Tasarım için Robot	Üretim için Robot	İşlem için Robot	Yapı için Robot
Tasarım sürecini ve prototipini bilgilendirmek için tasarım sürecinde kullanılan masaüstü veya endüstriyel robotlar	Ismarlama veya kitlesel olarak özelleştirilmiş üretim veya yerinde ya da inşaat dışı inşaat süreçleri için kullanılan endüstriyel robotlar	Yapı kaplamaları ve diğer bileşenler gibi otonom veya yarı otonom robotik yapılar	Geniş hareketlilik, otonom veya yarı otonom araçlarla yapılaşma

Robotlar, CNC makineleri gibi, çalışmalarını yönlendirmek için bilgisayarlı veri ile beslenir. Görevlere özgü diğer CNC makinelerin aksine, robotlar hem çıkarmalı hem de eklemeli yöntemlerle çalıştırabilirler. Diğer işlemler arasında yük boşaltma, yerleştirme, kesme, bükme, istifleme, püskürtme, kaynak yapma ve öğütme işlemleri de yapılabilirler (Payne, 2011).

Endüstrinin birçok alanında kullanılmakta olan çeşitli robot tipleri mevcuttur. Parametre modelleme aracı olan Grasshopper aracılığıyla kullanılan robot programlama işlemi robot endüstrisine büyük kolaylıklar sağlamıştır. Yapı sektöründe ve mimarlıkta kullanılan başlıca robotlar tuğla örenler, 3D-4D yazıcılar, yıkım robotları, kaynak robotlar ve insansız hava araçlarıdır (*drone*). Çalışmanın bu bölümünde mimarlıkta kullanılan yapı robotları (*construction robots*) açıklanmıştır.

Yıkım robotları (*Demolition robots*)

Yapımda ve şantiyelerde zor, zaman alıcı ve güvensiz bir aşama olan, bunun yanında inşaatın ana bölümlerinden olan yıkım işlemi için kullanılan yıkım robotlarının birçok

avantajı bulunmaktadır. Yapı sahaları için çok etkili olan yıkım robotları Resim 3.25'teki üç tipte incelenebilmektedir: çok araçlı (*multi-tooled*), hidro güçle çalışan (*hydropower*) ve çevre dostu (*eco-friendly*).

Çok araçlı yıkım robotları, üzerindeki robot kolun ucuna çok sayıda aletin yerleştirildiği türdür. Hidro güçle çalışan yıkım robotları; duvarlar, sütunlar, kirişler gibi bina parçalarını kolayca ayrıştırmak için yüksek basınçlı su kullanılmasıyla çalışmaktadır (URL-17). Toz partiküllerinin atmosfere karışmasını önleyerek yıkım aşamasında hava koşulların iyi kalmasını sağlamaktadır. Çevre dostu yıkım robotları ise hidro güçle çalışan yıkım robotları ile aynı işlevi görür, aynı zamanda açığa çıkan malzemeyi emmekte ve böylece malzemeler geri dönüştürülebilmektedir. Tüm yıkım robotlarının amaçları, işçiler için daha güvenli bir çalışma ortamı yaratmak, zamandan ve paradan tasarruf sağlamaktır (URL-17).



Resim 3.25. Çok araçlı (*multi-tooled*), Hidro güçle çalışan (*hydropower*) ve çevre dostu (*eco-friendly*) yıkım robotları (URL-19)

Kaynak robotları (*Welding robots*)

Örneği Resim 3.26'da görülen kaynak robotları iki alanda, ilki çelik kirişlerin kaynaklanması ve metallerin birleştirilmesi için gökdelenlerin inşasında, ikincisi ise donatıların konumlandırılması ve kaynaklanması için beton plakaların biçimlendirilmesi olmak üzere iki alanda kullanılmaktadır. Özellikle Japonya'da kullanılan kaynak robotları yüksek kaliteli kaynak işlemini basit ve daha az maliyetli hale getirebilmektedir (URL-18).



Resim 3.26. Kaynak robotları (*welding robots*) (URL-20)

Tuğla ören robotlar (*Bricklaying robots*)

Tuğla ören robotların çalışma alanı, işçiler tarafından kontrol edilen yapılar için tuğla döşemektir. Tuğla veya duvar bloklarını hızlı bir şekilde art arda ve etkili bir şekilde düzenleyen bu robotlar özellikle yapıların duvarlarını döşemek için kullanılmaktadır. Bu tür robotlar çeşitli boyutlarda olabilmektedir. Resim 3.27'de görüldüğü gibi endüstriyel robotik kollar ile tekrarlanan görevler verimli bir şekilde yapabilmektedir. Diğer tuğla ören robotlar ise bir konveyör kayışı veya birleştirilmiş bir desen düzenleme sistemi kullanarak döşeme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu teknolojinin en büyük yararı, işlemi verimli ve hızlı bir şekilde yerine getirmesidir (Gramazio ve Kohler, 2014).

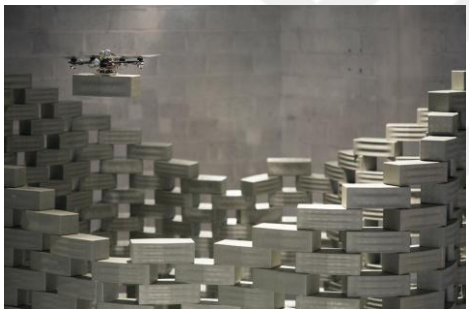


Resim 3.27. Tuğla ören robotlar (*bricklaying robots*) (URL-21)

İnsansız hava araçları (*Drones*)

Dronlar, işçiler tarafından kontrol edilen, küçük veya büyük, hızlı veya yavaş olarak değişebilen ve bu nedenle inşaatın herhangi bir bölümünde herhangi bir kolaylık için kullanılabilen robotlardır. Kullanma amacına göre dört kategoriye ayrılmaktadırlar: kontur işçiliği (*contour crafting*), harita/etüt (*surveying*), nakliye (*transportation or swarms*) ve izleme (*monitoring*) (URL-22)

Başlangıç düzeyinde olan insansız hava araçlarından Resim 3.28'de görünen tuğla ören robotik *drone* örneği kontur işçiliği için ve 3D üretim amacıyla kullanılmaktadır. Harita/etüt droneları yapı sahaları hakkında bilgi sahibi olmak ve sahalardaki ilerlemeler izleyebilmek amacıyla 360° panorama görüntüler ve hava çekimleri gibi bilgilendirici görüntüler elde etmek için kullanılmaktadır. Bu sayede, sahanın çevresi ve inşaat süreci gözlenebilir ve ilerlemeyle ilgili herhangi bir sorun olması durumunda çözümler kolayca yaratılabilir (URL-22). Nakliye için kullanılan türler de, işçiler tarafından ağır yükleri daha yüksek seviyelere kaldırmak için kullanılmaktadır. Yüklerin yüksek bir yapı üzerinde taşınması işçileri zorladığından, bu türün taşıma kapasitesi açısından birçok faydası vardır (URL-22). Son olarak, izleme için kullanılan *drone* türü şantiyelerin güvenlik gücüdür. Hem sahaları hem de çalışan ve çalışmayanları kontrol etmek için kullanılmaktadır. Her tür *drone* türünün asıl yararı, yüksek yerlerde hızlı ve çaba sarf etmeden kullanılabilmeleridir (URL-22).



Resim 3.28. *Drone* kontrollü yapı süreci (URL-23)

3D – 4D Yazıcılar ve Contour Crafting

3D baskı fikri, Charles W. Hull'ın masa üstü kaplamaları UV ışığı ile sertleştirme fikrinin ortaya koyduğu 1983 yılında doğmuştur (Hager, Golonka ve Putanowicz, 2016). Bu basit düşünce onu, genellikle bilgisayar destekli öğelerin hızlı, kesin ve tekrarlanabilir üretimi anlamına gelen ilk hızlı prototipleme teknolojisi olan stereolitografi icat etmeye yöneltmiştir. 3D baskı veya eklemeli üretimde (*additive manufacturing - AM*), 3D nesnelerin üretilirken 3D katı modellerden ilgili tüm bilgilerin alınması işlemidir. Resim 3.29'da da atık beton kullanarak 3D-PRINT ile yapılan üretim örneğindeki gibi eklemeli üretimde, tüm nesne oluşturuluncaya kadar malzeme katmanları üretilerek nesne yaratılır. Bu katmanların her biri, nihai nesnenin ince dilimlenmiş yatay bir kesiti olarak görülmektedir (Beyhan veArslan Selçuk, 2017).



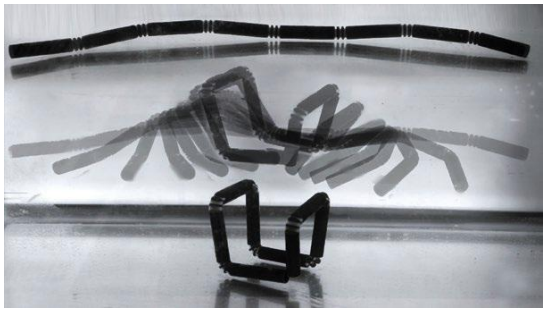
Resim 3.29. Atık beton kullanarak 3D-PRINT ile üretim (Beyhan veArslan Selçuk, 2017)

21. yy tasarımını şekillendiren 3D baskı 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 3D baskı 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).

Yapı endüstrisinin geleceğini şekillendirme potansiyeli olan 3D-PRINT teknolojisi, yapı sürecinde devrim yaratmaktadır. Yapı endüstrisi için 3D-PRINT teknolojilerinin çeşitli avantajları bulunmamaktadır. 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 gerçekleştirmesi,
- 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 Selçuk, 2017).

3D yazıcıların gelişiminin sonrasında, 4D yazıcı teknolojileri, eklemeli üretimde köklü bir ortaya çıkmıştır. Dördüncü boyut burada, basılı yapıların artık sadece statik, ölü nesneler olmadığını vurgulayarak zaman içinde dönüşüm olarak tanımlanmaktadır; aksine, programlanabilir şekilde etkin ve bağımsız olarak dönüşebilirliği temsil etmektedir (Tibbits, 2014). Zaman içinde dönüştürme özelliğine sahip çok malzemeli baskılar ya da bir şekilden diğerine değişebilen doğrudan baskı yatağı üzerinden özelleştirilmiş bir malzeme sistemi gerektirmektedir. Bu teknik, doğrudan malzemeye dayalı performans odaklı işlevsellik ile fikirden gerçeğe dinamik bir yol sunmaktadır (Tibbits, 2014).



Resim 3.30. 4D-PRINT ile tek bir sarmalın üç boyutlu bir küp halinde kendiliğinden katlanmasını gösteren sekans (Tibbits, 2014)

Resim 3.30'daki gibi, 4D teknolojisi ile çok malzemeli özelliklere sahip tek bir üretimle, herhangi bir boyuttaki teli üç boyutlu bir şekle, herhangi iki boyutlu bir yüzeyi, bir biçimi üç boyuta dönüştürebilmek mümkündür. Aktivasyon enerjisi olarak sadece suyun kullanıldığı bu teknoloji, üretim için yeni bir olasılık göstermektedir.

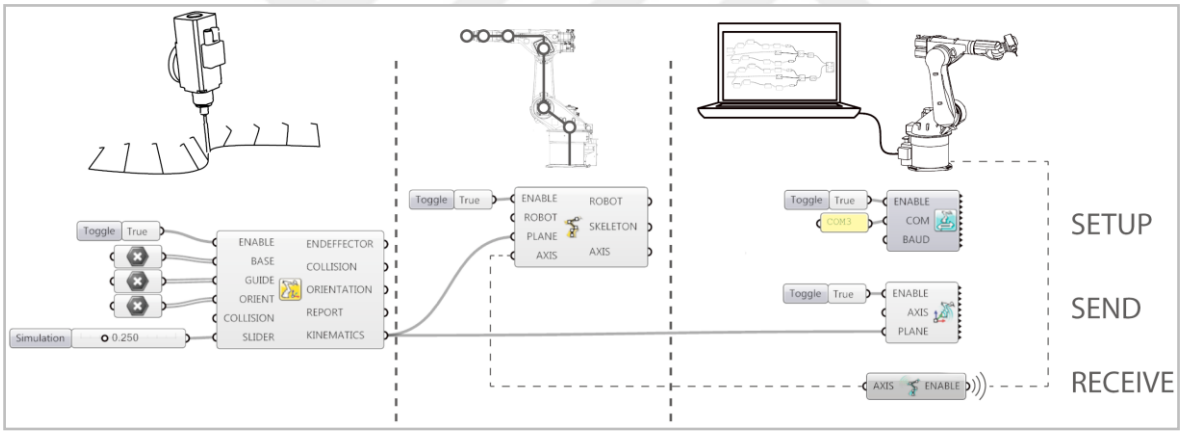
Bu teknolojinin özünde üç anahtar yararlılık vardır: makine, malzeme ve geometrik "program". Programlanabilir aktif malzemelerin geleceği, nakliye ve üretim sektörleri için heyecan verici fırsatlar sunan 4D yazıcı teknolojileri ile dönüştürücü, çok-durumlu, eklemeli üretimin dış kuvvetlere neredeyse tepkisiz kaldığı birçok malzemeden oluşan malzeme paleti haline gelmesi beklenmektedir (Tibbits, 2014).

Endüstri robotları (*Industrial robots*): *KUKA, ABB, Universal Robots vb.*

On yıl içinde, robot endüstrisinin yaratıcı endüstrideki rolü büyük ölçüde değişmiştir: Öncesinde sadece matematikçiler ve makine mühendisleriyle işbirliği içinde ileri teknoloji araştırmalar için kullanılan robotlar artık çok daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu gelişimin büyük bir kısmı, yaratıcı endüstride geliştirilen ve robotun takım yolunu öngörüyle tanımlamak için görsel programlama ortamları üzerine kurulu yeni arayüzlerden kaynaklanmaktadır (Braumann ve Brell-Cokcan, 2015). Yaratıcı endüstrinin, robotik süreçlerin otomatikleştirilmesini sağlamasıyla robotik kollar kendi başlarına yaratıcı fabrikalar haline gelmekte ve parametrik olarak tanımlanmış ürünleri hızlı bir şekilde üretmek için kullanılabilmektedir.

Fabrikasyon ve programlanabilirlik özellikleri açısından 21. yy'da mimarlık disiplininde de oldukça fazla kullanılan endüstri robotları, tasarımcılar için görsel ve grafiksel

programlama Grasshopper eklentisine sahip Rhino 3D modelleme yazılımı ile üretim gerçekleştirmektedir. Grasshopper ve Dynamo gibi programlarda kullanılmak üzere, endüstriyel robotların programlanması ve kinematik simülasyonu için Kuka-prc, HAL ve Scorpion gibi farklı eklentiler geliştirilmiştir (Sharif, Agrawal ve Sweet, 2017). Grafiksel robot programlamaya yönelik bu eklentiler, endüstriyel robotların, mimari tasarımcıların tasarımlarının geometrik parametrelerine dayanarak doğrudan parametrik modelleme ortamında programlamak ve simüle etmek için seçenek sunmaktadır (Sharif ve diğerleri, 2017). Bu araçların çoğu, robot programlama aracıyla donatılmış kişisel bilgisayarlardan robot bilgisayarına aktarılması gereken statik bir robot kontrol veri dosyası gerektirmektedir. Şekil 3.8'de görüldüğü üzere robot yolu oluşturulup dosyanın dışa aktarılmasından sonra, tasarım modeli ile robot hareket yolu arasındaki bağlantı tamamen kesilerek robotik üretim sürecinin başlatılır ve tasarımcı gerçek zamanlı olarak üretim süreci üzerinde tam manasıyla kontrol sahibi olabilir.

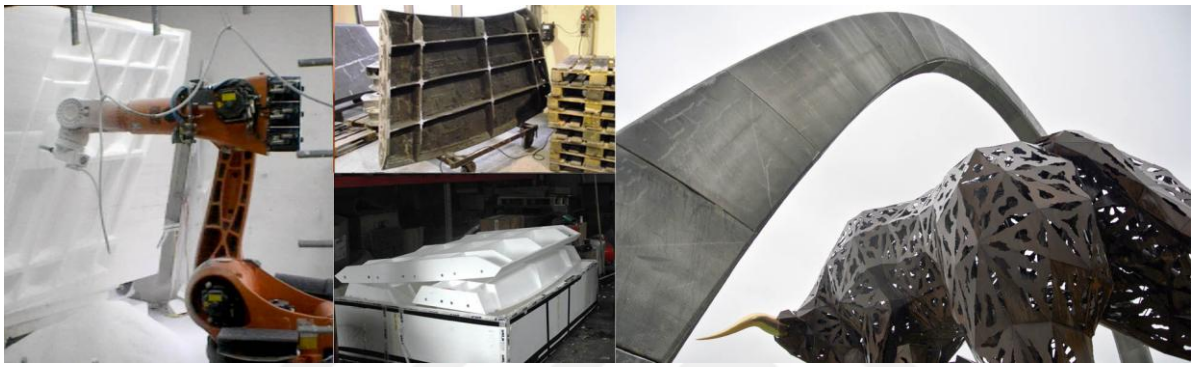


Şekil 3.8. Robotun seri portu üzerinden Grasshopper ile robot programlama (Braumann ve Brell-Cokcan, 2015)

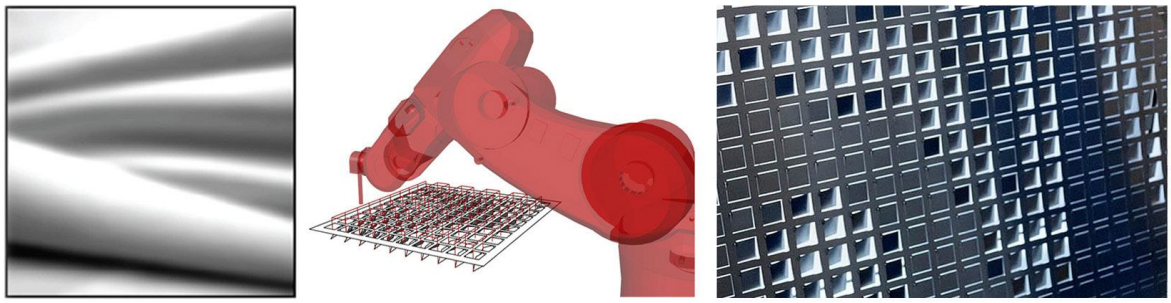
Robotlar, çoğu zaman mevcut CNC üretim araçlarına benzer işleri yapmak için kullanılmasına rağmen, günümüzde inşaat stratejilerinin ve robotik yazılım teknolojisinin bir araya getirilmesi üzerine yapılan araştırmalar ve çalışmalarla gelişmesini sürdürmektedir. Bugün, bu robotlar birçok büyük üniversitede bulunabilecek iyi araştırılmış araçlara dönüşmüş ve Gramazio ve Kohler, Achim Menges (Resim 3.31), ve diğerlerinin çalışmalarında (Resim 3.32 ve Resim 3.33) gösterildiği gibi araştırma alanını tam ölçekli uygulamalara doğru bırakmaya başlamışlardır (Braumann ve diğerleri, 2016).



Resim 3.31. Achim Menges yürütücülüğündeki ICD/ITKE araştırmacıları tarafından tasarlanıp üretilmiş Araştırma Pavilyonu (URL-24)



Resim 3.32. Red Bull Kemer: KUKA KR-150 frezeleme (solda), belirmiş EPS formları (alt orta), alüminyum döküm (üst orta) bitmiş Red Bull kemer projesi (sağ) (Braumann ve Brell-Cokcan, 2012)



Resim 3.33. Robotik Zımbalama: 2B bir görüntüyü kinematik simülasyon tarafından takip edilen yöntemlerle takım yollarına dönüştürme ve son üretim (Braumann ve Brell-Cokcan, 2012)

Önceki makinelerden farklı olarak, belirli görevler için yazılımlar aracılığıyla mevcut sistemlere, bulut sistemlerinden Bina Bilgi Modellemesine kadar uyarlanabilen ve evrensel bir platform haline gelen Robot kolları, sadece robot endüstrisi için değil, aynı zamanda inşaat endüstrisi için de önemli bir yeniliktir. Hem fiziksel hem de dijital etkileşim açısından, tamamen robotlarla etkileşime girmenin yeni yollarını sağladığı için önemli bir adım değişimini temsil etmektedir. Bu araçlar sayesinde tasarım sürecinin ilk aşamalarında

etkileşimli tasarım ve robot programlama / simülasyon sağlanması mümkün kılınmaktadır. Mimaride robot ve robot kollarının etkileşimde bulunmasıyla da mevcut malzemelerin şekillenmesi ve yeni malzemelerin tasarımda ön plana çıkması sağlanmış ve eş zamanlı üretimin gerçekleştirilmesiyle beraber mimarlıkta yeni yüzyılın hibrit tektonikleri biçimlenmiştir.

4. MİMARİDE ROBOT KULLANIMI VE 21. YÜZYILIN HİBRİT TEKTONİKLERİ

Geçtiğimiz on beş yıl boyunca robotik üretim, hesaplamalı teknolojilerle tasarım ve üretimde, dijital tasarımların doğrudan ve tam ölçekli üretimini karşılama konusunda mimarlık disiplininde yerini almıştır. Robotlarla, mimarlığın fiziksel doğasını radikal bir şekilde güçlendirmek, malzemeyle ilgili süreçleri bilgilendirmek ve dijital teknoloji kullanımıyla ortaya çıkan, mimarinin ayırt edici bir özelliği olan hesaplamalı tasarım ve yapısal farkındalığı birleştirmek mümkün olmuş ve "*digital materiality*" olarak tanımladığımız bir olgunun ortaya çıkması sağlanmıştır. Sonuç olarak, 20. yy. başlarında sanayileşmenin başlangıcından itibaren gerçeklikten ziyade hayal gücüne dayalı olan mimarlık için teknolojik bir temel oluşturulmuştur. Artık bir endüstrinin gecikmiş modernleşmesine tanık değiliz, daha ziyade tarihsel bir ayrılığa tanıklık ediyoruz: zihinsel ürün ve manuel üretim arasındaki, tasarım ve gerçeklik arasındaki modern modası geçmiş sınır ifade edilmektedir (Carpo 2009, aktaran Gramazio ve Kohler, 2014:14).

Mimarlık disiplininde gittikçe yaygın bir kullanım alanına sahip olan robotiğin temel görüşü, 1990'lı yıllardan itibaren hesaplamalı mimarinin artan kullanımıyla artık sadece "saf forma dönüştürülme" (*dematerialisation into pure form*) olmamaktadır. Bunun yerine, bugün gözlemlediğimiz şey, üretim süreçlerinde radikal bir paradigmatik değişim gerektiren mimarlığın kapsamlı bir şekilde dijitalleşmesidir (Gramazio ve Kohler, 2014:14). Robotiğin mimaride kullanımı, mimari tasarımı ve yapım sistemlerini, tamamen yeni bir estetik ve işlevsel potansiyeller olarak karşıladığından mimarlık anlayışını büyük ölçüde biçimlendirmektedir. Mimarlıkta robotiğin kullanılması, geleneksel malzemelerle yenilikçi malzemelerin, yeniden yorumlanarak tasarım/üretim/yapım süreçlerine dahil edilmesine ve dijital tektoniklerin hibritleşmesine olanak sağlamaktadır.

4.1. Geleneksel Malzemelerin Robotlar Aracılığı ile Yenilikçi Kullanımı ve Tektoniklerin Hibritleşmesi

Endüstri Devriminden sonra bilim ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, malzemelerin kullanım biçimini değiştirmiş, makineleşme süreciyle başlayan malzemelerin işlenme düzeyleri, dönem yapılarının çeşitliliğinin artmasını sağlamıştır. Bu dönemde kullanılmaya başlayan ahşap, çelik, beton, tuğla gibi malzemeler, günümüz teknolojisiyle metamorfoza uğramış, malzemelerin tek başına değil, strüktürle eş zamanlı üretiminin gerçekleşmesine

öncü olmuştur. Mimarlara karmaşık formların tasarlanmasının ve üretilmesinin imkanını sunan 21. yy hesaplamalı teknolojileri, geleneksel malzemelerin, dijital tektoniklerin hibritleşmesiyle yorumlanmasını değiştirmiştir.

Son yıllarda tasarımcıların, performans temelli geribildirimleri, tasarım sürecinin ilk aşamalarını katmanlara ayırmak için geliştirdiği yöntemler, malzeme kısıtlılığına uygulanan ekoloji, parametrik modelleme ve CNC üretimi arasındaki ilişkilerde farkındalık çerçevesini belirlemekte kullanılmaya başlamıştır (Beorkrem, 2017:8). Genellikle raf ömrü, fenomenolojik nitelikler veya detaylandırma/bağlantı esnekliği gibi özelikleri dikkate alan tasarımcılar, malzeme seçerken çeşitli seçeneklere bağlı kalabilmektedir. Bununla birlikte, bağlantı detayı bir sistemin esnekliği ve karmaşık mimari formların estetiği için çok önemlidir. Basit bir çividen özel olarak üretilmiş bir mafsala varana kadar bağlantı detayı bir sistemin eklemlenmesi ve performansının sınırlandırılması için gerekli bilgileri içermektedir (Beorkrem, 2017:9).

1950'lerin başlarında geliştirilen, kodlanmış ve tekrarlayan görevleri gerçekleştirmek için kullanılan CNC teknolojisinin yaygınlığı ve kullanılabilirliği, yapıların CNC makinelerinin üretebileceğinden daha büyük bir ölçekte inşa edilmeye başlamasıyla, yerini, yerinde (*in situ*) üretimi mümkün kılan endüstri robotlarına bırakmıştır. 7 eksenli endüstriyel robotların kullanımı, çok daha geniş bir yelpazede işlemlerin ve malzemelerin hesaplamalı olarak üretilmesini sağlamıştır. Bu kollar tarafından kontrol edilen uç efektörler, işleyebilecekleri malzemeler kadar çeşitlidir. Hem malzeme hem de modern üretim teknikleri kullanılarak, yeni performans kapsamları elde etmek için, malzeme, makine ve tasarımcı arasındaki diyalog geliştirilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde yer alan geleneksel malzemelerin dijital tektoniklerinin hibritleşmesinde, hem gelişmiş bir hesaplama süreci hem de kullanılan sistemler açıklanacaktır.

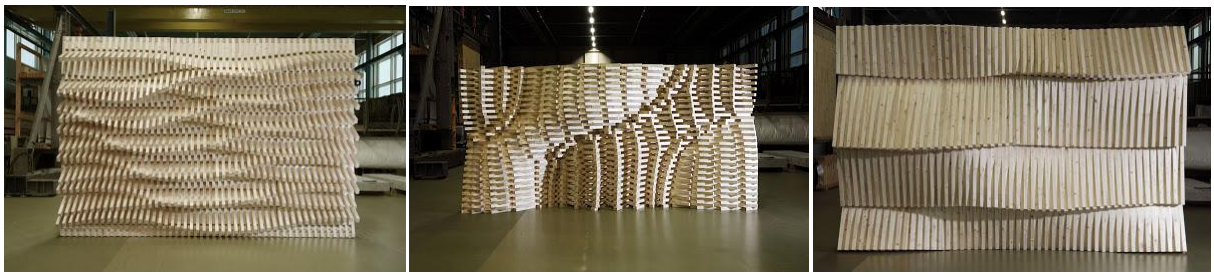
Ahşap

Özellikleri mimari tasarımı büyük ölçüde etkileyen ahşap, en eski yapı malzemeleri arasındadır ve modern haliyle ahşap, temel yapı malzemesi olarak kullanılmaya devam etmektedir. Ağırlığı bakımından da yüksek bir güce sahip olan ahşabın, gücü ve sertliği,

yük yönüne bağlıdır. Düzenli bileşenler, kolay ve uygun fiyatlı makine işleme ve çok sayıda bağlantı türünü sağlayabiliyor olması, ahşabı, mimarların kullanabileceği en çeşitli ama görünürde kısıtlı malzemelerden biri olarak tanımlamaktadır (Beorkrem, 2017:14).

Benzersiz bir fenomenolojik karaktere sahip olan ahşap, yapı tasarımında geleneksel olarak kullanılan diğer tüm malzemelerden daha dokunsal ve derin şekilde kullanılmaları amaçlanmaktadır. Hesaplamalı üretimde de ahşap malzeme, hazır ahşap ürünlerin kolay ve doğru bir şekilde kesilebilmesi, kolaylıkla tamir edilebilmesi, birçok farklı geometrik kompozisyonu elde etmek için kullanıma hazır bağlantı türlerinin keşfedilmesini gerektiren çok sayıda seçeneğe sahip olma özelliği bakımından, parametrik koşulların test edilmesi için mükemmel bir malzeme seçimidir. Ahşap malzemenin bağlantı tipleri de kullanımları kadar değişkendir: çivi, tutkal veya vidalar kadar basit veya çok eksenli CNC makineleriyle oluşturulan özel doğramalar kadar karmaşık olabilmektedir.

Gramazio ve Kohler'in ETH araştırma laboratuarlarında 7 eksenli robotik bir donatı kullanarak hesaplamalı üretimde yeni yöntemler ortaya çıkardığı *The Sequential Wall* (Resim 4.1) projesinde robot, son efektörler olarak adlandırılan, robota kavrama, bükme, püskürtme veya geleneksel kesici aletler (frezeleme, lazerle kesme) kullanarak özel bileşenler oluşturma özelliği veren "*hands*" (robot başları) değiştirme yeteneğine sahiptir. Bu proje ahşap yapımında hesaplamalı üretimin *architectonic* ve yapım potansiyelini araştırmaktadır. 7 eksenli robotik bir donatı öncelikle ahşap çıtaları uzunlamasına kesmiş ve sonrasında bu çıtaları model düzeninde yerleştirmiştir (URL-25)



Resim 4.1. *The Sequential Wall* (URL-25)

2011 yılında ETH Zürih'te kamusal alanda geçici bir kurulumun geliştirilmesi amacıyla öğrencilerle yapılan öğretim projesi, ahşapta karmaşık yapısal sistemlerin hesaplamalı üretim potansiyellerinin araştırıldığı "*Sequential Structure*" (Resim 4.2) ahşap yapıların yenilikçi uygulamalarına yönelik ve "*The Sequential Wall*" yapısının devamı niteliğinde

bir yapıdır. Güneşe maruz kalan bir alana gölge düşürmek için tasarlanıp üretilen bu ahşap pavilyon, tek tek ahşap çıtaların boyutlandırıldığı, yerleştirildiği ve yapıştırıldığı bir robotik üretim birimi tarafından imal edilmiş, mekansal parametrik sistemlerin tasarlandığı ve çerçevenin tasarımıyla, yapının iç mekanındaki mekansal niteliklerinin ve ışık koşullarının doğrudan etkilendiği bir yapı olmuştur. Parametrik çerçeve, etkin derinlikte kademeli değişim ile yapısal gereksinimlere uyum sağlamakta, ayrıca çıta uzunluklarının dönmesi ve değişmesiyle de güneş ışınlarının verdiği parlaklık yönlendirilmekte ve yapının gölgeleme etkisinin spesifik bir kontrolünü sağlanmaktadır (URL-26). 26 elemandan oluşan yapı, 11 kemerle birleştirilmiş ve herhangi bir ağır makine kullanmadan sahaya monte edilmiştir. Ahşap çıtaların köşegen bir gride göre katmanlanması, çok yönlü bir yük aktarımına izin vermekle beraber yapının kabuk hareketini desteklemiş olmaktadır.



Resim 4.2. *The Sequential Structure* (URL-26)

2017 yılında ICD ile Tongji Üniversitesi *Digital Design Research Center* (DDRC) tarafından Çin-Alman öğrencileri ve araştırmacılarının ortaklığında "Performans Tasarımı" kapsamında tasarlanıp üretilen "*Sewn Timber Shell*" pavilyonuda (Resim 4.3) ahşap malzemenin yenilikçi kullanımına örnek olarak verilebilmektedir. Özel ahşap yapılar üretmenin ve geleneksel işçilikle yeniden bağlantı kurmanın yeni bir yolunu keşfetmek için giysi tasarımı ve endüstriyel dikiş teknikleriyle birlikte, robotik ve algılama (*sensing*) mekanizmalarının kullanımının araştırıldığı bu yapıda (URL-27), modada kullanılan geleneksel giysi kalıpları ve bağlantı teknikleri incelenmiş ve ahşap, yeni bir malzeme bağlamında yeniden yorumlanmıştır. İnce kontrplak levhalar kumaş gibi düşünülmüş ve malzeme esnekliği ile sertlik arasında değiştirilmiş bir ilişki kurularak yeni malzeme sistemine yük taşıma kapasitesi kazandırılmıştır. İnce kontrplak levhalara uygulan dikişler, ahşabın elastik bükülmesine dayanarak malzemeyi şekillendiren, yapısal kapasite ve mekan oluşturan bağlantılar haline gelmiştir. Uyarlanabilir bir robotik üretim sürecinin uygulanmasıyla, gerekli ölçeklendirme ve desen şekilleri ile malzeme davranışı arasındaki

karmaşık ilişkilerin ele alınmasını sağlanmıştır. Tekrarlayan üretim süreçlerinin aksine, gerçek zamanlı olarak malzeme hesaplamasının ve robotik üretimin sentezlendiği akışın sağlanması amacıyla algılama teknolojisi kullanılmıştır. İnce kontrplak levhalar, üretim süresince robotik hareketin yönlendirilmesi için yapının bilgisayar modelinin üzerinden eş zamanlı olarak takip eden işaretleyicilerin sağladığı bağlantılarla üretilir ve böylece ahşap parçalar sırayla eklenmekte ve kalıcı bir şekilde dikilmiş bir bağlantı ile birleştirilmektedir.



Resim 4.3. *Sewn Timber Shell* (URL-27)

Tuğla/Beton

Tuğla ve beton sadece yapı sistemleri bakımında değil, aynı zamanda yüksek kütleye sahip olmakla birbirine bağlı olmaktadır. Antik Babil ve Mısır'da kullanılan en eski malzemeler arasında olan tuğla ve beton duvarcılık malzemesidir ve tuğla açık bir yüzeye sahip büyük panellerin prefabrike edilmesi, ince betonarme bir katman ile desteklenmesiyle kullanılmaktadır (Sebestyen, 2007). Dayanıklılıkları bakımında tuğla ve beton tektonik yapı gerektirmeyen ve bu nedenle çok tercih edilen malzemelerdir. Basınçla çalışma prensibine sahip olan bu malzemeler, strüktürleri bakımından yönlendirilen uzun ve yenilikçi bir geçmişe sahiptir.

İsviçre Pavilyonu'nda 11. Venedik Bienali için inşa edilen Resim 4.4'teki tuğla duvar, algoritmik kurallara göre tasarlanmış ve taşımayı kolaylaştıran mobil robotik üretim birimi olan ROB içine monte edilmiş 6 eksenli bir Kuka KR150 L110 robot kolu kullanarak üretilmiştir. Döngülenmiş formuyla yapı, tuğla duvar ile pavilyonun mevcut yapısı arasında iç içe geçmiş bir merkezi boşluk ve ötesinde bir geçişli boşluk tanımlamaktadır. Serbest parametreli bir sistem kullanılmasıyla tasarlanan duvardaki sürekli eğrinin tasarımını belirlemek için gerekli tüm üretim bilgisini içeren robotun, her biri dört metre uzunluğunda olan segmentlerin kendi başına sağlam şekilde durabildiği oldukça karmaşık montajları yapabildiği gözlemlenmektedir (URL-28)



Resim 4.4. *Structural Oscillations*– Robot koluyla üretilmiş tuğla duvar (URL-28)

Hesaplamalı tasarımı, hesaplamalı üretimi ve yeni malzemeleri bir araya getirmeyi amaçlayan ITE'de yapılan araştırma ise insan-robot etkileşimiyle oluşturulan beton panellerine (Resim 4.5) örnek olarak verilebilmektedir. Bu araştırmanın odağı, yeni türdeki sürdürülebilir yapılar ve mimariler için ultra yüksek performanslı beton potansiyeli (*ultra-high performance concrete - UHPC*) üzerine kuruludur. Bu malzemenin yüksek ölçüde basınç dayanımı, gelecekteki yenilikçi hafif beton yapıların üretiminde hem performans kaybı yaşamadan hem de büyük miktarda malzeme kaybının azaltılmasını vaat etmektedir (Menges ve diğerleri, 2017:218).



Resim 4.5. Uyarlanabilir kalıplı, standart, çift eğrili, beton panellerinin robotik kontrollü üretim aşaması (Menges ve diğerleri, 2017:218)

Beton malzemenin yenilikçi kullanımına başka bir örnek de, ETH Zürih'te gerçekleştirilen ve betonarme yapıların dijital üretim sürecini içeren ve *DFAB House* kapsamında gerçekleştirilen *Smart Dynamic Casting* (SDC) araştırması verilebilmektedir. *Smart Dynamic Casting* (SDC) (Resim 4.6), malzemeden optimize edilmiş yük taşıyıcı beton yapıların (kolon), üretilen yapıdan önemli ölçüde daha küçük bir kalıp kullanılarak prefabrik üretimini sağlayan kesintisiz bir robotik refrakter çamuru oluşturma (*slip-forming*) işlemidir (URL-29).



Resim 4.6. Smart Dynamic Casting (SDC) üretimi (URL-29)

Bu otomatik işlemde, dinamik bir kalıp, betonun hassas fazı boyunca yumuşak bir malzemeden sert bir malzemeye dönüşüm sürecinde şekillenmesini sağlayan bir hızda sürekli olarak hareket ettirilmektedir. *Smart Dynamic Casting*, betonun çok küçük boyutlarda şekillenmesini sağlayan esnek bir kalıp sistemi ve malzeme hidrasyonunun kontrol edilebildiği otomatik bir malzeme işleme sistemi geliştirmeyi ve özellikle karmaşık beton yapıların inşası için özelleşmiş kalıp ihtiyacını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

Tuğla imalatçısı *Keller AG Ziegeleien* firması için eski bir üretim salonunun firma için yeni genel merkezine dönüştürüldüğü yapının cephesi (Resim 4.7), Gramazio ve Kohler'in tasarladığı tuğla duvar olarak üretilmiştir. Hassas diagrid tuğla yapılı bu cephe tasarımı ROB teknolojisi ile geliştirilen robotik montaj işlemi ile tamamlanmıştır. Hesaplamalı üretim, yapı ve inşaat sektöründe geleneksel prefabrikasyon sürecini genişletmenin yanında, farklılaşan öğelerin üretimi de bilgisayarların tasarım ve üretim için metodik kullanımına dayanmaktadır. Elemanların yatayda yapışkan derzlere sahip tuğlalardan oluşturulduğu bu üretim yöntemi; tuğla döndürme ve bükme, açık derzler, dikey eğriler aracılığıyla duvarlar ve cepheler için tamamen yeni tasarım olanakları sağlamaktadır (URL-30). Bu hesaplamalı süreçle beraber, robot teknolojisi tasarımdan programlamaya ve üretime kadar projeyi geliştirmek üzerine kullanılmış ve mimari tasarımın robot tabanlı üretim süreçleriyle birleşimi, farklılaşmış duvarlar ve cepheler ile sonuçlanmıştır.



Resim 4.7. Keller AG Ziegeleien firması için üretilen tuğla cephe (URL-30)

Demir/Çelik

Demir, yapılarda uzun süredir kullanılmakta olsa da çelik 19. yy'ın ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Demir/çelik malzemelerin ilk kullanımı yüksek (gökdelenler ve kuleler) ve uzun kubbeli yapılarda, kafes sitemler ile tasarlanan köprülerde ve geniş açıklık gerektiren sanayi salonları, tarımsal binalar vb. gibi mekanların tasarımında olmuştur. Kaynak, mekanik birleştirme, boya, kaplama temel çelik ürünlerini dönüştüren teknolojilerden olmakla beraber, çelik malzemeler için yeni üretim yöntemleri, yeni alaşımlar, yeni yapısal şemalar ve yeni bağlantılar açığa çıkmış ve bunların tümü mimaride farklı etkiler yaratmıştır (Sebestyen, 2007).

Güçleri ve dayanıklılıkları bakımından çelik malzemeler çoğu zaman malzemesel parametrik kompozisyonlarda kullanılmaktadır. Esnekliği ve işleme kolaylığı nedeniyle, çelik malzemeler genellikle tercih edilen malzeme olsa da Metaller bir post-işlem katmanı gerektirmesinden dolayı ahşap için olanlardan çok daha karmaşık bir sürece sahiptir. Çelik malzeme, genellikle CNC plazma kesici, lazer kesici veya su jeti kullanılarak işlenebilmekte ancak her üretim aracının kendine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır.

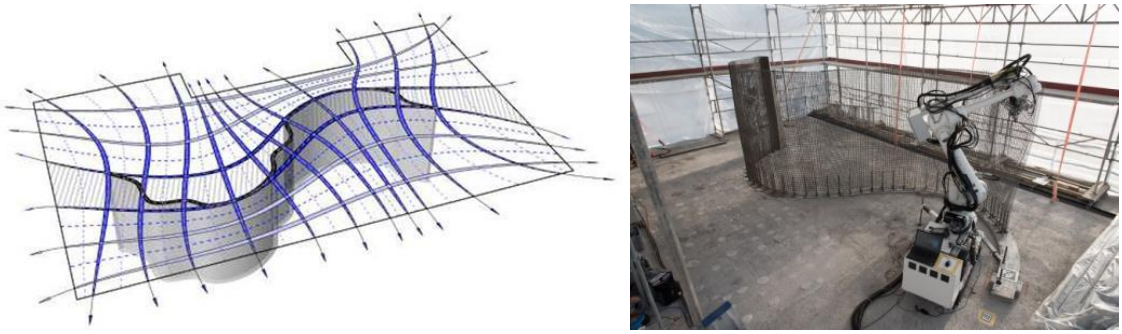
On altı Hırvat tasarımcının işbirliği ile Adriyatik'ten Venedik'e çekilmek üzere 10mx20m'lik bir mavna (filika) eki olarak tasarlanan *Croatian Pavilion* (Resim 4.8), çelik malzemenin hesaplamalı üretimine verilebilecek güncel örneklerdendir.



Resim 4.8. *Croatian Pavilion* (URL-31)

Dünyada ağırlıklı olarak dijital süreçler kullanılarak tasarlanan, planlanan ve inşa edilen ilk bina olan *DFAB House* (Resim 4.9), 3D-PRINT tekniği ile tavan döşeme kalıplarının, robotik kollarla da duvarlar için demir donatılarının döşenip üretildiği hesaplamalı teknolojilerin kullanıldığı ve sonuçta çift eğimli, taşıyıcı bir beton duvar üretilen yapıya örnektir (URL-32).

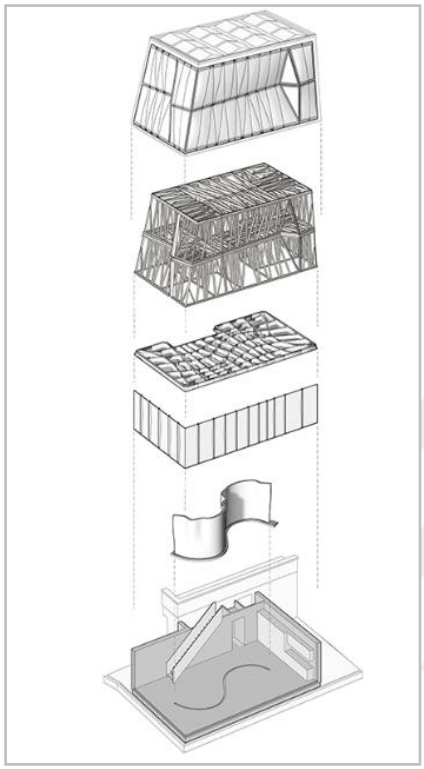
DFAB House, yalnızca hesaplamalı olarak tasarlanıp planlanmamış, aynı zamanda ağırlıklı olarak hesaplamalı süreçler kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplamalı teknolojilerle yapının nasıl daha sürdürülebilir ve verimli hale getirilebileceği ve tasarım potansiyelinin nasıl artırabileceği incelenmiştir. İnşaat çalışmaları 2016 sonunda İsviçre Teknoloji Ödülü'nü (*Swiss Technology Award*) alan *Mesh Mold* teknolojisi ile başlamıştır (URL-32).



Resim 4.9. *DFAB House* (URL-32)

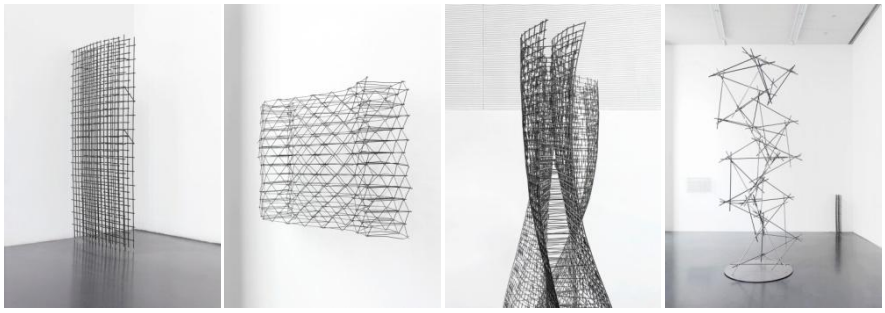
Bir şantiye sahasının değişen koşullarına uyum sağlaması açısından, özerk ve çok yönlü bir yapı robotu olan *In-situ Fabricator* (yerinde üretim) ile üretilen yapıda, robot tarafından döşenen çelik donatı ağı, taşıyıcı bir beton yapı için hem kalıp hem de donatı olarak görev yapmıştır. Büyük ölçekli, 3D kum baskı teknolojisi ile üretilmiş kalıp sistemi kullanılarak

yapısal olarak optimize edilmiş ve işlevsel olarak entegre edilmiş Şekil 4.1'de görüldüğü üzere Prefabrik *Smart Slab*'in, robot tarafından örülen duvarın üzerine monte edilmesiyle, yapı ölçekli beton yapılarda benzeri görülmemiş bir karmaşıklık ve hassasiyet seviyesine ulaşılmıştır.



Şekil 4.1. *DFAB House* katmanları (URL-32)

Başka bir proje kapsamında, Gramazio Kohler Research tarafından tamamen işlevsel mantıklarına meydan okuyan sanat ve tasarım bağlamında, robotik çelik yapıların konsept modellerini ve üretim çalışmalarını sunmak üzere yapılan çelik heykeller (Resim 4.10) 2017 yılındaki Milano'daki Istituto Svizzero'da "*Reinforce Expose: The Inner Forms of Tomorrow*" sergisinde sergilenmek üzere tamamlanmıştır. Proje, çok sayıda endüstriyel robotun işbirliği içerisinde, ayrı metal borulardan oluşan uzamsal metal yapılar oluşturduğu robotik süreci ve karmaşık hafif yapıların koordineli çoklu robotik montaj sistemini araştırmaktadır (URL-33).



Resim 4.10. *Reinforce Expose: The Inner Forms of Tomorrow* sergisinde sunulan çelik heykeller (URL-34)

4.2. Yenilikçi Malzemelerin Robotik Kullanımı ve Yeni Tektonikler

Geleneksel yapı malzemelerinin dijital tektoniklerle hibridleşmesinin mümkün kılınması, mimarları ve araştırmacıları yeni malzeme arayışlarına itmiştir. Yapılarda gerek strüktür gerekse cephe elemanı olarak kullanılmaya başlayan yenilikçi malzemelerin hesaplamalı tasarım teknikleri ile tasarlanması ve endüstriyel robotlarla üretilmesi çağımızın en büyük avantajlarından olmuştur. Bu sayede granüllü malzeme, FRP (*fiber reinforced polymers*) gibi yenilikçi malzemeler mimarlık disiplininde kullanılmaya başlamıştır.

Granüllü Malzeme

Granüler malzemeler, çok sayıda granül veya partikül içeren malzeme sistemleridir. Bu parçacıklar birbirine bağlı olmamakla beraber sadece temas kuvvetleri ile etkileşime girerler. Tasarlanmış bir granüler malzemede parçacıklar yapay olarak yapılır ve sonuç olarak geometrileri ve malzemeleri tasarımcı tarafından tanımlanabilir. Partikül tasarımı, genel granül materyalin özelliklerinin kalibrasyonunu sağlar.

Tamamen kapalı ve gevşek sürtünme temasında bulunan, tasarlanmış granüllerden inşa edilmiş ilk mimari yapıya örnek olan ICD *Aggregate Pavilion*'da (Resim 4.11) kullanılan granüler malzemeler, hem katı bir malzemenin kararlı karakterini hem de bir sıvının hızlı bir şekilde yeniden yapılandırılabilirliğini elde etmek için benzersiz bir özellik göstermektedir. Özel olarak tasarlanmış parçacıklar dağıtılırsa, tanecikli malzemeler tamamen yeniden yapılandırılabilir ve yeniden kullanılabilir halde kalırken kendi kendini destekleyen mekanlar oluşturabilmektedir. Esnek bir şekilde monte edilmek üzere özel olarak imal edilmiş, parametrik bir modelleme ortamı kullanılarak özel olarak yazılmış bir

arayüz aracılığıyla kontrol edilen kablo etkin paralel robot dört noktaya ve destek kirişe sabitlenerek üretim süreci tamamlanmıştır (URL-35).



Resim 4.11. *Aggregate Pavilion* (URL-35)

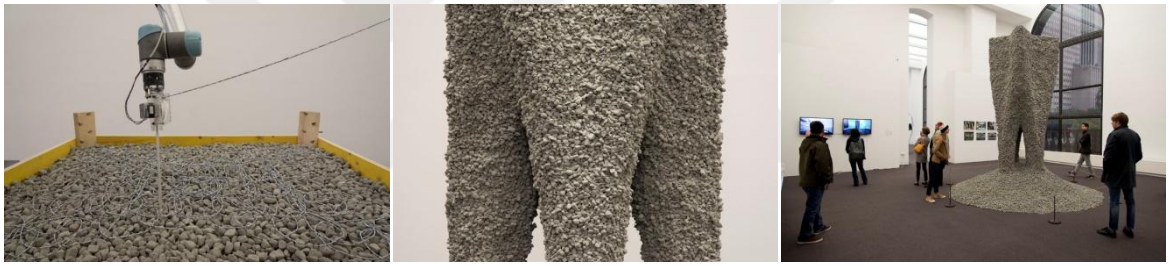
Granüler Mekan üretimi üzerine 2015 yılında gerçekleştirilen MIAW (*Milan International Architectural Design Workshop*) Çalıştayında, birbirleriyle sürtünmeli temasta kalan çok sayıda ayrı eleman olan agrega ya da granüller malzemenin kullanılmasıyla tasarlanan pavilyonda da (Resim 4.12) genel sistemin davranışı bağımsız bir mimari malzeme sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Yerel ve küresel geometrilerin tam olarak tanımlandığı geleneksel montaj sistemlerinin aksine, sadece bireysel parçalar tasarımcı tarafından geliştirilmekte, sonuç yapı ise sistemin belirli şartlar altındaki davranışının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (URL-36). Deneylerin fiziksel alanında, simülasyonların ise sayısal alanında yararlanılan hesaplama işlemiyle, yapıda hem gözlemsel hem de gelişen granüler oluşumlarla etkileşime girdiği gözlemlenmektedir.



Resim 4.12. MIAW Pavilyon (URL-36)

Düşük dereceli yapı malzemesinin yeniden kullanılabilmesi ve yüksek geometrik esneklik ve minimum malzeme israfı ile yeniden yapılandırılabilmesi için, yük taşıyıcı mimari strüktürlerin tasarımını ve robotik olarak birleştirilmesini öngören yöntemler ve tekniklerin araştırılıp geliştirildiği, "*Design and Robotic Fabrication of Jammed Architectural*

Structures" kapsamında ETH Zürih Araştırma grubu tarafından granüllü malzeme ile üretilen yapı örneğinde (Resim 4.13), biçimini bir katı gibi tutacak şekilde birbirine sıkıştırılan çakıl gibi taneli malzemeleri ifade eden ve "sıkışma" (*jamming*) adı verilen bir ilkeye odaklanılmaktadır (URL-37). Nanodan mezo ölçeğe kadar değişen "sıkışma" araştırmalarının ve uygulamalarının aksine, bu yapıda makro ölçekli, hesaplamalı tasarım ve simülasyonun otomatik üretim teknolojisi ile bir araya geldiği, standart olmayan şekillerde otomatik olarak imal edilebilen dağınık sıkışmış yapılar yaklaşımının mimari yapıya uygunluğunun sağlanması hedeflenmektedir. Yapısal olarak aktif iç içe geçme, farklılaştırılmış yapısal performans, yüksek geometrik esneklik ve eklemlenmenin gerçekleştirildiği, malzemelerin yeniden kullanılabilirliği gibi farklı özellikler sergileyen yapıda robotik montajda, malzemenin kendi kendine toplanma kapasitelerinin kullanıldığı 3D kaya baskı işlemi (*rock printing process*) uygulanmıştır (URL-37).



Resim 4.13. *Design and Robotic Fabrication of Jammed Architectural Structures* kapsamında gerçekleştirilen granüllü yapı örneği (URL-37)

FRP

FRP (fiber güçlendirilmiş polimerler - *fiber reinforced polymers*), olağanüstü mekanik özellikler sunmak için fiberleri ve polimerleri birleştiren kompozit bir malzeme birleşimidir. Asgari düzeyde kendi ağırlığına sahip yüksek yük taşıma kapasitesi gibi bir takım özelliklere sahip olmasıyla, otomotivden gemi yapımına ve havacılığa kadar çeşitli mühendislik alanlarında yapısal uygulamalar için tercih edilen seçenek haline getirmiş ve bu eşsiz malzeme özellikleriyle endüstrilerde geniş uygulamalara yol açmıştır. Malzemenin kendi ağırlığının daha geniş açıklıklı yapılar için yüksek önem taşıdığı mimari ölçekli üretimde, hafif fiber kompozitler benzersiz performans sağlar.

Kompozit bir polimer, onu aşırı derecede hafif ve güçlü bir materyal yapan polimer matris ile üretilmiş bir mühendislik kombinasyonudur. Bu malzeme sistemlerinin performans

niteliği, hafif yapılarda daha yüksek derecede malzeme verimliliği ve morfolojik eklemlenme sağlayan malzeme organizasyonu ölçeğindeki tasarım yaklaşımlarıyla geliştirilmiştir. Lif takviyeli polimerler (FRP) malzeme ailesi, cam elyaf, karbon ve kevlar gibi elyafları, epoksi, polyester, vinil ester ve naylon gibi polimerlerle birleştirir (Blonder ve Grobman, 2015).

FRP elemanlarının imalat işlemleri, endüstrinin tipine ve nihai elemanın özelliklerine göre değişir. FRP için tüm geleneksel imalat işlemleri kalıplamaya dayanmaktadır. En yaygın kullanılan kalıplama teknikleri arasında temas kalıplama, sıkıştırma kalıplama, vakumlu kalıplama, reçine enjeksiyonlu kalıplama ve hatta her biri belirli bir kalıp tipinin kullanılmasını gerektiren *prepreg* (önceden reçine yedirilmiş) veya filament sarımlı kalıplama vardır (Gay, 2007 aktaran Blonder ve Grobman, 2015).

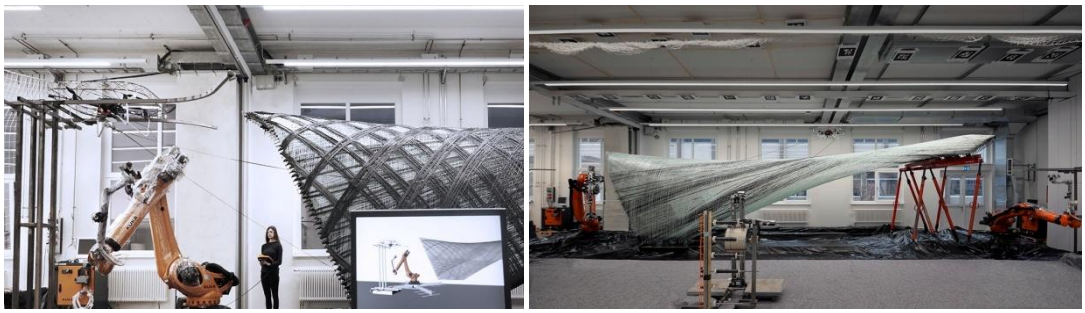
Dünyanın en büyük endüstri fuarı olan Hannover Fuarı 2015 için ICD ve ITKE araştırmacıları, karbon fiber takviyeli, hesaplamalı tasarım, simülasyon yöntemleri ve robot filament sarım tekniği ile tasarlayıp ürettikleri yapıda (Resim 4.14), bağlantı hızını ve yapı detaylarını fiber kompozit yapı içerisine entegre ederek üretim hızını ve hassasiyetini arttırmışlardır. Hafiflikleri ve istiflenebilirlikleri sayesinde karbon fiber parçalar tekrar tekrar taşıma ve kurulum için uygundur.



Resim 4.14. *University of Stuttgart Fair Stand* (URL-38)

2016-2017 yıllarında ICD/ITKE araştırmacıları tarafından fiber malzeme ile tasarlanıp üretilmiş olan Resim 4.15'teki araştırma pavilyonun amacı ise, uzun açıklıklı bir yapı oluşturmak, ölçeklenebilir bir üretim süreci öngörerek fiber yapılar için bir üretim süreci geliştirmektir. Standart endüstriyel üretim araçlarının yanında, yapının uç noktalarına fiber sarım işleri için gerekli mukavemet ve hassasiyete sahip iki sabit endüstriyel robot kolu yerleştirilerek üretim tamamlanmıştır. Birden fazla endüstriyel robot ve bir UAV'nın (*unmanned aerial vehicle*) sarım ve fiber döşeme işlemleri boyunca etkileşime girmesini

sağlamak için uyarlanabilir bir kontrol ve iletişim sistemi geliştirilmiştir (URL-39). Fiberin sarma işlemi boyunca ileri geri iletilmesi için robot ve UAV arasında dijital ve fiziksel bir anlaşma oluşturmak amacıyla lokalizasyon sistemi kullanılmıştır.



Resim 4.15. ICD/ITKE Araştırma Pavilyonu 2016-2017 (URL-39)

FRP malzemelerle çok sayıda yapı gerçekleştirmiş olan ICD/ITKE araştırmacılarının, 2018 Dünya Yapay Zeka Konferansı (*World Artificial Intelligence Conference* - WAIC) için mimari merkez parçalarından birini oluşturduğu Elytra Filament Pavilyonu (Resim 4.16), mimari tasarımın yapısal mühendislik, çevre mühendisliği ve üretim mühendisliğinin hesaplamalı bir sinerjisinden nasıl ayrılabileceğine, eşsiz mekansal ve estetiksel niteliklerle sonuçlanabileceğine kanıt olmaktadır. Pavilyonun kendine özgü şeklini oluşturmak için tasarım ve mühendislik süreçlerini bütünleştiren hücre benzeri modüllerin oluşturulmasıyla başlayan yapı sürecinde kullanılan yenilikçi sarım yöntemi, karbon fiberleri kullanmak ve onlara dokuma yoluyla yapısal bileşenler olarak güçlendirmek üzere tasarlanmıştır (URL-40).



Resim 4.16. *The Elytra Filament Pavilion* (URL-40)

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışması boyunca yapılan araştırmalar ve 4. bölümde incelenen robotlar aracılığıyla üretilen geleneksel ve yenilikçi malzemelerin kullanımına dair örnekler sonucunda hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojilerinin 21.yy tasarım dilinin oluşturulmasında barındırdığı potansiyeller görülmüştür.

Şekil5.1 - Şekil 5.5, bu bölümde, geleneksel yöntemlerle kullanılan ahşap ve tuğla, Endüstri Devrimiyle beraber yaşanan gelişmelere bağlı olarak yapılarda kullanılmaya başlayan beton ve demir/çelik ile disiplinlerarası çalışmalarla yapılarda kullanılan ve mimarlığa yeni bir bakış açısı getiren yenilikçi malzemelerden granüllü malzeme ile FRP malzemelerin tektonik kurgusunun nasıl geliştiğini ve hesaplamalı teknolojiler sayesinde dijital tektoniklerin nasıl hibritleştiğine dair barındırdığı avantajları göstermektedir.

Ahşap malzeme tektoniğinin tarihsel gelişiminin gösterildiği Şekil 5.1'de ifade edildiği gibi, tarihin başlangıcından beri kullanılmakta olan ahşap malzeme, geleneksel yöntemlerle yapılan üretimde ve geleneksel yapılarda öncelikli olarak estetik amacıyla kullanılmıştır. Endüstri Devriminde makineleşmede yaşanan gelişmelerle, ahşap malzemenin istenilen ölçülerde üretimi sağlanmış ve 20. yy'n sonlarına doğru yapılarda kiriş olarak kullanılmış ve ahşabın tektoniği estetik amaçlı olmaktan strüktürel ifadeye evrilmiştir. Günümüz ileri retim teknolojilerinde ise ahşap malzemeye, hesaplamalı araçlar sayesinde istenilen bağlantı detayı verilebilmektedir.

Şekil 5.2'de, geleneksel dönemde Giza Piramitlerinde dahi kullanılan tuğlanın harçlarla birleştirildiği görülmektedir. 18. yy'ın sonrasında kimya endüstrisinde yaşanan gelişmelerin de etkisiyle harçların kimyasal yapısının güçlendirilmesine bağlı olarak tuğla, yapılarda kemer olarak kullanılmaya devam etmiştir. Günümüz ileri üretim yöntemlerinde ise tuğla malzeme, tasarlanan kavisli yüzeylerde robot kollarıyla üretilmektedir.

Şekil 5.3'te beton malzeme tektoniğinin tarihsel gelişiminde, 18. yy'a kadar yapılarda harç olarak kullanılan betonun Endüstri Devriminin etkisiyle yapılarda kullanılmaya başladığı görülmektedir. Geleneksel kullanımında çok fazla yapılarda rastlanmayan beton, 18. yy sonrasında demir malzemeyle birlikte güçlendirilerek kullanılmıştır. Günümüz ileri üretim

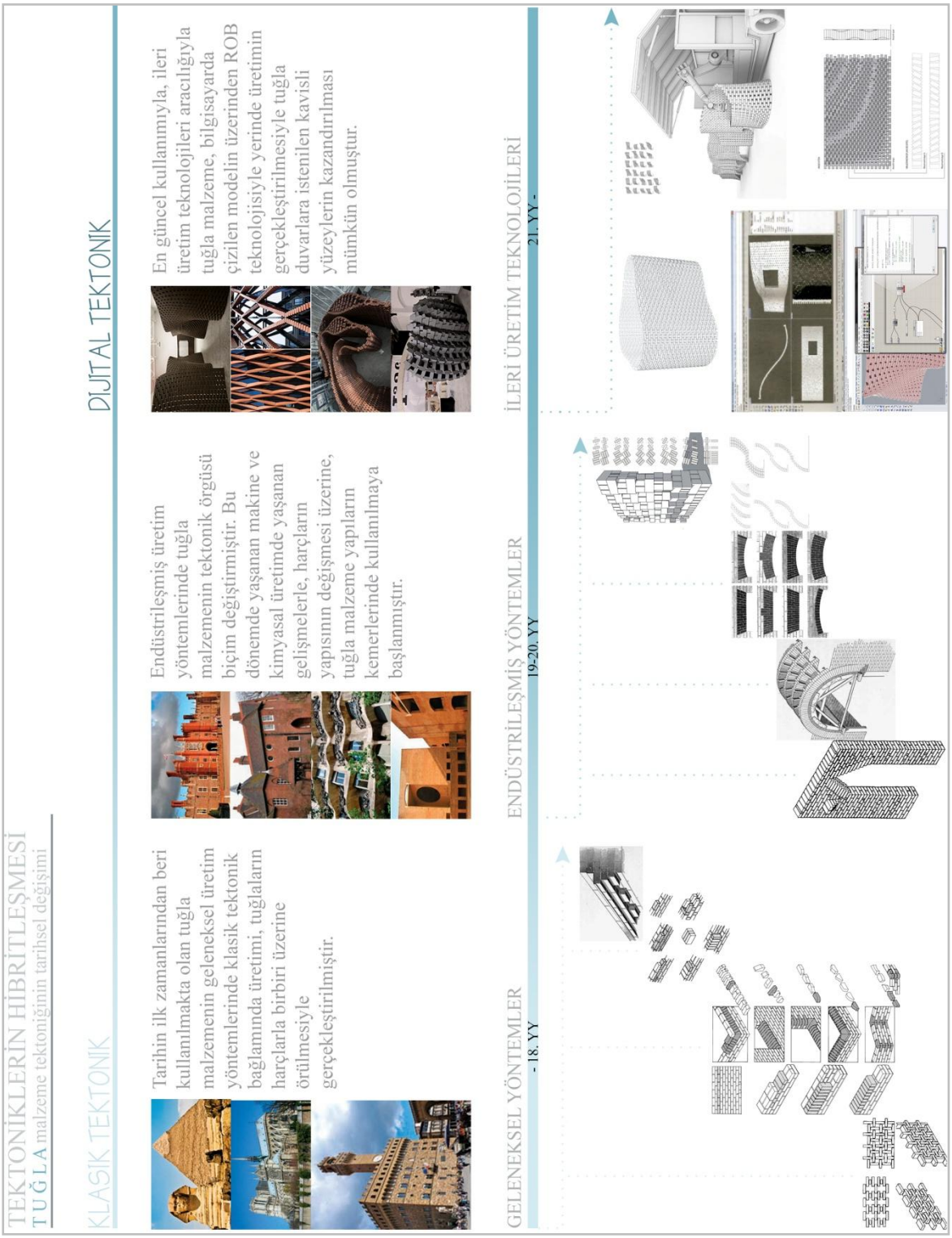
teknolojileri sayesinde, betonun tektoniği değişmiş ve istenilen formlarda üretimi gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

18. yy'da yaşanan Endüstri Devriminden sonra kullanılan demir/çelik malzemeye geleneksel dönemde rastlanmamaktadır. Şekil 5.4'te görüldüğü üzere, demir/çelik malzemenin klasik tektoniklerle kullanımına bakıldığında, demir/çelik malzeme yapılarda beton ile birlikte donatı olarak kullanılırken, 20. yy'ın sonlarına doğru yüksek yapılarda duvar örgüsünde fabrikalarda işlenmiş malzemelerle kullanılmıştır.

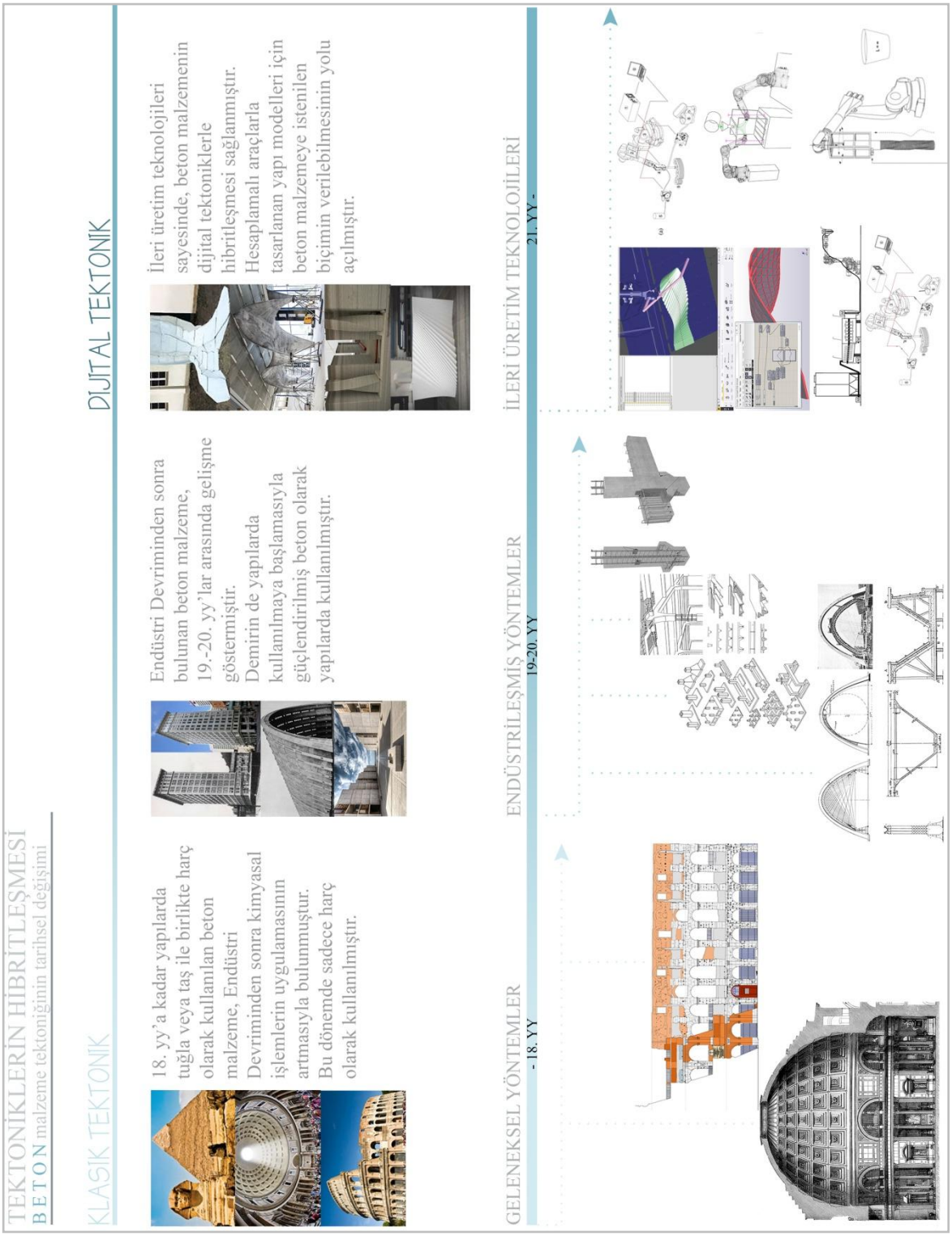
21. yy'da disiplinlerarası çalışmaların artmasıyla bulunan ve yapılarda kullanılmaya başlayan yenilikçi malzemelerden granüllü malzeme ile FRP malzemeler ileri üretim teknolojileri sonucunda dijital tektoniklerle hibritleşmiştir. Hesaplamalı tasarımla tasarlanan modeller, hesaplamalı üretim araçlarında parametrik hesaplamalarla eş zamanlı üretim gerçekleştirilmektedir. Bu sayede yapılarda malzeme/strüktür/konstrüksiyon bütünlüğü sağlanabilmektedir.



Şekil 5.1. Ahşap malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)



Şekil 5.2. Tuğla malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)



Şekil 5.3. Beton malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)



Şekil 5.4. Demir/çelik malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)



Şekil 5.5. Granüllü malzeme ile FRP malzeme tektoniğinin tarihsel gelişimi (yazar tarafından hazırlanmıştır)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mimarlık disiplininde birkaç yüzyıldır kullanılan tektonik terimi bina sanatının hem somut hem de soyut yönlerini ifade etmektedir. Tektonik terimi kapsamına giren ana konular, malzeme ve konstrüksiyon arasındaki etkileşim ve yapının strüktür ile bağlantısı olarak görülmektedir. Bileşenlerin bir araya gelme detayı olarak da açıklanmaktadır. Tektonik, mimarinin üretimini, malzeme ve yapı yöntemlerinin bilinçli bir şekilde kullanılmasıyla geliştirilebilecek bir kültürel ifade olarak görürken, ontoloji ve temsil arasındaki ideal ilişkiyi de ifade etmektedir.

Dört önemli Endüstri Devrinde yaşanan gelişmelerle mimarlık disiplininde meydana gelen paradigmatik değişimlerin başında yeni malzemelerin tasarlanması ya da var olanların farklı biçimde kullanılmasıyla malzemenin konstrüksiyonla eş zamanlı üretiminin sağlanması ve sonuçta yeni tektoniklerin ortaya çıkması gelmektedir. 20. yy'da yaşanan 4. Endüstri Devriminin etkisinde kalarak tektonik terimini kendi bakış açısıyla tekrar yorumlayan Frampton, yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde dijital tektonik kavramına değinmiştir. Bunların sonucunda, otomatik üretim süreçlerinin ortaya çıkışı ile de sanal simgeleri doğrudan fiziksel yapılara çevirme olasılığı; dijital olarak tasarlanmış, strüktürel olarak belirgin ve doğrudan imal edilmiş mimarinin bütünlüğü olarak ifade edilebilen dijital tektonik fikrini ortaya atmıştır.

Günümüzde yaşanan bilgi ve teknoloji gelişmelerine bakıldığında sayısal mimari araçların ortaya çıkmasıyla, mimarların yapı sanatını değiştirmek ve geliştirmek için farklı fırsatlar yakaladıklarını söylemek mümkündür. Son yıllarda, teknolojinin tüm imkanlarını kullanarak yenilikçi yapı malzemeleri üretiminin mümkün hale gelmesiyle strüktür ve konstrüksiyon mantığı da değişmektedir. Aynı zamanda, bilgisayar teknolojisi ile de daha önce tasarlanması ve üretimi imkansız olan yapıların tasarlanıp üretilmesi mümkün olmuştur. Bilgisayarlar aracılığıyla tasarım ve üretim süreçleri değişmekte, sonuç olarak hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojilerin gelişmesiyle de mimarlık disiplininde araçlarıyla yapı yapma biçimleri değişmektedir. 21. yy teknolojileriyle mimarlıkta otomasyonun sağlanması ve ortaya çıkan "sürecin tasarımı" odaklı yaklaşım mimar, paradigmaları değiştirmeye/dönüştürmeye başlamıştır.

3 boyutlu yazıcı teknolojilerinin ardından son dönemlerde robotik imalatların mimarlık disiplinindeki pilot uygulamalarının yaygınlaşması ile malzeme kullanımında da gelişmeler yaşanmaktadır. Mimarlıkta robotların kullanılmasıyla, ahşap, demir, beton, tuğla gibi geleneksel malzemeler dijital tektonikler sayesinde yeni bir anlayışla ele alınarak hibridleşirken, gelişen teknoloji ve disiplinlerarası çalışmalarla meydana gelen granüllü malzeme, FRP gibi yenilikçi malzemeler de mimarlık disiplininde yerini almıştır.

Bu bağlamda, bu çalışmanın motivasyonunu oluşturan ana araştırma sorusunun cevabına ulaşmak için oluşturulan alt araştırma sorularına gelindiğinde ise;

1. Hesaplamalı teknolojilerin tasarım/üretim/yapım süreçlerine etkileri mimari tasarım ve üretim biçimlerini nasıl etkilemektedir?

Mimarlara, hayal ettikleri her şeyi tasarlama ve üretme imkanı sağlayan hesaplamalı teknolojiler, karmaşık ve kompleks geometrilerin tasarlanmasına ve üretilmesine olanak sağlamıştır. “Sürecin tasarımı” yaklaşımıyla 21. yy teknolojilerinin tasarımdan son ürüne kadar olan yapım sürecinde kullanılması, tasarım ve üretimde zamandan, enerjiden ve ekonomik yönden verimlilik sağlamaktadır. İstedikleri forma ulaşma imkanı bulan mimarlar, özgür formlar yapma konusunda daha çok cesaretlenmektedir.

2. CAD/CAM/BİM teknolojilerinin tasarım/üretim/yapım aşamalarında barındırdığı potansiyeller nelerdir?

Günümüzün teknolojik ilerlemeleri, modern mimarın yaratıcı hayal gücü ile birleştiğinde, tasarım ve üretimde ilerleme gerçekleşmiş, CAD/CAM/BİM teknolojileri bu ilerlemeye en çok katkı sağlayan araçlar olmuştur. Mimari model üretimi için kullanılan veri salt dijital görselleştirme için değil tasarım optimizasyonu, yapım ve üretim yöntemlerinin kararlaştırılması gibi konular için de tüm paydaşlar tarafından kullanılabilmektedir.

3. Hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojilerindeki değişimin mimarlık paradigmasındaki yansımaları nasıl olmaktadır?

Hesaplamalı tasarım ve üretim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, mimarlık yapım biçimini değiştirmektedir. “Dosyadan fabrikaya” üretim anlayışının gelişmesiyle, üretimde

otomasyon fikri gelişmektedir. Hesaplamalı üretim anlayışında gelinen son nokta mimarlıkta robot kullanımı olmaktadır. Her tasarımın sayısal verilerle tasarlanmasının mümkün olduğu 21. yy'da parametrik anlayış gelişmekte ve tasarlanan yapılar parametrik verilerle robotlara aktarılarak tasarım/üretimde senkronizasyon sağlanmakta ve bu sayede malzeme/strüktür/konstrüksiyonun eş zamanlı üretimi gerçekleştirilmektedir. Gerek geleneksel malzemelerin, gerekse disiplinlerarası çalışmalarla mimarlıkta kullanılmaya başlayan yenilikçi malzemelerin hesaplanabilirliğinin sağlanması, malzemelerin tektoniğinde gelişmelere yön vermiştir. Bunların sonucunda, hem malzemenin üretiminde, hem de kullanımında dijital tektoniklerin kullanımıyla hibritleşmeler meydana gelmektedir.

4. Robotik üretimlerin mimariye entegrasyonu ile birlikte mimari tasarımların kurgusunda önemli bir aşama olan tektonik seçimi ya da oluşumu nasıl etkilenmektedir?

1980'lerden bu yana kullanılmakta olan endüstri robotlarının mimarlık disiplininde kullanılması malzemelerin kendi tektoniğini oluşturmasını sağlamaktadır. Robot kolları gibi çeşitli robotlarla üretimi gerçekleştirilen yapılarda dijital tektoniklerle hibritleşen malzemeler, yapılarda malzeme/strüktür/konstrüksiyon bütünlüğünü gerçekleştirmektedir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular göz önüne alındığında, ileri üretim teknolojileriyle üretilen yapılar, kendi tektoniğini oluşturmaktadır.

Hesaplamalı teknolojiler, mimarlık disiplininde paradigmatik bir değişim meydana getirmiş ve hesaplamalı teknolojilerle üretilen yapılar, dijital tektoniklerle hibritleşmektedir. Bu veriler ışığında çalışmanın kurgusuna yön veren "Gelişen hesaplamalı tasarım ve üretim araçları ile birlikte robotların mimariye entegre olması, malzeme seçiminden strüktür kurgusuna kadar geniş bir yelpazede tasarımı etkilemekte ve kullanılana gelen tektonikleri dönüştürerek değiştirmekte ve hibritleştirmektedir" hipotezi doğrulanmaktadır.

KAYNAKLAR

Afify, H., ve Elghaffar, Z. A. A. (2007). Advanced digital manufacturing techniques (CAM) in architecture authors. *Paper presented at the Proceedings of the 3rd International ASCAAD Conference, Alexandria, Egypt.*

Akipek, F. Ö., ve İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları. *MEGARON/Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, 2*(4), 237-253.

Akküçük Kırım, Z. (2014). *Dijital Üretim Süreçlerinin Görsel Şemaları.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akman, S. M., (2009). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, *Mimarlıkta Malzeme,* 12, 28-35.

Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of Life Economics, 3*(2), 19-30.

Andersson, I. K., ve Kirkegaard, P. H. (2006). A discussion of the term digital tectonics. *WIT Transactions on The Built Environment,* 90, 29-39.

Armağan, C. Ç. (2011). *Fenomenolojik Yöntem ve Tektonik Dil Aracılığı ile Materyale Duyarlı Tasarım.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Arslan Selçuk, S., ve Gönenç Sorguç, A. (2015). Bilgisayar Ekranından Şantiyeye. *Yapı Dergisi,* 407, 154-160.

Baliński, G., ve Januszkiewicz, K. (2016). Digital Tectonic Design as a New Approach to Architectural Design Methodology. *Procedia Engineering, 161,* 1504-1508.

Beorkrem, C. (2017). *Material Strategies in Digital Fabrication.* New York:Routledge.

Beyhan, F., ve Selçuk, S. A. (2017). 3D Printing in Architecture: One Step Closer to a Sustainable Built Environment.*Paper presented at the International Sustainable Buildings Symposium, Dubai.*

Blonder, A., ve Grobman, Y. J. (2015). Alternative fabrication process for free-form frp architectural elements relying on fabric materiality towards freedom from molds and surface articulation. *The Next City: 16th International Conference CAAD Futures 2015,* 397-410.

Braumann, J., ve Brell-Cokcan, S. (2012). Real-time robot simulation and control for architectural design. *Paper presented at the 30th eCAADe Conference, Prague.*

Braumann, J., ve Brell-Cokcan, S. (2015). Adaptive robot control-new parametric workflows directly from design to kuka robots.*Paper presented at the Real Time-Proceedings of the 33rd eCAADe Conference.*

Braumann, J., Stumm, S., ve Brell-Cokcan, S. (2016). Towards New Robotic Design Tools: Using Collaborative Robots within the Creative Industry, *2016: POSTHUMAN FRONTIERS: Data, Designers, and Cognitive Machines, Proceedings of the 36th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA),* 164-173.

Borbein, A. H., (1982). Tektonik: zur Geschichte eines Begriffs der Archaologie. *Archiv für Begriffsgeschichte, 1(26),* 60-100.

Carpo, M. (2009). Revolutions: Some New Technologies in Search of an Author, *Log 15, Anyone Corporation (New York),* 49–54.

Choo, S. Y. (2004). *Study on Computer-Aided Design Support of Traditional Architectural Theories.* Doktora Tezi, Technische Universität München, Institut für Entwerfen und Gestalten Institut für Entwerfen und Bautechnik, Almanya.

Collier, C., (2017). *CODE to MATTER-Integrating Industrial Robotic Arms: Reconciling the Rapid Advancement of Digital Potentials with a Tangible Physical Existence,*Yüksek Lisans Tezi, University of Washington, Washington.

Daas, M. (2014). Toward a taxonomy of architectural robotics. *Paper presented at the Sociedad Iberoamericana Grafica Digital (SIGRADI) 2014 Conference.*

Dunn, N. (2012). *Digital Fabrication in Architecture.* London: Laurence King Publishing.

Elhardudi, M. (2007). *CAAD'in Mimari Eğitime Entegre Edilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ertürk Gaucher, Ş., (2018). *Kentsel Ölçekli Tasarımlarda Esnek Çözümler İçin Parametrik Metotların Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Frampton, K. (1995). *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth And Twentieth Century Architecture*. London: Mit Press Cambridge, MA.

Frampton, K. (1996).*Rappel A l'Ordre: The Case For The Tectonic: Theorizing A New Agenda For Architecture : An Anthology Of Architectural Theory*, New York: Princeton Architectural Press.

Frazer, John. (1995). *Evolutionary Architecture.* London: Architectural Association.

Frazer, J. H., Frazer, J. M., Liu, X., Tang, M. X., ve Janssen, P. (2002). Generative and evolutionary techniques for building envelope design. *Proceedings of Generative Art 2002*.

Garber, R. (2014). *BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling*. Chichester: John Wiley ve Sons.

Gay, D. (2007). *Composite materials: design and applications* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.

Ghaffar, S. H., Corker, J., ve Fan, M. (2018). Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *Automation in Construction, 93,* 1-11.

Gramazio, F., ve Kohler, M. (2014). *Made by Robots: Challenging Architecture at a Larger Scale*. Chichester: John Wiley ve Sons.

Güncü, A. (2007). *Yüksek Binalarda Yapı Kabuğunun Tektonik Kurgu Değişiminin Analizi.* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Güvenç, B., (2005). Mimarlık: Zaman, Mekan ve Değişim, *Felsefe ve Mimarlık Sempozyumu, İstanbul.*

Hadia, H. A. A. (2007). *Form Production Process in Digital Architecture: Thinking, Modelling And Fabrication.* İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hager, I., Golonka, A., ve Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering,* 151, 292-299.

Hauschild, M., ve Karzel, R. (2012). *Digital Processes: Planning, Designing, Production*. Basel: Birkhäuser

Hürol, Y. (2016). Reconsidering Ethics ın the Tectonics of Architecture Through the Tectonics of Bodies ın Love. *METU Journal of the Faculty of Architecture,* 31(2), 25-41.

Iwamoto, L. (2009). *Digital Fabrications; Architectural and Material Techniques*, China: Princeton Architectural Press.

İnternet:URL-1, Aphaia Tapınağı - Cephe Görünüşü. URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.flickr.com%2Fphotos%2Fhealinglight%2F2399246472&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-2, Aphaia Tapınağı - Cephe Görünüşü. URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.flickr.com%2Fphotos%2Fpsulibscollections%2F5832438303&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-3, Gotik Mimari - Notre Dame Katedrali. URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2Fgwfreeman%2Fgothic-art-10506560&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-4, Gotik Mimari - Notre Dame Katedrali. URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.medart.pitt.edu%2Fmenufrance%2Fchartres%2Fplandraw.html&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-5, Semper'in ilkel kulübesi.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fxxi.com.tr%2Fi%2Fmodern-babarin-yolu%3B&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-6,The Iron Bridge.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.designingbuildings.co.uk%2Fwiki%2FThe_Iron_Bridge&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-7, Crystal Palace.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.londonremembers.com%2Fsubjects%2Fcrystal-palace&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-8, Eiffel Tower.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ffrenchmoments.eu%2Ffun-facts-about-the-eiffel-tower%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-9, Fondation-Louis-Vuitton-Gehry-Partners.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F555694%2Ffondation-louis-vuitton-gehry-partners&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-10, Fondation-Louis-Vuitton-Gehry-Partners-innovative-bim.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.tekla.com%2Fabout%2Fnews%2Fnew-louis-vuitton-art-museum-paris-built-innovative-bim&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-11, Guggenheim Bilbao.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.guggenheim.org%2Fabout-us&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-12, BMW Bubble Pavillion.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.franken-architekten.de%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-13, Kore presbiteryen kilisesi.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fflavorwire.com%2F231679%2Fbetter-off-dead-a-collection-of-really-embarrassing-buildings%2F2&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-14, Hoofddorp otobüs durağı.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.galinsky.com%2Fbuildings%2Fhoofddorpbus%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-15, Angerpark Landmark.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdintravels.net%2Ffamily%2Fworlds-slowest-curler-coaster-duisburg-strolling-stroller-coaster%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-16, Barcelona Unesco Forum.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.swissmade-architecture.com%2F%3Fseite%3DPicture%26bid%3D283&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-17, Architonic Concept Space.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.architonic.com%2Fen%2Fstory%2Fnora-schmidt-architonic-concept-space-iii%2F7000440&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-18, Leonardo'nun humanoid robot eskizleri.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FDrawings-of-Leonardo-da-Vinci-studies-for-an-human-powered-ornitotteri_fig1_228405718&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-19, Demolition robots.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fclientcdn.akamai.uniquewebsites.com.au%2Fweb-express-evolution-media-6154859-unspecified-1.jpg&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-20, Welding robots.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.robotics.org%2Fblog-article.cfm%2FRobotic-Welding-Improving-the-Performance-of-Your-Automated-Welding-Processes%2F61&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-21, Bricklaying Robots.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.roboticsbusinessreview.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F09%2Fconstruction-robot.jpg&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-22, Drones.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.microdrones.com%2Fen%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-23, Drone kontrollü yapı süreci.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.idsc.ethz.ch%2Fresearch-dandrea%2Fresearch-projects%2Farchive%2Fflying-machine-enabled-construction%2F_jcr_content%2Fpar%2Fslideshow_0%2Fimages%2Fimage-1.imageformat.lightbox.1764386943.png&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-24, ICD/ITKE Araştıma Pavilyonu.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ficd.uni-stuttgart.de%2F%3Fp%3D16220&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-25, The Sequential Wall.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgramaziokohler.arch.ethz.ch%2Fweb%2Fe%2Flehre%2F146.html&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet: URL-26, The Sequential Structure.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgramaziokohler.arch.ethz.ch%2Fweb%2Fe%2Flehre%2F187.html&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-27, Sewn Timber Shell.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ficd.uni-stuttgart.de%2F%3Fp%3D21883&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-28, Structural Oscillations.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgramaziokohler.arch.ethz.ch%2Fweb%2Fe%2Fforschung%2F142.html.&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-29, Smart-Dynamic-Casting.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdfabhouse.ch%2Fsmart-dynamic-casting%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-30, Keller AG Ziegeleien.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.architonic.com%2Fen%2Fproject%2Fgramazio-kohler-ofenhalle%2F5105502&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-31, Croatian-Pavilion.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F74469%2Fcroatian-pavilion-at-the-venice-biennale&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-32, DFAB House.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dfab.ch%2Fachievements%2Fbuilding-with-robots-and-3d-printers-construction-of-the-dfab-house-up-and-running%2F&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-33, Reinforce Expose: The Inner Forms of Tomorrow.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dfab.ch%2Fevents%2Freinforce-expose-the-inner-forms-of-tomorrow-nccr-digital-fabrication-research-on-exhibit-at-the-istituto-svizzero-in-milan%2F%29.&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-34, Reinforce Expose: The Inner Forms of Tomorrow.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgramaziokohler.arch.ethz.ch%2Fweb%2Fe%2Fprojekte%2F344.html&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-35, Aggregate Pavilion.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ficd.uni-stuttgart.de%2F%3Fp%3D24541&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-36, MIAW: Granular Space.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ficd.uni-stuttgart.de%2F%3Fp%3D12448&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-37, Design and Robotic Fabrication of Jammed Architectural Structures.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgramaziokohler.arch.ethz.ch%2Fweb%2Fe%2Fforschung%2F275.htmlhttp%3A%2F%2Fgramaziokohler.arch.ethz.ch%2Fweb%2Fe%2Fforschung%2F275.html&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-38, University of Stuttgart Fair Stand.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ficd.uni-stuttgart.de%2F%3Fp%3D17254&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-39, ICD/ITKE Araştırma Pavilyonu 2016-2017.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ficd.uni-stuttgart.de%2F%3Fp%3D18905&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

İnternet:URL-40, The Elytra Filament Pavilion.
URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.achimmenges.net%2F%3Fp%3D5922&date=2019-02-12, Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.

Karadağ, D., (2011). *Dijital Tasarım ve Üretim Araçları ile Mimaride Malzeme Kullanımının Dönüşümü,*Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kensek, K., ve Noble, D. (2014). *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*. Chichester: John Wiley ve Sons.

Kolarevic, B. (2000). Digital morphogenesis and computational architectures. *Construindo n (o) espaço digital, PROURB, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*, 98-103.

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

Kumar, B. (2016). *A Practical Guide to Adopting BIM in Construction Projects.* Scotland: Whittles Publishing Limited.

Liu, Y.T. ve Lim, C. K. (2006). New tectonics: a preliminary framework involving classic and digital thinking. *Design Studies*, *27*(3), 267-307.

Liu, Y., (2009). *Robotic Design Construction: Digital Fabrication Strategies For Freeform Masonry Casting And Mobile Assembly.* Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology.

Masiero, R., (1999). *Mimaride Estetik,* (çev. Genç, F.) İstanbul: Dost Kitabevi Yayınları.

Menges, A., Sheil, B., Glynn, R.,ve Skavara, M., (2017). *Fabricate: Rethinking Design and Construction,* London: UCL Press.

Nilsson, F. (2007). New technology, new tectonics? on architectural and structural expressions with digital tools. *Paper presented at the Tectonics-Making Meaning. Conference Proceedings.*

Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies, 29*(2), 99-120.

Oxman, R. (2012). Informed tectonics in material-based design. *Design Studies, 33*(5), 427-455.

Oxman, R. ve Oxman, R. (2010). New structuralism: design, engineering and architectural technologies. *Architectural Design, 80*(4), 14-23.

Özdemir, E. (2014). *Enerji Etkin Binaların Arkitektonik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özkan, S., (2008). *The Way Architectural Model As A New Collaborative Design Environment Talks With Machines.* Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pires, J. N. (2007). *Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future*. New York: Springer Science ve Business Media.

Sabur, H. B., ve Arslan Selçuk, S., (8-10 Mayıs 2017). New Construction Methods and Hybrid Tectonics: Robotics in Architecture, *International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE-Cappadocia) Nevşehir, Turkey.*

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., ve Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. Chichester: John Wiley ve Sons.

Schmidt, A. M. D. (2005). Digital Tectonic Tools. *Paper presented at the Proc. Of the 23rd eCAADe Conf. on Digital Design, eds. JP Duarte, G. Ducla-Soares and AZ Sampaio.*

Schwarzer, M. (1993). Ontology and representation in Karl Bötticher's theory of tectonics. *Journal of the Society of Architectural Historians, 52*(3), 267-280.

Sebestyen, G. (2007). *New architecture and technology*. Burlington: Architectural Press.

Seely, J. C. (2004). *Digital Fabrication in the Architectural Design Process.* Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.

Semper, G. (2015). *Mimarlığın Dört Öğesi ve İki Konferans,* (çev. Ülner, N. ve Tümertekin, A.). İstanbul: Janus Yayıncılık.

Sharif, S., Agrawal, V., ve Sweet, L. (2017). Adaptive Industrial Robot Control for Designers. *eCAADe 35 - FABRICATION - ROBOTICS - Volume 2,* 151-158.

Smith, W. F., (2001). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği,* (3. basım) (çev. Kınıkoğlu, N.) İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Sorguç A. G., (2010). Mimarlıkta Sayısal Teknolojilerin Kullanımı: Yeni Tektonikler ve Hibridleşen Malzemeler, *Mimarlıkta Malzeme,* 15, 41-46.

Tanaçan, L., (2010). 21. Yüzyıldan Geleceğe Malzeme, Teknoloji ve Mimarlık, *Mimarlıkta Malzeme,* 15, 28-32.

Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. Burlington: Architectural Press.

Tibbits, S. (2014). 4D printing: multi-material shape change. *Architectural Design, 84*(1), 116-121.

Tozlu, S., (2017). *21. Yüzyıl Tasarım ve Üretim Teknolojilerindeki Gelişmelerin Mimarlık Paradigmasına Etkisi: Sayısal Mimarlık,* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Vitruvius. (2017). *Mimarlık Üzerine,* (çev. Dürüşken, Ç.). İstanbul: Alfa Yayınları.

Yazar, T. (2009). *Mimari Tasarım Stüdyolarında Sayısal Egzersizler,* Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yazıcı, S. (2013). *Mimarlıkta Malzeme Tabanlı Bütünleşik Hesaplamalı Tasarım Modeli,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldız, Ö. (2010). *Hesaplamalı Mimarlıktan Zaman Temelli Etkileşimli Mimarlığa Geçiş,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yurttaş, F., (2010). Endüstri Devriminden 20. Yüzyıla Malzeme, Teknoloji ve Mimarlık, *Mimarlıkta Malzeme,* 13, 34-38.

Yurttaş, F., (2010). 20. Yüzyıldan 21. Yüzyıla Malzeme Teknoloji ve Mimarlık, *Mimarlıkta Malzeme,* 14, 28-36.

Zboinska, M. A. (2015). Hybrid CAD/E platform supporting exploratory architectural design. *Computer-Aided Design*, 59, 64-84.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	:BOSTANCI SABUR, Hafize Büşra
Uyruğu	:T.C.
Doğum tarihi ve yeri	:03.02.1990, Çorum
Medeni hali	:Evli
Telefon	:0(555) 000 86 32
e-mail	:hbusrabostanci@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü	2019
Lisans	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümü	2013
Lise	Çorum Anadolu Öğretmen Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2017	Statik Mühendislik	Proje Mimarı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Sabur, H.B., Arslan Selçuk S., (2018). Mimari Tektoniğin Evrimi: Dijital Tektonikler Üzerine Bir Değerlendirme.*International Refereed* ve *Indexed Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences* (*EJONS*), 2 (3) 75-87.

Sabur, H.B., Arslan Selçuk, S., (1-2 Aralık, 2017). Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları ile Sayısal Tasarım/Üretim Yöntemlerinin Entegrasyonu: ICD/ITKE Araştırma Pavyonları. *1. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.*

Sabur, H.B., Arslan Selçuk, S., (May 8-10, 2017). New Construction Methods and Hybrid Tectonics: Robotics in Architecture. *International Conference on Civil Environmental Engineering (ICOCEE-Cappadocia), Nevşehir,* Turkey.

Hobiler

Yüzme, Suluboya Resim, Fotoğrafçılık, Takı Tasarımı



GAZİ GELECEKTİR..