



**21. YÜZYIL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNDEKİ
GELİŞMELERİN MİMARLIK PARADİGMASINA ETKİSİ:
SAYISAL MİMARLIK**

Sinem TOZLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2017

Sinem TOZLU tarafından hazırlanan “21. YÜZYIL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELERİN MİMARLIK PARADİGMASINA ETKİSİ: SAYISAL MİMARLIK” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. İdil AYÇAM

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 30/03/2017

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

.....
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Sinem TOZLU
30/03/2017

21. YÜZYIL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİNDEKİ
GELİŞMELERİN MİMARLIK PARADİGMASINA ETKİSİ:

SAYISAL MİMARLIK
(Yüksek Lisans Tezi)

Sinem TOZLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2017

ÖZET

Günümüzde tasarım ve üretim araç ve ortamlarının sürekli ve hızlı değişim ve gelişimi, etkisini tüm alanlarda göstermekte ve tasarım ile uğraşan bütün bilgi alanlarında paradigmayı değiştirmektedir. Bu değişim ve gelişim mimarlık disiplininde de kavramsal düzeyden son ürüne kadar tüm aşamalarda çalışma ve üretme yöntemlerini yoğun bir biçimde etkilemektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi ile yeni ilişki ve temsil biçimlerinin ortaya çıkması, karmaşık hesaplama teknikleri ile yeni üretim modellerinin geliştirilmesi gibi araştırma alanları, mimari tasarımın yeni kavramlar eşliğinde yeni olanaklar türeten karakterinin de bir göstergesidir. Bu bağlamda mimari tasarım pratiğine yeni sözcük, düşünce, bilgi ve teknolojilerin katılımı, tasarım bileşenlerinin çeşitliliğini ve aynı zamanda karmaşıklığını artırmaktadır. Mimari tasarım özelinde düşünüldüğünde bilgi ve teknoloji paylaşımının beraberinde getirdiği olanakların tasarım ve üretim yaklaşımlarını tetiklediği görülmektedir. Bu noktada sayısal teknolojilerin ve araçların sunduğu olanakların ve bu olanakların getirdiği/getireceği sonuçların araştırılması, belirtilmesi, analiz edilmesi ve mimarlık ortamına sunulması önem taşımaktadır. Bu bağlamda tez kapsamında, 21.yüzyılda teknolojinin mimari tasarım ve üretim ortamlarındaki etkisini ortaya koymak ve gelecekteki potansiyellerini araştırmak amaçlanmıştır. Yapılan araştırma ile sayısal teknolojilerin kullanılmasıyla üretilen yapı örnekleri üzerinden bu değişimin mimarlık pratiğindeki dönüştürücü etkileri incelenerek, tasarımla üretim arasındaki yeni ilişki irdelenmiştir. Sonuç olarak, sayısal tasarım-üretim teknolojilerinin mimari tasarım sürecindeki kullanımlarının; mimari kavramlarda, tasarıma yaklaşımda, mimari üretimde ve sonuç ürün olan mimari nesne üzerinde yarattığı paradigmatik dönüşümler tartışılmıştır.

Bilim Kodu : 80111

Anahtar Kelimeler : Mimarlık, Teknoloji, Sayısal Tasarım ve Üretim, Dönüşüm

Sayfa Adedi : 157

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

THE EFFECTS OF 21st CENTURY DESIGN AND MANUFACTURING
TECHNOLOGIES ON ARCHITECTURAL DESIGN PARADIGM: COMPUTATIONAL
ARCHITECTURE

(M. Sc. Thesis)

Sinem TOZLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2017

ABSTRACT

Today, the continuous and rapid change and development of design and manufacturing tools and mediums show their effect in all disciplines. Furthermore, they change the paradigm in all knowledge domain involved in design. This change and development have been influencing the working and producing methods in the discipline of architecture as well, at all stages from conceptual to end product. Research areas, such as the development of information and communication technologies, the emergence of new relationships and forms of representation, the development of new production models with complex computational techniques are the indications of the nature that derive new possibilities within the light of new concepts of architectural design. In this context, the participation of new words, ideas, knowledge and technologies in architectural design practice increases the diversity of the design components and the complexity at the same time. Considering architectural design, it is seen that the possibilities brought by the sharing of information and technology trigger the design and manufacturing approaches. At this point, it is important that the possibilities offered by new technologies and tools, and the results that these facilities have brought and will bring should be analyzed, defined and presented to the architectural medium. In this context, the aim of the thesis is to reveal the effect of 21st centuries' technology on architectural design and manufacturing medium and to investigate its potentials for the future. In this research, the transformative effects of this change on architectural practice are examined through the case studies produced by using computational technologies, and the new relation between design and manufacturing is questioned. As a result, the paradigmatic transformations of the use of computational design and manufacturing technologies in the architectural design process have been discussed through the transformations on the architectural concepts, the design approach, the architectural production and the resultant artifact.

Science Code : 80111

Key Words : Architecture, Technology, Computational Design and Manufacturing,
Transformation

Page Number : 157

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli fikir ve eleştirileri ile araştırmama yön verip, yol gösteren danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a tüm katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anneme ve kardeşlerime, araştırma süreci boyunca yanımda olan, fikir ve yardımlarıyla hayatımın her anında destek olan değerli arkadaşlarım Özlem BAŞODA, Nuray ÖZDEMİR, Asım Tahir BAŞODA, Eda GÜLPINAR'a çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. MİMARLIK - TEKNOLOJİ İLİŞKİSİ	7
2.1. Teknoloji Kavramı ve Kökeni.....	8
2.2. Mimari Mekan ve Strüktürün Teknolojik Boyutu	11
2.2.1. Mimari tektoniğin öncülleri	13
2.2.2. Mimarlık-teknoloji ilişkisinin kırılma noktaları.....	16
3. MİMARLIKTAKİ SAYISAL DÖNÜŞÜMLER.....	23
3.1. Bilgisayar ve Teknolojilerin Gelişimi	23
3.2. Sayısal Mimarlık	26
3.3. Sayısal Mimarlık Teknolojileri	27
3.3.1. Sayısal tasarım yöntemleri	28
3.3.2. Sayısal üretim yöntemleri	42
3.3.3. Sayısal mimarlıkta iş birliği ve yapı bilgi modelleme	52
3.3.4. Tasarım karar destek sistemleri.....	56
3.3.5. Yapay zeka ve akıllı binalar	62
3.4. Sayısal Mimarlıkta Geometri	64

	Sayfa
3.5. Sayısal Mimarlıkta Biçim	74
3.6. Temsil ve Dönüşümü	79
3.7. Sayısal Ortamda Malzeme	83
3.8. Sayısal Mimarlık ve Doğa Bilimleri İlişkisi	94
3.8.1. Biomimesis	94
3.8.2. Üretken sistemler	98
3.8.3. Genetik algoritmalar	101
3.9. Tepkimeli Mimarlık	101
4. SAYISAL MİMARLIK ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN TASARIM VE ÜRETİM SÜREÇLERİ	105
4.1. Shanghai Tower	105
4.2. Metropol Parasol	113
4.3. Louvre Abu Dhabi Museum	123
4.4. Foundation Louis Vuitton	126
4.5. Hangzhou Tennis Center	130
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	141
KAYNAKLAR	145
ÖZGEÇMİŞ	157

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yaygın kullanılan simülasyon araçları	61
Çizelge 3.2. Öklid geometrisi ve fraktal geometri	72
Çizelge 4.1. Sayısal teknolojilerin tasarımcıya sunduğu avantajlar	138



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kristal Saray (Crystal Palace)	19
Resim 2.2. Eiffel Kulesi.....	20
Resim 3.1. Guggenheim Müzesi, Frank Gehry.....	30
Resim 3.2. İzomorfik yüzeylerin oluşumu.....	31
Resim 3.3. Kore Presbiteryen Kilisesi, Greg Lynn.....	31
Resim 3.4. BMW Pavyonu, Bernard Franken	32
Resim 3.5. Kinematics house, Greg Lynn	33
Resim 3.6. Port otobüs terminali, Greg Lynn	34
Resim 3.7. Üstra ofis binası, Frank Gehry	35
Resim 3.8. BŞ software ofisi, Peter Eisenman.....	35
Resim 3.9. Algorithmic Spectaculars, Marcos Novak.....	37
Resim 3.10. Pseudo-organism, J. Frazer.....	39
Resim 3.11. Moleküler kurgulu ev, Alkhayer & Johanser	40
Resim 3.12. GLA yönetim binası, Foster ve ortakları	41
Resim 3.13. Zollhof Towers, Frank Gehry	45
Resim 3.14. Lessing otomobil sergi salonu ve ses bariyeri, Kas Oosterhuis.....	47
Resim 3.15. BrickDesign	48
Resim 3.16. Tuğlaları bilgisayar kontrolü ile dizen helikopter robot	49
Resim 3.17. Amsterdam’da üretilecek olan yaya köprüsü	50
Resim 3.18. 3D yazıcılarla üretilen ilk apartman ve villa.....	50
Resim 3.19. 3D yazıcıyla üretilen bina cephesi, DUS Architect	51
Resim 3.20. 3D Ay üssü	51
Resim 3.21. Yapı bilgi modellerinin sunduğu çalışma platformlarını anlatan görsel	53

Resim	Sayfa
Resim 3.22. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) programı	54
Resim 3.23. Performans simülasyon programlarının işleyişi	59
Resim 3.24. Öklid geometri örnekleri.....	65
Resim 3.25. Öklid dışı geometri	66
Resim 3.26. Yerküre üzerinde bir üçgenin iç açıları toplamı ve Riemann modeline göre küresel (eliptik) geometri.....	67
Resim 3.27. Nurbs şematik gösterimi	68
Resim 3.28. Kunsthaus Graz, Peter Cook ve Colin Fournier	69
Resim 3.29. Nurbs Eğrileri ile Tasarım	69
Resim 3.30. Donuttan kupaya topolojik dönüşüm.....	70
Resim 3.31. Klein şişesi ve Mobius şeridi.....	70
Resim 3.32. Mobius house, Ben van Berkel.....	71
Resim 3.33. Koch eğrisinin oluşturulması	73
Resim 3.34. Hessing showroom ve ses bariyeri	74
Resim 3.35. Ginger and Fred, Frank Gehry	75
Resim 3.36. İki ebeveyn biçimin melez biçimi oluşturması	76
Resim 3.37. Kinetik Biçim.....	77
Resim 3.38. Katlanmış Biçim	77
Resim 3.39. Çarpıtılmış Görüş.....	78
Resim 3.40. Rosenthal çağdaş sanatlar müzesi, Zaha Hadid	82
Resim 3.41. Blob duvarı, Greg Lynn.....	84
Resim 3.42. a) Spuybroek D Kulesi; prototip yoluyla oluşturulan bilginin dijital modele aktarılması, b) Model sütrüktürünün sonlu elemanlar yöntemi ile dijital olarak analiz edilişi.....	85
Resim 3.43. a) Spuybroek D Kulesi; CNC kesim ile oluşturulan parçalar, b) Parçaların CAM tekniği ile üretilmesi.....	86

Resim	Sayfa
Resim 3.44. Airspace, Thom Faulders tarafından 2007’de tasarlanan cephe.....	87
Resim 3.45. C-Space, Alan Dempsey ve Alvin Huang	88
Resim 3.46. BLOOM	88
Resim 3.47. a) Hygroscope projesinin bilgisayar ortamındaki parametrik modeli, b) Hygroscope, Achim Menges	89
Resim 3.48. ICD/ITKE Research Pavillion, 2012	90
Resim 3.49. Akıllı Malzemeler.....	90
Resim 3.50. Egg of winds, gündüz ve gece görünümü.....	92
Resim 3.51. Mark Goulthorpe ve Decoi'nin tasarladığı Hyposurface	93
Resim 3.52. Doğanın farklı bilim dallarına model oluşturması.....	95
Resim 3.53. Virtual house, FOA.....	97
Resim 3.54. Pavilyon projesi, proje gelişim aşamaları.....	97
Resim 3.55. Institut du Monde Arabe ,Jean Nouvel	102
Resim 3.56. Arduino panoları	102
Resim 3.57. Media TIC binası, Enric Ruiz-Geli.....	103
Resim 3.58. Aegis Hyposurface prototipi.....	103
Resim 3.59. Aegis Hyposurface prototipi yüzey hareketleri	104
Resim 4.1. Shanghai Tower, Gensler.....	105
Resim 4.2. Rüzgâr tüneli çalışması ölçek ve rotasyon modelleri	106
Resim 4.3. Kulenin 1-9 zonları arasındaki kat planları	107
Resim 4.4. Shanghai Kulesi zonlar	108
Resim 4.5. a) Kulenin dış görünümü, b) Cephe sistemi, c) Atrium.....	109
Resim 4.6. Kule bölgeleri ve güçlendirilmiş katlar	110
Resim 4.7. Şanghai Kulesi strüktür elemanları	110
Resim 4.8. Kulenin dış mega çerçeve sistemi	111

Resim	Sayfa
Resim 4.9. Shanghai Kulesi Strüktürel katmanları	111
Resim 4.10. 1:500 ve 1:85 model üzerinde rüzgâr testleri	112
Resim 4.11. Shanghai Kulesi inşasına ait resimler	113
Resim 4.12. Metropol Parasol, Mayer	114
Resim 4.13. Metropol Parasol plan ve kesiti	115
Resim 4.14. Şemsiyelerin temel konturları.....	115
Resim 4.15. Metropol Parasol ahşap yapının Rhino-Modeli	116
Resim 4.16. Metropol Parasol hibrid strüktürü	116
Resim 4.17. Çelik köşegenleri ve gözlem yürüyüş yolları gösteren Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis) modeli	117
Resim 4.18. Köşegenlerin farklı yükler altında eğilme ve gerilme analizleri	118
Resim 4.19. Verilen güçlerle eşleşen çeşitli genişlikteki LVL kirişler	119
Resim 4.20. FFM 3D-inşaat modeli izometrik görünüşü	120
Resim 4.21. Üretim dizisi ve montaj	121
Resim 4.22. Panel kesme kalıbı	122
Resim 4.23. Platform ve iskele manzarası	122
Resim 4.24. Louvre Abu Dhabi Müzesi, Foster ortakları	123
Resim 4.25. Kubbeyi oluşturan çerçeveler ve bu çerçeveleri kaplayan alüminyum üçgenler.....	124
Resim 4.26. Çatının karmaşık kompozisyon gösteren bir model ve yapım aşamasında kubbe.....	125
Resim 4.27. Aynı desenli birkaç farklı katmanların farklı rotasyonlarla üst üste gelerek kubbeyi oluşturmaları	125
Resim 4.28. Kubbenin optimizasyon aşaması	125
Resim 4.29. Foundation Louis Vuitton, Gehry	126
Resim 4.30. FLV tasarım aşamaları	127

Resim	Sayfa
Resim 4.31. Hangzhou Tennis Center, NBBJ.....	130
Resim 4.32. Dış kabuğun geometrisini tanımlamak için algoritma.....	133
Resim 4.33. Dış zarf üzerine farklılaşmalar	134
Resim 4.34. Parametrik strüktür tasarım modeli	135
Resim 4.35. Kafes giriş merkez modeline ağırlık yüklemesini görselleştirmek için Kangaroo fizik motoru kullanımı	136
Resim 4.36. Yüzey analizi ve yapraklı kafes giriş formunun kaplaması	136
Resim 4.37. Grasshopper da oluşturulan geometriler ile Revit Architecture'da oluşturulan ortografik çizimler kombinasyonu kullanılarak oluşturulan belge örnekleri	137

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

m	metre
cm	santimetre
mm	milimetre

Açıklamalar

Kısaltmalar

Açıklamalar

3DPRINT	Üç Boyutlu Baskı
BIM	Yapı Bilgi Modellemesi – YBM
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım - BDT
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim – BDÜ
CATIA	CNEX isimli bir program dahilinde sürekli geliştirilen yeni nesil bir CAD/CAM/CAE sistemi
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
DSS	Karar Destek Sistemleri- KDS
FDM	Eritmeli Modelleyiciler
GA	Genetik Algoritmalar
ISDN	Entegre hizmetler dijital ağı da dahil olmak üzere telekomünikasyon
ICD/ITKE	Institute for Computational Design / Institute of Building Structures & Structural Design
LOM	Lamine Nesne Üreteçleri
MAM	Çok Eksenli Freze Gereçleri
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline
RP	Rapid Prototyping (Hızlı Prototipleme)
SLA	Stereo Litografi

1. GİRİŞ

Problemin tanımı

Dijital çağ olarak adlandırılan günümüzde yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmeler, tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimarlık disiplininde de -kavramsal düzeyden son ürüne kadar tüm aşamalarda- çalışma/üretim yöntemlerini yoğun bir biçimde etkilemektedir. Doğa bilimleri de bilgi teknolojileri aracılığıyla sunduğu disiplinler arası ilişkiler ağıyla mimari tasarım için veri sunmaya ve yeni oluşumlara yol açmaktadır. Sayısal araçlar (*computational tools*) mimarlar ve ilgili disiplinlerin aktörleri arasında daha etkin bir işbirliği kurmakta; bu sayede ortaya çıkan yeni tasarım teknikleri, malzemeler, üretim yöntemleri ve yapı sistemleri ise mimarlıkta yeni nesil mimarilerin habercisi olmaktadır.

Hızla gelişmekte olan bilgisayar destekli tasarım (CAD) / bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojileri, kompleks algoritma bilgisi, benzeşim, nanoteknoloji, genetik, robotik gibi pek çok alandaki gelişmeler, mimari tasarımda sayısal araçların kullanımını artırırken, sayısal düşünme biçimlerini mimariyle bütünleştirmeye başlamış ve sonuç olarak mimarlıkta bir paradigma değişimini beraberinde getirmiştir. İlk aşamada çizim ve temsil ortamı aracı olan bu teknolojiler, 21. yüzyıl mimarlığında tasarımda düşünmeye ve üretime katkı sağlayan araçlara dönüşürken, önceki devrimsel değişimlerden farklı olarak bir bütün halinde, sonuç ürüne yönelik "sürecin tasarımı" fikrini gündeme getirmiştir.. Önceki dönemlere göre üretimi neredeyse imkansız olan karmaşık biçimlerin tasarlanıp üretilmesinin yanı sıra bu süreçte malzemedен, temsile, karar destek sistemlerinden, işletim/kullanım/bakım-onarım gibi geniş bir alanda etki ederek yeni bir otomasyon sistemi de oluşturulmaya başlanmıştır.

Bu bağlamda bu tez çalışmasında, 20. yüzyıl sonlarından başlayarak günümüze kadar olan süreçte mimarlık disiplininde paradigmatik değişimlere yol açan teknolojik gelişmelerin neler olduğu sorusunun cevapları araştırılmış ve bu gelişmelere bağlı olarak tasarım ve üretim yöntemlerinde yaşanan kırılma noktaları tespit edilmeye çalışılarak örnekler ışığında tartışılmıştır.

Literatür araştırması

Dünyada oldukça ciddi araştırma ve çalışmalar yapılan sayısal mimarlık alanında ülkemizde de özellikle son yıllarda oldukça önemli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Akademik araştırmalar incelendiğinde sayısal mimarlığın farklı yönlerden ele alındığı görülmektedir.

2002 yılında Sema Öz tarafından yapılan, “Teknolojinin Mimari Ürüne Yansımaları Üzerine Bir Araştırma”, isimli yüksek lisans tezinde erken modernizm için bir metafor olan makine imajının yirminci yüzyıl sonunda yerini bilgisayar teknolojisinin getirdiği karmaşık enformasyon ağlarının soyut imajına bırakmakta olduğu vurgulanmıştır. Mimarlık ortamında bilim ve teknoloji gelişimi ile ortaya çıkan makine kavramının zamana bağlı farklı değişimleri incelenmiştir.

2005 yılında Hande Köksal tarafından yapılan, “Dijital Mimarlıkta Tasarım ve Üretim Süreci”, adlı yüksek lisans tezinde tasarım ortamının ve sonuç ürünün ortaya çıkma sürecinde yaşanan değişimlerin ana kaynağının dijital gelişmeler olduğu vurgulanmış, dijital teknoloji yöntem ve teknikleri ile tasarımcı ve ürünün nasıl değiştiği incelenmiştir.

2007 yılında Şule Topçuoğlu tarafından ”Sayısal Tasarım Teknolojilerinde Kullanılan Üç Boyutlu Donanımların Mimarlık Eğitime Katkıları”, isimli yüksek lisans tezinde geleneksel tasarım sürecinde bir “araç” olarak görülen donanımlar, günümüzde bir tasarım ortamı olarak kullanıldığına vurgu yapılarak, sayısal tasarım teknolojilerinde kullanılan üç boyutlu donanımlar araştırılmış ve bu donanımların mimarlık alanına ve mimarlık eğitime katkıları incelenmiştir.

2009 yılında Ahmet Kutsal tarafından yapılan, ”Dijital Tasarım Ve Üretim Tekniklerinin Mimaride Kullanılması”, adlı yüksek lisans tezinde dijital tasarım ve üretim yöntemlerinin, mimarlık pratiğine entegrasyonu ile birlikte değişen tasarım ve üretim süreçlerine vurgu yapmaktadır. Dijital teknolojilerin tasarım ve üretim amaçlı kullanımlarıyla geleneksel tasarım sürecinden farklı yanlarının ortaya çıkmasının sağlanması hedeflenmiştir.

2009 yılında Nilay Terzi tarafından yapılan ”Mimarlıkta Hesaplamalı Teknolojiler ve Geometri” isimli yüksek lisans tezinde, tarih içinde geometri kullanımındaki değişimin

mimari tasarıma etkisi araştırılmış ve mimarideki bu geometrik değişimler paralelinde hesaplamalı teknolojilerin ilerlemesiyle gelişen dinamik geometri anlayışının önemi vurgulanmıştır. Ayrıca bu ilişkisel olarak pek çok değişkenin dahil olabildiği tasarım sürecinde geometrik kurgunun önemi üzerinde durulmuş ve bu bağlamda gündeme gelen üretken geometrik sistemlerin hesaplamalı tasarım ve üretim süreçlerine etkisi tartışılmıştır.

2011 yılında Onur Özden tarafından yapılan "Sayısal Mimarlık Uygulamalarının Yapım Süreçlerinin İrdelenmesi" adlı yüksek lisans tezinde, sayısal tasarım / üretim teknolojilerinin mimari yapım sürecinde yarattığı değişim araştırılmış, sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin mimari yapım sürecindeki kullanımlarının yapı form, strüktür ve malzeme kullanımında yarattığı potansiyeller ve dönüşümler irdelenmiştir.

2011 yılında Hamide Yiğit tarafından yapılan "Mimarlıkta Dijital Ortamın Getirdiği Tektonik Değişim Ve Formdaki Yansımaları", isimli yüksek lisans tezinde dijital ortamın tasarım anlayışını bütün aşamalarıyla beraber etkilediği öne sürülerek, dijital ortamın mimariye entegre olmasıyla sağladığı olanakların, düşünme biçimi, araçlar, yöntemler, tasarım süreci, tasarım pratiği ve tasarlama biçiminde yani bir bütün olarak arkitektöniğinde getirdiği yenilikler ve bunun sonucunda formda meydana gelen dönüşümü ve yansımalar araştırılmıştır.

Yapılan literatür çalışmasında görülmüştür ki konuya ilişkin özellikle son on yıldır yapılan pek çok çalışma vardır. Sayısal mimarlık alanında her geçen gün yeni ve deneysel araştırmaların yapıldığı ve bu araştırmaların mimarlığa yeni perspektifler kazandıracağı açıktır. En son gelişmelerin araştırılması ve en yenilikçi örneklerin analiz edilmesi adına tezin literatüre katkıda bulunması hedeflenmiştir.

Araştırmanın önemi

Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, tasarım felsefesinin yeni yaklaşım ve düşüncelerle zenginleşmesini sağlamanın yanı sıra, farklı olasılıklara varlık alanı tanınması açısından da önemlidir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi ile yeni ilişki ve temsil biçimlerinin ortaya çıkması, karmaşık hesaplama teknikleri ile yeni üretim modellerinin geliştirilmesi gibi araştırma alanları, mimari tasarımın yeni kavramlar eşliğinde yeni olanaklar türeten

karakterinin de bir göstergesidir. Bu bağlamda mimari tasarım pratiğine yeni sözcük, düşünce, bilgi ve teknolojilerin katılımı, tasarım bileşenlerinin çeşitliliğini ve aynı zamanda karmaşıklığını artırmaktadır. Mimari tasarım özelinde düşünüldüğünde bilgi ve teknoloji paylaşımının beraberinde getirdiği olanakların tasarım ve üretim yaklaşımlarını tetiklediği görülmektedir. Bu noktada sayısal teknolojilerin ve araçların sunduğu olanakların ve bu olanakların getirdiği/getireceği sonuçların araştırılması, belirtilmesi, analiz edilmesi ve mimarlık ortamına sunulması önem taşımaktadır.

Araştırmanın amacı

Çalışmada, önceki paragraflarda belirtilen çerçevede; özellikle sayısal mimarlıkta tasarım ve üretim üzerine yoğunlaşmak başta olmak üzere, 21.yüzyılda teknolojinin mimari tasarım ve üretim ortamlarında son dönemdeki etkisini ortaya koymak ve gelecekteki potansiyellerini araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla sayısal tasarım olanaklarının mimari tasarımdan üretime kadar sürece nasıl yansıdığı ve mimarlık nesnesini nasıl etkilediği gibi sorulara cevap aranmıştır.

Varsayımlar/Sınırlılıklar

Araştırmanın soruları, “sayısal mimarlığın” tasarımdan üretime uzanan sürekli/kesintisiz süreçle daha önce açığa çıkmamış tektonik potansiyeli tetiklediği ve mimari ile teknoloji arasında daha yakın ilişkiler kurduğu varsayımı etrafında şekillenmektedir.

Çalışmada; yakın zamanda sayısal mimarlıkta gündemde olan yenilikçi düşünceler, sayısal tasarım–üretim araç/yöntem/ortamları, biçim, geometri, temsil ve malzeme araştırmaları konuları ele alınmış; sayısal teknoloji ve karmaşık geometrilerin kullanımıyla tasarım ve üretimde öncül örneklerine tanık olduğumuz "yenilikçi tektoniklerin" yakın geleceği şekillendirecek olası potansiyelleri araştırılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araştırma problemi tanımlanarak amacı, kapsamı ve yöntemi açıklanmıştır. İkinci bölümde teknoloji kavramı ile mimarlık-teknoloji ilişkisindeki kırılma noktaları araştırılmış mekanın ve onu biçimlendiren strüktürün teknolojik boyutu ele alınmıştır. Üçüncü bölümde çalışmanın odak noktası olan sayısal mimarlık kavramı, bu kavramının temelinde olan ve sayısal ortamın oluşmasını/gelişmesini

sağlayan bilgi teknolojilerinin gelişimi ve zaman içinde mimarlık pratiğinde tasarım/üretim süreçlerinde kullanımlarıyla ilgili tarihsel gelişime yer verilmiştir. Ardından sayısal ortamın mimari yapı tasarım yöntemleri ve sayısal üretim teknolojileri başta olmak üzere dijital teknoloji kullanımının geometriden, forma; biçimden, strüktüre; optimizasyondan malzemeye mimariye yansımaları geniş bir perspektifte ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde ise bir önceki bölümde açıklanan sayısal teknolojilerin kullanılmasıyla üretilen yapı örnekleri üzerinden mimarlık pratiğindeki dönüştürücü etkileri incelenerek, tasarımla üretim arasındaki yeni ilişki irdelenmiştir. Sonuçlar bölümünde sayısal tasarım-üretim teknolojilerinin mimari tasarım sürecindeki kullanımlarının, mimari kavramlarda, tasarıma yaklaşımda, mimari üretimde ve sonuç ürün olan mimari nesne üzerinde yarattığı paradigmatik dönüşümler tartışılmıştır.

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



2. MİMARLIK VE TEKNOLOJİ İLİŞKİSİ

İnsanlık, toplayıcılık ve avcılıkla geçen ilkel dönemler sonrasında; Tarım Dönemi, Sanayi Devrimi ve Bilgi Çağı Dönemi olmak üzere üç büyük devrimsel süreçten geçmiştir. Göçebe hayattan yerleşik düzene geçiş ve tarım ile uğraşın başlaması bu süreçlerin ilki ve 18. Yüzyılda yaşanan sanayi devrimi ise ikincisi olarak kabul edilmektedir. 20. Yüzyılda yaşanan bilgi toplumuna geçiş dönemi ise kuşkusuz ki en hızlı gelişim gösteren süreçtir. Bu süreçler insanların sadece yaşayışlarını değil; ekonomik, politik, kültürel, bilimsel, ideolojik süreçler ile birlikte ortaya konan mimarlık eserlerini de etkilemiştir/etkilemektedir. Gündelik hayatın bin yıllar içinde geçirdiği evrimin temel parametresi ‘teknoloji’ başlığı altında ifade edilebilir. Teknolojinin gelişimi ile yeni bilgiler/buluşlar günlük hayata doğrudan etki etmekte ve zamanla değişim/gelişim gerçekleşmektedir.

20.yüzyıldaki bilgi toplumuna geçiş dönemi, bilgisayar teknolojilerinin gelişimine ortam sağlamış ve bilgisayarlı işletim sistemleri ile oldukça geniş bir kullanım alanı doğmuştur. Yeni malzemeler, yapım teknolojileri, taşıyıcı sistemler, yapı fiziği alanındaki gelişmeler, ekolojik ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımları teknolojinin gelişimi ile ortaya çıkarken; bilgisayarın gelişimi ile tasarım, modelleme ve analiz metotları ile mimaride de yeni kavram, içerik ve biçimlenme anlayışları ortaya çıkmıştır.

Mimarlık tarihi boyunca “malzeme ve yapım teknolojisi”, mimari eserin tasarımında ve yapımında önemli etkenlerden biri olmuştur. Bilim ve teknolojinin ön plana çıkmasının bir nedeni olarak 18. yüzyılda başlayan rasyonel ve pozitivist düşünce biçimi görülebilir. Aynı zamanda endüstrileşme süreci ve yeni yapı malzemelerinin ve bunlara uygun yapım teknolojilerinin geliştirilmesi ile mimarlık alanı çok önemli ve daha önce yaşanmamış değişimlere sahne olmuştur. Bu gelişmeler mimarlık alanında, “teknolojinin” hem tasarım aşamasında hem de uygulama sürecinde öne çıkarılması ile sonuçlanmıştır. Teknoloji-mimarlık ile ilişkisinin ön plana çıkmasının yarattığı tartışmalar günümüzde de tüm boyutları ile artarak devam etmektedir.

2.1.Teknoloji Kavramı ve Kökeni

Teknoloji kelimesi 17.yüzyılda “sanatların sistematik araştırması ya da, belli bir sanatın terminolojisini” ifade edecek şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Kelime, sistematik davranış, araştırma veya sanatsal üretimin bilgisi, bir sanatın sistematik uygulaması anlamına gelen Grek “*tekhнологia*” ve Latince ’de “*technologia*”dan gelmektedir (Chandler, 2016). Kelimenin kökü, Grek’te “... ‘*tekhne*’ yalnızca el becerisine dayalı etkinlikler ve hüneler için değil, aynı zamanda zihin sanatları ve güzel sanatlar için de kullanılan bir terimdir”. “*Logia*” eki, eklendiği konuda sistematik kuram veya doktrin anlamına gelmektedir (Atılğan, 2006). Teknoloji terimi 18. yüzyılın erken dönemlerinde “özellikle mekanik olan sanatların tanımı” için kullanılmaktayken 19. yüzyıl ortalarında “pratik sanatlar” anlamında kullanılmaya başlanmıştır. Bilim kavramının özel bir alan, bilgi olarak yerleşmeye başlaması ile teknoloji, bilimin pratik uygulaması şeklinde uyarlanmıştır (Williams, 1976; Atılğan, 2006).

Teknolojinin evrensel olarak kabul edilmiş bir tanımı bulunmamaktadır. Ancak bu konuda çalışan uzmanlar (Freeman,1974; Gendron, 1977; Jequirer ve Walter, 1983; Szyliowicz, 1981) teknolojiyi önceden belirlenmiş birtakım sonuçlara ulaşmayı sağlayacak bir uygulama olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşıma göre teknoloji, makineler ve araçlara ilaveten her türlü yöntemi, çalışmayı ve ayrıca organizasyon veya yönetim düzenini kapsamaktadır. Teknoloji, bir işin nasıl yapılabildiği hakkında genel teorik ve pratik bilgi (*social knowledge*), objeler (*goods*), üretim tekniği (*processes*) ve çalışanların ve işçilerin bilgi-beceri (*know-how*) olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır (Cohen, 2004). Literatürde teknolojiye ilişkin olarak yer alan tanımlardan bazıları şunlardır;

- Teknoloji, insanlar, materyaller, fiziksel ve bilgi düzeyindeki süreçler, üretim alanları, ekipman ve araçları kapsamaktadır (Burgelman ve Maidique, 1988).
- Teknoloji, insanların doğayı kendi tüketimleri için yararlı araçlara dönüştürme yetenekleridir (Storper ve Walker, 1989).
- Teknoloji, belli bir zaman içerisinde bir görevi yerine getirmek için mevcut olan üretim alanları, makineler, araçlar, yönergeler ve bunları kullanılabilir hale getirecek olan akıldır (Woodward, 1970).

- Teknoloji, aletler veya mekanik araçlar yardımıyla veya aletler veya mekanik araçlar olmaksızın bir kişinin bir obje üzerinde değişiklik yapmak için gerçekleştirdiği bir eylemdir (Perrow,1967; Erbil, 2010).
- Malzemelerin işlenerek ürüne dönüşmesini sağlayan teknikler veya ürünler arası ilişkilerin kuruluşundaki teknikler değildir; bütün bunların arkasındaki kurgulayan tasarım-üretim-kullanım örgütlenmesi (yapım ve işletim) anlayışıdır. Mimari ise yapı tasarlama ve yapma sanat ve teknolojilerinin bir sentezidir (Pamir, 2001).

Tüm bu açıklamalar doğrultusunda teknoloji, üretim için gerekli yöntem ve tekniklerin kullanılarak malzeme, makina ve işgücü organizasyonunun üretime dönüştüğü bütün olarak tanımlanabilir.

Teknoloji tarihinin insanlık tarihi ile başladığını söylemek yanlış olmayacaktır. İlkel dönemlerde silah, araç ve gereçlerin yapımıyla sahneye çıkan teknoloji, geçirdiği gelişme ve değişmelerle toplumların gelişmişlik düzeyini etkilemiş, hatta toplumlar üzerinde tanımlayıcı bir rol oynamıştır. İlkel toplum, Sanayi toplumu, Teknolojik toplum gibi toplumsal tanımlamalarda niteleyici olmuştur. Ancak, asıl teknolojik gelişmenin Sanayi Devrimi ve onu takip eden Bilgi Çağı Dönemi'nde gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Teknik ifadesiyle Sanayi devrimine kadar bilimden önde giden teknoloji, bu dönemden sonra bilime dayalı teknolojiler olarak gündeme gelmiştir.

Rönesans'ın ardından akılcı düşüncenin, bilimsel araştırma metotlarının ve deneysel bilimin gelişimi, felsefe, bilim ve sanattaki büyük değişim ve gelişimi de ortaya çıkarmıştır. Bu değişim ve gelişim insanoğlunun yerleşik düzene geçişinden sonraki ikinci büyük devrim olan Sanayi Devrimi'nin gerçekleşmesini sağlamıştır. Teknolojinin gelişimi, yeni buluşların üretim alanında hayata geçirilmesi, enerji kaynakları ve kullanımındaki yenilikler, makineleşen üretimde sosyal, ekonomik ve teknolojik yönden hızlı bir değişim sürecini de başlatmıştır. Metalürjideki gelişmeler sonucu ilk yüksek fırınlarda çelik üretime geçilmiş, yeni kimyasalların bulunuşu ve büyük ölçekli üretimi gerçekleşmiş, çimento endüstrisinde ve beton teknolojisinde büyük gelişmeler sağlanmıştır. Yapı malzemeleri ve boyutları çeşitlenmiş, teknolojisi gelişmiştir (Yurttaş, 2009).

Dünya tarihinde ise sanayi devrimlerinin üretim biçimlerinde ve buna bağlı olarak mimaride büyük değişimler yarattığı görülmektedir. Williams (1989), tek bir “sanayi

devriminden değil, aynı zamanda ikinci ve üçüncü sanayi devriminden söz edilmesi gerektiğini savunmaktadır. Ona göre, ilk sanayi devrimi, buhar gücünün uygulanmaya başlanmasıyla 1780 ile 1840 yılları arasında gerçekleşmiştir. 1860 ve 1910 yılları arasındaki ikinci sanayi devrimi, petrol ve elektrik gibi yeni enerji biçimlerinin ortaya çıkışıyla gelişmiştir. Bu sınıflandırmaya göre üçüncü sanayi devrimi 1950'lerden sonra ortaya çıkar ve temelinde nükleer enerji bulunmaktadır. Yine Williams'a göre üçüncü sanayi devrimi, elektronik sistemlerin (bilgisayarlar, otomatikleşme, mikroçipler vb.) daha geniş üretim ve denetim alanlarına uygulanması sonucunda oluşmuştur (Williams, 1989).

İkinci Dünya Savaşı sonunda ortaya çıkan konut ihtiyacı ve bunun sonucunda devletlerin halkın konut ihtiyacını karşılama girişimleri, konut yapımındaki sürenin azaltılması, işçilik maliyetlerinin azaltılması ve yatırımda ekonomi sağlanması gibi konuları gündeme getirmiştir. Hasol'a göre tüm bu dönüşümler, endüstrileşmiş yapının şu üç özelliği ile olanaklı kılınabilmektedir:

- Makinalaşma: Geleneksele göre yapının her aşamasının (imalat, taşıma ve montaj) daha fazla makina ile yürütülmesidir. Böylece yatırımların artması ve iş gücünün azalması mümkün olmakta ve yeni pazarların yaratılması söz konusu olmaktadır.
- Rasyonelleşme: Yapının, planlanmasında ve uygulamasında görülür. Yapı tasarımının ve uygulamasının bütün ayrıntılarıyla birlikte önceden değerlendirilmiş olması; işçilerin, işi kendi seçimlerine bırakmayacak şekilde yetiştirilmeleridir.
- Prefabrikasyon: Şantiye çalışmalarının olanaklar ölçüsünde fabrika çalışması şekline getirilmesi ve önceden hazırlanmış yapı elemanlarının bir araya getirilmesi suretiyle inşaat şeklidir (Hasol, 2016).

İkinci Dünya Savaşı sonrasında girilen süreçte temel bilimsel çalışmalar artarak hız kazanmış, elektrik ve mekanik alanda- transistörün icadı ve ilk bilgisayar çalışmaları gibi- büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra biyoloji ve tıp alanında bilimsel gelişmeler artarken malzeme teknolojisinde öncü araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. 1970'li yıllardan itibaren teknolojik uygulamalar ve standardizasyon çalışmalarıyla ağırlık kazanmıştır. Bilgisayar modelleri ve kullanım alanları çoğalmış, endüstriyel robotlar, yeni malzeme ve malzeme sistemleri konusunda yeni denemeler dünya çapında yayılmaya başlamıştır. 1980'li yıllardan itibaren ise hemen her alandaki bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ticarileşme süreci hız kazanmıştır. Bilgisayarların küçülmesi ve gündelik hayata hızla girmesi, yeni iletişim kanalları ve ortamları oluşturarak globalleşme sürecine

ivme kazandırmıştır. Sonuçta, endüstri devrimi ile başlayan seri üretim mantığının yerini; bilişim devrimi sonrası kitlesel bireyselleştirme biçiminde karşımıza çıkan üretilere bırakmıştır.

2.2. Mimari Mekân ve Strüktürün Teknolojik Boyutu

İlkel insanın barındığı mağaralar ve yerleşik yaşama geçtiğinde oluşturduğu ahşap kulübelere, kerpiç, taş yapılara, çelik ve cam gökdelenlerden günümüzün sanal mekan ve siber uzay kavramlarına kadar teknoloji, mekânın oluşumuna sadece malzeme, strüktür ve yapım teknikleriyle değil, tasarım ortam ve araçlarını da içine alan geniş bir çerçevede etki etmektedir. Bu doğrultuda bireysel ve toplumsal gereksinimlerle şekillenen işlevsel, strüktürel ve formal yönelimleri ortaya çıkaran ve gelişmesini sağlayan teknoloji, sunduğu olanaklarla mekânın oluşumunda etkin bir araç niteliğindedir.

Günümüzde gelişen teknoloji, yapım yöntemleri ve tasarım araçları ile de mimarın gün geçtikçe uzmanlaşarak "mimar-mühendis" rolüne bürünmeye başladığına dikkat çeken Tanyeli'ye (2004) göre mimarlık ve mekân kavramları Vitruvius'un "sağlamlık, gereklilik ve güzellik" tanımından bu yana Aydınlanma Dönemi ve Endüstri Devrimi ile paralel yaşanan toplumsal değişimlerle birlikte sürekli konuşulup tartışılmaktadır. İşlev-form ilişkisi ve makine düşüncesinin etkisinde başka bir mimarlık anlayışı, modernin ortaya çıkışıyla da yorumlanmaya, esnemeye devam etmektedir. İletişim ve dijital çağ olarak tanımlanan günümüzde de, bilişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, tasarımdan uygulamaya giden süreçteki yöntemlerin çeşitlenmesiyle mimarlık ve mekân kavramları değişmeyi/genleşmeyi sürdürmektedir. Tüm bunlarla eşzamanlı olarak mimar da teknolojik gelişmeleri gündeminde tutmaya ve mimarlık mesleği bilgisini çeşitlendirmeye çalışmaktadır. Öklid geometrisinden topografik olana, modülerden parametrik olana geçerken yöntemlerini, yerle olan ilişkisini, araçlarını ve malzemelerini eleştirmekte, denemekte ve yeniden kurgulamaktadır (Tanyeli, 2004).

İnsanlığın varoluşundan beri form, malzeme ve fikir olarak önemli değişikliklere uğrayan mekân, ana işlevini kaybetmeden gelişime her zaman açık fiziksel bir yapıdır. Çağımızda bilgi ve teknolojilerinin yaşamın doğal bir parçası olmaya başlamasından beri mekân kavramı köklü değişiklikler ile karşı karşıya kalmıştır. Siber uzay, hiper yüzey, sanal ortam ve dijital ortamda tasarım yöntemleri ile mekân yeni anlamları ve farklılıkları içinde

bulunduğu ve yaşamın her anında varoluşun bir kanıtı olarak toplumu çevreleyen bir kavramdır. Her türlü kültür, sanat, haberleşme, düşünce ve fikir alışverişinde bulunma ve temel ihtiyaçları karşılamak gibi birçok öğeyi barındıran bütünsel bir kavramdır. Bilişim çağında teknolojinin kat ettiği adımlar mekânın içinde akıllı ve programlanabilir tasarımlar ve mimari deneyimler ile algıların mekânın özelliklerini dört duvardan oluşmadığını gözler önüne sermektedir. Simbiyotik ilişkiler mekân içerisinde de geçerli olma yolunda önemli adımlar kat etmiştir. İhtiyaçların ve konforun bireyin özgürlüğü ile doğru orantılı olarak artması geçmişte mekânın verdiği anlamlardan farklı olarak günümüz mekânlarının anlamlarının gelişmesinde önemli rol oynamıştır (Türkan, 2005).

Sarıgül'e (2008) göre mekânın kurgusunda iki temel değişken hep söz konusu olagelmıştır. Bunlardan ilki, kullanım amacını, gereksinimleri belirleyen, bir anlamda kültürel kategoride değerlendirilebilen yeme-içme, yatma, çalışma gibi eylemlere ilişkin donanımlar, bir diğeri de bu donanım ve eylemleri içeren mekânı nesnelleştiren, onu düşeyde ve yatayda sınırlayan kabuktur. Teknolojik içerikli bu iki değişkenden ilki, artık mekânın sınırlarının ve geometrisinin belirlenmesinde etkindir. İkincisiyse bu geometrinin tektonik karakteriyle tanımlanmakta ve toplumsal – kültürel ve teknolojik gelişime paralel farklı bir içerik taşımaktadır. Mekânın tanımlanması ya da okunmasında, mekâna ilişkin geometri ve onun özellikleri son derece önemlidir. Geometrik ifade içerisinde yer alan mekânın içeriğinin kültürel ve simgesel değerlerle bezenmesi mekânın şiirselliğinin çıkış noktası olup, geometrik ifadenin çeperlerinde belirlemektedir. Bu çeper, işlev, malzeme ve yapısal niteliklerle nesnellik kazanmaktadır. Bu üç kavram ve nesnel boyut, onun tektonik özelliklerini yansıtmaktadır (Sarıgül, 2008).

Hight (2007), teknoloji ile mimarlık nesnesinin kurduğu ilişkiyi üç başlıkta incelemektedir:

1. Richard Rogers, Renzo Piano'nun Pompidou Merkezi projesinde, teknolojinin sunduğu araçları ve kullandığı nesneleri saklamak yerine; bina strüktürünü kullanıcısı tarafından gözlemlenen, yönlendirilen, kullanıcıya farklı sosyal deneyimler sunabilen servis sağlayıcı olarak tasarlamıştır. Mimarlık nesnesinin bu yeni teknolojileri barındırma, servis sağlayıcısı olma hali (örneğin binadaki etkin enerji sağlanması, kullanımı) ve var oluşu; çevresindeki/bağlamındaki geleneksel sınırlardan, dokudan, coğrafyadan, fiziksel çevre verilerinden bağımsız hale gelmesini sağlamıştır. Burada sözü geçen mimarlık nesnesinin durumu, sonrasında enerji etkin, akıllı sistemler ve bilgisayarlar

tarafından uzaktan kontrol edilebilen binalardan, teknolojik araçlarla donanmış etkileşimli binalara uzanan bir süreç yayılmıştır.

2. İkinci ilişki türü olarak Hight, ‘yüzey mimarlığı’ (*surface architecture*) kavramına dikkat çekmektedir. Mimarlık nesnesinin, bir teknolojik organizma olarak, esnek ve duyarlı çepere sahip, geçirgen ‘derisinin’, teknoloji ile donanmış, tasarlanmış durumudur. Nesnenin gittikçe daha fazla teknoloji donanımlarına sahip olarak, bir mekânın bir sistem gereci haline dönüşmeye başladığı nokta olarak açıklanabilir. Dönüştüğü bu durumla mimarlık nesnesinin, teknoloji ile ‘var olma hali’, simbiyotik yaklaşımla benzetim yapılabilir.
3. Üçüncü olarak, çeperin-membranın yoğunlaşarak bilgi ve medya ara yüzü haline gelmesidir. Özellikle Las Vegas, New York – Times Meydanı, Tokyo, Londra – Camden Meydanı’nda bulunan bina cepheleri grubun örnekleridir. Mimarlık nesnesinin koza, iskele, ekran ile hibritlenmesi sonucunda ortaya çıkan, mimarlık üretimidir.

Tüm bu bilgiler ışığında mimarlıkta mekan-strüktür ilişkisinin teknoloji ile olan güçlü bağını kavramak mümkün olmaktadır.

2.2.1. Mimari tektoniğin öncülleri

Tektonik kelimesi, eski Yunanca “tekton” kelimesinden gelmektedir ve inşa eden (*builder*) anlamına gelir. Kelimenin anlamı, bir yapının gerçekleştirilebilmesine yönelik tüm yolları, araçları ve sonucu belirtir. Bir mimari yapının tektonik ifadesi, onun taşıyıcısı, malzemesi ve konstrüksiyonun (yapım şekli) bütünlüğünden, yapısal özelliklerinin tümünden gelmektedir (Liu, 2006).

Klasik dönemde Vitruvius’un üç ana bileşenden oluşan mimari normu – fayda, sağlamlık ve güzellik – tektonik bütünlük üzerine yazılmış tarihteki ilk teoridir. Hartoonian’a göre “bu normların belirlediği mimari düzenler, stiller ve tipolojiler sadece estetik birer kategori değildir; aynı zamanda inşa etmenin “*logos*” unu da vurgulamaktadır” (Hartoonian, 1994).

19.yüzyıla kadar fazla bir gelişim gösteremeyen “tektonik” kavramı çağdaş dönemde ise ilk defa Alman yazar Karl Müller tarafından 1830’larda Sanat Arkeolojisinin El Kitabı (*Handbook der Archaeologie der Kunst*) adlı eserinde “parçaların bir araya getirilmesi ile ilgili sanatsal bir eylem” olarak tanımlanan tektonik kavramı insanların bir yandan güncel

kullanımlarına diğer yandan sanat fikrine ve duygulara uyumlarına göre biçimlendirdiği ve geliştirdiği kap, vazo, konut gibi bir dizi sanat formuna işaret etmektedir (Frampton, 1995). Daha sonra tektonik kavramı Karl Bötticher tarafından “bir binayı biçimlendiren aktivite” olarak tanımlanmıştır. Karl Bötticher, 1844-1852 tarihleri arasında yazdığı Helen’lerin Tektoniği (*Die Tektonik der Hellenen*) adlı eserinde kernform (çekirdek biçim) ve kunstform (sanat biçimi) arasındaki ayrıma vurgu yapmaktadır. Kernform, taşıyıcı sistemdeki çekirdektir ve kunstform da bu çekirdeğin dekoratif kaplamasıdır ki, kaplama (bezeme) taşıyıcı sistemin yerleşmiş kültür geleneğini temsil ve sembolize etme görevindedir (Frampton, 1995).

Mitchell Schwarzer 1993 yılında yayınladığı "*Ontology & Representation in Karl Bötticher's Theory of Tectonics*" isimli çalışmasında Bötticher’in mimari tektonik kuramlarını incelemiş ve Bötticher’in arkitektoniği, çok basitçe, bir binayı biçimlendiren eylem olarak tanımladığına dikkat çekmiştir. Önceki mimarlık kuramlarından farklı olarak, Bötticher tektoniği mimarlığı binayı oluşturan süreçler üzerinden incelemiştir. Mimarlara, tasarlamaya bir model ile başlamak yerine, binaya sosyal ve fiziksel kuvvetlerin bir analizi ile başlamalarını tavsiye eden Bötticher, bu kuvvetlerin mimari form ve mekânın yaratılmasını sağlayan, planı, çatı kaplamasını ve düşey destekleri ortaya çıkaran gereksinimler olduğunu ifade eder. Tektonik fonksiyon, yapı (taşıyıcı sistem) ve sembolizmin bütünleştiği bir çalışmayı somutlaştırır (Schwarzer, 1993).

Ona göre tektoniği anlamak, yapının her bir elemanının nasıl uyumlu ve organik bir bütüne entegre olduğunu kavramaktan geçmektedir. Bir yapının tektonik karakterini çözümlemek, o yapının her bir yapısal elemanının tüm taşıyıcı sistem içindeki ilişkilerini, bu elemanların mekânın kurgusunda ve sembolizminde nasıl rol aldığını anlamak demektir. Bötticher’ in mekânsal tektoniği, tüm etmenleri bir bütün içinde kurgulamaya yönelik bir araçtır. Mekânsal kapalılık, Bötticher’in teorisinde işlev, yapı ve sonuç olarak sanatı birleştiren yol gösterici ilke görevindedir. Bötticher için mekân, mimarlığa entegre olmuş tamamen mekanik/dekoratif bir düzendir (Schwarzer, 1993).

Yapı ve bezeme arasındaki ilişkiler hakkındaki pek çok kavramını Bötticher’ den alan Gottfried Semper ise 1851 yılında “*Mimarlığın Dört Elemanı-Four Elements of Architecture*” isimli çalışmasında mimarlığın dört elemanını tanımlarken (yer [*earthwork*], ocak [*hearth*], iskelet/çatı [*framework/roof*], hafif kaplama [*light-weight enclosing*])

membrane]], yapım sistemini malzeme ve mekân ile birlikte ele almış; ama en önemlisi mimarlığı oluşturan sembolizmin önemini vurgulamıştır (Semper, 1989).

Frampton Semper'in taksonomisinden yapı zanaatının iki temel yönteminin de çıkarılabileceğinin altını çizmektedir (Frampton 1995):

- İskelet tektoniği (*Tectonics of frame*): Hafif sistem ve doğrusal elemanların bir uzaysal matris çerçevelemek üzere biçimlenmesi,
- Yer stereotomiği (*Stereotomics of earthwork*): Kütle ve hacmin ağır sistem elemanlarının tekrarlanarak üst üste konulmasıyla oluşturulması.

Semper (1989) için her mimari yapım, tektonik ve stereotomik teknikleri bir arada içermektedir. Burada tektonik temel taşıyıcı sistem, stereotomik ağır konstrüksiyondur. İlkinde iskelet sisteminin çizgisel taşıyıcıları arasındaki yüzeylerin kapatılması prensibi olduğunu söyleyen Semper ahşap çatki sistemini örnek olarak vermektedir. Burada ahşap dikmeler ve aşıklar arası sepet örgü veya dokuma ile kapatılmakta ve iskelet sistemin tektoniğinde yükler çekme kuvvetlerince aktarılmaktadır. Yer stereotomiği ise tuğla, taş ve betonarme yapı türlerinin örnek verilebileceği yüklerin basınç prensibi ile dağıldığı yığma sistemdir ve yığma duvar bu gruba girer. ‘*Stereotomy*’ stereos (katı) ve tomia (kesmek) kelimelerinden türemiştir. Terim genellikle kaya, taş, granit gibi malzemelerin belirli bir şekilde kesilerek yapı malzemesi olarak kullanılmasını ifade eder (Frampton, 1995).

20.yy kuramcılarında biri olan Eduard Sekler 1965 yılında hazırladığı “*Structure, Construction and Tectonics*” isimli makalesinde taşıyıcı sistem ve konstrüksiyon kavramları arasındaki farklılıkları ortaya koymaktadır. Sekler’e göre her mimari formda taşıyıcı sistem ve konstrüksiyon birbirinden ayrı düşünülemez. Bu iki kavram birbiriyle etkileşim içinde olmalıdır. Çünkü taşıyıcı sistemdeki değişim yeni bir konstrüksiyonu gerektirir. Konstrüksiyon ve taşıyıcı sistem arasındaki bu ilişkinin görsel sonucu ise sanatsal bir ifadeyi doğurur (Sekler 1965).

Kenneth Frampton, 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 yorumlamıştır. Frampton için mimarlık ilk ve öncelikli olarak yapının taşıyıcı sistemidir. Ancak daha sonra yüzey, hacim ve plana bağlı soyut bir söylemdir (Frampton, 1995). Frampton, üç

farklı bina yapma durumunun varlığından bahseder. Birincisi doğrudan belli bir ihtiyacı karşılamak için ortaya çıkan ‘teknolojik nesne’, ikincisi ise soyut bir elemanı ima eden ‘skenografik nesne’, üçüncüsü ise varlık bilimsel ve temsili biçimde görünen ‘tektonik nesne’ olarak ifade edilmiştir (Frampton, 1996). Konuralp (2014), tektoniği tıpkı bir cümlelerin anlamının onu oluşturan kelimelerin salt toplamından farklı olması gibi mimarlık da onu bir araya getiren malzeme, teknoloji, yer, bağlam gibi olguların bir bütünü ve fazlası olarak tanımlarken, mimarlığın kurduğu fiziksel gerçeklik, duyuşsal algılar ve imgelem yoluyla deneyimlenip ve tamamlandığına dikkat çekmektedir. Aynı zamanda mimarlığa ilişkin fiziksel ve fiziksel olmayan olguların “bir araya gelişini” deneyimlemek bir bakıma yaratıcı ve estetik bir iletişim sürecini tanımlamaktadır. Bu bağlamda sayısal tasarım ve üretim, fiziksel ve sanal olan arasında bağ kurarak biçim, malzeme ve yapım süreçlerini araştırmak, dijital bir tektonik duyarlılık geliştirmek potansiyeline sahip görünmektedir.

Sonuç olarak günümüz bilgi ve teknolojisi, strüktür, biçim ve malzemenin bir bütün olduğu mimari yaklaşımlarla sınırları kaldırıp, karmaşık tasarım problemlerine yeni çözümler sunmaktadır. Kolarevic’ in (2003) de vurguladığı gibi dijital türetme süreci, kavramsal, biçimsel ve tektonik keşifler için yeni alanlar açmakta, bunun yanında biçimin meydana gelme ve uyarlanabilme özelliklerine odaklanmış bir mimari morfolojiyi açık biçimde ifade etmektedir. Burada vurgu, çeşitli dijital tabanlı türetme teknikleri vasıtasıyla, “biçim yapmaktan”, “biçim bulmaya” kaymıştır. Biçim alanında durağanlık, çeşitlilikle, tekillik, çoğullukla yer değiştirmiştir. Bu bağlamda, Kolarevic (2000) sayısal olarak yönlendirilen tasarım süreçlerinin dinamik ve açık uçlu olduğundan bahsederek, tutarlı dönüşümlerle farklı arkitonik olasılıkların üretiminin gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Sayısal tasarım mantığının mümkün kıldığı parametrik sistemler, genetik algoritmalar, evrimsel sistemler, üretken sistemler vb. bu olasılıkların üretimine örnek teşkil edebilecek kavramlar olarak mimarlık literatüründeki yerlerini almaya başlamışlardır.

2.2.2. Mimarlık-Teknoloji ilişkisinin kırılma noktaları

Mimarlık mesleği, geçmişten beri çağın sorunlarına ve temel kaygılarına çözüm bulmak, insanlık için gelişmiş/ilerlemiş/konforlu bir çevre yaratmak, yeni ve daha iyi bir toplum ve ona ait mekânsal kurgular geliştirmek için varlık göstermektedir. Bu anlamda hızla gelişen bilim ve teknolojinin, mimarlığı, tasarım sürecinden, malzemeye ve yapım yönteminden

yapım sistemlerine kadar pek çok farklı boyutta etkilediği; özellikle gelecek üzerine düşünsel üretimi içeren deneysel mimarlık örneklerinin gerçekleşmesine olanak tanıyan bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Ludwing Mies van der Rohe, 1950 yılında, Illinois Teknoloji Enstitüsünde yaptığı “teknoloji ve mimarlık” adlı konuşmasında,

“Teknolojinin kökleri geçmişte yatar. Bugüne egemen olup geleceğe doğru yönelmektedir. Gerçek bir tarihsel akımdır. Çağına biçim veren ve onu temsil eden büyük akımlardan birisi. Onu ancak klasik çağda insanın kişi olarak ortaya konması, Romalıların güçlülük isteği ve Orta Çağdaki dinsel akımla karşılaştırabiliriz. Teknoloji bir yöntem olmaktan öte, kendi başına bir dünyadır. Bir yöntem olarak da her açıdan üstündür. Ancak kendi başına bırakıldığı yerlerde, dev mühendislik yapılarında olduğu gibi, teknoloji gerçek doğasını ortaya koyar. Burada yalnızca onun yararlı bir araç olmakla kalmayıp, bir anlamı ve güçlü bir biçimi olan bir şey olduğu açıkça görülür. Bu hala teknoloji mi dir yoksa mimarlık mı? Ve belki de bu nedenle bazıları mimarlığın modasının geçeceğine ve teknolojinin onun yerini alacağına kesin gözüyle bakıyorlar. Bu tür bir inanış doğru düşünceye dayanmıyor. Bunun tersi olmakta. Gerçek amacına eriştiği her yerde teknoloji mimarlığa dönüşür. Mimarlığın gerçeklere dayandığı doğrudur, fakat etkinlik alanı anlamlar dünyasıdır. Mimarlık kendi zamanına bağlıdır. Teknoloji ve mimarlığın bu denli yakın ilişkisi de bundan kaynaklanır. Asıl umudumuz bunların birlikte gelişmeleri ve ileride birinin diğerinin anlatımı olabilmesidir. Ancak o zaman adına layık, günümüzün gerçek simgesi bir mimarlığımız olacaktır”

diyerek teknolojinin köklerinin geçmişte yattığını ve teknolojinin bugüne egemen olduğunu, geleceğe de yön verdiğini belirtmiştir (Pamir,2001). Nitekim tarihin ilk dönemlerinden itibaren insanlık, temel ihtiyacı olan barınmaya yönelik, yaşanabilir bir çevre oluşturma eylemlerinde daha iyi bir yaşam sürmenin yollarını aramış ve teknolojiyi bu süreci yönetmek için geliştirmiş/kullanmıştır.

Tarım devrimi ile başlayan Neolitik Dönem her açıdan uygarlık tarihinin en önemli dönüşümlerine sahne olmuştur. MÖ 4000 ile 18. yüzyıl arasındaki dönemde, mimarlıkta tasarım - teknoloji ilişkisinin, yaşanan kökten değişiklikler ve gelişmelere rağmen genel olarak birleştirici bir çerçeve içinde kaldığını söylemek mümkündür. Bu dönemde

mimarlık pratiğinde “teknoloji” kuşaktan kuşağa aktarılan, değişmez ilkeler içeren bir tür “yapma bilgisi” olarak zamana ve mekâna bağlı farklı özellikler göstermiştir. Fakat mimarlıkta tasarım – teknoloji arasında önceden kurulmuş olan sürekli ve daha ilk bakışta fark edilen temel ilişki değişmemektedir. Mimari ürünün ve tasarımın gerçekleşmesinde bir araç olan teknoloji, geleneksel üretim biçimi içinde içselleştirilerek, zaman içinde tasarım bütününe ayrılmaz bir parçasına dönüşmüştür. Bu süreç sonunda ortaya çıkan tasarımlar, yüzyıllar boyunca değişmeden tekrar edilmiş, tasarım-teknoloji ilişkisi çağdaş anlamda bir çözümleme söz konusu olmadan sürmüştür. İlerleyen süreçte mimarın karşılaştığı tekil problemler ve çözümler değişmiş, ancak toplumsal ilişkiler, üretim örgütlenmesi ve buna bağlı olarak mimarın sunduğu hizmetin niteliği ve topluma karşı sorumluluklarının değişmesi söz konusu olmamıştır (Tercan, 2009).

İkinci önemli kırılma noktası ise, Sanayi devrimi ile birlikte, toplum yaşamında ve üretim dinamiklerinde ciddi değişimler yaşanmasıdır. Tarım toplumundan endüstri toplumuna geçiş hızlı ve evrensel biçimde gerçekleşmiştir. Bu dönemde yeni kavramlar, yeni üretim-yapım teknikleri ortaya çıkmış, yeni malzemeler ve yeni üretim teknikleri, yeni düşünce sistemi, dönemin seri/hızlı üretim/tüketim alışkanlığı mimarlık kavramını da değiştirmiştir. 1760’lardan itibaren sanayi devrimi ile birlikte üretimde yaşanan nicel artış, demir-çeliğin yaygınlaşması, makine kullanılarak yapılan seri üretim, yeni malzeme ve tekniklere uygun tasarlanan yapı bileşenleri, hazır parçaların yerinde veya atölyelerde birleştirilme yöntemleri, mekanik ısıtma, havalandırma, aydınlatma gibi somut gelişmeler ve bu gelişmelerin yarattığı yeni toplumsal yapı ve üretim örgütlenmesi mimarlık pratiğini, birey ve toplum düzeyindeki tanımı ve algılanması açısından değiştirmeye başlamıştır (Tercan, 2009).

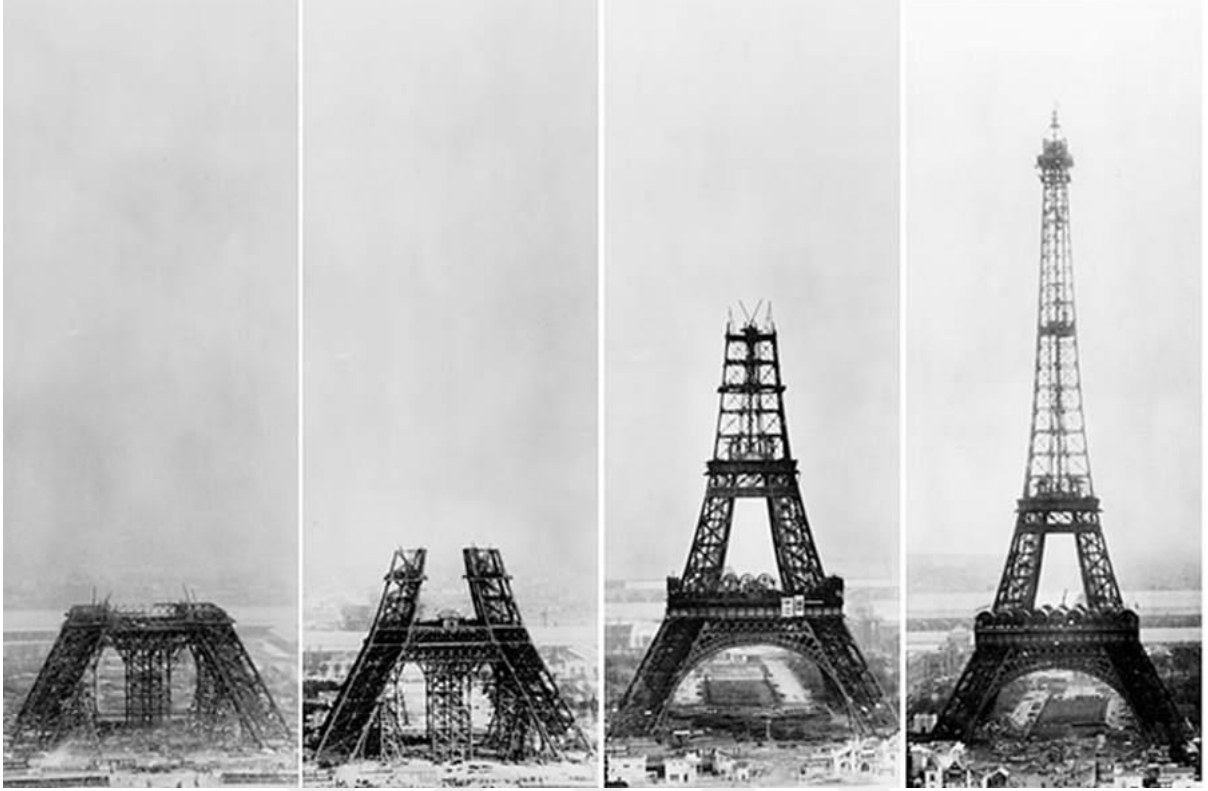
Endüstri devrimiyle tarımsal kültüre dayalı bir ekonomi değil bilime ve teknolojiye dayalı bir ekonomi başlamıştır. 18. yy öncesinde mimari gelişmelerin sınırlı kalması karşısında 18.yy sonrasında demirin yapı teknolojisine girmesiyle yeni bir dönem başlamıştır. Dökme demir ortaçağda bulunmuş olmasına rağmen yapılarda kullanma pratiği geçen yüzyıla kadar mümkün olmamıştır.

19.yüzyılda yapı endüstrisinde kullanılan yeni malzemeler ve bu malzemelere uygun yapım yöntemleri yanı sıra ülkeler arasındaki teknolojik rekabet mimarlık gündemine fuar yapılarını sokmuştur. İlki 1881 yılında Londra’da gerçekleştirilen dünya fuarında

İngiltere'yi temsil eden Kristal Saray (*Crystal Palace*) (Resim 2.1.), yapı malzemesi olarak ilk kez dökme demir ve camın bir arada kullanıldığı dolayısıyla teknolojinin biçime yön verdiği bir yapı örneği olarak gündeme gelmiştir. Benzer şekilde 1889 yılında Paris'te gerçekleştirilen dünya fuarında Gustave Eiffel tarafından, Fransa ve Paris için simgesel bir yapı olarak inşa edilen Eiffel Kulesi (Resim 2.2) ve Fransa'yı temsilen üretilen Makineler Galerisi, (*Galerie des Machines*), teknolojinin mimari biçime yön verdiği diğer yapı örnekleridir.



Resim 2.1. Kristal Saray (*Crystal Palace*), (URL-1)



Resim 2.2. Eiffel Kulesi, (URL-1)

Sanayi devriminin getirdiği sonuçlardan olan Dünya Savaşları ise, bir kez daha düşünce-üretim sistemlerini değiştirmiştir. 20. yüzyılın ilk yıllarından itibaren bilim ve teknoloji eski çağın algılama sistemini ve değer yargılarını kökten değiştirmiş; yeni düşünce ve yaşam biçimi toplumsal ilişki ve kurumları yeniden tanımlayarak modern mimarlığın temellerini atmıştır.

Özellikle 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.

Teknolojik gelişmeler endüstri devriminin başlangıcındaki eski, görünür ve dokunulur doğal karakteristiklerini yitirdikleri günümüzde, bilgisayar teknolojisi ve elektronğin gelişmesini içine alan her saha, doğrudan insan yaşamıyla ilişkisine dikkat çeken Öz’e göre: Artık bilişim (*information*) gerçek bir boyuta taşınmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin getirdiği değişim, kendisini bina çevresindeki biyoteknik transformasyonlar olarak göstermektedir. İlk önce, infrastrüktürel sistemler ve makinenin beklenmedik organik

bütünleşmesi; sesin, yazının, imajın bütünleşmesi, çoklu medya doğasının karışıklığına doğru, yalnız olarak uçan bilginin çeşitli ölçeklerinde ortaya çıkmaktadır (Öz,2002).

Bölüm sonucu olarak özetlemek gerekirse; insanın en temel ihtiyaçlarından biri olan barınma ihtiyacı, insanlık geliştikçe, insanın aldığı role, dönemsel olaylara ve gelişmişliğine göre artmıştır/artmaktadır. İşlevsel, kültürel, sosyal, toplumsal, ekonomik vb. birçok hedefini gerçekleştirirken teknolojiden ve sunduğu olanaklardan faydalanan mimarlar, insanlığın geleceğe yönelik olarak fiziksel çevreden beklentilerini gerçekleştirirken de odak noktasına teknolojiyi koymaktadır. Bu nedenledir ki malzeme, işlev, strüktür, form gibi mekânın, temel öğelerinde zaman içerisinde değişim/gelişim yaşanmakta; teknolojideki kırılma noktaları mimarideki bu farklılaşmalarla örtüşmek/uyumlanmak zorunda kalmaktadır.

Sonuç olarak, sanayi devrimi ile birlikte, toplum yaşamında ve üretim dinamiklerinde yaşanan ciddi değişimler, yeni kavramlar, yeni yapım teknikleri, yeni malzemeler ve yeni düşünce sistemleri, günümüzün bilgisayar teknolojileri ile yeni bir eşikten geçmektedir. Bu durum mekânın/strüktürün –dolayısıyla mimarlığın- sayısal ortam ve araçlarla yeni fikirsel, estetik, algısal, deneyimsel vb. dönüşümlerle evrilerek tek bir süreç haline gelmesini sağlamaktadır.



3. MİMARLIKTA SAYISAL DÖNÜŞÜMLER

Mimarlıkta sayısal/dijital kavramlar; mimari form, mekan ve strüktürün oluşturulmasını, üretimini ve algılanmasını etkilemiş ve değiştirmiştir. Çoğunlukla asarımların dijital temsili olarak görülen sayısal tasarım süreçleri artık, tasarım sürecinde, sürecin hesaplamalı olarak tanımlanması ve üretken sistemlerin oluşturulması; üretim sürecinde form-geometri-malzeme vb. ilişkilerin fabrikasyonu üzerinde gelişmektedir. Çok büyük sayılarda hesapları, kombinatoryal/birleşimsel çözümlemeleri, rastlantısallığı, özyinelemeyi kapsayan hesaplamanın (*computation*) gücünün, insan zihninde bu zamana kadar hiç gerçekleşmemiş yeni düşünce süreçlerine dikkati çekmekte olduğunu vurgulayan Terzidis (2003), sayısal düzenlere dayalı “fikir üreticiler”in hayal gücünü genişletmede büyük bir yeteneğe sahip olduğunu belirtmektedir.

Bilgi ve iletişim teknolojileri, kendi evrimleşme süreçlerine koşut olarak, mimarlık alanında ve mimari tasarım eğitiminde farklı kullanım ortamlarının gündeme gelmesinde etken olmuştur. Bu evrimleşme süreci bilgisayar ortamında modellenen ürün temsili ve iletişim amaçlı kullanımdan, veri, enformasyon ve bilginin işlenmesine ve insan zihinsel süreçlerine özgü bir etkinlik olan yaratıcılığı ve karar vermeyi desteklemeye doğru gelişmektedir. Bu gelişmelerle, mimarlığın odağı yalnızca tasarım ürününe değil, aynı zamanda tasarım sürecine ve üretime doğru yönelmiştir (Çağdaş ve diğerleri, 2015).

3.1. Bilgisayar ve Teknolojilerin Gelişimi

Sayısal Mimarlığın temsil-tasarım ve araç-tasarım ilişkileri bağlamındaki teknoloji odaklı kaynağını, yeni tasarım araçlarının içerdiği yazılım ve donanım gelişmelerinin bütünü temsil eden Bilgisayar Destekli Mimarî Tasarım (*Computer-Aided Architectural Design - CAAD*) yaklaşımı oluşturmaktadır (Duman, 2013). Bu nedenle sayısal mimarlık, bilgisayar destekli çizim (*CAD*), bilgisayar destekli mimari tasarım (*CAAD*), dijital tasarım, hesaplamalı tasarım, kavramlarını anlayabilmek için, öncelikle bilgisayarın tarihsel süreç içinde gelişimi ve tasarım-üretim sürecine nasıl dâhil olduğunu incelemek gerekmektedir.

Bilgisayarların, ilk ortaya çıktığı yıllarda “bilgi saymak” için kullanıldığı bilinmektedir. Fakat hızla gelişen teknoloji sayesinde sayısal parametrelere ve algoritmik ilişkilere

dayanan yeni biçimlenişler, yeni strüktürler ve yeni mekân kurguları mimariye girmiştir. Geleneksel tasarım sürecinden farklı olarak bilgisayar teknolojileriyle yapılan tasarımlar mimariye yenilik getirmişlerdir.

1950’li yıllarda sayısal bilgi işleme çalışmaları, Amerika’da askeri kurumlar ve MIT gibi üniversitelerde başlamış olmak ile birlikte, 1960’da Ivan Sutherland’ın *Sketchpad* projesine kadar mimari tasarım araçları açısından belirgin bir gelişme olmamıştır. Sutherland, MIT’de TX-2 bilgisayar, 9 inch monitör ve bir ışık kalemi kullanarak geliştirdiği grafik ara yüz ile bilgisayarda ilk çizim işlemlerini gerçekleştirmiştir. Günümüz bilgisayar destekli çizim programlarının atası olan *Sketchpad*, bu alanda ticari yazılım çalışmalarının başlamasına öncülük etmiştir (Atılgan, 2006).

1970’ ler de kişisel bilgisayarların da üretilmeye başlanmasıyla bilgisayar destekli tasarım için önemli adımlar atılmıştır. Bu dönemden sonra CAD sistemlerinin gelişmesi iki yolla gerçekleşmiştir. Bunlar:

- Geometrik modelleme sistemleri,
- Bina özelindeki sistemler,

olarak tanımlanmıştır. Geometrik modelleme, mühendislik yönünde özellikle makine mühendislerinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere otomasyon ve havacılık endüstrisindeki uygulamaları için gelişen sistemlerdir, ikinci yol ise bina ve yapı endüstrisi özelinde gelişen sistemlerdir. 1970’li mühendislik alanında CAD sistemlerindeki gelişmeler özellikle, General Motors, McDonnell Douglas gibi endüstriyel dev kuruluşlar tarafından gerçekleştirilirken, bina özelindeki CAD sistemindeki araştırmalar üniversite tabanlı araştırmalar olarak gözükmektedir. Carnegie Mellon Üniversitesinde başını Charles M. Eastman’ın çektiği bir araştırma grubu bina tanımlama ve planlama sistemleri üzerine çalışırken, MIT’de Nicholas Negroponte tarafından 1967 yılında kurmuş olduğu araştırma grubu olan *Architecture Machine Group*, yapay zekâya dönük bir yaklaşımı benimseyerek mimari hesaplama sistemlerini geliştirmeye çalışmışlardır (Turan, 2009).

Aynı zamanlarda Michigan Üniversitesi’nde Herold Borkin tarafından yürütülen bir araştırma sonucunda ise, mimarlık ve mühendislik bina özelliklerinin analizi, enerji analizi ve yaşanabilirlik analizi yapabilen geniş açılımlı bir mimarlık ve mühendislik tasarımı sistemi olan Bilgisayar Destekli Mühendislik ve Mimari Tasarım Sistemi (*CAEADS*) geliştirilmiştir (Kalay, 2004).

1980'ler ise hem donanımsal hem de yazılımsal alanda birçok gelişmenin hızlı bir şekilde yaşandığı dönem olmuştur. Bilgisayar boyutlarının küçülmesi, maliyet olarak daha erişilebilir seviyelere gelmesi ve mimarlık pratiğinden talep olması bu gelişmeleri hızlandırmıştır. Bugünkü anlamıyla, kişisel bilgisayarlar için ilk CAD yazılımları *Machintosh* için üretilmiş olan çizim tabanlı *MacDraft*, *MacDraw*, *Dreams*, *MiniCAD* ve *PowerDraw* gibi yazılımlardır. *IBM* firmasının *IBM PC* adı altında çıkarmış olduğu kişisel bilgisayarlar ile daha gelişmiş CAD sistemleri üzerinde yarış başlamıştır (Kalay, 2004).

80'li yılların sonları ve 90'lı yılların başları, CAD sistemlerinin sunum aracı olarak yaygın biçimde kullanıldığı dönemlerdir. 80'lerde yazılım programları hızla geliştirilerek, geleneksel çizim işlemlerinin çoğu gerçekleştirebilen versiyonlarını, eğrileri destekleyen ve üç boyutlu modelleme, kafes model (*wiremesh*) tekniği ve gölgeleme yapabilmeyi mümkün kılan AutoCAD R9 ve Autoshade 1.0 1987'de piyasaya çıkmıştır (Atılğan, 2006). Artık mimarlar, küçülen ve ucuzlayan bilgisayar sistemleri, güçlenen işlemci ve görüntü donanımları ve gelişen yazılımlar sayesinde, mimarlara hem iki boyutlu çizim, hem de üç boyutlu fotogerçekçi görselleştirme imkânı ile tasarımlarını sunma imkânına sahiptirler. 2000'lere gelindiğinde artık tüm bilim dallarında dijital çağ olarak da tanımlanan bir dönem başlamıştır. Çizim ve modelleme ile ilgili bütün bu gelişmelerin devam etmesinin yanında *CATIA* tabanlı *Digital Project* ve *Bentley Systems Generative Components* gibi tasarım yazılımları, soyut ilişkisel verilerin sisteme girilerek modelleme işinin bilgisayarlar tarafından yapılması sonucu parametrik tasarımların, üretken sistemlerin ortaya çıkışı mümkün olmuştur.

Mikroelektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmelerle başlayan üçüncü büyük toplumsal devrim bugün, tasarımları parametrik algoritmalarla tanımlamaya başlamış ve matematiksel tabanlı analiz yeteneğini artan yazılımlarla ilerletirken mimariye de yeni bir içerik belirlemiştir. Artık el eskizleri ve hesaplamaları yerine bilgisayar ortamındaki sayısal verilerden bahsedilen mimari yapı üretim sürecinde her bilgi, bir sonraki süreçte işlenen veri haline dönüşmüştür.

Bu süreç mimarlıkta;

- Bir girdiyi birden fazla veri kaynağı olarak kullanılabilmesi,
- Verilerin doğruluğunun birden fazla kişi tarafından kontrol edilebilmesi,
- Bir girdinin tasarım süreci içindeki birden fazla kişiye ulaşarak birlikte çalışabilmenin

yolunun açılmış olması gibi yararlar doğurmuştur. Kat edilen yollar ile birçok bilgi dâhil mimarlığın da sayısal olma, verilerle süreci yönetme zorunluluğu doğmuştur (Duman, 2013).

Dijital tasarım teknolojilerinin mimaride kullanılmasıyla birlikte üretim biçimlerinde de farklılaşma başlamıştır. Bu farklılaşma, bilgisayarın geleneksel tasarım yöntemini farklılaştırabilecek tasarımlar yapabildiği gibi üretim sistemlerinin de dijital ortam yardımıyla yapılabilmesini sağlamıştır.

3.2. Sayısal Mimarlık

Bilgi çağı gelişimini ve etkilerini günümüzde sürdürüyor olması nedeniyle, mimarlık üzerindeki etkilerinin genel kabul görmüş bir açıklaması bulunmamakla beraber, temsil ettiği mimarlık arayışları, teknolojik çerçevesine vurgu yapan genel bir ifadeyle Sayısal Mimarlık (*Computational Architecture*) olarak tanımlanmaktadır. Sayısal Mimarlık, çeşitli bakış açılarından farklı biçimlerde tarif edilebilmektedir. Aynı arayışın farklı görüntüleri olarak nitelendirilebilecek bu tanımlayıcı yaklaşımlar,

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

gibi çeşitli üst çerçeveleri odak noktası almaktadırlar (Yazar, 2009).

Sayısal Mimarlık pratiğinin, normal mimarlık pratiğinden ayrımının, potansiyel bilgi teknolojilerinin etkin bir ortak olarak kullanılması olduğunu vurgulayan Kendir (2005), yapı sektöründeki bilgisayar uygulamalarını araç (*tool*), ortam (*medium*), ve ortak (*partner*) olarak sınıflandırmaktadır. Bilgisayarın araç olarak kullanıldığı uygulamalar genel olarak bilgi işlemeye (üç boyutlu modelleme, iki boyutlu çizim, görselleştirmeler, simülasyonlar, analizler gibi...) yöneliktir. Bilgi teknolojileri bir ortam olarak ele alındığında ise, uygulamaların bilgi değişimi ve iletişime yönelik olduğu görülür (eşzamanlı mühendislik, bilgisayar destekli işbirliği ortamları, bilgisayar destekli tasarım ve üretim ile etkileşimli görselleştirmeler gibi). Bilgi teknolojilerinin ortak olarak kullanıldığı durumlar, sözü geçen

teknolojilerin enformasyon desteği ve bilgi modellemesi alanlarında kullanımlarını kapsar (uzman sistemler, parametrik geometriye dayalı ileri üç boyutlu modelleme teknikleri). Mevcut mimarlık pratiğinde bilgi teknolojileri genelde araç, kısmen de ortam olarak kullanılmaktadır (Kendir, 2005).

Benzer bir yaklaşımla mimarlığın kendi pratiğini gerçekleştirmesi için sayısal ortama iki temel farklı bakış açısından söz edilebilir. Birinci olarak sayısal ortam, fiziksel gerçeklikteki mimari ürünlerin geliştirilmesi ve denenmesi için bir atölyedir. Bu bakış açısına göre sayısal ortam, fiziksel dünyanın kurallarına ve yasalarına uyar ve fiziksel dünyayı taklit etmeye çalışan bir deney platformu sunar. Diğer bir bakış açısı ise bu sayısal ortamı başlı başına kendi gerçekliği olan ve bu yönüyle fiziksel dünyayı taklit etmeye çalışmayan bir dünya olarak ele alır. Mimarlık için sayısal ortam birinci bakış açısına göre bir araçken, ikincisinde sadece bir araç değil, pratiğin gerçekleştirileceği çevrenin ta kendisidir. Bu çerçevede bu çevre için yapılacak mimarlık pratiği de sayısal mimarlık olarak adlandırılabilir (Önder, 2002).

3.3. Sayısal Mimarlık Teknolojileri

20. yüzyıl sonlarında, bilgisayar tabanlı teknolojilerin artan bir ivmeyle gelişerek mimarlık disiplinine girmesiyle daha hızlı, hatasız çizim ve üretim, mimarları bu teknolojilere uyum sağlamaya iterken, mimari tasarımda yeni sorgulamaların da kapısı aralanmıştır. Birçok araştırmacı ve uygulamacı mimara ilham kaynağı olan bilgisayar tabanlı teknolojiler, mimarlıkla birlikte biyoloji, matematik ve bilgisayar mühendisliği gibi farklı disiplinlerin ortak çalışmalar yapabileceği bir ortamın oluşmasını sağlamıştır. Peter Eisenman, Norman Foster ve Greg Lynn gibi tasarımcıların bu ortamda yaptığı denemeler, tasarım pratiğinin dönüşümündeki ilk adımlardır. Sezgisel bir süreç olan tasarım pratiği, bilgisayar tabanlı teknolojilerin sürece dahil olması ile yeni bir anlam kazanmıştır. Bu yeni anlam tüm sürecin bir bütünlük içerisinde tasarımı kapsamaktadır. Bilgisayar tabanlı teknolojiler aracılığıyla gerçekleştirilen “tasarım sürecinin tasarımı”, mimarlara çok disiplinli bir ortamda çok sayıda alternatifin sınandığı, önceden alınmış kararlara yanıt veren yeni teknik ve üretim biçimleri ile sonuç ürünün oluşturulduğu hesaplamaya dayalı bir ortam sunmaktadır (Orhun vd, 2014).

3.3.1. Sayısal tasarım yöntemleri

Sayısal tasarım kavramı, tasarımın bir teknoloji aracılığıyla yapıldığını anlatmakta, mimarlıkta tasarım geliştirme amacıyla kullanılan bilgisayar tabanlı teknolojileri kapsamaktadır. Bu süreçte tasarım kararları kâğıt üzerinde değil de ekran üzerinde verilir.

Tasarımcıların programlama dillerini kullanabilmek için gerekli olan algoritmik düşünce sistemlerinin gelişmesi ile öncelikli olarak geleneksel yöntemin kavramsal tasarım aşamasındaki temellerin yeni paradigmalara dönüştüğüne vurgu yapan Oxman'a göre (2008) geleneksel yöntemde problemin ortaya konma aşamasındaki zihinsel süreçler, kullanılacak programa tanımlanacak olan tasarım parametreleri haline gelmektedir. Bu parametreler bütünü tasarım kriterleri olan, analitik modeller haline gelmekte ve her adım sayısal ortama tanımlandığından, tasarım sürecindeki geri beslemelerde sistemin yapılan değişikliklere eş zamanlı olarak tepki göstermesini sağlamaktadır. Tasarıma girdi olacak her türlü veri sayısal ortama aktarılırken başlangıçta tanımlanacak olan değerlere kısıtlamalar getirmek, parametreleri hedeflenen noktaya göre belirlemek gerekmektedir. Parametreler ve sayısal modeller oluşturulduğunda, çeşitli varyasyonlarda birden fazla sonuç ürün elde edilebilecektir. Bu bağlamda sayısal tasarımın geleneksel yöntemden en çok farklılaştığı boyut tasarım sürecidir. Süreci tasarlamak, tasarımcının karşısına sonuç ürün elde etmekten daha önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır (Oxman, 2008).

Sayısal tasarım birçok araştırmacı tarafından çeşitli yönleri ile ele alınmıştır. Sayısal tasarımdaki farklı yaklaşımları metodolojik olarak sınıflandıranlardan biri olan Kolarevic (2000) bu sınıflandırmayı yaparken dijital tasarım ve üretim sistemleri olarak ele almıştır. Kolarevic ele aldığı tasarım modellerini de aşağıdaki başlıklar altında toplamıştır:

- 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*)

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

Topolojik mimarlık

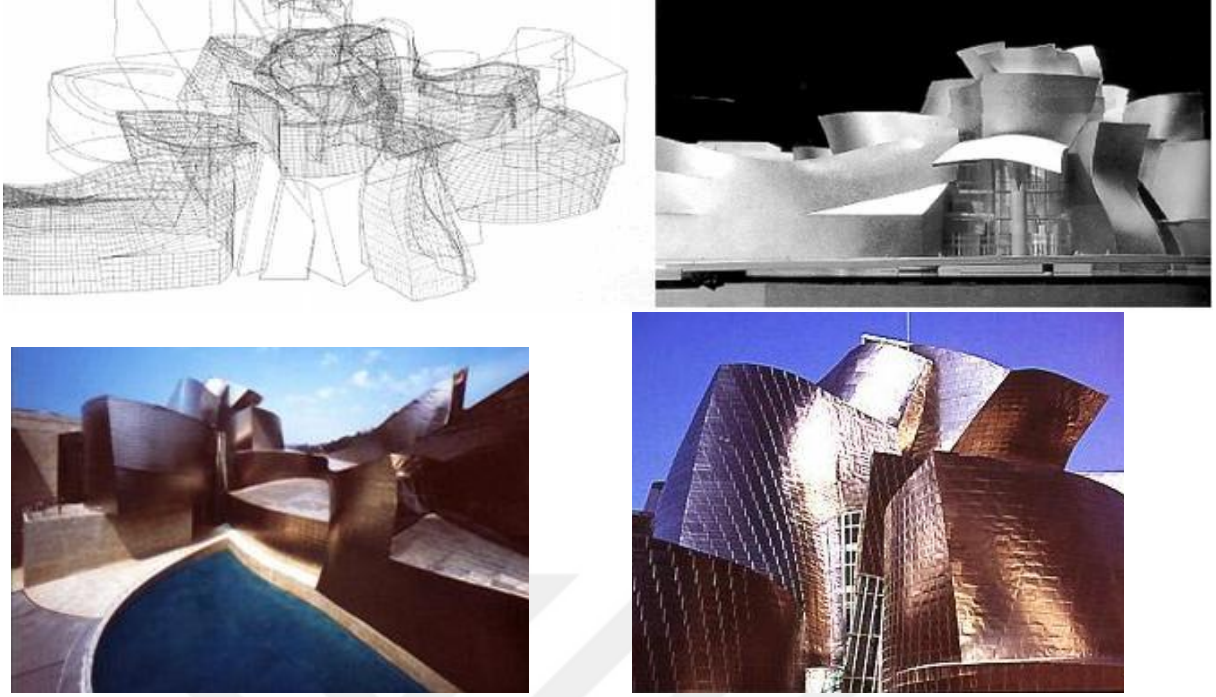
19. yüzyılın ortalarında geliştirilmeye başlanılan topoloji matematiğin ana dallarından biridir. Yunancada yüzey veya yer anlamına gelen *topos* ve bilim anlamına gelen *logos* kelimelerinden türetilmiştir. Topolojinin temel amacı topolojik uzayları incelemek ve bu uzayların sürekli deformasyonlar yani homeomorfizmalar altında hangi özelliklerinin korunduğunu belirleyerek bu uzayları sınıflandırmaktır (Karaca, 2013).

TDK'ya göre, geometrik cisimlerin nitelikleriyle ilgili özelliklerini ve bağıl konumlarını, biçim ve büyüklüklerinden ayrı olarak alıp inceleyen geometri dalı olarak tanımlanan topoloji, bilginin kesinlik ilişkileri yerine göreceli ilişkiler içinde tanımlaması metodudur (Topoloji, 2016).

Mimaride topolojik yaklaşım ya da De-formation, Dekonstrüktivizm'in izlerini taşıyan, çağdaş bilgisayar animasyon tekniklerine dayanan ve mimari forma esneklik, plastiklik veren mimari akım olarak adlandırılmaktadır. Formun dinamik türevlerinin bilgisayar teknolojilerine bağlı olarak çoğaltılması mimaride topolojik yaklaşımın ana etkinliğidir (Tarım, 2006). Greg Lynn ise topolojik mimarlığı 1993'te yazmış olduğu "*architectural curvilinearity*" makalesinde "biçimleri, akışkan mantığıyla ilişkilendirmek" olarak tanımlayarak, topolojik tasarım yaklaşımların ilk örneklerinden biri olarak Gehry'nin Bilbao müzesini örnek göstermiştir (Resim 3.1) (Lynn, 1993).

Topolojik Mimarlık elemanlarını tanımlama, öklid geometrisinden, kartezyen uzayından ayrılma ve matematikte NURBS olarak adlandırılan biçimlerin kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır (Kolarevic, 2000).

Branko Kolarevic, topolojik uzay bağlamında "geometrinin bir ihtimaller dizisini tanımlayan parametrik fonksiyonlar ile temsil edildiğini" belirtmiştir. Sürekli yüksek eğrisel yüzeyler matematiksel olarak "NURBS – Türdeş Olmayan Rasyonel B-Çizgileri" şeklinde tanımlanmaktadır. NURBS eğrilerini ve yüzeylerini çekici kılan ise kontrol noktalarını, ağırlığı ve boğumları manipüle ederek şekillerinin kolayca kontrol edilebilme özelliğidir. "NURBS topolojik uzayın heterojen ve bağdaşık formlarını sayısal olarak mümkün kılar" (Kolarevic, 2000). Buradan da anlaşılacağı üzere topolojik mimarlık NURBS eğrileri ve özellikle de kontrol noktalarıyla ilişkilidir.

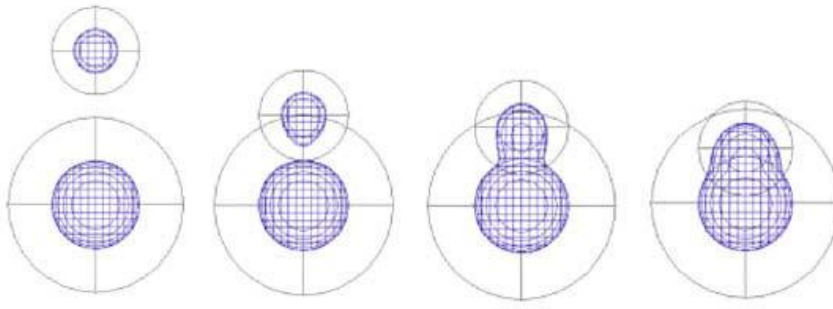


Resim 3.1. Guggenheim Müzesi, Frank Gehry , (Kolarevic, 2000)

İzomorfik mimarlık

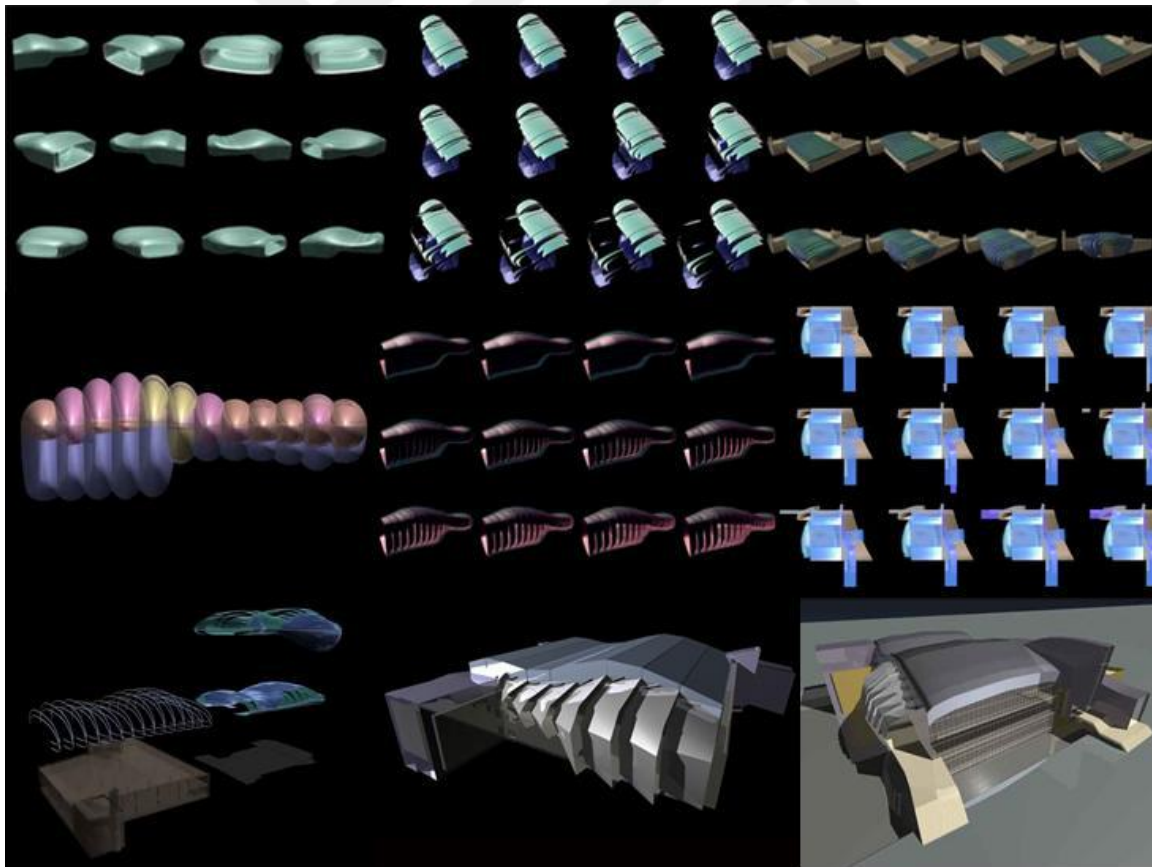
İzomorf kelimesinin sözlük anlamı eş biçimlidir. İzomorfik yüzeyler, öklid geometrisi ve kartezyen uzayından bir diğer ayrılış noktasını ifade eder. Amorf objeler olarak adlandırılabilen su damlası biçimi (*blob form*), parametrik objelerin kütesel iç gücüyle ve çekimle karşılıklı olarak eğilip bükülmesiyle oluşmaktadır. Yeni damlalar eklenebilir, yeni ilişkiler kurulup, farklı olasılıklar oluşturulabilir (Kolarevic, 2000).

İzomorfik yüzeyler, farklı boyutlardaki en az iki kürenin birleştirilmesi, çıkarılması; birleşim yerlerinin homojen biçimde yuvarlatılmasıyla elde edilir (Resim 3.2). Greg Lynn, tarafından blob mimarlığı olarak adlandırdığı, “*blobitecture*”, “*blobism*” gibi isimlerle de anılan bu yöntemde yüzeyler, “*blob*” ya da “*metaball*” olarak tanımlanan elipsoit nesnelerin birbirleriyle etkileşimleri sonucu ortaya çıkan biçimlerden oluşmaktadır. Bu nesnelerin içte bir kütleleri, dışta ise bir etkileşim alanları bulunmaktadır. Bu etkileşim eksi ya da artı olarak gerçekleşebilir (Turan, 2009).

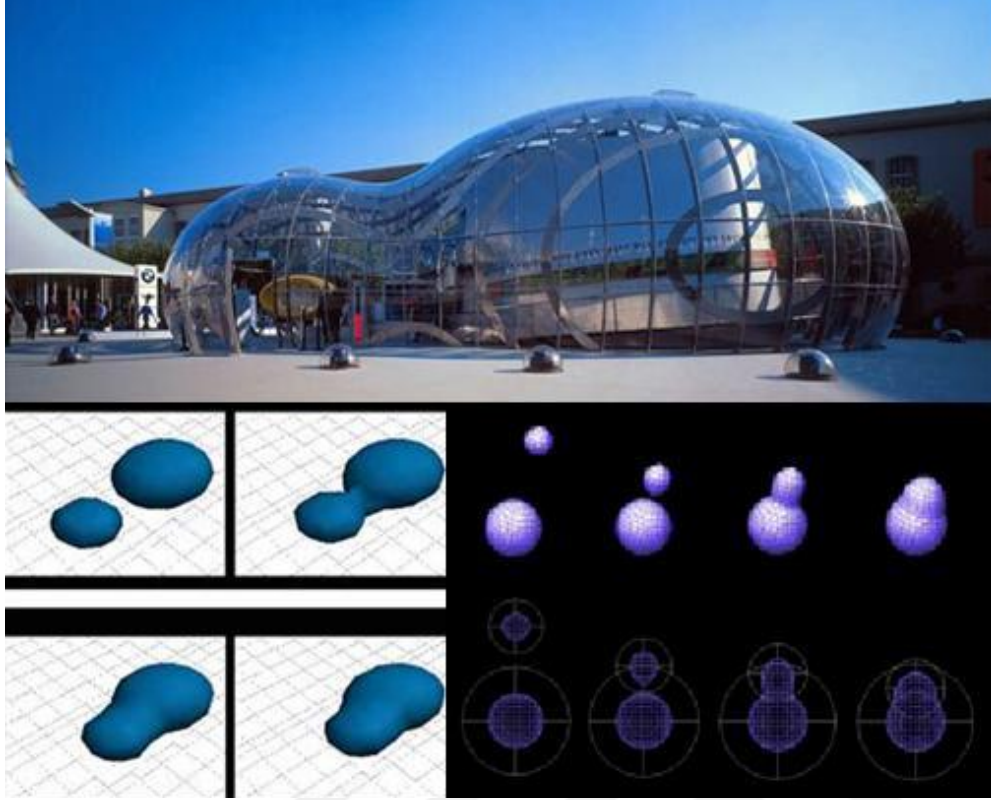


Resim 3.2. İzomorfik yüzeylerin oluşumu (Kolarevic, 2000)

Greg Lynn başkanlığında Michael Mcluturf ve Douglas Garofalo işbirliği ile yapılan Kore Presbiteryen Kilisesi blob konseptinin kullanıldığı ilk örnektir (Resim 3.3.). Bernhard Franken tarafından 1999 yılında uluslararası Frankfurt Araba Fuarı'nda tasarlanan BMW Pavyonu da izomorfik mimarlığa iyi bir örnek olarak gösterilebilir (Resim 3.4.).



Resim 3.3. Kore presbiteryen kilisesi, Greg Lynn, Michael Mcluturf ve Douglas Garofaloo (URL-2)



Resim 3.4. BMW pavyonu, Bernard Franken, (URL-3)

Animasyon Mimarlığı

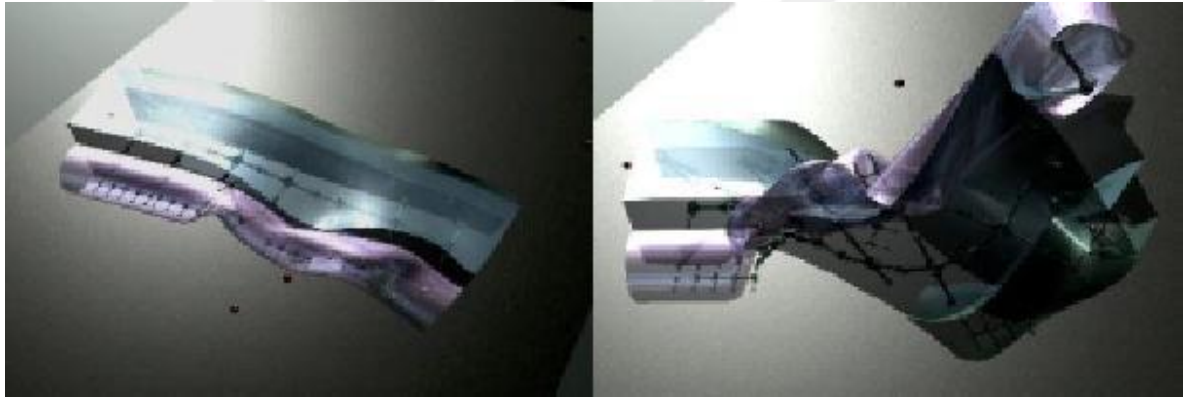
Canlandırma anlamına gelen animasyon mimariye önceleri bir sunum özelliği olarak girmiştir. Teknolojinin gelişimiyle ortaya çıkan ve mimarlar tarafından temsil aracı olarak kullanımı yaygın olan animasyon tekniği tasarım aracı olarak ilk kez Greg Lynn tarafından kullanılmıştır. Lynn tasarım için önemli olan hareket faktörünün mimariye katılmasının animasyon teknikleriyle mümkün olduğunu düşünmektedir. Hareketin tasarıma katılmasını, evrimin ve yaşam boyutunun katılması olarak açıklamaktadır.

Canlandırma ile bir cismin durumunun, yerinin değişmesi anlamına gelen devinim ifadeleri farklı anlam yüklenmelerine rağmen sıklıkla karıştırılmaktadır. Canlandırma, biçimin evrimini ve biçimi şekillendiren güçleri ifade eder. Büyüme, canlılık, harekete geçme, dirilik, sanallık önerir (Lynn, 2002).

Lynn'a göre animasyon mimarisinde tasarım, hareket ve kuvvetin biçimsel algı anında birlikte bulunması olarak tanımlanmaktadır. Kuvvet, başta gelen bir koşul olarak, "bir formun hem deviniminin hem de partiküler kıvrımlarının sebebi" olmaktadır. Lynn'e göre

“devinim hareket ve eylem ifade ederken, animasyon bir formun ve onu şekillendiren kuvvetlerin evrimi anlamına gelmektedir.” Projelerinde, Lynn temel mimari formu yaratmak için ana çerçeve animasyonu, ileri ve geri kinematik, dinamik (kuvvet alanları) ve partikül emisyonu gibi hareket temelli modelleme teknikleri kullanmaktadır (Lynn, 1998).

Kinematik, kütlesi ve ona etki eden kuvvetler hesaba katılmadan bir nesnenin veya hiyerarşik nesneler sisteminin hareketinin incelenmesi olan gerçek mekanik anlamında kullanılmaktadır. Hareket uygulandıkça dönüşüm ileri kinematikte aşağı doğru, ters kinematikte ise yukarı doğru ilerler. Greg Lynn’ın Long Island’daki House Prototipinde “iskelet sistemi olarak kurgulanmış model, çeşitli çevresel kuvvetler etkisi altında, ters kinematik kullanılarak deforme edilir” (Resim 3.5.) (Kolarevic, 2000).



Resim 3.5. Kinematics house, Greg Lynn, (Kolarevic, 2000)

Lynn’a göre bilgisayar ortamında tasarım, temsil ortamında tasarımdan üç önemli faktör açısından farklılaşmaktadır; topoloji parametre ve zaman. Zaman ve hareket animasyon teknikleri vasıtasıyla tasarım sürecine katılır.

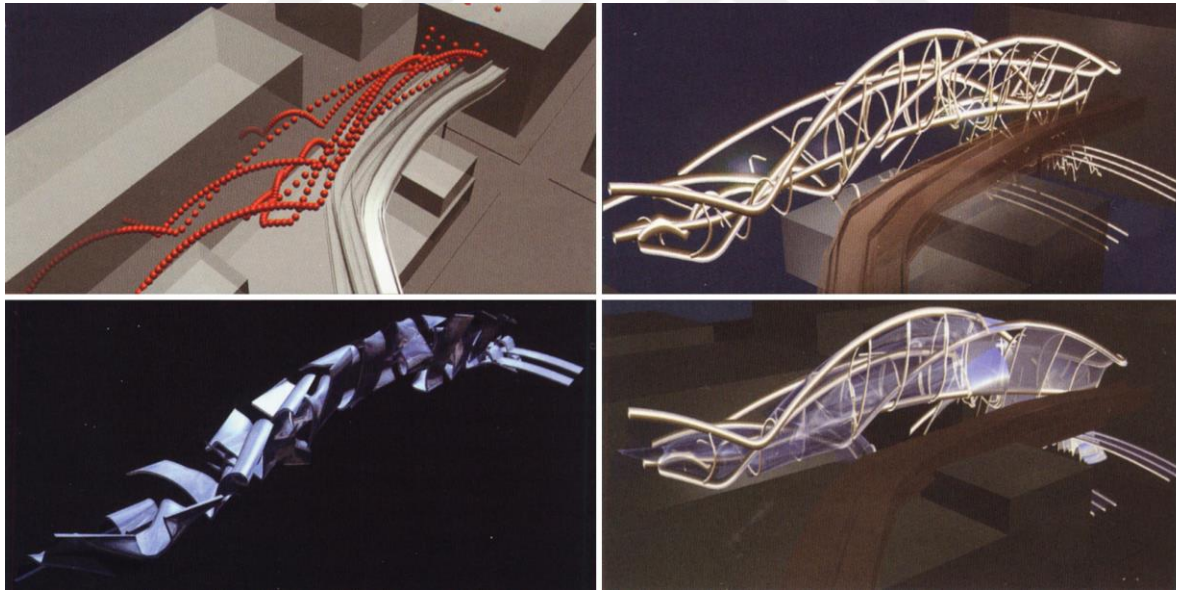
Lynn hareket tabanlı modelleme tekniklerini dört grupta inceler:

Keyframe Animation ile biçimdeki belirli değişimler animasyon kurgusunda, belirli karelere yerleştirilir. Bu kareler *key* yani anahtar kareler olarak adlandırılır ve program tarafından bu anahtar kareler arasında kalan kareler hareketi tamamlayacak şekilde doldurulmaktadır. Oluşturulan animasyonda tasarımcı istediği kareyi seçebilir.

Path Animation ile yapının bileşenlerine ayrı yollar tanımlanır ve bu yollar üzerinde ilerlemesi sağlanmaktadır. Yine animasyonda istenilen bir kare seçilerek bir biçime ulaşılmış olunmaktadır.

Forward-inverse kinematics ile yapının iskelet sistemi hiyerarşik bir düzen içerisinde birbirine bağlanır. Bu tanımlama içerisinde transformasyon uygulanan herhangi bir nokta diğer noktaları da etkileyecektir.

Particle Emissions tekniği ise parçacık sistemlerine dayanır. Tasarım içerisindeki belirli güç alanları bu parçacıkları hareketlendirip biçimlendirmektedir. Parçaların bu hareketi belli bir karede durdurulup iskelet veya kabuk olarak tanımlanmakta böylece tasarım gerçekleştirilmektedir. Greg Lynn bu teknikle New York'taki otobüs terminali için koruyucu bir çatı ve aydınlatma projesi tasarlamıştır. Lynn'ın tasarımında etki yaratan çevresel güçler yaya, araba ve otobüs akışlarıdır (Resim 3.6) (Turan, 2009).



Resim 3.6. Port otobüs terminali, New York, Greg Lynn (Kolarevic, 2003)

Başkalaşım mimarlığı

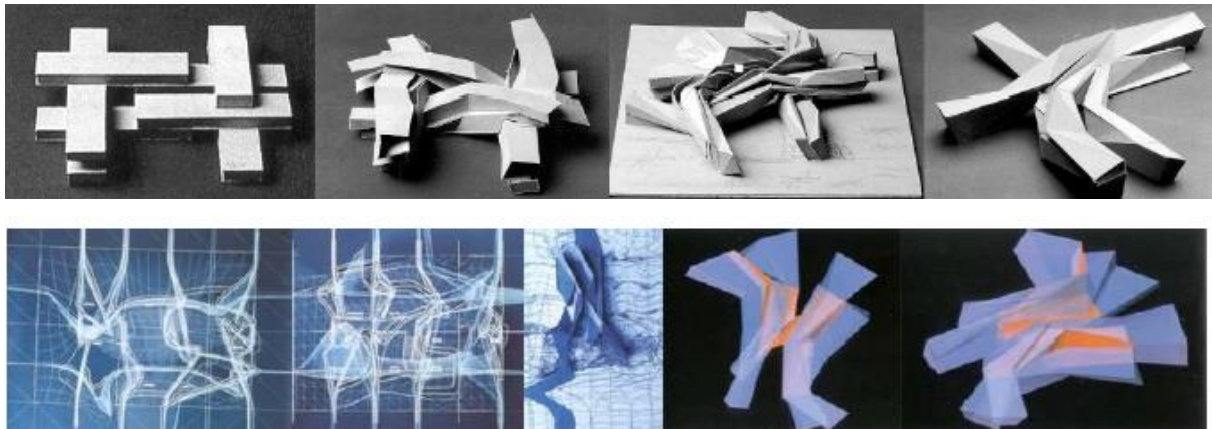
Biçimin metamorfik türetmesi, modelin deformasyonu ile mümkündür. Bükme, eğme gibi geometrik deformasyonlar yapılarak, alternatif morfolojiler yaratılabilir. Modelin deformasyonu için canlandırma teknikleri kullanılabilir. “*Keyshape*” animasyon (anahtar biçim canlandırma) “*path*” animasyon (yön canlandırma) uygulanabilecek teknikler ile

biçimin deformasyonu sağlanıp, istenilen aşamada canlandırma durdurulup, biçim kullanılmak üzere alınabilir. Biçim seçilen doğrultu boyunca hareket ettirilerek deforme edilebilir (Kolarevic, 2000).

Frank Gehry'nin temel bir prizmatik biçimi bükerek, biçimi deforme ettiği, Hanover'da inşa edilmiş olan, Üstra Ofis Binası ve Peter Eisenman'ın BŞ software ofisi Metamorfik Mimarlık örneği olarak gösterilebilir (Resim 3.7-3.8).



Resim 3.7. Üstra ofis binası, Hanover Frank Gehry, (URL-4)



Resim 3.8. BŞ software ofisi, Peter Eisenman, (Kolarevic, 2000)

Parametrik mimarlık

En yalın tanımlama ile parametre, bir durum için tanımlanan ve değiştirilebilen bir nicelik olarak ifade edilebilir. Bu niceliği bir veya birden çok olarak içinde barındıran durum ise “parametrik” olarak tanımlanabilir. Parametrelerin sayısı duruma bağlı olarak değişebilir. Önemli olan bu parametreler arasındaki ilişkiyi kurmak ve bu parametreleri amaç doğrultusunda yönetebilmektir (Erbaş, 2013). Parametreler algoritmik düşüncenin temelini oluştururlar dolayısıyla parametrik tasarım ve algoritmik tasarım terimleri birbirleri yerine kullanılmaktadır.

Parametrik tasarım bilgi ve değişkenlerden oluşan bir hesap çizelgesini ve şartları, senaryoları, etki ve tepkilerden oluşan eylemleri içeren bir tasarım setinin tümünü oluşturmaktadır. Bu model potansiyelleri bir araya getiren bir ara yüz oluştururken, tasarım da uzlaşan kuralları belirlemektedir. Metin ise, üçboyutlu modellemelerden ve maketlerden oluşur ve genelde bilgisayar teknolojileri kullanılmaktadır. Pratik olarak parametrik tasarım, malzemeden kullanıcıya tüm iç ve dış etkenlere cevap veren bir dünyayı içermektedir. Kullanıcılardan ve çevreden geri beslenerek işlemektedir. Bu nedenle, örneğin mimarlıkta yapının tasarımına cevap veren tek bir tip veya program yoktur, süregelen bir değişim bulunmaktadır (Güney, 2016).

Genel olarak bütün parametrik işlemler birbirine bir şekilde bağımlı bir ilişkiler ağı şeklinde durmaktadırlar. İyi tanımlanmış bu ilişkiler ağına tasarımın algoritması denmektedir. Algoritma tasarımın aşamalarını, sürecini ve işleyişini belirler. Parametre ise bu süreç içerisindeki değişkenleri ifade eder. Sonuç ürünün farklılaşması algoritmanın adımlarındaki kurguya ve tasarımın parametrelerindeki çeşitliliğe bağımlıdır. Tasarımın algoritması iyi bir şekilde kurgulanmış ise tasarım değerlerine atanan farklı parametreler sonuç üründe büyük farklılıklara yol açacaktır (Güney, 2016).

“Parametrik tasarım, tasarımın belirlenen parametrelerin üzerine kurulmasıyla ilgilidir. Mimari tasarım sürecinde parametrik tasarımın kullanıldığı örneklerde rüzgâr şiddeti, deniz tuzluluk oranı, su miktarı, insan akışındaki yoğunluk gibi çevresel veriler tasarım sürecinde parametreler olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar ortamında kurgulanan sistemler, parametrelere girilen farklı değerler sonucu oluşan değişim, tasarım aşamasında form üretimi için ya da fiziksel mekânda ışık, ses, biçim değerlerini ölçmek için kullanılabilir.

Parametrik tasarım detay çözümleri ve strüktür tasarımı için de kullanılmaktadır. İyi kurgulanmış bir prensip formüldeki parametrelerinin (ölçü, açı, kalınlık) gerektiği yerlere göre değişimi ile bu formül birçok detayda kullanılabilir” (Akipek, 2004).



Resim 3.9. Algorithmic Spectaculars, Marcos Novak (Kolarevic, 2000)

Parametrik tasarımda biçimin algoritmik tanımı yapılır. Marcos Novak’ın birçok değişken tanımlayarak oluşturduğu matematik modeller ve üretken süreçlerle ortaya koyduğu “*Algorithmic Spectaculars*” çalışması parametrik tasarıma örnektir (Resim 3.9.). “*Paracube*” projesinde siberuzayda tasarladığı kübü altı parametre yüzeyi ve her birinin kendi koordinat sistemleri ile tanımlar. Her bir yüzeyi yöneten parametrik denklemler düzenler. Böylece belirli yüzeylerdeki değişim, bitişik yüzeyler üzerinde reaksiyonlara, permütasyonlara ve etkin yaratımlı topolojik bir küp yaratımına sebep olur. Parametrik küp, iskelet çerçeve ve pürüzsüz deri olmak üzere iki biçim yaratarak kullanılır. Parametreleşme her ögenin tanımladığı ve sayısal formüller ile oluşturduğu pürüzsüzlüğe izin verir. İskelet derinin yüksek pürüzsüzlükte hesaplandığı ve iskeletin ise düşük pürüzsüzlükte hesaplandığı aynı süreçten meydana gelmiştir. İskelet dört boyut içine her üç boyutlu noktaya dördüncü koordinatı ekleyerek matematiksel olarak uzatılmıştır. Böylece noktalar çizgi olmuş, çizgiler poligon, poligonlar küp ve küplerde hiperküp olmuştur (Kolarevic, 2000).

Evrimsel mimarlık

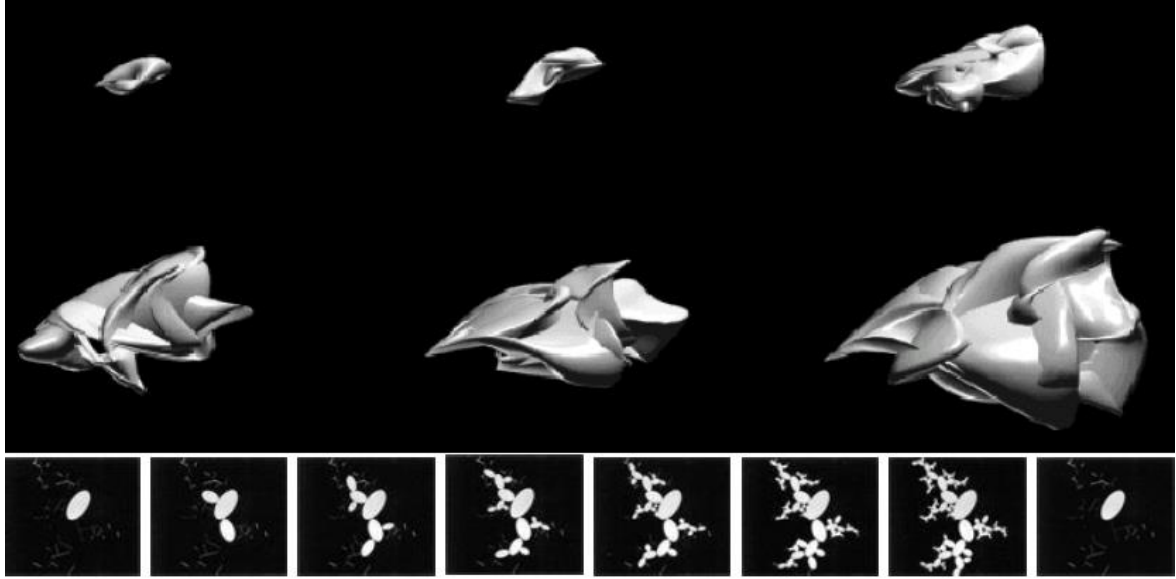
Evrimsel Mimarlık, mimarlıkta biçim türetme sürecinin temelini, bilimsel araştırmalardaki morfogenetik teori ile paralelliğini araştırmaktadır.

Evrimsel Tasarım, doğadaki evrim sürecine benzer biçimde, kendi kendine büyüyen, gelişen ve kendi kendine organize olup yetebilen formların üretilmesine yönelik bir tasarım

stratejisi olarak ifade edilmektedir. Genetik ve biyolojik değişimin sayısal olarak, betik (*script*) ve genetik algoritmalarla ifade edildiği bir bilgisayar teknolojisinin desteğiyle, bilgi, adeta bir DNA zincirindeki gibi işlenerek, belirsiz ve kompleks formların ortaya çıkısını sağlamaktadır. Bu formlar, evrimsel bir mantıkla bulundukları ortama adaptasyon sağlayarak gelişip, büyümekte ve hatta çevresel şartlara göre yok olmaktadır (Erbaş Korur, 2012).

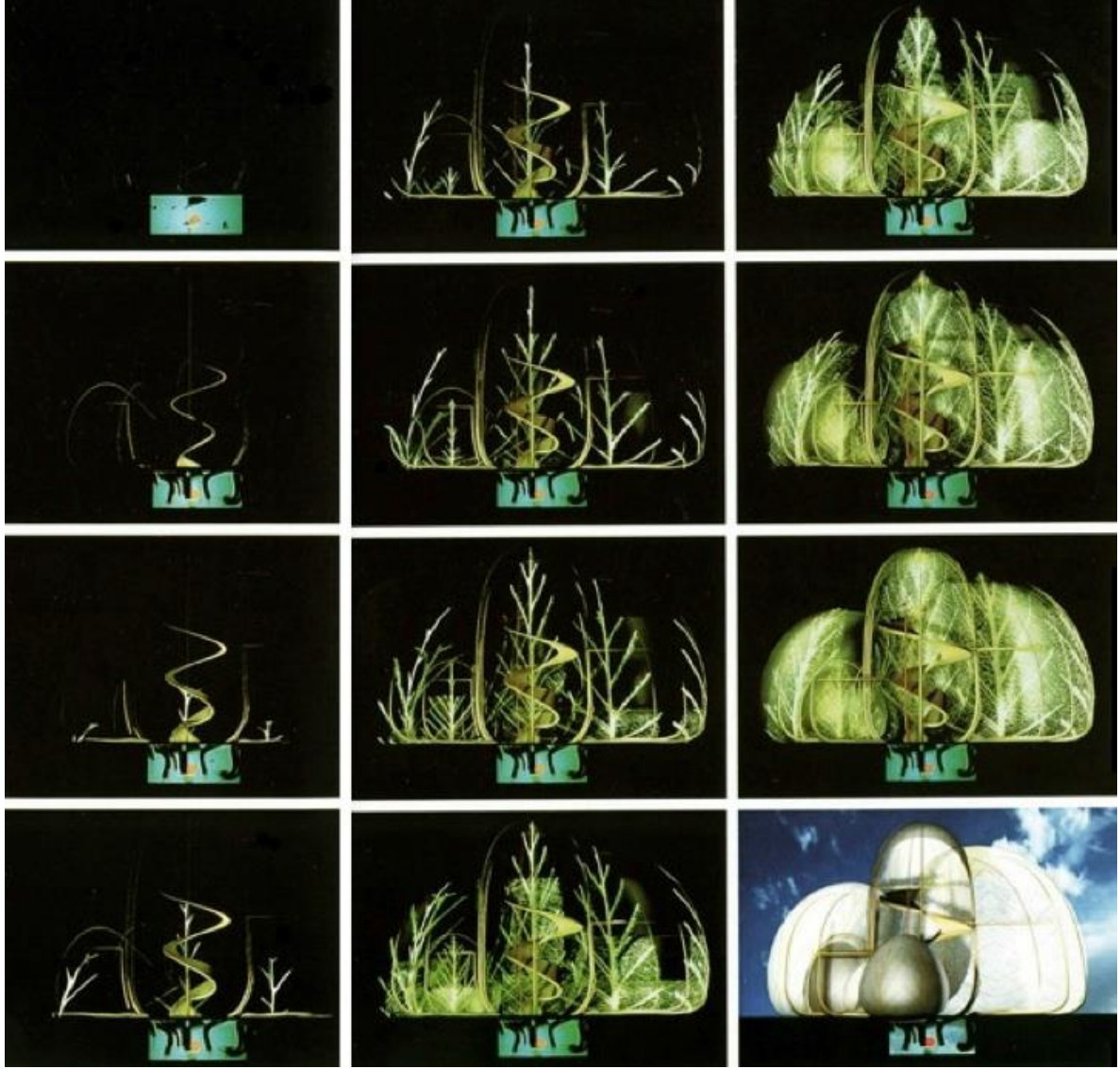
Frazer'a göre (1995) Evrimsel Mimarlık; genetik kodlama, tekrarlama, seçilim ve morfogenezi ilkelerinin geçerli olduğu bir yapay yaşam biçimidir. Morfogenezi; bir canlı gelişmesi sırasında büyüme ve hücre farklılaşması ile özel şeklini alması olayı olarak tanımlayan Frazer (1995), Evrimsel Mimarlık 'ın amacının; yapılı çevrede, ortak yaşam davranışını ve metabolik dengeyi, doğadaki gibi sağlayabilmek olduğunu belirtmektedir. Evrimsel Mimarlık'taki biçim türetme sürecini; doğadaki morfogenezi sürecine benzetmektedir. "Evrimsel Mimarlık, doğanın evrimsel modelini mimari biçim oluşturmak için önermektedir. Mimari konseptler bir dizi üretim kuralları olarak tanımlanır, bu konseptlerin evrimi, gelişimi sayısal olarak şifrelenebilir. Bir dizi üretim kuralı çok sayıda prototip biçim türetebilir. Bu sonuç ürünler benzer bir çevredeki performanslarına bağlı olarak değerlendirilir. Sonuç genellikle beklenmediktir" (Frazer,1995).

Evrimsel Mimarlık'ta bağlamı oluşturan anahtar, genetik algoritmadır. Kurallar, gen çaprazlamaları, mutasyonlar genetik algoritma sayesinde uygulanır. Çeşitli parametreler, doğadaki kromozom yapısına benzer şekilde bir dizi yapısında genetik algoritmada yer alır. Parametrelerin değeri, türetme sürecinde değişir. Türetilen çeşitli biçimlerin içinden, genetik algoritmada kodlanan uygunluk değerine göre seçim yapılır. Genetik kodlamada önemli olan türetilecek biçim değil, biçim türetme sisteminin mantığının iyi kurgulanmasıdır (Resim 3.10) (Kolarevic, 2000).



Resim 3.10. Pseudo-organism, J. Frazer, (Kolarevic, 2000)

Evrimsel form üretim tekniklerinde, bilgi taşıyan hücreler ya da tohumlar evrim teorisine göre farklılaşarak büyüme göstermektedirler. Buradaki “bilgi” yani bir anlamda genetik şifre (kod) formun gelişimi ve biçimlenişini sağlamaktadır. Bu şifre bir anlamda hücrenin DNA’sıdır. Ortaya çıkan kompleks formlar, önceden tahmin edilemeyen belirsiz formlardır ve bu formların çeşitliliği doğum, ölüm, mutasyon, adaptasyon gibi evrimsel kurallara bağlıdır. Bu yaklaşımda, diğer üretken yaklaşımlarda olduğu gibi, mimarın görevi formun kendisini bulmak değil, formların üretilmesine sebep olacak “formülü, şifreyi, kodu” yazmaktır (Erbaş Korur, 2012). 2200 yılı için geliştirilen John M.Johanser ve Mohamad Alkhayer 1998 yılında tasarlanan Moleküler Kurgulu Ev (Resim 3.11.) (*Molecular Engineered House*) projesi, evrimsel tasarım yaklaşımlarından etkilenerek oluşturulmuş bir projedir. Bilgisayarda yazılan bir genetik algoritma sayesinde, genetik bilgi yüklenen tohumlar dokuz günlük bir evrim ve gelişim süreci geçirerek bir bitki gibi gelişme göstermektedir.



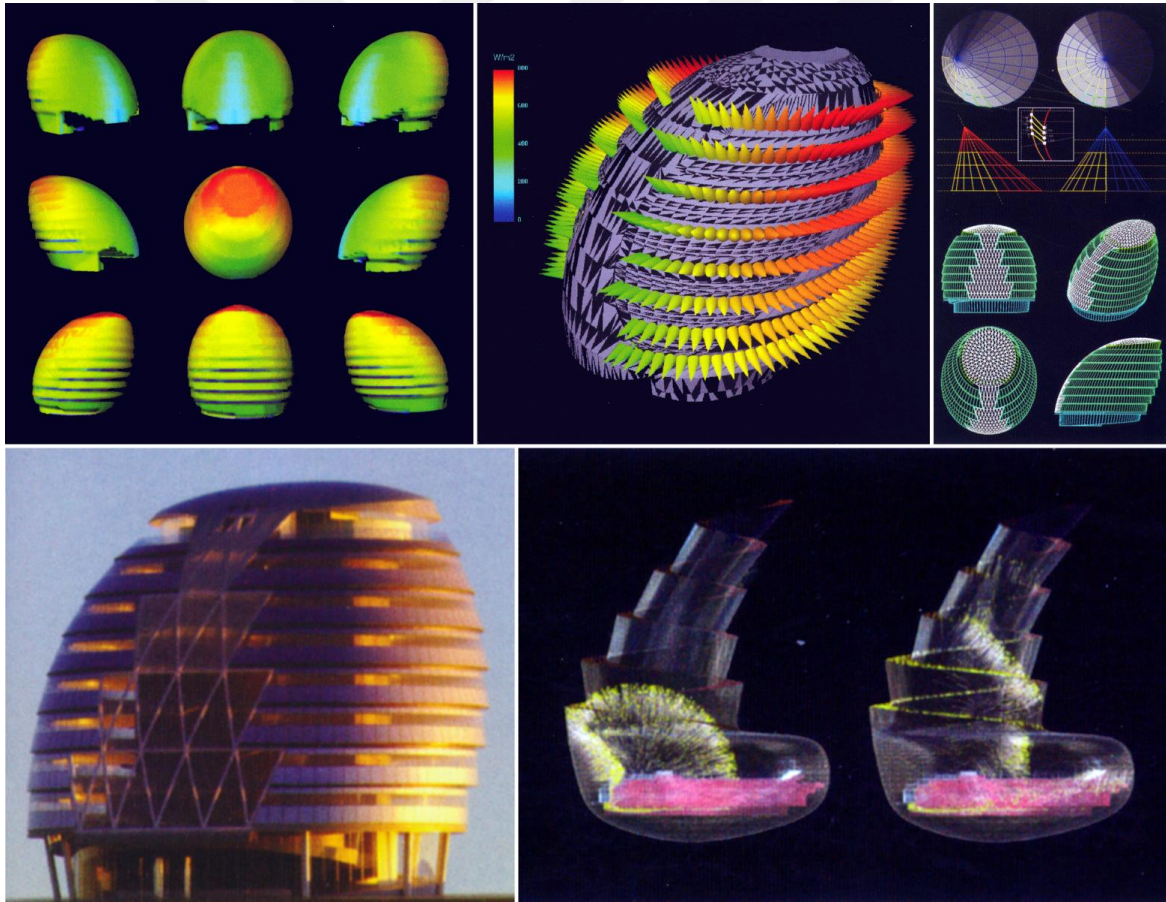
Resim 3.11. Moleküler kurgulu ev, Alkhayer & Johanser (Johansen, 2002)

Performans mimarlığı

Performansa dayalı tasarımın mimari de kullanımının amacı tasarımdan ideal verim almaktır. Performansa dayalı tasarımda şehir, manzara, sirkülasyon akışı gibi bina performansını etkileyen etmenler kullanılır. Bu yöntem sayısal teknolojileri kullanarak inşa edilmiş çevreye yeni bir tasarım yaklaşımı getirmektedir. Bilgiye ve simülasyona dayalı bu yöntemde performansa dayalı tasarım en geniş anlamıyla yer almaktadır ki bu anlam çoklu alanları finansal, mekânsal, sosyal, kültürel ve teknik (yapısal, termal, akustik) açıdan incelemektedir. Bina performansı üzerindeki vurgu, bina tasarımlarını, işlevleri ve pratikleri hakkındaki beklentileri yeniden tanımlar (Köksal, 2005).

Yapıların ve mekânların çevresel koşulları algılayıp bu koşullara göre tepki vermesi de bina performansı yöntem içerisinde ele alınır. Bilgisayar modelleriyle analiz edilebilen bina performansları sayesinde yeni biçimler ve çeşitli hareketler (ışık gölge oyunları, ses, mekân özelliklerinin değişmesi) elde edilebilmektedir.

Foster ve ortakları tarafından 1995 yılında tasarlanan the Greater London Authority Yönetim Binası, bu yaklaşımı uygulama yoluyla ortaya koymaktadır (Resim 3.12). Performansa dayalı tasarım teknikleriyle gerçekleştirilen tasarımda, yapının, enerji ve akustik performansı bilgisayarlarla incelenerek biçimi oluşturulmuş ve eğrisel yüzeyli yapının cephe elemanları yıl içindeki güneşlenme verilerine göre biçimlenecek şekilde tasarlanmıştır (Kolarevic, 2003).



Resim 3.12. GLA yönetim binası, Foster ve ortakları. Tasarım sürecinde kullanılmış güneş enerjisi ve akustik performans analizleri (Kolorevic, 2003)

3.3.2. Sayısal üretim yöntemleri

Enformasyon ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, mimari tasarım aşamasında olduğu kadar uygulama aşamasında da analiz, simülasyon ve bilgisayar destekli imalatın (CAM) daha hassas, hızlı ve ucuz yapılabilmesini sağlamış, karmaşık geometrilerin hatasız hesaplanabilmesi ve ileri teknoloji ürünü malzemelerin, mekanik ve elektronik sistemlerin davranışlarının üretim aşamasından önce tamamen sanal ortamda simüle edilebilmesi yepyeni bir tasarım yöntemi ve anlayışını mimarlık disiplinine sokmuştur. Çağdaş mimari tasarım süreci, karmaşık malzeme ve robotik üretim teknolojilerinin etkisiyle endüstriyel tasarımda olduğu gibi bilgisayar destekli tasarım, üç boyutlu sayısallaştırma, bilgisayar destekli mekanik tasarım, sanal prototipleme, hızlı prototipleme, bilgisayar destekli mühendislik, bilgisayar destekli imalat ve üretim optimizasyonu gibi işlemleri içeren “*bilgisayar destekli endüstriyel ürün geliştirme süreci*”ne dönüşmüştür. Yazılım ve donanımın birlikte tasarlanması artık olağan bir durumdur. Yazılımcılar, bilgisayar ve enformasyon mimarları, besteciler, ses mühendisleri, bilgisayar destekli tasarım ve imalat uzmanları, çoklu ortam sanatçıları ve birçok disiplin mekân tasarımı sürecinde aktif olarak görev almaktadır (Pak, 2005).

Standart üretim yöntemlerinden farklı olarak doğrudan sayısal tasarımdan bilgisini alan sayısal üretim yaklaşımı üretimde standart olmayan ürünlerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Dijital üretim teknolojileri, endüstride yarım yüzyıldan uzun süredir kullanılmasına rağmen bu teknolojilerin mimarlık pratiğinde kullanımı daha önce de belirtilen dijital temsil boyutunu geçtikten sonraya rastlamaktadır. Bu sürecin başlangıcında projeye özgün uygulamalar ve üretim yöntemlerinin geliştirildiği görülürken bugün 3B yazıcı, lazer kesici ve CNC frezenin bu teknolojilerin standardını oluşturduğu gözlemlenmektedir (Iwamoto, 2009).

Yeni dijital süreç, teknolojiyle tasarımdan yapıma direk ilişkilidir. Üretim kavramı yapım ve üretim teknolojilerinin tasarım sürecine katılarak tasarım sürecinin kısıtlanmayıp daha geniş sınırlar içinde değerlendirilmesine izin vermektedir. Teknolojinin gelişmesi ile karmaşık bilgilerin süreç içine dâhil edilmesi tasarım süreçlerinin verimliliğini artırırken, disiplinler arası çalışma ortamı ise ortaya yeni konuların koyulmasını ve araştırma alanlarının açılmasını tetiklemektedir.

Bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin mimari tasarım sürecine entegre olarak kullanımında öncü olan isim Frank O. Gehry'dir. Heykelsi binalarının projelendirme sürecindeki ihtiyaç üzerine mimari tasarım ve üretim sürecine bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerini entegre eden Gehry, Fransız Dassault firması tarafından, uçak tasarımı, performans analizi ve otomatik üretim için geliştirilmiş olan CATIA yazılımının mimari tasarım sürecinde kullanımının önünü açmıştır. “*Dosyadan fabrikaya*” olarak adlandırılan üretim biçimi, devrim yaratarak tasarımdan uygulamaya birçok sürecin yeniden tanımlanmasını sağlamıştır. CAD/CAM teknolojileri sayısal mimarlık süreçlerinde tasarım ve üretimin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Gehry'nin projelerinde bulunan geometrik formlarda olduğu gibi serbest formlarla zarflanan metal yüzeylerin oluşturulması uygulamalarında büyük katkı sağlar. Ürün geliştirme süreci sırasında oluşan alternatiflerin fiziksel prototip üzerinde denenmesi yerine, bilgisayar ortamında sanal prototipleme uygulamalarından faydalanarak bu kontrollerin yapılabilmesi, ürün maliyetinin düşürülmesi ve tasarım sürecinin kısaltılmasını sağlamaktadır. Bu konuda özelleşmiş çeşitli yazılımlar sayesinde mukavemet, ısı transferi, manyetik alan etkileşimi gibi ürünün fiziksel niteliği ile ilgili analizlerin yanında, ürünü oluşturacak kalıbın iyileştirilmesi ve optimizasyonuna kadar uzanan çeşitli aşamalara yönelik analizleri gerçekleştirilebilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) uygulamaları sayesinde mekanik, kinematik analizler ve kalıp ile ilgili parametrelerin incelenmesi, bunların optimizasyonu ve üretim aşamasında ortaya çıkabilecek problemlerin önceden saptanması mümkündür (Pak, 2005).

Dosyadan fabrikaya sürecinde sayısal kontrole dayalı üretim teknikleri kullanılır. Kolarevic dijital üretim teknolojilerini 4 grupta inceler:

- 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 (Kolarevic, 2003).

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.

İki boyutlu üretim: CNC kesim işlemleri

Sayısal kontrollü iki aks kullanılarak yapılan CNC kesim yöntemi en çok kullanılan üretim metotlarından biridir. Plazma-yay, lazer-ışın ve su püskürtme gibi yöntemlerle kesim yapan bir başlık sayesinde sac materyalin iki eksenli hareketi ile sayısal ortamdan gelen verilere göre form üretilir. Plazma yayında, elektrikli yay, kesim alanı üzerinden sıkıştırılmış gaz jetiyle geçerken, kesme ucu çok yüksek sıcaklığa gelerek levha halindeki malzemeyi kesmektedir. Burada bahsedilen sıcaklık 25,000 F olduğu için, bu teknik, ağırlıklı olarak ısıya dayanımlı metal malzemelerde kullanılmaktadır. Isıya karşı dayanıksız olan malzeme türleri için, plazma yayı tekniğine benzeyen fakat gaz yerine yüksek basınçlı suyun kullanıldığı su-jetleri kullanılmaktadır. Su jetleri hemen her kalınlıktaki malzemeyi kesebilmektedir. Lazer ışını kesme sisteminde ise, yüksek yoğunluklu infrared ışık, karbon dioksit gazıyla birleştirilerek kesilecek alan üzerine gönderilir. Eriyerek veya yanarak kesme söz konusudur. Lazer ışınlarıyla kesilebilecek malzeme cinsi ve kalınlığı da sınırlıdır. Örneğin 16mm kalınlığına kadar olan malzemeler için –fiyat olarak da optimum- bu yöntem kullanılır. Daha kalın malzemelerde ise su-jetleri, hem maliyet hem de uygulama açısından optimumdur (Çakır, 2006).

Çıkarma işlemine dayalı üretim (katı objelerin frezelenmesi)

Dijital üretim yöntemlerinden çıkarma işlemine dayalı üretimin çalışma prensibi ana malzemeden eksiltme yöntemi uygulanarak yapılan biçimlendirmedir. Eksiltme yönteminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar elektronik, kimyasal ve mekanik azaltma yöntemleridir (Kolarevic, 2003). Gehry'nin Duesseldorf'taki Zollhof Towers projesinde (Resim 3.13), betonarmeden yapılan dış duvar panelleri CATIA ile çizilmiş, 355 farklı eğride hafif polistren kalıptan oluşan CNC frezeleme yöntemiyle üretilmiştir (Kolarevic, 2003).



Resim 3.13. Zollhof Towers in Dusseldorf, Almanya, Gehry, 1999. Beton panellerin kalıbı için köpüğün oyulması, (URL- 5)

Ekleme işlemine dayalı üretim (katmanlı üretim/ serbest biçimli katı obje üretimi/ hızlı prototipleme)

Form oluşturma işlemi, katman katman eklenerek ilerleyen bir süreçtir. “*Additive fabrication; layered manufacturing; solid freeform fabrication; rapid prototyping; desktop manufacturing*, gibi isimlerde kullanımları da görülmektedir”(Kolarevic, 2003). Sayısal katı model iki boyutlu katmanlara ayrılır; her katmanın bilgisi üretim makinesinin işlem yapacak koluna aktarılır ve katman katman oluşturulur. Bu amaçla geliştiren ilk teknik, sterolitografi tekniğidir. Sterolitografi tekniği sıvı polimerlerin lazer ışığıyla katılaştırılmasına dayalıdır. Lazer ışık demeti, modelin bir kesitini sıvı polimere işler ve katılacak katman üzerine kurulduğu yardımcı platformla aşağı itilir ve diğer katmanın işlenmesine başlanır. Katmanlama işleminden sonra sıvı içindeki cisim platformdan ayrılır ve fazlalıklarından temizlenir. Benzer diğer yöntemlerde katmanlama işlemi, sıvı polimer yerine metal toz eritilerek, seramik tozu yapıştırılarak ya da balmumunu çeşitli işlemlerden geçirerek yapılır. Bu yöntemlerle üretilebilecek prototipin boyutu kısıtlıdır; uzun ve pahalı bir işlemdir. Tasarım sürecinde karmaşık ve eğrisel biçimli maketlerin üretilmesinde ve uygulama sürecinde örneğin çelik birleştirme elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Daha büyük boyutlu bileşenlerin üretimi için beton spreyleme ya da kontur işleme (*contour crafting*) gibi teknikler geliştirilmektedir (Özden, 2011).

Biçimlendirmeye dayalı üretim

Malzemenin biçimini bozarak istenen şekilde yeniden şekillendirebilmek için malzemeye mekanik güçler, ısı ya da buhar uygulanır. Isı sistemi demir, çelik, bakır, alüminyum gibi malzemelerin, yeterli biçimlendirme sıcaklığına kadar ısıtılarak bükme, delme, yığma, yayma, dövme ve kalıpta biçimlendirilmesi sistemine dayanmaktadır. Buhar ise plastik gibi daha yumuşak malzemeler için kullanılır.

Kitlesel Bireyselleştirme (Mass Customization)

1980’li yılların sonlarında giderek daha fazla esnek hale gelen, kalite ve maliyet açısından optimize edilen süreçlerin bir sonucu olarak yeni bir kavram gündeme gelmiştir. Joseph Pine tarafından “kitlesel bireyselleştirme” (*mass customization*) olarak isimlendirilen bu yeni kavram, esnek süreçler kullanarak özgün tasarımlara sahip ürünleri veya hizmetleri yüksek miktarlarda ve düşük fiyatlarda üretme ve müşteriye ulaştırma becerisi olarak tanımlanmaktadır (Kolarevic, 2003).

Kitlesel bireyselleştirme uygulamaları, temelde müşterinin taleplerine uygun olarak seri üretim ile üretilen ürünlerin kombinasyonlarının oluşturulmasıdır. Kitlesel bireyselleştirme uygulamalarının çoğunda tasarlanan elemanlara ait özellikler, CAD/ CAM sistemlerine girilerek üretim bilgisine dönüştürülmektedir. CAD sistemleri, müşterilerden gelen tasarım değişikliklerinin uygulanmasını ve zamanında üretim zincirine dâhil olmasını sağlarken, CAM sistemleri bir yandan makine kullanımını en üst düzeye çıkarmakta, diğer yandan çok çeşitli ürünün işlem görmesine izin vermektedir. Ürün ve süreçlerin standartlaştırılırken aynı zamanda esneklik kazanmaları, kitlesel bireyselleştirme girişimlerinin en önemli parçasıdır. Bunun için ürünlerin, süreçlerin ve tedarik zincirinin modüler olması sağlanmaktadır. Modülerlik, ürünün standardizasyonunu gerektirmektedir. Modüler bileşenler geliştirilirken özellikle parçalar arasındaki ara yüzler gündeme gelmektedir. Çeşitli modüllerin birbiriyle olan ilişkisi ise ürün, süreç veya dağıtım farklılaştığında değişmektedir. Bu nedenle iletişim ve bilgi altyapısının organizasyonunda ara yüzlere ihtiyaç duyulmuş ve sayısal teknoloji devreye girmiştir (Ediz ve diğerleri, 2010).



Resim 3.14. Lessing otomobil sergi salonu ve ses bariyeri, Hollanda, Kas Oosterhuis (Ediz vd, 2010)

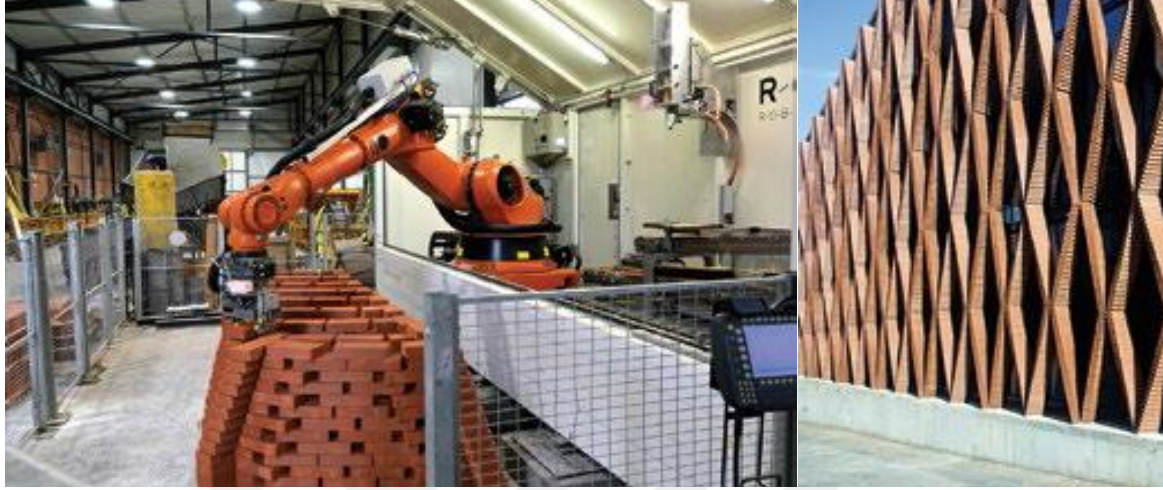
Bu yeni arayışın örneği olarak sayısal ortamın potansiyelinden faydalanılarak oluşturulmuş “Lessing Otomobil Sergi Salonu ve Ses Bariyeri” ni verebiliriz. Birbirinden farklı fakat “kendine benzer” (*self similar*) parçaların bir araya gelmesiyle oluşturulan yapı yine sayısal teknolojiler sayesinde üretilmiştir (Resim 3.14).

Robot teknolojisi ve 3D Yazıcılar

Robot teknolojisinin mimarlık alanında kullanımı, endüstriyel üretimde robot teknolojisinin kullanımının yaygınlaşması ve verimliliğinin artması ile başlamıştır. Özellikle otomobil sanayide kullanılan robot kolların yaptığı montaj, çok bileşenli tasarımların üretiminde bir ilham kaynağı olmuştur. Altı eksenli olan robot kolları ile çok karmaşık bileşenli tasarımların montajları ve birleştirilmesi dijital araçları gelişmesi ile mümkün hale gelmiştir.

Robot teknolojileri' nin örnek ürünlerinden biri olan BrickDesign (Resim 3.15), robotik üretim için kapsamlı bir yaklaşımdır. Yazılım, tasarım aşamasında robot üretim sürecinin parametrelerini içermektedir ve robot bu yeteneklerini kullanarak her tuğlayı farklı

konumlandırmaktadır. Üretilen veriler, robotik sistemde ek bir programlama işlemine gerek kalmadan doğrudan fabrikasyon sürecini kontrol etmek için kullanılır. Böylece son derece esnek otomasyonlu bir üretim gerçekleştirilmiş olur (Bonwetsch, 2015).

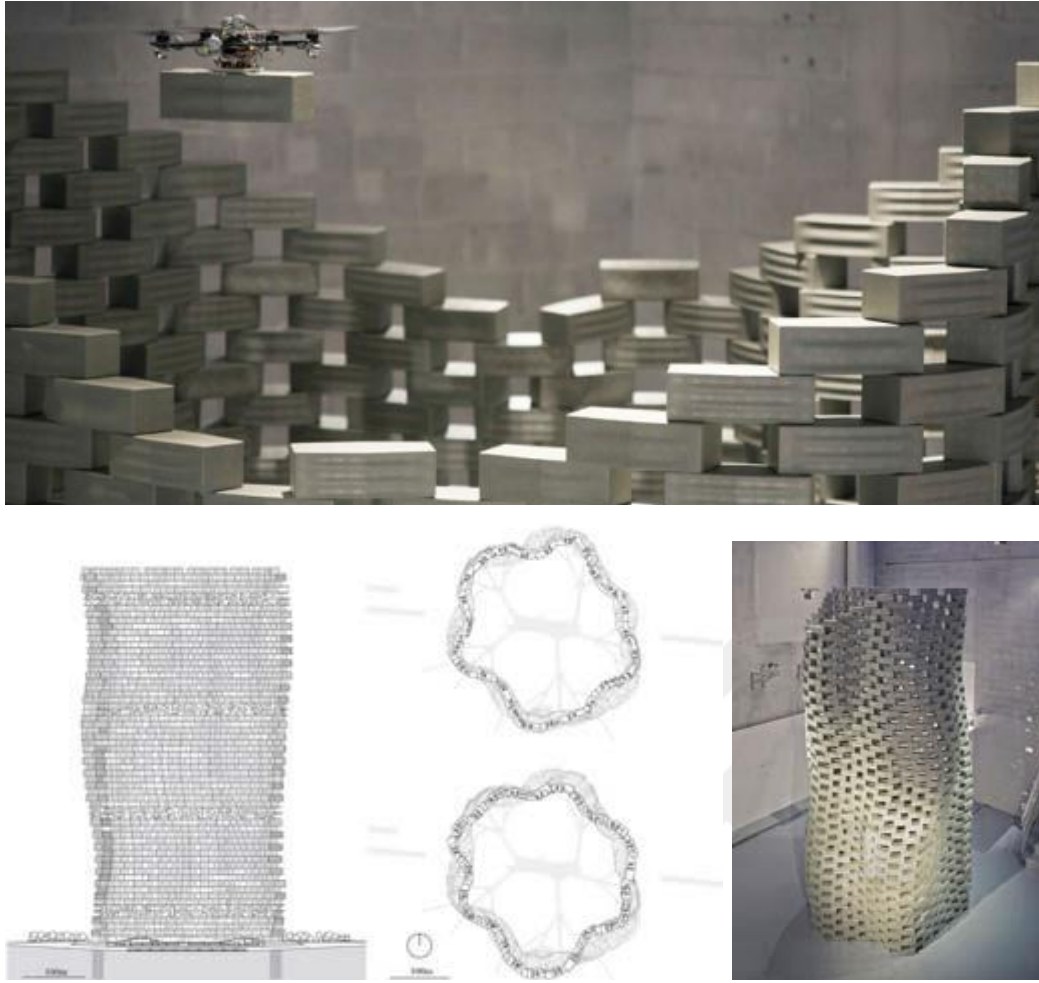


Resim 3.15. BrickDesing, (Bonwetsch, 2015)

Robot teknolojilerin, 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 başlanmasıyla; inşaat süresi ve maliyetinin büyük ölçüde düşecek olması bu teknolojilere olan ilgiyi artırmaktadır.

Çok bileşenli ve karmaşık konfigürasyonlarda oluşan tasarımların üretiminde kullanılmaya başlanılan robot teknolojisi, sadece robot kollarla sınırlı kalmayıp son zamanlarda minyatür robot helikopterlerin üretim teknolojisinde kullanılmasıyla sınırları gün geçtikçe genişlemektedir. İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü (Eidgenössische Technische Hochschule: ETH) kapsamındaki bir araştırmada kullanılan uçan makinalar bunlardan biridir (Resim 3.16).

Sensörleri sayesinde karşısına çıkan engellere çarpmayan ve sahip olduğu yazılımla insan yardımına ihtiyaç duymayan bu robotlar verilen komutla 500 gramlık tuğlaları istenilen şekilde yerleştirerek tek başına 6 metrelik bir kule inşa edebilmektedir.



Resim 3.16.Tuğlaları bilgisayar kontrolü ile dizen robot (Gramazio & Kohler, 2011)

MX3D firmasının, 2017 yılında Amsterdam’da, bir kanal üzerinde inşa edeceği üst geçit projesi haberleri bu kez 3D yazıcılarla “deneyimlenen” bilindik bir malzemeye dikkat çekmektedir. 6 akslı robot yazıcılar “erimiş çeliği” bir kaynak makinası gibi kullanarak istenilen biçimi elde ederek bir geniş açıklığı başka hiçbir konstrüksiyona gerek duymadan hızlı ve ekonomik olarak geçecektir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015).



Resim 3.17. Amsterdam’da üretilecek olan yaya köprüsü, (URL-6)

WinSun firması, ilk denemelerinde 3D yazıcılarla 24 saatte inşa etmiş oldukları 10 adet tek katlı evin ardından endüstriyel boyutlardaki yeni yazıcıları ile geri dönüştürülmüş malzemeler ve inşaat atıklarının hammadde olarak kullanıldığı projelerini 2015 yılında yaşama geçirmiştir (Resim 3.18). 6 metre yüksekliğinde 10 metre genişliğinde ve 150 metreye kadar uzayabilen 3D yazıcılarla elde ettikleri yapı blokları ile çevre dostu olan beş katlı bir apartman ve 1100 metrekarelik villa inşa etmişlerdir (Arslan Selçuk ve diğerleri, 2015).



Resim 3.18. 3D yazıcılarla üretilen ilk apartman ve villa, (URL-7)

3D yazıcı teknolojisiyle bina yapımı konusunda çalışmalar yapan Hollandalı tasarım ofisi DUS Architects tarafından, Ocak – Haziran 2016 tarihleri arasında Avrupa Birliği toplantılarına ev sahipliği yapacak olan yapının, biyoplastik bir malzeme ile kumaşı birleştirerek üretilen cephesi ise dijital teknolojinin geleneksel yapım teknikleriyle birlikte kullanılması açısından önemlidir (Resim 3.19) (Tezcan, 2016).



Resim 3.19. 3D yazıcıyla üretilen bina cephesi, DUS Architects, (URL-8)

Kullanılan teknolojilerin yaygınlaşması sonucu süreçlerin değişiminin koşulsuz olduğu gerçeği unutulmamalıdır. Bu nokta da gelinen son nokta ise başka bir gezegende yaşam inşa etme düşüncesidir. Ay'da üs kurma planları kuran organizasyonların arasında yer alan Avrupa Uzay Ajansı (ESA), Dünya'nın aksine radyasyon, gama ışınları, meteorit çarpmaları ve anormal yüzey sıcaklıklarına karşı atmosfer kalkanı bulunmayan Ay'da 3D yazıcılarla bir koloni inşasını gündeme getirmiştir. Plana göre yaşam fırlatılacak kapsül ile başlayacaktır. İniş modülü, Ay'a ulaşılmasının ardından iglo şeklindeki destek yapısını şişirecek ve iki 3D yazıcı robotu serbest bırakacak. Kepçeleriyle Ay tozunu toplayacak olan robotlar, materyali işleyerek robotik kollarının ucundaki başlıkla inşaat yapacak. 3 ay içinde 3D yazıcıdan çıkan bir örtüyle kaplanan yaşam modülü ve destek yapısı, Ay'ın olumsuz tüm atmosferik etkilerinden korunmuş olacak (Resim 3.20).



Resim 3.20. 3D Ay üssü, (URL-9)

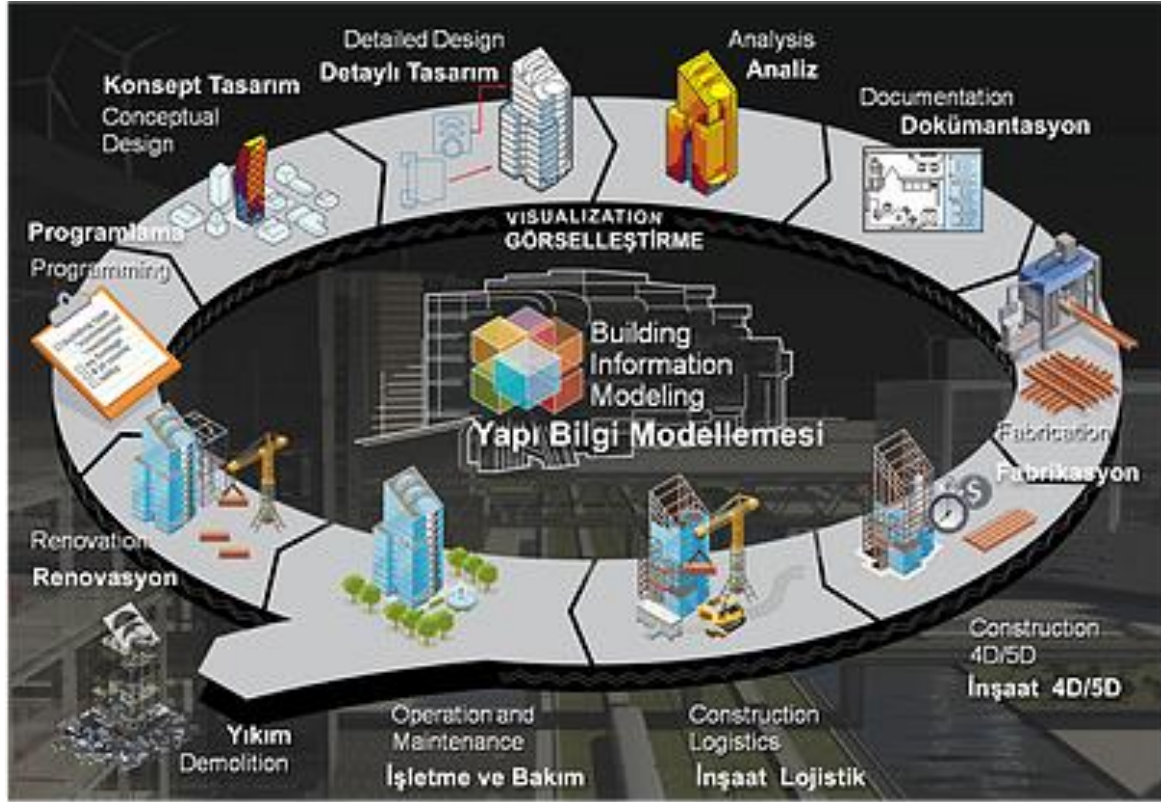
Bilgisayarda hesaplanabilen her şeyi üretebilmek mümkün hale gelmiştir. Artık sorulan soru “bu form yapılabilir mi?” değil, “ bu formu üretecek dijital araçlar nelerdir?” olmuştur (Kolarevic, 2003).

3.3.3. Sayısal mimarlıkta işbirliği ve yapı bilgi modelleme

Sanayi Devriminden günümüze kadar ulaşan dönemde bina programlarının genişlemesi, yapı formlarının daha serbest hale gelmesi, çok sayıda yeni ürün ve malzemenin sürece dâhil olması ve yeni inşa tekniklerinin geliştirilmesiyle yapı tasarımı ve üretimi ile ilgili süreçler bir kişinin temel karar verici olarak altından kalkamayacağı bir karmaşıklığa ulaşmıştır. Bu gelişmeler paralelinde bina tasarım ve üretim süreçleri farklı uzmanların farklı roller aldığı işbirliğine dayalı bir yapıya dönüşmüştür. Bu durum tasarım ve üretim sürecinde, farklı parametrelerden oluşan karmaşık ilişkiler ağını birçok disiplinle beraber ele alabilecek bir sistem ihtiyacı doğurmuştur.

Mimarlık ve mühendislik programlarının birlikte işlerlik problemleri dolayısıyla ortaya çıkan zaman kaybının her yıl yaklaşık 16 milyar dolarlık ek maliyet getirdiği tahmin edilmektedir. Bu yüzden programlar arası iletişimin ve geçişlerin düzenli hale getirilmesi, hem tasarımcıların çalışması sırasında sekteye uğramamalarını hem de ekonomik açıdan kayıpların azaltılmasını sağlayacaktır (Çakır ve diğerleri, 2014).

Bilgisayar destekli değerlendirme ve tahmin modelleri, birbirinden bağımsız olarak ve ortak bir veri tabanından yararlanma imkanı olmadan 1970’li yıllarda geliştirilmiştir. 1970’li yılların sonlarından itibaren, farklı alanlarda uzmanlaşmış araçların aynı ortamda çalışabilmesi amacıyla Bütünleşik Sistemlerin geliştirilmesi konusunda çalışmalara başlanmıştır. Farklı disiplinlere ait bilgilerin analiz, simülasyon ve diğer sayısal araçlar yardımıyla tasarım ve üretim sürecine entegre edilmesi ihtiyacına cevap olarak Yapı Bilgi Modelleme (Bina Bilgi Modelleri - BIM) sistemleri geliştirilmiştir. Günümüzde Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemleri, hesaplamalı tasarım yaklaşımları da dâhil olmak üzere, inşaat sektöründeki birçok farklı uzmanlık alanının çalışmalarını bütünleştirmeye olanak sağlayarak tasarıma ve üretime, kalite ve zaman bağlamında önemli katkı sunmaya başlamıştır (Resim 3.21).



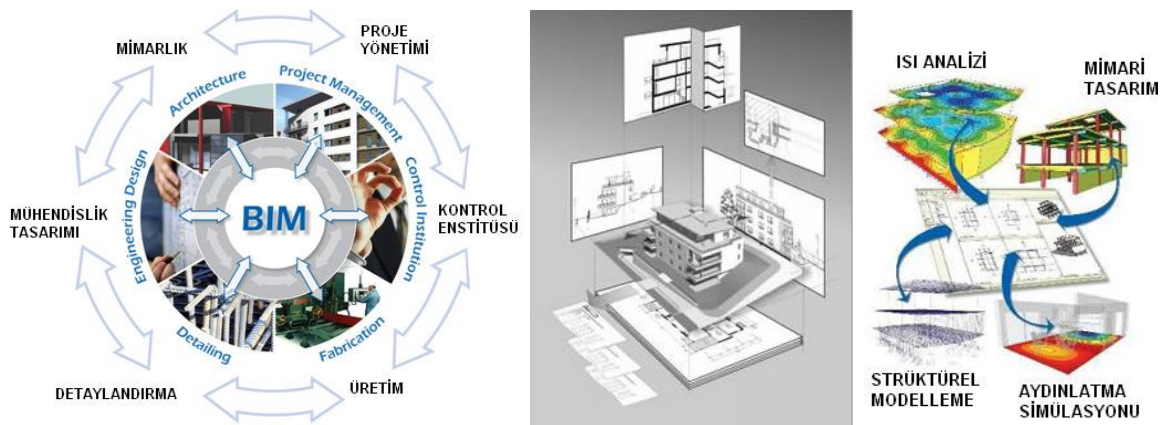
Resim 3.21. Yapı bilgi modelinin sunduğu çalışma platformlarını anlatan görsel (URL-10)

Yapı Bilgi Modelleme, yapıya ait tasarımın ilk aşamasından yıkımına kadar olan yaşam döngüsü sürecinin tamamının, işbirliği içerisinde sürdürülmesini hedefleyen bir çalışma ortamıdır. Bu süreci sağlayabilmek için, proje paydaşlarının etkileşimli bir şekilde çalışmasıyla yapıya ve çevresine ait geometrik ve geometrik olmayan (teknik veriler, coğrafi özellikler, çevresel faktörler, malzeme davranışları vb.) her türlü veriyi içinde barındıran bir yapı bilgi modeli üretilir. Bu model aracılığıyla, modele girilen veriler eşgüdümlü ve etkileşimli olarak işlenebilmekte ve hesaplanabilmektedir. Böylelikle, tasarım sürecinin ilk aşamasından itibaren tasarım probleminin çözümü ve değerlendirilmesi için ihtiyaç duyulabilecek boyutsal ve işlevsel gereksinimler, enerji ve sürdürülebilirlik performansı ve toplam inşaat maliyeti gibi birçok farklı çıkarım kolaylıkla elde edilebilmektedir. İnşaat sektöründe paradigma değişikliğine neden olan bu özelliklerine ek olarak Yapı Bilgi Modelleme, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının bütünleşik olarak çalışabildiği bir ortam sunmaktadır. Bu yaklaşımlar aracılığıyla türetilen karmaşık sayısal tasarım ürünlerinin detaylandırılmasına, dosyadan fabrikaya üretim yöntemiyle üretilmesine ve özelleştirilmiş kitlesel üretim uygulamalarına olanak sağlamaktadır. Mimar ve mühendislerle eşgüdümlü, bütünleşik ve etkin bir ortak çalışma

ortamı sunarak aynı işin çok daha kısa zamanda, daha az iş gücüyle, geniş kapsamlı değerlendirilebilmesini ve geliştirilebilmesini sağlamaktadır (Çağdaş ve diğerleri, 2015).

Tasarım aşamasında yapı bilgi modelleme

YBM kullanılarak oluşturulan modeller yardımı ile hızlı tasarım kararları alınabilmektedir. Benzer geometrilerden yeni tasarım modelleri daha hızlı üretilebilmekte, parametrik parçaların diğer alternatifler veya projelerde de kullanılabilir. YBM daha karmaşık yapıların daha hızlı üretilmesine olanak verir. Parametreler formüller ile değiştirilebilir ve üretilebilir. Tekrar eden yapı kısımları formüller ve parametreler ile yaratılabilir (Eastman ve diğerleri, 2011). YBM kullanılarak oluşturulan tasarım, tasarımcılar dışındaki proje katılımcılarının da anlayabileceği şekilde üç boyutlu ve gerçeğin belli bir oranda küçültülmüşü olarak çıktı alınabilir. Böylece alt kademelere yapılacak iş daha hızlı ve kolay anlatılabilir ve iş takibi daha kolay hale getirilmiş olmaktadır. Hesaplama gibi işler için YBM kolaylık sağlayarak işi otomatik hale getirmektedir. Katların net ve brüt alanları, hacimler, malzeme miktarları ve alan kullanımları hızlıca elde edilebilmektedir. Tüm yapı maliyeti kolayca hesaplanabilmekte, YBM verileri analizler için kullanılabilir. Yapısal analizler, enerji performansı, akustik analizler, aydınlatma analizleri, termal analizler, yangın, ısıtma soğutma analizleri gibi daha birçok analiz YBM modeli kullanılarak yapılabilmektedir (Resim 3.22) (Reddy, 2011).



Resim 3.22. Yapı bilgi modellemesi (YBM) programı, (URL-11)

Yapım aşamasında yapı bilgi modelleme

YBM ile çalışmak; daha az iş tekrarı, daha az değişiklik isteği, daha az sipariş değişikliği, tasarım hatalarının inşa öncesi tespiti ve daha az nitelikli işgücü ile sistem inşa yeteneği sağlamaktadır. Yükleniciler ve diğer proje katılımcıları, tasarımın erken aşamasında inşa ve imalat konuları ile ilgili bilgi alabilmekte, böylece tasarımın inşa edilebilirliğinden emin olmaktadır. Kodlara uyum, fizibilite çalışmaları, doğru metraj, yapı kalitesi ve inşaat teknikleri ve saha planlaması daha doğru bir şekilde yapılabilmektedir. YBM ile yapının inşaatının hedeflenen zaman planına uygun bir şekilde ilerlemesi sağlanabilmektedir. YBM yazılımlarının karmaşık geometrik denklemleri çözme ve büyük miktarlarda veri işleme yeteneği ile yapı elemanları arasındaki uzaysal çakışma ve sorunlar tespit edilebilmektedir. Böylece inşaat sahada başlamadan önce olası sorunlar, ilgili müellif tarafından çözümlenebilir (Weygant, 2011; Deutsch, 2011).

Yapının kullanımı ve işletilmesi aşamasında yapı bilgi modelleme

Kullanılan tasarım programı ile YBM modeli, tüm geometri ve ilişkili olduğu bilgileri bir veri tabanında saklar. Bu veri tabanı istenilen her an dışarıya ek bilgi ve desteğe gereksinim duymadan kolayca çıkarılabilir. Dışarı çıkan veri tabanı farklı veri tabanı yazılımları ile açılabilir. Yapının işletilmesi ve yönetimi ile ilgili yazılımlarla doğrudan da bağlantı kurulabilmektedir. YBM modeli yıllar sonra yapı ömrünü tamamladığında yıkım ve dönüşüm işlerinin planlanması ve yönetilmesinde de kullanılabilmektedir (Weygant, 2011; Deutsch, 2011).

Maddeler halinde sıralarsak, YBM ile aşağıdaki işlemler yapılabilmektedir:

- Kavramsal tasarım öncesi ve sırasında ihtiyaç planlamaları,
- Kavramsal tasarımda özgün formlar araştırma imkânı,
- Sürdürülebilir tasarım desteği,
- Doğru ve detaylı tasarım ve projelendirme,
- Bina performansından strüktür analizlerine ve ısıtma soğutma hesaplamalarından akustik analizlere kadar birçok konuda analiz imkânı,
- Güncel, koordineli ve eksiksiz 2 boyutlu dokümantasyon,
- 3 boyutlu iç - dış görselleştirme ve animasyon,
- Yapı elemanları ve sistemleri için ön imalat (pre-fabrication) desteği,

- 3boyutlu koordinasyon,
- 4 boyutlu iş ve saha planlamaları,
- 5 boyutlu yapı maliyeti tahminleri,
- Saha/İnşaat lojistiği simülasyon ve planlamaları,
- Yapının işletilmesi ve yönetiminde kullanım,
- Bakım, onarım ve yenileme çalışmalarında kullanım,
- Veri tabanının kurumsal kaynak planlaması, tedarik zinciri yönetimi ve işletme ve bakım işleri ve yazılımları için kullanılabilmesi,
- Yıkım planlaması (Eastman vd., 2011).

3.3.4. Tasarım karar destek sistemleri

Mimari üretim süreci, pek çok gerekliliği içinde barındıran oldukça karmaşık bir süreçtir. Çağımızın önemli sorunlarından olan hızlı nüfus artışı başta olmak üzere endüstrileşme ve kentleşme gibi nedenlerle enerjiye duyulan ihtiyacın her geçen gün artması yanı sıra daha konforlu yaşam alanlarına olan talebin de gün geçtikçe artması ve enerji tüketimiyle orantılı olarak ortaya çıkan sera gazı salımları ile çevreye tehlikeli boyutlarda zararlar verildiği göz önüne alındığında bina endüstrisine büyük bir sorumluluk düşmektedir. Yeni yapılacak binaların sürdürülebilirlik kriterleri hedeflenerek yüksek performanslı tasarlanması, mevcut binalarda ise yapılacak performans iyileştirici çalışmalar, en az enerji tüketimi ile en üst düzeyde kullanıcı konforunu sağlanması açısından önemlidir.

Literatüre bakıldığında, binaların performans karakteristiğini tanımlayan çeşitli terminolojilerin kullanıldığı görülmektedir. Yüksek performans elde edebilme bağlamında farklı tanımlamalar yapılabilmektedir. En sık rastlanılan terimler ise, “yeşil bina”, “sürdürülebilir bina” ve yüksek performanslı bina” olarak sıralanabilir. Bina performansını, sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde beklentilerin en uygun şekilde karşılanması olarak yorumlamak mümkündür. Bu beklentiler, insanın varlığını sürdürebilmesi, nitelikli bir yaşamının olabilmesi, ekosistem dengelerini bozmadan çevre kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla, uzun dönem çözümler üretmek için gerekli olan tüm etkinlikler olarak tanımlanabilir. Tüm bu beklentiler aynı zamanda sürdürülebilir mimarlığın temel hedefidir. Bu nedenle, mimarlığın “yeşil (green)”, “sürdürülebilir (sustainable)”, “çevresel (environmental)” veya “ekolojik (ecological)” kavramlarından

herhangi biri ile ifade edilmesinin önemli olmadığı söylenebilir (Çelebi ve diğerleri, 2008).

Bu çerçeveden bakıldığında, hangi ifade kullanılırsa kullanılsın, yüksek performanslı bina elde etmenin en önemli birkaç yararı;

- Doğal kaynakların kullanımının azaltılması,
- Maliyetin düşürülmesi
- Kullanıcı konforu ve sağlığının iyileştirilmesi ve
- Bölgesel altyapının tahribatının azaltılması ile yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, olarak sayılabilir (Harputlugil ve Hensen, 2006).

Performans bazlı bina, hangi amaçla inşa edilecekse, o amaca yönelik ihtiyacı barındırmalıdır. Bu bağlamda tasarım aşaması son derece önemlidir, çünkü binanın kullanım sürecindeki performansını belirleyecek pek çok karar bu aşamada alınmaktadır. “Yüksek performanslı bir bina” tasarlayabilmek için, binanın amaçlanan kullanımı tam karşılaması, bir başka deyişle tasarımcıların kullanıcı gerekliliklerini tam olarak anlaması son derece önemlidir, ancak yeterli değildir. Tasarımcı aynı zamanda binanın kullanıcı gerekliliklerini karşılamak için hangi özelliklere sahip olması gerektiğini de anlamış olmalıdır. Bu gereken özellikler, çözümden bağımsız, hesaplanabilir terimler halinde ifade edildiğinde, performans gerekliliklerinden söz ediliyor demektir (Harputlugil, 2011).

Diğer taraftan, tasarım süreci boyunca performans hedeflerine ulaşabilmek için tasarımcıya alternatifler sunarak içlerinden seçim yapmayı sağlayabilecek “tasarım kararı destek sistemleri”ne ihtiyaç duyulmaktadır.

Öncelikle yönetim bilimlerinde kullanılmaya başlanan, sonrasında da diğer mühendislik disiplinlerinde ve mimarlıkta uygulama alanı bulan karar destek sistemleri, bilginin giderek karmaşıklaşan yapısı, bilgi yönetimine ihtiyaç duyulması, farklı bilgi türleri arasında eşgüdüm ihtiyacı, insan tasarımcıyı destekleyecek sistem arayışları gereksinimleri ile ortaya çıkmıştır. Yapay zekâ çalışmalarına dayanan bu sistemler, karmaşık, iyi yapılandırılmayan ya da çok kriterli problemlerin çözümünde önemli rol oynamaktadır ve insan uzmanın karar verme sürecinde danışman görevi üstlenmektedir. Mimari tasarım problemlerinde, tasarım amaçlarının ve kriterlerinin süreç içinde dahi değişebildiği, çözüm

alternatiflerinin geliştirilmesindeki çözüm yolunun belirsizliği ve öznel kararların varlığı göz önüne alındığında, çözüm önerisinin seçiminde karar destek sistemlerinin önemi anlaşılmaktadır (Çağdaş ve diğerleri, 2015).

Tasarım sürecinin başından itibaren alınan kararların bina performansını doğrudan etkilediği bir gerçekliktir. Performans göstergeleri, bir binanın dinamik ve fiziksele dönüşmüş bir boyutta performans hedeflerini, nicel ölçütler kullanarak net olarak ortaya koyma çalışmasıdır (Akipek, 2004). Bu bağlamdaki tasarım probleminin çözümü ile ilgili bilgi miktarı çok fazladır ve genellikle birçok disiplinle ilgilidir. Tasarıma yardımcı kullanılan benzetim (simülasyon) teknikleri, geri beslemelere zamanında olanak verip, süreci aksatmayacak yerlerde kararların projeye dâhil edilmesine olanak sağlarken, zaman ve işgücü kaybını da ortadan kaldırmış olur (Duman, 2013).

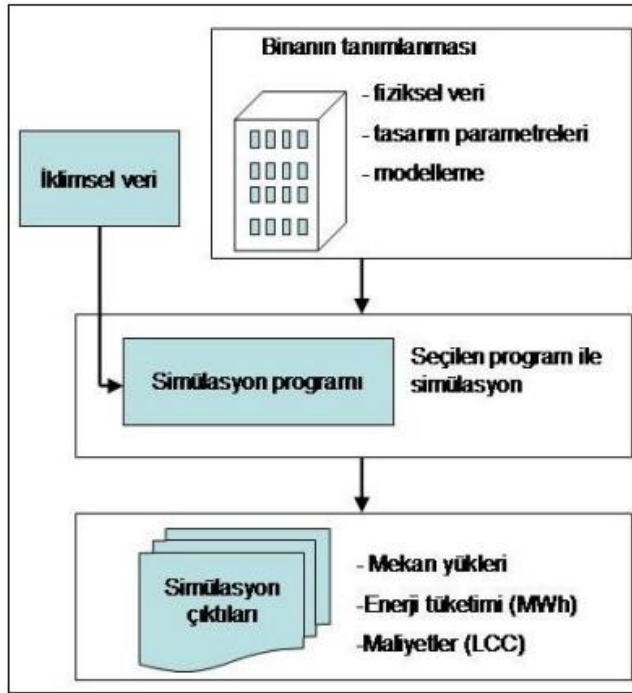
Bina performansını belirleyebilecek araçlar içerisinde, tüm parametrelerin detaylı ve eş zamanlı olarak ele alınabildiği aynı zamanda detaylı analiz yapma imkânı sunulan simülasyonun en uygun teknik olduğu söylenebilir. Birçok işlemlerin dâhil olduğu bu sürecinin karmaşıklığı katılımcıların birbirleriyle daha fazla beraber çalışmasını gerektirir.

Simülasyon

“Benzeşim” olarak da Türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir. Gerçek sistemleri tüm karmaşıklıkları içinde analiz etmek çok zor, hatta imkânsızdır ve genellikle bunu, bu karmaşıklık içinde gerçekleştirmek gereksizdir. Simülasyonun temel amacı, gerçek sistemden dikkatlice çekip çıkartılarak, sadece belirli gereklerle ilgili elemanların dikkate alınması ve görece olarak daha önemsiz olanların göz ardı edilmesi ile gerçek sistem davranışını doğru olarak tahmin etmek üzere kullanılabilen bir model geliştirmektir (Harputlugil, 2011). Sayısallaştırılan tasarımın simülasyonları çeşitli ilişkisel olasılıklarla farklı biçimlerin evrimini mümkün kılmaktadır.

Bina simülasyon programları, öncelikle binanın modellenmesini gerektirir. Burada tasarıma ilişkin verilerin tanımlanması söz konusudur. Bu, bazen sadece kütle formu, boyut, bileşen ve malzemelerle sınırlı kalabildiği gibi, detaylı simülasyon programları için,

saatlik kullanım zaman cetvellerinden, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme sistemlerinin özellikleri ve işletim stratejilerine kadar ayrıntılı pek çok bilginin tanımlanmasını da gerektirir. Programın çalıştırılabilmesi için ikinci en önemli veri, binanın yapılacağı bölgeye ait iklimsel verinin elde edilebilmesidir. Elde edilen veriler, simülasyon programının özelliğine göre değişmekle birlikte, detaylı enerji simülasyon programları genellikle, binanın veya mekânların ısıtma ve soğutma yükleri ile bunları karşılayacak yıllık enerji tüketimlerini vermektedir. Programların özelliklerine ve girilen veri düzeyine bağlı olarak, enerji maliyetleri veya binanın toplam maliyeti, binanın çevresel zararları (CO2 emisyonları gibi), yaşam boyu maliyeti (life cycle cost) gibi sonuçlar da elde edebilmek mümkündür (Resim 3.23) (Harputlugil, 2009).



Resim 3.23. Performans simülasyon programlarının işleyişi (Tunalı, 2015)

Günümüzde bilişim teknolojileri tasarım sürecinin ilk evrelerinden itibaren yapı performansına yönelik doğru kararlar almaya yardımcı bir dizi bilgisayar simülasyon (benzetim) programı sunmaktadır. Uluslararası çalışmalarda daha yaygın denilebilecek düzeyde kullanılan benzetim araçlarını şu şekilde sıralayabiliriz: BLAST (The *Basic Local Alignment Search Tool*), BSim, DeST (Designer's Simulation Toolkit), DOE-2.1E (The Department of Energy), ECOTECT, Energy-10, Energy Express, Ener-Win, EnergyPlus, eQUEST (the QUick Energy Simulation Tool), ESP-r, IDA ICE (Indoor Climate and

Energy), IES VE (Integrated Performance Solutions- Virtual Environment), HAP (Hourly Analysis Program), HEED (Home Energy Efficient Design), PowerDomus, SUNREL, Tas (Thermal Analysis Software), TRACE (Trane Air Conditioning Economics), TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation Program), Design Builder, SketchUp Plugin (OpenStudio) (Duman, 2013).

Çizelge 3.1’de de görüldüğü birçok farklı simülasyon aracı kendi içinde farklılaşan özellikler içermektedir. Günümüzde birçok girdi ile karmaşıklaşan proje yapım sürecinde, en doğru ve hızlı analizler için başvurulacak simülasyon araçları; tasarımcılara sadece var olanı test etmek değil tasarımı geliştirme olanakları da sunar. Birçok alternatif içinde en iyi tasarım seçeneğini yakalayabilmek, tüm tasarımı istenilen performans aracına göre test etmek, parametreleri değiştirerek sonuçları karşılaştırabilmek ve seçim yapabilmek gibi kavramlar ile tasarım döngüsü evrilir. Bu yönleriyle bu araçlar, “tasarım karar destek sistemi” kapsamında kullanıldığında tasarımı doğrudan etkileyen kararların alımında ve yönlendirmesinde önemli rol oynar (Duman, 2013).

Optimizasyon

Optimizasyon mevcut koşullar altında en iyi arama sürecidir. Her problem, birçok farklı bakış açısını içerir ve aynı anda birçok amacı gerçekleştirmeyi gerektirir. Eldeki kaynakları optimum bir biçimde kullanarak bu amaçları aynı anda gerçekleştirme işidir optimizasyon. Daha teknik bir ifadeyle, belli kısıtlar altında (eğer varsa) bir fonksiyonun maksimumunu ya da minimumunu bulmayla ilgilenen bir matematiksel disiplindir. Optimizasyon modelleri ise bir sistem çıktısını en iyilemek için, sistemin ilişkilerinin matematiksel ifadelerle tanımlanmış biçimdir (Karaboğa, 2004). Sınırlı sayılabilecek kaynakların, değişen ve gelişen teknolojilerin ve her geçen gün daha da karmaşıklaşan sistemlerin ortaya çıkardığı sorunların bilinen yöntemlerle çözümünün zorlaşması, optimizasyon kavramını güncelleştiren başlıca sebeptir.

Tasarlanacak sistemden beklentiler arttıkça daha karmaşık hale gelmekte ve problemin çözümü de o derece zorlaşmaktadır. Bir sistem için istekleri doğru şekilde sağlayan çok sayıda olası alternatif çözüm bulunabilir, bu çözümler içerisinde en iyisinin (optimum), en kısa zamanda bulunması önemli bir mühendislik çalışmasıdır. Bu ve benzeri çalışmalar “optimizasyon problemi” olarak adlandırılır (Karaboğa, 2004). Tasarım sürecinde problemler ve çözüm yolları birçok kez değiştirilir, geliştirilir ve böylece daha iyi, daha ucuza bulma yolları aranır. 1950’den günümüze geliştirilen optimizasyon teknikleri, birçok tasarım problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak bu uygulamalar çok daha kolaylaşmış ve yaygınlaşmıştır.

3.3.5. Yapay zekâ ve akıllı binalar

Bilişim, iletişim ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler nedeniyle günümüzde bilgisayar destekli tasarım ile ilgili yeni kavramlar ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri de yapay zekâdır. Günümüzde birçok alanda olduğu gibi mimarlık alanında da bazı konularda yapay zekâ çalışmalarından yararlanılmaktadır. Uzman sistemlerde, üretken algoritmalarda, akıllı bina otomasyonlarında, evrimsel tasarım yaklaşımlarında, mimari tasarımda karar destek sistemlerinde, belirme oluşumlarında, çevreye duyarlı yapılar ve akıllı mekânlarda, insan-bilgisayar etkileşiminde yapay zekânın sağladığı birçok fayda bulunmaktadır.

Yapay zekâ terimi 1956'da ilk kez McCarthy tarafından kullanılmıştır ve bilgi alanı zamanla birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Yapay zekâ basitçe, insan beyninin çalışma yöntemi ve düşünce yapısını taklit eder; daha geniş bir tanıma göre yapay zekâ, bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekâsına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır. Yapay sinir ağları, yapay zekânın bir aracıdır. Bu kurguya bütünden ulaşabilmek oldukça güçtür, dolayısıyla bütüncül olarak yapay zekâ kavramını destekleyen, yapay sinir ağları (*artificial neural networks*), eşik mantık ünitesi, bulanık mantık, doğal ara birimler, robotik gibi farklı alt alanlar bulunmaktadır (Elmas, 2003).

Mimarlık alanındaki yapay zekâ çalışmalarının genel amaçları tasarımcıyı destekleyecek, tasarım sürecini simüle edecek ve son nokta olarak tasarımcının yerini alabilecek sistemlerin yaratılabilmesidir. Öte yandan yapay zekâ, bilgisayar sistemlerinin geleneksel tasarım yöntemleri karşısındaki gelişmişliğini bir adım daha yukarı taşıyarak, bilgisayar destekli tasarımda yeni ara yüzlerin özel sistemlerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu sistemler mimari tasarım sürecinde kullanılabilecek etkileşimli modellerin ve 'akıllı oda' ya da 'akıllı ev' gibi mekânsal modellerin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu çalışmaların 'mekânsal bazda bilgi temsili', 'enformasyon mekânı', 'etkileşimli mimari yüzeyler' 'akıllı oda', 'mimari tasarımda uzman sistemler', 'dokunulabilir ara yüzler' gibi prototip uygulamaları bulunmaktadır (URL-12).

“Akıllılık”, sözlük anlamı olarak; belli seviyenin üzerinde olma ya da değişen durumlara uyum sağlayabilme yeteneğidir. “Akıllı binalar” ise; “Akıllı Binalar Enstitüsü” nün tanımıyla; strüktür, sistem, servis ve yönetiminden oluşan dört temel unsur ve bunlar arasındaki iletişim yoluyla, üretken ve ekonomik bir ortam sağlayan yapılardır. Akıllı binaların temel amacı; insanoğlunun değişen ihtiyaçlarına uyum sağlamak; enerjinin minimum kullanımının yanında, optimum düzeyde sistem işletimi ve konfor sağlamaktır. Söz konusu akıllılık; binanın tasarımı, teknik altyapısı ve donanım elemanlarından başlayarak; işletimine kadar süren bir akıllılık halidir (Zağpus, 2005).

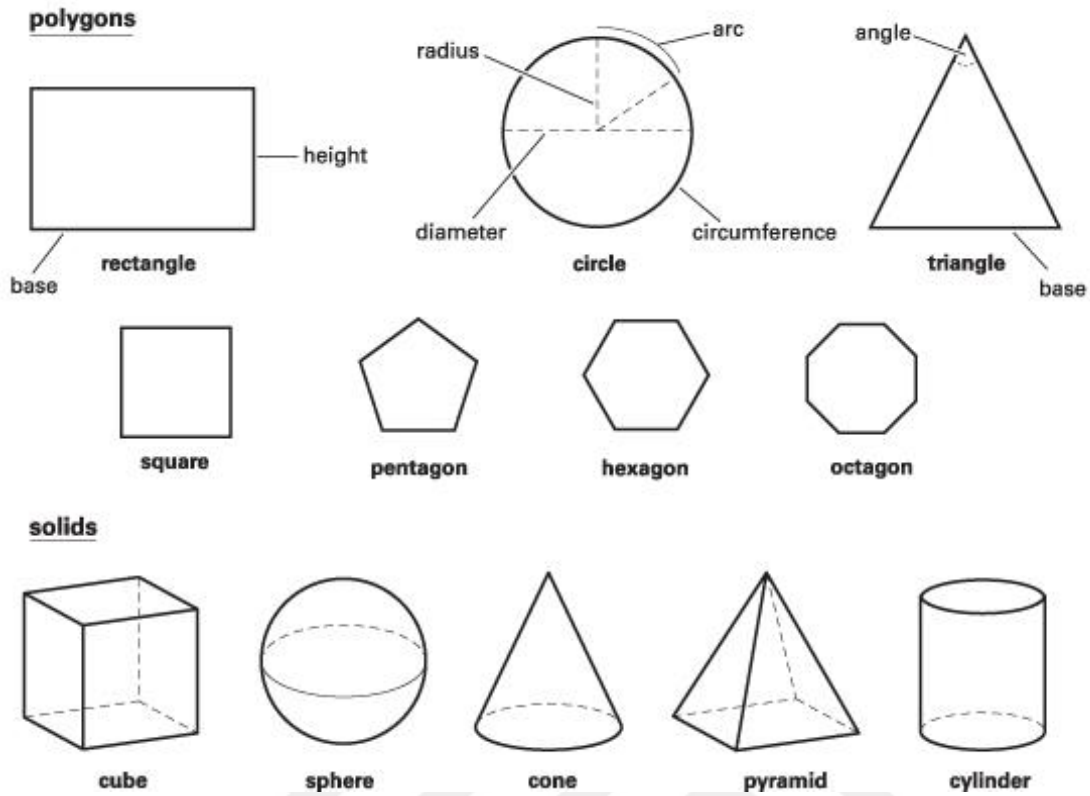
Bu tanımda akıllı binaların teknolojik yönü üzerine odaklanıldığını ve kullanıcı etkileşiminin vurgulanmadığı sonucunu çıkarabiliriz. Günümüzde ise akıllı bina denilince teknolojilerinin yanı sıra öğrenme yeteneği, çevresine ve kullanıcılarına göre algılama, değerlendirme ve yanıt verebilme özellikleri öne çıkmaktadır.

Akıllı mekânda kullanıcı - mekân ilişkisi yeniden tanımlanır. Kullanıcılar yaşadıkları mekânla etkileşime girer ve ondaki değişime katkı sağlarlar. Akıllı mekânın bir özelliği de bilişim teknolojileri ile donatılmış olması ve kullanıcıların bu mekânda bilgiye ulaşma ve iletişim kurma gibi faaliyetleri için imkân yaratılmış olur. Yalnız kullanıcı etkileşimi ile değil, çevresel koşullar ile uyum sağlayan akıllı mekânlar da mevcuttur. Örnek olarak gün ışığını kontrol etmek için bir mekânda camların şeffaflığının azalması gösterilebilir. Bu örnekler yapıda bilgi yönetimini kendi kendine gerçekleştirebilecek mekânlar için öncülük eder. Nano mekânlar da bünyesindeki nano malzemeler aracılığıyla akıllı mekânlar gibi, ortama uyum sağlama, kullanıcı ile etkileşime girme gibi özelliklere sahip olurlar. Bunun da ötesine geçerek, nano malzemelerin daha gelişmiş özellikleriyle beraber mekân yaşayan bir sistemin özelliklerini yansıtmaya başlar (Harman, 2011).

3.4. Sayısal Mimarlıkta Geometri

Mimari tasarımda sayısal medya formların gelişimi ve dönüşümünü sağlayan bir araç olarak kullanılırken, tasarım üzerindeki çalışmalar “form yapmaktan”, “form bulmaya” doğru gitmiştir. Bu çalışmalar sürecinde sayısal parametrelere ve algoritmik olarak tanımlanmış ilişkilere dayalı işlemler yapılmaktadır. Yapay zekâ, parametrik tasarım, üretici tasarım, animasyon teknikleriyle tasarım gibi tasarım yöntemleri sayısal tabanlı form üretme çalışmalarıyla mimariye karmaşık geometrilere sahip, eğrisel biçimsel kompozisyonlardan oluşan farklı biçimlenmeleri getirmektedirler.

Mimari geometri yüzyıllar boyunca öklid geometrisi üzerinden kurgulanmıştır (Resim 3.24). Geometri tarihinde uzun yıllar kesinliği tartışılmayan öklid geometrisi bir devrime yol açarken, öklid olmayan geometriler ise teknoloji ile birçok bilgisayar yazılımının temelini oluşturmuştur.



Resim 3.24. Öklid geometri örnekleri, (URL-13)

Öklid geometrisi beş ana kuraldan oluşur. İlk dört kural, mutlak geometrinin kurallarını oluşturmaktadır. Beşinci kural ise, çok önemli olan ve pek çok matematisyen tarafından çürütülmeye çalışılmış “paralellik” kuralıdır. Bu kurala göre, eğer iki çizgi birbirine paralel ise (kesişmiyorsa), bu iki paralel doğrudan birine dik kesen çizgi, diğer doğruyu da dik keser- ya da tam tersi, bir çizgi diğer iki çizgiyi dik kesiyorsa, diğer iki çizgi birbirine paraleldir. Öklid olmayan geometrinin bulunmasına sebep olan, Öklid’in beşinci kuralı olmuştur. Pek çok denemeden sonra, Carl Frederick Gauss’la başlayarak ondan sonraki matematisyenler bu tezi çürütmüşlerdir. 1868’de Eugeni Beltrami’nin “*On an Interpretation of Non – Euclidean Geometry*” adlı yazısında, eğrisel çizgilerin düz gibi görülebileceğini ve küresel geometrilerde bu kuralın geçerli olmadığını öne sürmüştür. Bu çalışmalarla sadece öklid geometrisi değil, bu geometriyi temel alarak düşünülmüş Newton fiziği de, gerekli eğrisel yüzeyleri kapsamadığı için başarısız olarak değerlendirilmiştir ve Albert Einstein yeni öklid olmayan geometriyi temel alarak “Bağıllılık Teorisi”ni geliştirmiştir (Kolarevic, 2003).

Öklid dışı geometrinin, öklid geometriden temel farkı paralel olmayan doğrulardır. Modern geometrinin gelişimini sağlayan öklid olmayan geometriler, uzaysal mekânın eğrisel ve

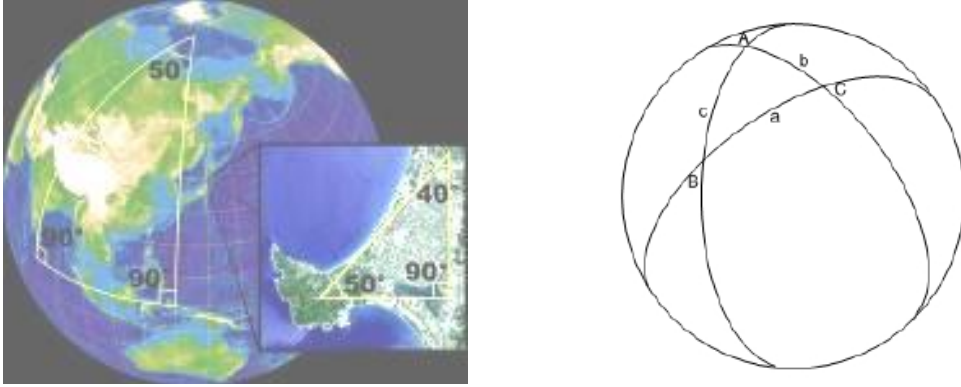
çok boyutlu oluşları ana fikirleri üzerinde gelişen geometrilerdir (Kolarevic, 2003). Öklidyen olmayan geometrilere hiperbolik geometri ve küresel geometri örnek gösterilebilir (Resim 3.25).



Resim 3.25. Öklid dışı geometri, (URL-13)

Gauss'un öğrencisi olan Riemann geometri kavramını, Küresel geometriyi de katarak genişletmiştir. Küresel geometri Öklid'in başka bir ön kabulüne de ters düşmektedir. Riemann'ın Küresel (Eliptik) Geometri'sine göre; noktalar kürenin noktalarıdır, doğrular ise büyük çemberlerdir. Kesişmeyen doğrular yoktur. Doğrular sonlu uzunluktadır (Pak, 2005).

Riemann mekânın eğriselliğiyle birlikte, pozitif ve negatif eğrisellik kavramlarını da ortaya koymuştur. Ona göre 0 eğimindeki bir yüzey düzdür Basit olarak küre gibi ifade edilen Reimann geometrisinde yüzeyle pozitif yönde eğimlidir. Bu geometride yüzey üzerinde bulunan hiçbir çizgi bir diğerine paralel değildir. Boylamların ekvatorunda paralel olarak başlayıp daha sonra kutuplarda kesişmesi bunun en açık kanıtıdır. Küresel geometrideki doğrular iki noktada kesişen büyük çemberlerdir. B.Rieman'ın kurduğu bu eliptik geometri geliştirdiği n-boyutlu eğri uzay kavramı yeni bir dönüm noktası olmuştur (Resim 3.26) (URL-14).



Resim 3.26. Yerküre üzerinde bir üçgenin iç açılarının toplamı ve Riemann modeline göre küresel (eliptik) geometri, (URL-14)

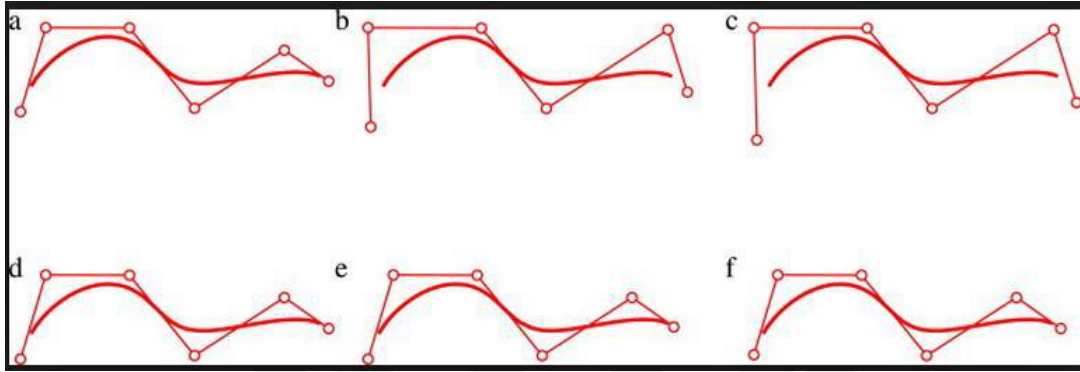
Sayısal mimaride eğri yüzeyler ise matematik dilinde NURBS olarak tanımlanmaktadır. NURBS kontrol noktaları (*control points*), etki merkezleri (*weight*) ve düğümleri (*knots*) sayesinde oluşturdukları yüzeyleri kontrolü kolay nesneler haline getirebilmektedirler. Sayısal mimaride NURBS'ler heterojen fakat buna rağmen tutarlı formlar oluştururken aynı zamanda bu formların CNC (*computer numerically controlled cutting device*) makinelerinde üretilmesi için tanımlı değerini de barındırmaktadırlar

NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines* / tek biçimli olmayan rasyonel B-eğrileri)'lere bağlı üç boyutlu dijital modelleme yazılımları ve animasyon tekniklerinin gelişmesiyle daha önceden endüstri tasarımında kullanılan eğrisel formlar son on yıldır mimariye girmiştir. Yeni formlar topolojik uzay, izomorfik yüzeyler, dinamik sistemler, animasyon, parametrik tasarım ve genetik algoritmalar gibi sayısal tasarım yöntemlerine bağlı kalınarak üretilmeye başlanmıştır. Sayısal ortamda tasarlanmış olan bu karmaşık formların tasarım bilgilerinin doğrudan fabrikaya gönderilmesi ile üretim de sayısal süreçlere bağlı kalınarak yapılmaktadır. Tasarımın ve üretimin sayısal ortamda yapılması sayısal sürekliliği sağlamaktadır.

Bir NURBS eğrisinin şekli, etki alanına ve düğümlerine bağlı kalınarak kontrol noktalarından değiştirilebilir. Her kontrol noktası etki alanıyla ilişkili olarak eğri üzerinde ne kadar etkiye sahipse o ölçüde eğriyi değişime uğratabilir. Her kontrol noktası ana fonksiyona refere eden bir polinomial denkleme sahiptir. (NURBS' deki B ve B

eğrilerinin genelinde) rasyonel bir B eğrisi matematiksel olarak iki polinomial denklemin oranı olarak ifade edilir. Her ana fonksiyon kontrol noktasının civarındaki eğri bölümünü etkiler ve bu bölümler ‘düğüm’ler (knots) ile sınırlandırılır (Kolarevic, 2003).

NURBS eğrilerinin şeklini değiştiren bir başka parametre de derecedir. En az polinomial açı, en yakın kontrol noktaları arasına yerleşen eğriyi tanımlamaktadır (Resim 3.27).



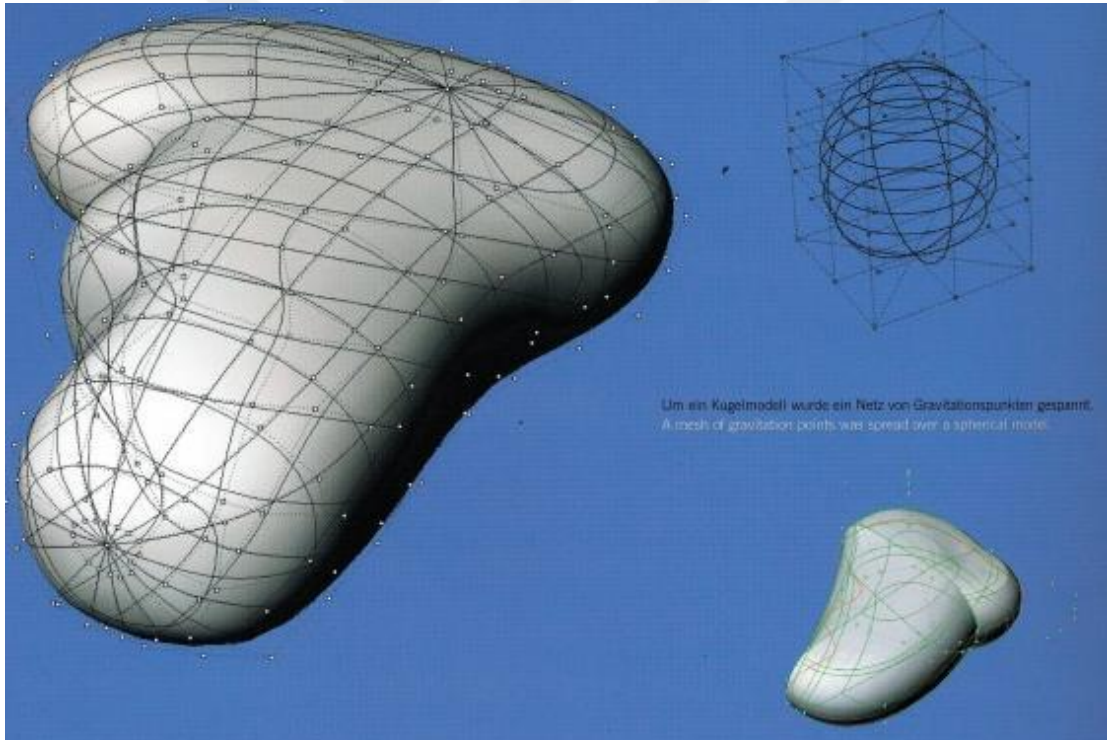
Resim 3.27. Nurbs şematik gösterimi, (URL-15)

NURBS objelerin bir başka özelliği de üç boyutlu kartezyen uzay içinde yer alan ‘bölgesel’ parametrik uzay içinde tanımlanabilir olmasıdır. NURBS eğrileri üç boyutlu geometrik uzay içinde yer alırken bu parametrik uzay bir NURBS eğrisi için tek boyutludur. Bu tek boyutluluk topolojik bir basamak içinde genellikle ‘U’ olarak tanımlanır. Yüzeyler parametrik uzayda U, V ya da daha sıklıkla X veya Y olarak tanımlanan iki boyuta sahiptir. Isoparametrik eğriler ise U ve V doğrultularında NURBS yüzeyleri tanımlamak için kullanılırlar. Bu eğriler parametrik NURBS matematiğinde sabit U veya V değerlerine sahiptirler. Bu eğriler bir arazi topografyasının tanımlanmasında kullanılan topografik eğrilerle benzerdir (Kolarevic, 2003).

Avusturya’nın Graz kentinde bulunan, Peter Cook - Colin Fournier tasarımı biyomorfik yapı kabuğuyla bilinen Kültür ve Sanat Merkezi sayısal teknolojiler kullanılarak üretilmiştir (Resim 3.28). Bu binanın kabuğunda kullanılan akrilik panelleri Nurbs eğrileri kullanılarak tasarlanmıştır (Resim 3.29). Akrilik paneller, su geçirmeyen, strüktürel stabiliteye sahip, doğal ve yapay ışık sağlayan, güneş enerjisini depolayan, ısıtma, soğutma ve hava sirkülasyonunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

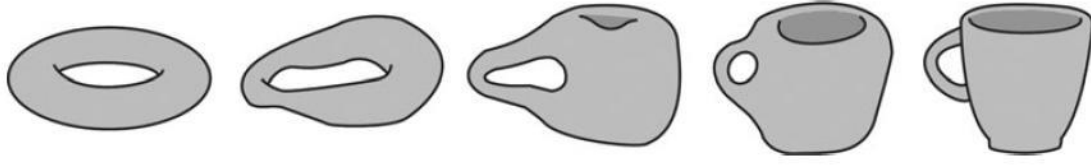


Resim 3.28. Kunsthaus Graz, Avusturya, Peter Cook ve Colin Fournier, (URL-16)



Resim 3.29. Nurbs Eğrileri ile Tasarım, (URL-17)

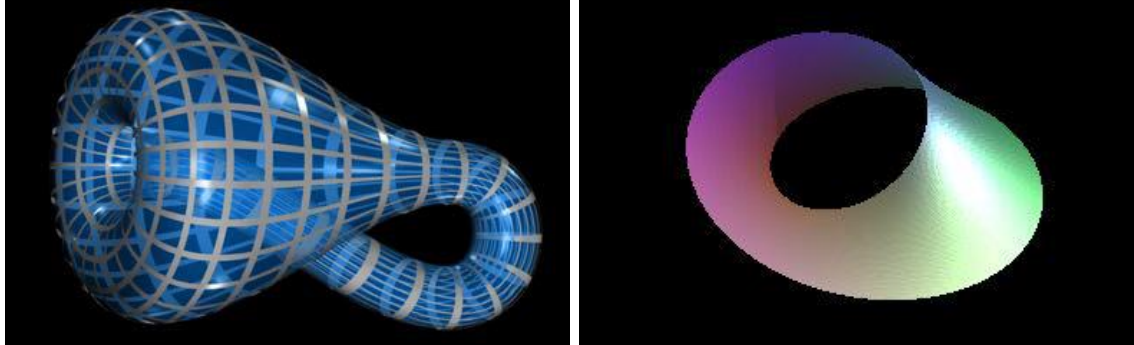
Eğrisel yüzeyler ile topolojik yapılanma mimaride sıkça karıştırılan kavramlardır. Topolojik yapılanma eğrisellik ile açıklanamayacağı gibi öklid dışı geometriler ile üretildiği yönündeki anlayış da doğru değildir. Topoloji, matematikte geometrik biçimlerin ya da objelerin sündürme, döndürme gibi dönüştürme işlemleriyle değişmeyen özelliklerinin incelendiği bir daldır. (Resim 3.30).



Resim 3.30. Donuttan kupaya topolojik dönüşüm, (URL-18)

“Tanımlanmış geometride bir objenin öncelikle geometrik biçimi tanımlanırken, Topolojik geometride objenin kenar, köşe ve nokta sayısı gibi değerlerine bağlı olarak ilişkisel strüktürler tanımlanmaktadır. Topolojiye dayalı tasarımlarda, biçimsel kompozisyonlara ait biçimlerin arasındaki ilişkisel mantığı kurmak esastır. Mantık kurulduktan sonra çeşitli dönüşümlere açık, aynı ilişkisel sistem üzerine kurulu birçok biçimsel alternatifin üretilebilmesi dinamik bir tasarımı mümkün kılmaktadır” (Kolarevic, 2003).

Topolojik geometrilerinin en popüler olanı, Alman matematikçi A. Ferdinand Möbius' 1858 yılında ortaya koyduğu Möbius şerididir. Möbius şeridi, iç-dış ayrımı olmayan bir nesnedir. Bir diğer örnek ünlü Klein Şişesi, iki Möbius şeridi'nin birleşiminden ortaya çıkmaktadır (Resim 3.31).



Resim 3.31. Klein şişesi ve Mobius şeridi, (URL-19)

Asıl özelliği çok tarafı olabilen mobius sarmalı ve klein şişesi gibi içi ve dışının sınırları belirsizleşmiş topolojik şekiller mimarlıkta “iç” ve “dış” ayrımından kurtulmayı sağlamıştır. Ben van Berkel’in Mobius Strip biçimdeki diyagram yardımıyla geliştirdiği Mobius House projesi, bu topolojilerin kullanımlarına örnektir (Resim 3.32).



Resim 3.32. Mobius ev, Ben van Berkel, (URL-20)

90'lı yıllarda nurbs çizimleri, CAD/CAM sistemleri gibi gelişmeler; deneysel çalışmalar olarak 80'lerin başlarında gündeme gelen parametrik olarak tanımlanıp tasarlanan ve otomatik olarak üretilen objeler fikrini uygulanabilir hale getirmiştir. Oluşan yeni koşullar çerçevesinde, eski CAD yazılımının koordinat sistemlerine dayalı tanımlanmış geometrik modelleme araçları yetersiz kalmıştır. Bu yüzden yeniden düşünülen geometrik uzaylarda, nesneye ve forma ait dönüşümsel modelleri tanımlayan parametrik geometriyle çalışılmıştır.

Bridges, biçimlerin parametrik olarak tanımlanmasıyla sabit uzunluklarla çalışmak yerine, ölçülerin birbirine bağlı halde kurgulanmasının mümkün olduğunu belirtir. Böylece parametrik olarak tanımlanmış geometrik biçimin, bir bileşenindeki ölçü değiştirildiğinde ona bağlı bulunan diğer birimlerin nicelikleri de bu değişime göre yenilenir (Akipek ve İnçeoğlu, 2007).

Gaudi'nin Sagrada Familia Kilisesindeki eksik parçaların ve zengin mimari dilin çözümlenmesinde ilk olarak biçimi oluşturan geometriler arasındaki ilişki örüntüsünü tasarlanmıştır. Kilisenin batı tarafındaki duvar tasarlanırken, duvarı oluşturan bileşenlerin uzunluk, açı, denklem sabitleri gibi parametreleri değiştirildiğinde diğer bütün elemanların

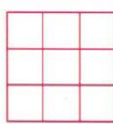
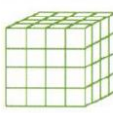
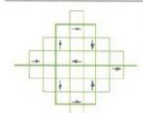
değişen geometrilerini güncelleyebilecek ve tüm bileşenlerin hareketlerini inceleyecek bir ilişki kurulmuştur.

Doğadaki formların tasarımlarda ele alınmasıyla, günümüz mimarisinde doğadaki nesnelerin oluşum biçimlerinin ve yapılarındaki oranların etkileri ve dolayısıyla doğanın geometrisi olarak tanımlanan fraktal geometrinin bazı karakteristik özellikleri de görülmektedir.

Fraktal kavramı ilk defa Benoit Mandelbrot tarafından 80'li yıllarda kullanılmıştır. Mandelbrot "*fraktal*" terimini Latince bir fiil olan "*fractus*"tan almıştır. Bu kavram, "düzensiz" ya da "düzensiz parçalar yaratmak" anlamına da gelen *frangere* kökünden gelmektedir. Fraktallere sahip bir yapının kitlesinden iç mekândaki en küçük elamanına kadar yaklaşıldığında "kendine benzer" birçok ayrıntıya ulaşılmaktadır (Mandelbrot, 1982). Fraktaller, tüm ölçeklerde kendi içinde tekrar eden örüntüler sergileyen, geometrik kurgulardır (Bovill, 1996).

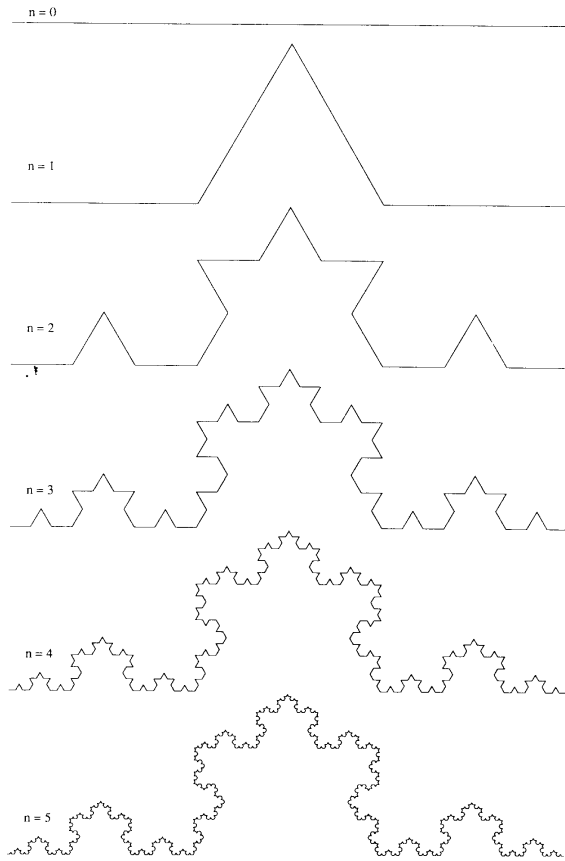
Öklid ile başlayan geometrik araştırmalar, Mandelbrot tarafından 20.yüzyılın sonlarına doğru 1986'da düzensiz yapılar üzerinde yaptığı araştırmalar ile geliştirilmiştir. Çizelge 3.2'de fraktal geometri ile Öklid geometrisi karşılaştırılmaktadır:

Çizelge 3.2. Öklid geometrisi ve Fraktal geometri (Ediz, 2003)

Euclid Geometrisi				Fraktal Geometri			
Geleneksel (>200yıl)				Modern (~20 yıl)			
Karakteristik bir ölçek ve boyut var				Özel bir şekilde ya da ölçekte değil			
Basit objeler için uygulanır				Doğadaki formlara uygulanabilir			
Bir formül ile tanımlanabilir				Çevrimli bir algoritma ile tanımlanabilir			
	r	N	$N=r^D$		D_f	r	N
 line	5	5	5^1	 Cantor Set	0	3	2
 square	3	9	3^2	 Sierpinski Gasket	1	2	3
 cube	4	64	4^3	 Peano Curve	1	3	9
							$D_s = \frac{\log N}{\log r}$
							0.63
							1.58
							2.00

Fraktal geometri, doğadaki örneklerden yola çıkılarak insan eliyle ya da bilgisayar desteğiyle de üretilebilmektedir. İnsan eliyle üretilmiş en iyi örneklerden birisi *Koch Eğrisi* 'dir (Resim 3.33). Mandelbrot çalışmalarında 1904 yılında *Koch Curve*'yi keşfeden İsveçli

matematikçi Helge von Koch'tan etkilenmiştir. Üreten (*generator*) ve başlangıç biçimi (*intiator*) onun teorisiyle ortaya çıkmıştır. Bu kurama göre, önce düz bir çizgi vardır. Bu çizgi başlangıç biçimi olarak adlandırılır. Daha sonra bu çizgi üç eşit parçaya bölünür; ortadaki parça eşkenar üçgen olacak şekilde ye değiştirir ve böylece devam eden bu kurguya üreten denir (Bovill, 1996). Burada başlangıç biçimi olan her doğru parçası, bir üretim kuralı uygulanarak ile birçok tekrar (*iterasyon*) eden algoritmalar sonucunda oluşan yeni kompozisyonlar ile değiştirilmektedir. Böylece fraktal, karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. İnsanoğlu tarafından geliştirilen algoritmalar ile üretilen bu yapay fraktaller, kendi içlerinde sonsuz sayıda bölünmektedir. Tekrarlar sonsuz küçüklüğe kadar sürdürüldüğünde, kendine benzerlik özelliği gözlenmeye devam etmektedir. Doğada rastlanan fraktalllerde ise, en fazla arka arkaya üç çevrim bulunmaktadır. Küçük parçalara doğru detay aşamalı olarak ortadan kaybolmaktadır (Ediz, 2003).



Resim 3.33. Koch eğrisinin oluşturulması, (Bovill, 1996)

Sayısal ortamın potansiyelinden ve fraktal geometrilerden faydalanılarak tasarlanan Hessing otomobil sergi salonu ve ses bariyeri (Resim 3.34) birbirinden farklı, fakat

kendine benzer (*self similar*) parçaların bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Benzer elemanlar tamamen birbirlerinden farklıdır ve hepsi ayrı ayrı bilgisayar ortamında tasarlanarak üretilmiştir.



Resim 3.34. Hessing showroom ve ses bariyeri, Kas Oosterhuis, (URL-21)

3.5. Sayısal Tasarımda Biçim

İlk kullanımları çizim ve temsil aracı olan bilgisayar ortamı ve teknolojileri, günümüzde gelişerek tasarım ve biçim geliştirme amaçlı kullanılmakta, deneysel ve kuramsal çalışmalar bu yönde gelişmektedir.

Bulunduğumuz bilgi ve iletişim çağında biçim, dijital ortamın sunmuş olduğu imkânlar sayesinde farklı kavramlarla yeniden tanımlanmaktadır. Gözüken odur ki artık tasarımcının biçim araştırmaları konusunda “bilgisayar” gibi bir ortağı bulunmaktadır ve bu araştırmaların yapıldığı ortam artık statik değil dinamik bir ortamdır. Bu bağlamda işin içine hareket ve zaman gibi kavramlar dâhil olmuştur. Zaman ve hareket, devinim, davranış, animasyon, deformasyon, güç alanları gibi alt başlıkları da beraberinde getirmiştir. Bunun yanında tasarımcının, tasarımını soyutlayarak biçim, mekân ve düzene dönük algoritmik ilişkileri belirlediği, bilgisayarın bu ilişkilere dayanarak sayısız alternatif ürettiği üretken sistemler üzerinde çalışmak mümkün olmuştur (Turan, 2009).

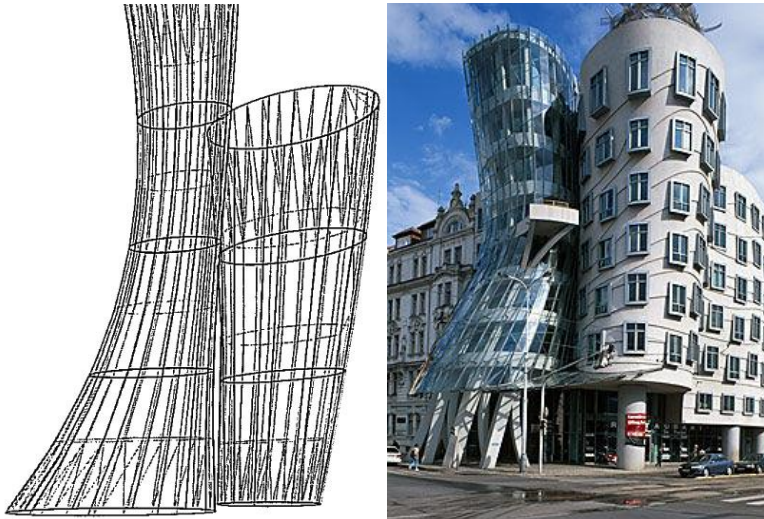
Bu konuda yapılabilecek olan ilk çıkarım, mimarlıkta biçim üzerine yoğunlaşan geleneksel anlayışların, yerini süreç üzerinden düşünmeye bıraktığı şeklinde olabilir ve tasarım sürecinin kendisinin bir tasarım konusu haline geldiği söylenebilir. Biçimin bir süreklilik ve ilişkiler ağı ifade ettiği, ideal son biçimi bulma iddiasının giderek zemin kaybettiği bir mimarlık anlayışında, biçim artık kendi oluşum döngüsü içindeki, herhangi bir noktanın dondurulması veya “emergent” yani belirlenen ilişkilere bağlı olarak ortaya çıkan şeklinde

tanımlanabilmektedir ve bu tanımlamaların ortaya çıkmasını sağlayan en önemli kaynaklarından biri sayısal ortamın kendisidir. Burada geleneksel ve sayısal arasında, kavramların dönüşümünü yakalamak mümkündür. Biçimi üreten üslup değil sürecin kendisi olduğu zaman, Kolarevic' in dediği gibi biçim (*form*) kavramı yerini biçimlenmeye (*formation*), biçim yapma kavramı (*making of form*) yerini biçim bulmaya (*finding of form*) bırakmaktadır (Turan, 2009).

Terzidis, hesaplamalı tasarım ortamında oluşturulan biçimleri:

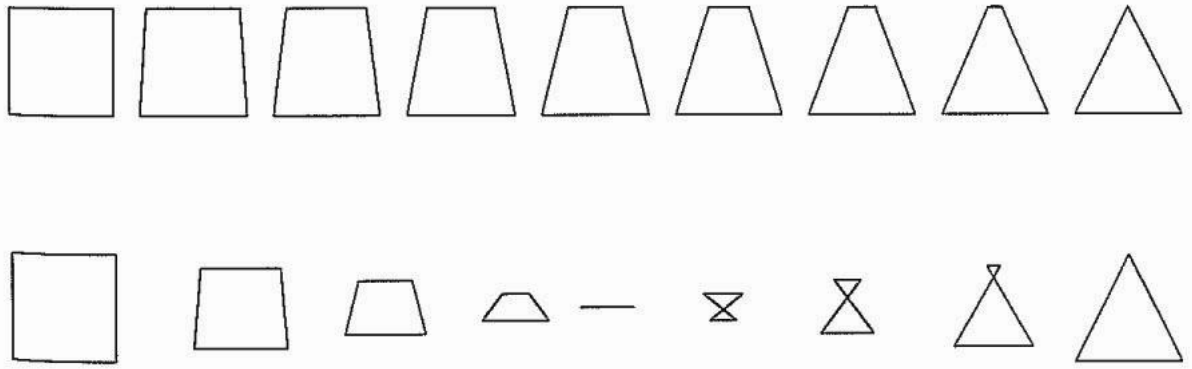
- Karikatür Biçim / *Caricature Form*,
- Melez Biçim / *Hybrid Form*,
- Kinetik Biçim / *Kinetic Form*,
- Katlanmış Biçim / *(Un)folded Form*,
- Çarpıtılmış Görüş / *Warped Eye*,
- Algoritmik Biçim / *Algorithmic Form*, başlıkları altında toplamıştır (Terzidis, 2003).

Karikatür biçim, Terzidis biçimi tanımlarken kullandığı ve deformasyon olarak nitelendirdiği karikatür kelimesini, bir abartılmışlığı, bilinen kütlelerin çekiştirilmiş ve deforme edilmiş alternatiflerini tanımlamak için kullanılan bir terim olarak tanımlamaktadır ve karikatürün aslında mimarının en derin arzusuna; aslında yaşam barındırmayan bir biçime hayat vermeye hitap ettiğini söylemektedir (Terzidis, 2003). Gehry'nin Ginger and Fred olarak da bilinen dans eden yapısı karikatür biçimin deformasyon mantığını gösteren örneklerden biridir (Resim 3.35).



Resim 3.35. Ginger and Fred, Prag, Frank Gehry (Terzidis, 2003)

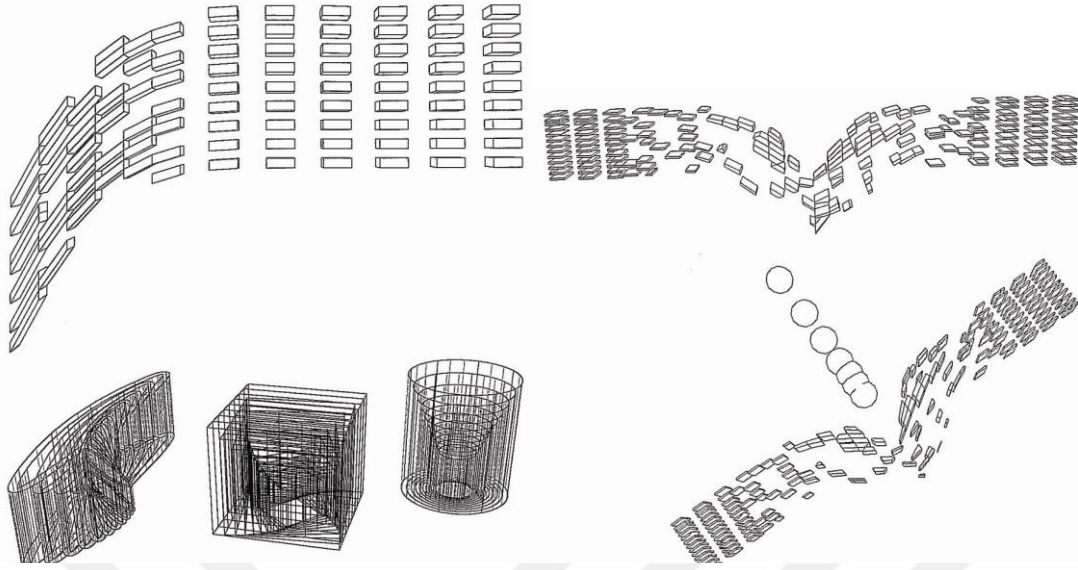
Melez biçim, iki ebeveyn biçimin bir çocuk biçim oluşturması durumudur (Resim 3.36). Bir ebeveyn biçimin başka bir ebeveyn biçime başkalaşımı sırasında geometrisi değişir ancak topolojisi değişmez. Bu dönüşüm sırasındaki ara değerler alınarak çocuk biçime ulaşılmaktadır (Turan, 2009). Terzidis melez biçimi, biçim başkalaşımı, ara değer, sonuç değer, bütünleşme, birbirine uyum sağlayarak bütün hale gelmek gibi anahtar kelimelerle açıklamıştır (Terzidis, 2003).



Resim 3.36. İki ebeveyn biçimin melez biçimi oluşturması (Terzidis, 2003)

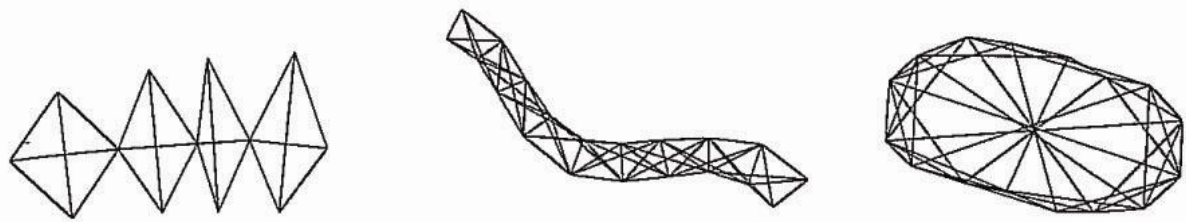
Kinetik, hareketle ilgili, hareket sebebiyle oluşan anlamına gelen bir terimdir. Hareket ise bir cismin durumunun ve yerinin değişmesi, devinim, anlamındadır. Biçimin kendisi bu tanımları fiziksel olarak barındırmaya bile, anlam ve algılanış olarak sürekli bir hareketliliği ifade edebilir (Turan, 2009).

Mimarlıkta hareket fikri, genellikle sebep-sonuç ilişkisini ima eden soyut biçimsel yapılanmalar olarak ifade edilmektedir. Yer değiştirme, indirgeme, bastırma, kesim, minyatürleştirme, büyütme, ekleme, uzatma, hacmini arttırma, yerine koyma, yokluk, bulaştırma, çözünme, yerinden çıkarma, sürtünme ve içe girme, mimarlar tarafından hareket ve değişimi anlatmak için kullanılan terimlerden bazılarıdır. Mimaride hareketi ifade etmenin en çok kullanılan modeli, biçimin evrimini şekillendiren fiziksel veya biçimsel güçlerin kullanılması olmuştur. Uygulamalı fizik ve hesaplamaların kullanımıyla, tasarım uzayı, fiziksel kuvvetlerin biçim üzerindeki etkilerini keşfetmede kullanılan dinamik simülasyon ortamı haline gelebilir (Resim 3.37) (Terzidis, 2003).



Resim 3.37. Kinetik Biçim (Terzidis, 2003)

Katlamak, nesneleri üst üste kat oluşturacak biçimde bükme olarak tarif edilmiştir. Katlanmış biçim, dışarıdan ekleme veya çıkarma içermemekte ve katlama işlemi sonucunda yine objenin şekli değişse de topolojisi değişmemektedir. Çeşitli şekillerde katlanarak tekrar eden örüntüler, katlanmış biçimi oluşturmaktadır (Resim 3.38) (Terzidis, 2003). Terzidis'e göre katlama biçimin en varoluşsal niteliği olan bir boyuttan diğer boyuta geçişi tanımlayan karmaşık bir süreçtir. Mesela iki boyutlu bir yüzey sayılabilecek alüminyum folyo, katlanarak küre benzeri üç boyutlu bir nesne yaratılabilir ancak bu alüminyum folyonun iki boyutlu yüzey özelliğini değiştirmemektedir.

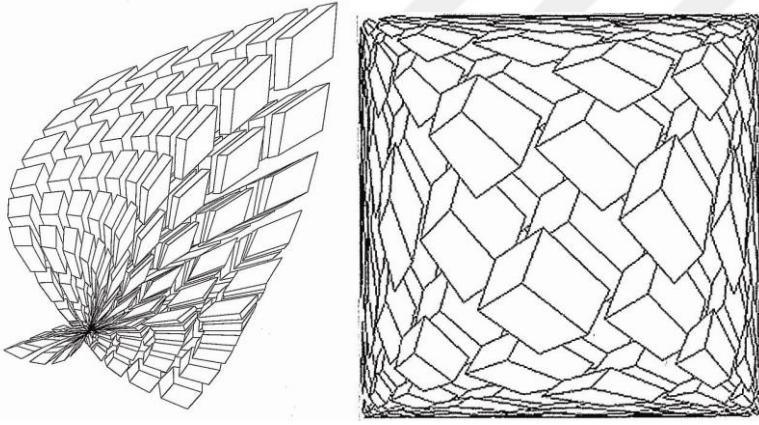


Resim 3.38. Katlanmış Biçim (Terzidis, 2003)

Çarpıtılmış görüş perspektif algı ile ilgilidir. Perspektif görüntüler, var olan objenin üç boyutlu olarak uygun tekniklerle başka bir ortama aktarımıdır. Tarih boyunca bu aktarımlar farklı teknik, yöntemlerle ve ifade biçimleriyle gerçekleştirilerek sanat ve tasarım alanında var olmuştur. Mimarlıkta farklı perspektif yöntemleri, belirli amaçlara yöneliktir. Örneğin aksonometrik perspektif daha nesnel, ölçekli, üzerinden kesin ölçülerin alınabileceği ve uygulama yapılabileceği bir yöntem iken kaçışlı perspektifler ise daha öznel, çizenin

bulunduğu konumu ve yine çizenin göstermek istediği özellikleri gösteren bir yöntemdir (Turan, 2009).

Günümüzde kullanılan bilgisayarla oluşturulmuş fotogerçekçi perspektif görüntüler, gerçeğin bire bir temsili olma eğilimindedir. Bu durum, perspektifin sadece sunum aracı olarak kabul edilme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Mimarlıkta kullanılan farklı perspektif yöntemleri olduğu belirtilmiştir ancak bunların hepsi görsel ve fiziksel uzayın Kartezyen düzlemde olduğu esas alınarak yapılmıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar ise Öklidyen ve Kartezyen ilişkiler dışındaki mekân ilişkileri üzerinedir. Örneğin görsel uzayın hiperbolik, fiziksel uzayın Kartezyen olduğu düşünebilir, bu iki uzay arasında bir ilişki kurularak bambaşka mekân algıları oluşturulabilmektedir (Resim 3.39) (Terzidis, 2003).



Resim 3.39. Çarpıtılmış Görüş (Terzidis, 2003)

Algoritma, belirli kurallara bağlanarak yapılan her türlü hesap işlemi olarak tarif edilmektedir ve yapılandırılmış mantıksal bir çerçeve içerisinde belirli bir problemin çözümüne yöneliktir.

Algoritma mantığının biçime yaklaşımı rasyonel ve tutarlıdır. Bu deterministik yaklaşım, tasarım sorunlarına belirli çözümler sunar, ancak bu çözümler içinde biçimsel estetik, kavramsal anlamlandırma ve sembolize etme gibi tanımlanması zor kavramlar sınırlı olarak bulunmaktadır. Ancak biçim ve estetikle ilgili teoriler genelde bu tür özellikler içermektedir. Bu sebeplerden dolayı, tasarım probleminin çözümüne yönelik olarak algoritma kullanımı tasarımcılar tarafından halen uzak gözüken bir yaklaşımdır (Terzidis, 2003).

3.6. Temsil ve Dönüşümü

21. yüzyılda etkinliği giderek artan bilgisayar ortamı, “yeni” mimarlık oluşumunu etkilediği gibi, düşüncenin temsil gücünü artıran ve salt temsil aracı olmaktan öte, düşüncenin geliştirilebileceği bir platform konumuna gelmiştir. Aynı anda hem araçsal hem de mekânsal olmak gibi bir beceriye sahip olan bilgisayarın mimarlık alanına girişi, mevcut tasarım yöntemlerinin ve mekânın doğası ile sınırları konusunda sahip olunan düşüncelerin yeniden değerlendirilmesini de beraberinde getirmektedir. Düşüncenin ifadesi olan temsil kavramı zamana bağlı olarak değişim gösterse bile bu değişim ifadenin teknoloji ve ekonominin gelişmesiyle birebir bağlantılıdır. Değişen ve gelişen şartlar içerisinde temsiliyet kavramı, yüzyıllardır farklılıklar göstererek günümüze ulaşmıştır.

Temsiliyet bir nesnenin ya da fikrin orijinalini başka bir malzeme kullanarak yeniden yaratmak, kodlamak çabasıdır. Nedeni ise herhangi bir nedenle kullanılamayan belki de fiziksel olarak hiç oluşturulamamış orijinal nesneyi bir şekilde anlatmak, betimlemek ihtiyacıdır. Temsiliyet gerçek değildir ancak gerçek olan hakkında fikir verebilir. Amaç, gerçek olanı bir şekilde deneyimletmek çabasıdır. Temsil, temsil ettiği nesnenin soyut hali gibi görünse de asıl temsil edilen zihindeki imgenin somut halidir (Sökmenoğlu, 2005).

Tanyeli ise, mimari temsiliyet kavramını inşa etmek üzerinden yorumlamakta; mimarlık ürününü “inşa edilen ürün” olarak ele alırken; mimari temsilleri “inşai nitelikte olmayan” teknik araçlarla ifade etmek olarak tanımlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, inşa edilen mimarlık ürününe kadar geçen tüm süreç mimari tasarım sürecidir. İnşa edilen mimarlık ürününü anlatmak için kullanılan araçlar ise mimari temsil araçlarıdır (Tanyeli, 2002).

Sönmez ise mimari temsilleri, mimari fikirlerin dışsallaştırılmasını sağlayan araçlar olarak ele alır ve şöyle devam eder; mimari temsiller zihindeki düzenler ve onun başkalarına aktarılabilir hale gelmesine yardımcı olur. Mimarların ya da tasarımcıların, fikirlerini zihinleri dışında başka bir ortamda görebilmelerini, deneyimleyebilmelerini ve sunabilmelerini sağlarlar (Sönmez, 2007).

Mimari temsil teknikleri tasarıma yardımcı araçlar olarak tanımlansa da bu tanımdaki kısıtlı rolünün ötesinde, mimarlık tarihi boyunca yaşanan birçok değişimin bazen sembolü, bazen de sebebi olmuşlardır. Rönesans'ta gözün görüşüne göre düzenlenen resimsel

mekânların kurgulayıcısı olan perspektifi, ortaçağda çizilebilenin yerine inşa edilene odaklanmanın göstergesi olan büyük ölçekli maketler, mimarın çizim virtüözü olarak tanımlanmasına neden olan Beaux Arts çizimleri; 17. yüzyılda taş kesim geometrisi için geliştirilen streotomi; Modernitede soyut düşüncenin ve aklın organizasyonlarının belirleyici olduğu bir mekân anlayışının sembolü haline gelen aksonometri, tasarımın inşa etmeyle özdeşleştirilmesini reddeden ütopya çizimleri, 1970'lerde tasarımda hareket ve zaman boyutunun önemi mekân deneyiminin belirleyici olduğunu gösteren seri eskizler; soyut düşüncenin tasarıma katkısının göstergesi olan diyagramlar; yeni bir eşik olarak görülen sayısal mimarının topolojiye, bilgi tabanlı modellere, simülasyona dayalı temsilleri; tüm bu gelişmeler temsil-tasarım-üretim ilişkisinin birbirine bağlılığı ve temsilin mekân anlayışındaki etkisi hakkında fikir vermektedir (Gürtekin, 2007).

1970-80'li yılların bilgisayar ortamında matematiksel analiz, tahmin ve değerlendirme modelleri, yeni teknolojilerle yaklaşık 10 yıllık bir zaman dilimi sonunda mimarının vazgeçilmez bir iletişim biçimi olan görsel modellerle bütünleşme olanağını bulmuştur. Böylece tasarım nesnesi, grafik, sözel ve fiziksel anlatımlar yanında, sayısal ortamdaki somut görsel ve soyut kavramsal, simgesel anlatımlarla da desteklenme ve yorumlanma olanağına kavuşmuştur. Görsel sayısal modeller ile ürüne ait işlevlerin sayısal ortamda temsilini sağlayan kavramsal bilgisayar modellerinin bütünleştirilmesi, ancak bu yeni teknolojilerin gücünün tasarımda gerçek anlamda kullanılmasını sağlayacaktır. Bu da mimarın tasarıma ilişkin bilgisinin, bilişsel süreçlerinin ve temsil olanaklarının kullanılmasında yeni bir yaklaşımdır (Çağdaş, 2005).

Geleneksel anlatım biçimlerinde kullanılan eskiz, perspektif, maket, fotoğraf veya çizimler...vb., mimari temsil yöntemleri kendi fiziksel sınırlılıkları nedeniyle tasarımcının temsil etmek istediği gerçekliği de sınırlı temsil etmektedir. Oysa mimari mekânda algılanan sadece üç boyut değildir; buna algılayanın zaman içindeki devinimden kaynaklanan birde zaman mekân boyutunun eklenmesi gerekmektedir. Mekânın, hem maddesel hem de zihinsel boyutları olan bir konu olarak, fiziksel olan ve olmayan özellikleri ile bir bütünlük ve tutarlılıkla temsil edilmesi gerekliliğini vurgulayan Atılgan şöyle devam eder; “Gerçek mekânsal deneyim statik değildir. Mimarlığa ait biçim ve kavramlar sadece geometrik boyutlar ile tanımlanamaz. Yaşanan mekânda, mimari mekânın dördüncü boyutunu hareket oluşturur. İki boyutlu bir çizim veya üç boyutlu bir makette statik olarak algılanan çizgiler ya da dokular zaman içinde değişmemektedir. Fakat

gerçek mekânda gözlemci zaman içinde çok yönlü hareketliliğe sahiptir. Mekân nesnesi ile gözlemci tarafından değişen perspektiflerin sürekliliğinde hem görselliği ile algılanır hem de bedeni ile mekânın fiziksel varlığı ile yönelir, karşılıklı etkileşime geçer. Mekânsal deneyimde hareket, biçimlerin üç boyutlu statik algılanmasından daha zengin bir etki yaratır. Pozisyona bağlı olarak mekânın göreceli ve değişken algısını ortaya koyar. Dolayısı ile bu boyutun temsili de hacim, kitle ve dokuya ait statik bilgilerin ötesinde değişken dinamik bir olasılıklar alanını kapsar”(Atılgan, 2006). Gelenekselin dışında başka dinamiklere sahip olan yeni temsil ortamı olarak sayısal ortam 4. boyutta zaman ve “n” boyutta performanstan bahsetmeyi olanaklı kılar.

Oxman’a göre sayısal ortamın tasarıma katılmasıyla dönüşen etkileşim biçimleri 4 şekilde olmaktadır:

- Sayısal olmayan temsil ile etkileşim: Tasarımcının, eskiz, çizim, maket gibi araçlarla tasarlanan objenin temsili ile direkt etkileşimi.
- Sayısal yapı ile etkileşim: Tasarımcının sayısal ortamda oluşturulan eskiz, çizim veya modelle olan etkileşimi.
- Bir mekanizma tarafından oluşturulan sayısal temsil ile etkileşim: Tasarımcının, tanımlanmış kurallar ve ilişkiler çerçevesinden türetici mekanizmalar tarafından oluşturulan sayısal yapı ile girdiği etkileşimdir.
- Sayısal temsili oluşturan sayısal ortam ile etkileşim: Tasarımcının sayısal tasarımı oluşturan mekanizma ile girdiği etkileşimdir (Oxman, 2006).

Bununla beraber bilgisayar teknolojilerinin icadıyla tekrar dönüşen temsil, kendi başına da anlamlı hale gelmeye başlamış, artık yapıyla birebir örtüşmeyen temsillerin de mimarlığa katkıda bulundukları görüşü baskın gelmiştir.

Resim 3.40’da görülen Zaha Hadid’in Cincinnati için tasarladığı Rosenthal Çağdaş Sanatlar Müzesi’ne ait bilgisayarda üretilmiş dijital imajları ile binanın kendisi arasında ilişki kurmak pek kolay değildir. 2004 yılında tamamlanan yapı kendi başına anlamlı olduğu kadar gerçek imajlarla dijital imajların bağlantısıyla, temsilin gerçeklikle kurduğu ilişkiyi sorgulatması açısından da önemlidir.



Resim 3.40. Rosenthal çağdaş sanatlar müzesi, Zaha Hadid (URL-22)

Günümüzde mimari temsil bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte dijital grafikler ve sanal ortamda oluşturulan formlar ile mekânsal algı ve deneyimi bambaşka bir konuma getirmiştir. Geleneksel tasarım araçlarında ancak bitmiş yapı ile etkileşime girebilen insan, artık tasarım aşamasında sürece dâhil olabilmektedir.

Gerçek mekânsal deneyime ait hareket ve zaman gibi kavramların da sokulduğu “animasyonlar ve sanal gerçeklikte modelleme” gibi temsil imkânları sağlayan yeni araçlar mimari tasarım sürecinde tanımlama, görselleştirme işlevlerinin ötesinde etkili olmuşlar, tasarım sürecinin deneyimselleşmesini desteklemişlerdir (Atılğan, 2006).

Sanal gerçeklikle yapılan modelleme ile tasarımcıya mimari mekânın dördüncü boyutunu temsil etme imkânı ile birlikte “dinamik ve üç boyutlu” bir deneyim sunmaktadır. Mimari tasarım temsil ve ürünlerinin bu dört boyutlu tanımında, beden birinci dereceden yorumlama yeteneği olan görme öne çıkmaktadır. Mimari mekân ve deneyimini, çoğunlukla nesnelerin statik ya da dinamik görülmesinden ibaret ele alınmaktadır (Atılğan, 2006). Sanal gerçekliğin (*Virtual Reality – VR*), anahtar kelimesi eşzamanlı etkileşimdir. Sanal gerçeklikte kullanıcı tarafından komutların verildiği anda görüntüde değişiklikler oluşmaktadır. Sanal gerçekliğin başarısı beş duyu olan görme, duyma, tatma, koklama ve dokunmanın kullanımıyla doğru orantılıdır. Sanal gerçeklik mimari ifade tekniğini sadece görsel olarak değil, diğer duyuları da katarak genişletebilmesine olanak sağlamaktadır. Yapıların sanal gerçeklik teknolojisinden yararlanarak üç boyutlu olarak görselleştirilmesi, zaman boyutunun tasarıma katılarak animasyon ile ifade edilmesi, algılamayı kolaylaştırmakta, içinde ya da çevresinde dolaşabilme ve tasarım hatalarını simüle edilen ortamda fark edip düzeltebilme olanaklarını zenginleştirmektedir.

3.7. Sayısal Ortamda Malzeme

Yeni malzemeler, mevcut malzemelerin yeniden yorumlanarak kullanılması ve yeni malzeme sistemleri her dönem mimari evrimin temellerini oluşturmuştur. Bilgisayara dayalı tasarım süreçleri, daha önceki bölümlerde açıklanan özellikleri ve kapasitelerinin ötesinde, biçimlendirme ve malzemeleştirme süreçlerinin bütünleştirilmesi açısından da daha fazla etkileşebilen, alternatif fırsatlar sunmaktadır. Son yıllarda sayısal teknolojilerin tasarıma girmesi ile birlikte, mimarlığın geleneksel malzemelerindeki (cam, betonarme, ahşap, metal vb.) önemli gelişmeler ve yeni malzeme oluşumları yanı sıra yeni malzeme tasarım sistemleri araştırmaları günümüz mimarlık anlayışına yeni eğilimler getirmektedir.

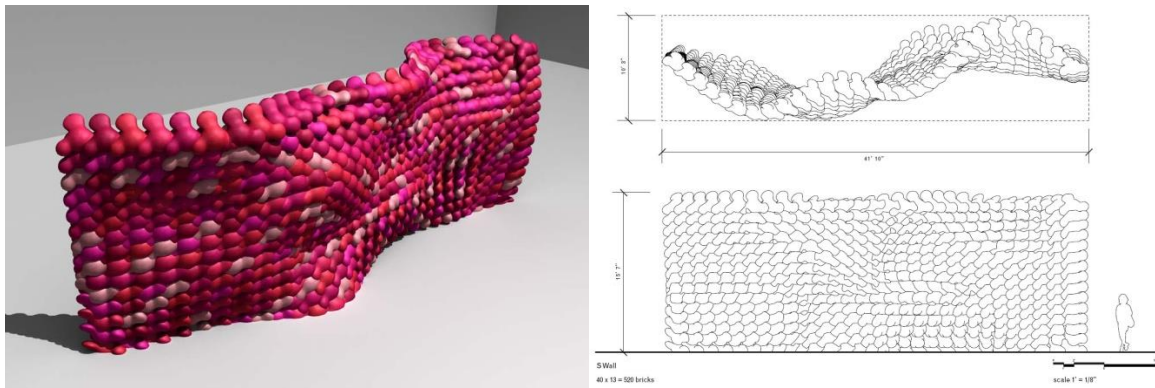
Bilgi Çağından önce mimaride malzeme tanımı oldukça basittir, çünkü kullanılan malzemeler taş, toprak, ahşap, tuğla, daha sonraki zamanlarda endüstriyel oluşturulan cam, demir, çelik, beton, plastik gibi bilinmekte ve yapımda yüzyıllardır uygulanmakta olan malzemelerdir. Günümüzde ise birçok doğal malzeme için yapım teknolojisi değişmiştir. Cam, çelik, beton, plastik vb. özellikleri devamlı olarak geliştirilen malzemelerdir. Bu durum doğal malzemelerin yeni kullanımlarıyla birlikte dijital üretimin yeni olasılıklarına olanak vermektedir. Bu bağlamda dijital ve fiziksel materyalitenin paralel olarak varlığının, her birinin yeni etkileşimlerle zenginleştirildiği bir dialog oluşturabileceğini öngörmek yanlış olmayacaktır.

Yeni mimari anlatım biçimleri ve malzeme bilimindeki yeni gelişmeler mimarlar arasında malzemeye; istenen estetik ve mekansal etkiler üretmek için özellik ve kapasitelerine olan ilgiyi artırmıştır. Titanyum, fiberglas, yüksek sıcaklık köpükleri, polimerler, plastikler, lastikler, ETFE, PVC membran ve kompozitler gibi malzemeler aynı zamanda kolayca şekillendirilebilir ve uygulamada yaygın kullanılan malzemelere göre birçok avantaj sunmaktadır. Örneğin fiberglasın fiziksel özellikleri karmaşık formların üretimini mümkün hale getirir. Sıvı halinde döküldüğü için herhangi bir şekildeki kalıba uygundur ve olağanüstü düzgün yüzeyler üretilebilir. Pek çok açıdan öncü bir örnek olan Frank Gehry' in tasarladığı Guggenheim müzesi, geniş titanyum kaplama yüzeyleri ile de dünyanın dikkatini titanyuma çekmiştir. Özellikle kaplama ve strüktür malzemesi olarak pek çok projede kullanım imkanı bulan titanyum, hafifliğine karşın yüksek dayanımı, atmosferik koşullara ve aşınmaya karşı üstün direnci nedeniyle tercih edilen bir malzeme olmuştur. Gelişmiş üretim teknolojileriyle PVC, polyurethane ve ETFE'den üretilen filmler; saydam

olmaları, istenilen şeklin verilebilir olması, pnömatik veya mekanik olarak uygulanabiliyor olmaları ile son dönemde “Alienz Arena”, “Water Cube” gibi önemli projelerde kullanılmıştır.

Doğa ve onun malzemesi; yenilenebilir, dinamik, değişken olması, yaşamın ritmini taşıması, topoğrafyası, üzerinde canlıları organize etmesi ve geometrisiyle, tasarımcılara en önde gelen tasarım parametresi olmuştur. İlk dönemlerde varlığındaki bilinen kapasitesiyle tasarımlara yön veren malzeme, günümüzde gelişen teknolojisi sayesinde yeni ulaşabilen özellikleriyle tasarımın görünen ya da görünmeyen en etkin bileşeni durumuna gelmiştir. Geçmişte doğadan gelen iletilerin somut aktarımının güçlüğü, doğanın fraktallerinin tasarıma dönüştürülmesini yavaşlatmıştır. Bugün ise, bilgisayar mühendisi, tasarımcı ve mühendis işbirliği ile çözümlenebilen doğanın kurguları ve malzemenin kodları, bilgisayar teknolojilerinin ve yazılımın programlarının yardımıyla mimarının tasarım kavramlarının içinde değerlendirilmektedir (Gezer, 2012).

Greg Lynn’ in “Blob” duvarının da dâhil olduğu birçok örnekte, biçim malzeme zekâsından bağımsız olarak oluşturulmuştur ve maddesel gerçekliğe dönüşmek için CAM teknolojilerinin varlığına ihtiyaç duymaktadır (Resim 3.41). Bu tutumda biçim zorla kabul ettirilir. Seçilecek malzemeler CNC makinesinin kullanabilecekleri ile sınırlandırılmıştır. Malzemelerin farklı kuvvetler ve çevresel etmenler karşısında biçim ile birlikte düzenleme oluşturma sürecine katkısından bahsetmek ise neredeyse imkânsızdır. Öte yandan, malzeme zekâsının düzenleme oluşturma yetisi kuşkusuz malzemeyi tasarım sürecinin en başına getirerek, süreci yönlendiren birincil değişkene, ürünü de kendisi ile birlikte dinamik bir sisteme dönüştürecektir (Yazıcı, 2010).



Resim 3.41. Blob duvarı, Greg Lynn (Yazıcı, 2010)

20. yy sonu itibari ile CAD ortamında geliştirilen kimi mimarlık ürünleri, malzemeyi tasarımın sürücüsü olarak değil, biçimin gerçekleşmesine imkan veren edilgen elemanlara dönüştürmüştür.

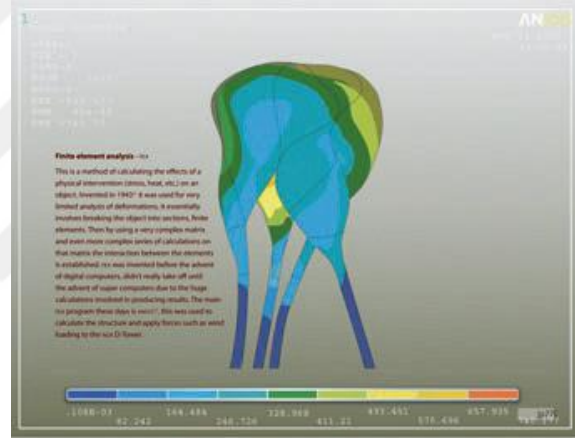
Lars Spuybroek'in D Kulesi tasarım sürecinde malzemenin farklı kuvvetler altında gösterdiği davranışı temel alarak, önce biçim ve strüktürü test eder (Resim 3.42 a,b). Daha sonrasında model dijital ortama aktarılır (Resim 3.43 a,b) Malzeme ile oluşturulan prototip ölçeğinde yapılan çıkarımlar, projeyi mimari gerçekliğe yaklaştırır. Çünkü bu bakış açısına göre, farklı kuvvetlerle ve çevresel etmenlerle farklılaşan malzemenin başarımı öğrenilirken, bu veriler farklı bir malzeme sistemine ve mekanizmaya aktarılabilir (Yazıcı, 2010).



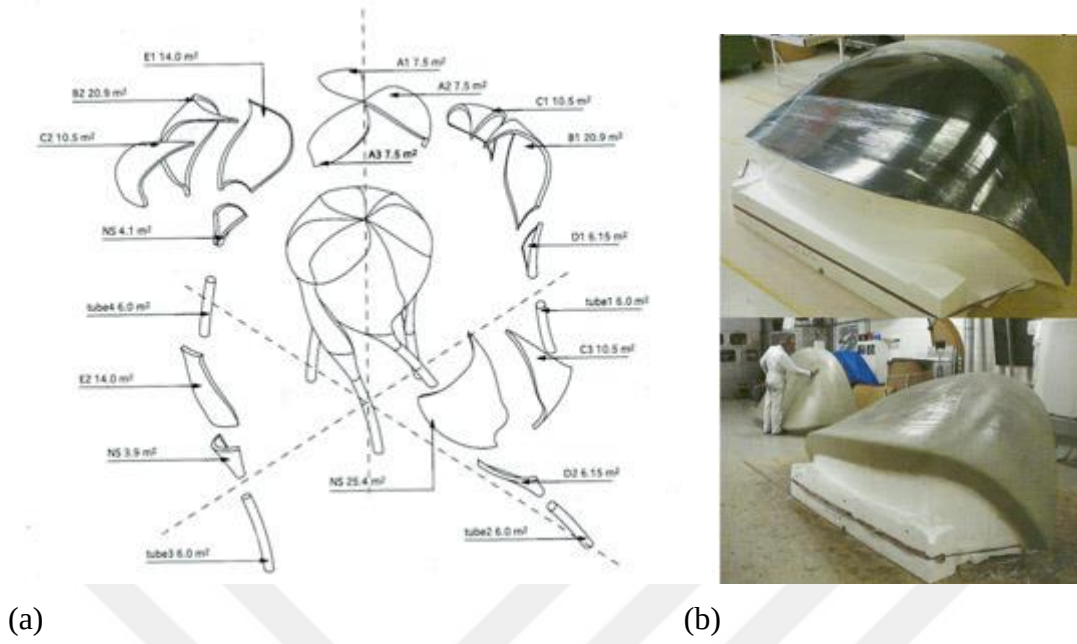
(a)



(b)



Resim 3.42. a) Spuybroek D Kulesi; prototip yoluyla oluşturulan bilgilerin dijital modelde aktarılması, b) Modelin strüktürünün dijital olarak analiz edilişi (Yazıcı, 2010)



Resim 3.43. a) Spuybroek D Kulesi; CNC kesim ile oluşturulan parçaları, b) Bu parçaların CAM tekniği ile üretilmesi (Yazıcı, 2010)

Yapı üretim sektöründe arazideki inşaat süreci, yerini fabrikada üretilen parçaların montajına bırakmaya başlamıştır. Yine sektörel teknolojik gelişmeler doğrultusunda 3-boyutlu ön modelleme, CNC Makineleri (*Computer Numerical Control Machine*), lazer kesiciler, hızlı prototip üretimi (*rapid prototyping*) ile birlikte mimaride yeni model ve malzeme arayışları başlamıştır. Bilgisayar Destekli Üretim (*CAMComputer- Aided Manufacturing*), malzeme-ölçek ilişkisini yeniden tanımlamakta ve “model-son ürün” anlayışıyla tasarlanmış yapılar 21. Yüzyıl yapıları çevresinde yerini almaktadır (Gönenç Sorguç, 2010).

Faulder’s Stüdyo tarafından Tokyo’da dört katlı bir konut için tasarlanan metal cephe, sayısal teknolojilerle tasarlanıp üretilen yapı elemanlarının 21. yüzyıldaki dilinin iyi örneklerinden biridir (Kolarevic ve diğerleri, 2008). Yüzyıllardır mimaride kullanılan metal malzemenin sayısal teknolojilerle performans kriterleri göz önüne alınarak tasarlanıp, üretildiği cephe yenilikçi arayışların bir sonucudur (Resim 3.44).



Resim 3.44. Airspace, Thom Faulders tarafından 2007’de tasarlanan cephe, (URL-23)

Geleneksel malzemelerin yenilikçi ve en iyilenilerek (optimize) kullanımında sayısal teknolojilerin oynayabileceği rollerin de iyi bir örneği olarak, Alan Dempsey ve Alvin Huang'ın tasarımı olan C-Space Pavilion kaplama malzemesi olarak kullanılan fiberle güçlendirilmiş 13 mm'lik beton paneller ile betonun kullanımına yönelik önemli bir farklılık sunmaktadır (Resim 3.45).

Pavyon, 10 m’lik ince fiber ön gerilimli beton elemanların, sürekliliğini kaybetmeden, strüktürel eleman, kabuk, yer döşemesi ve mobilya olarak şekillenmesinden oluşmaktadır. Tasarım ile malzeme yeni bir boyut kazanmış, limitlerini zorlamıştır. Tasarımın geliştirilmesi aşamasında, dijital modeller ve fiziksel modellerle en uygun profiller ortaya çıkartılmış, takılıp sökülmesi için bir sistem kılavuzu ortaya konmuştur. Beton profillerin bağlantı noktaları basit çentik sistemi ve sipariş edilen lastik contalarla çözüme kavuşmuştur. Her birleşim noktasındaki açılar birbirinden farklılaşarak devam etmektedir (Iwamoto, 2009).

Los Angeles DO|SU stüdyo mimarlık tarafından tasarlanan "Bloom" isimli pavyon zamana bağlı ısı değişimini endeksleyen bir enstrüman gibi çalışmaktadır (Resim 3.46). Bu yapısal yenilik çevreye duyarlı kabuk niteliğindedir. Tasarım sürecinde temel yapı malzemelerinin çevreye tepki vermesine odaklanılmıştır. Pavyonu oluşturan kabuğun dramatik formunu meydana getiren parçalar dijital olarak üretilmiştir. Ayrıca bu metal kabuğun ısının etkisiyle zaman içerisinde yavaşça biçimleneceği de göz önünde bulundurulmuştur. Formu oluşturan duyarlı yüzey 14.000 adet akıllı termo-metalden oluşmakta ve birbirine kısmen değmektedir. Kabuğun yüzeyine güneş nüfus ettiğinde yüzeydeki sıcaklık belirli bir yüksekliğe ulaşmakta ve her parça kendiliğinden bükülmektedir. Bu şekilde dijital teknolojiler ve gelişmiş üretim teknolojileri sayesinde malzemenin kendi doğasından kaynaklanan özellikleri en üst düzeyde kullanılmıştır (Do|su, 2016; Yazıcıoğlu, 2012).



Resim 3.45. C-Space, Alan Dempsey ve Alvin Huang, (URL-24)

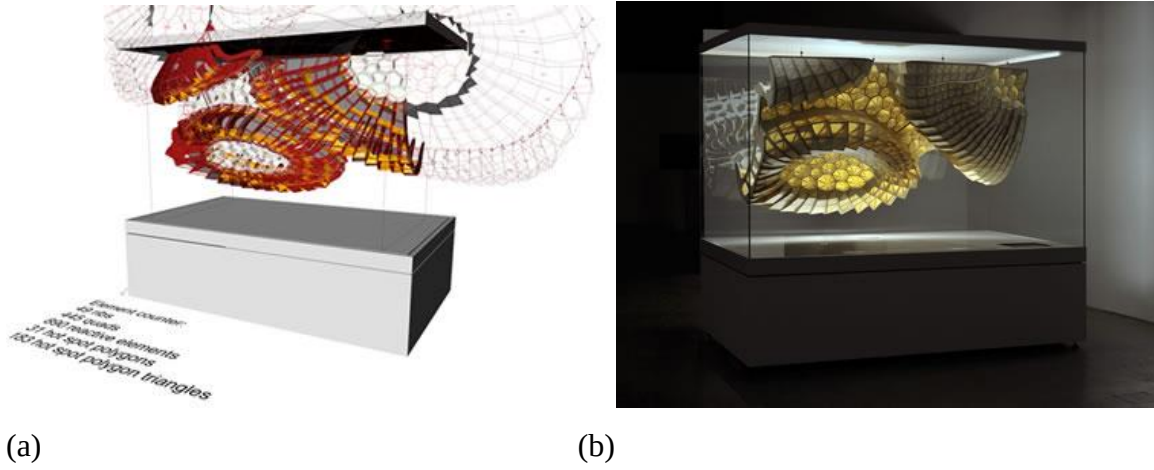


Resim 3.46. BLOOM, DO|SU, (URL-25)

Ahşabın iklimsel değişiklik sırasındaki davranışları baz alınarak geliştirilen ve deniz anemonunun hareketinden ilham alınarak gerçekleştirilmiş bir çalışma olarak Achim Menges ile Steffen Reichert tarafından tasarlanan “Hygroscope” da ise ahşabın kendi özüne ait potansiyelleri ortaya çıkarılmıştır (Resim 3.47a).

Cam bir kutunun içerisinde yer alan “Hygroscope”u oluşturan ahşap hücreler içerideki nemin artmasıyla hareket eder ve bu nedenle ahşap hücrelerin nefes almayı andıran hareketi tamamen kendiliğinden gerçekleşir. Ahşap, ortam kuruyken nemi emme, ortam

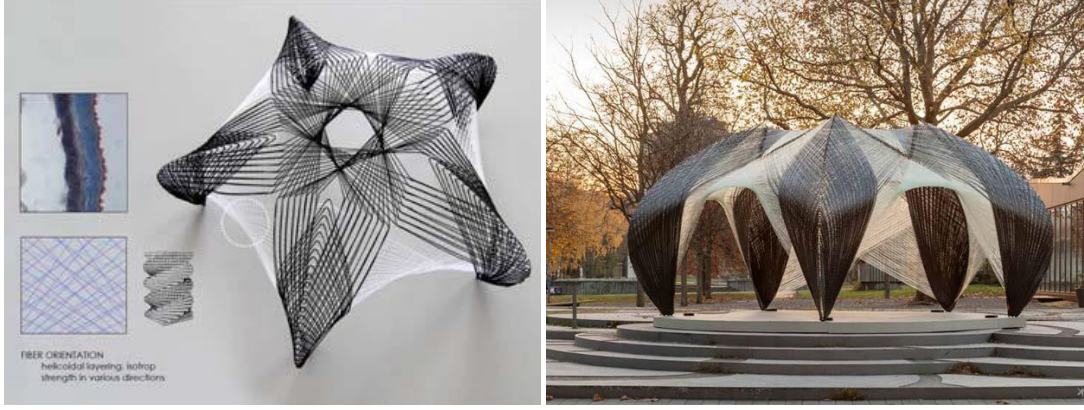
yağışlıyken nemi atmosfere verme özelliği gösterir. Ahşabın neme olan duyarlılığı kullanıldığında şekil değiştirme tetiklenir. Dolayısıyla en eski ve en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olan ahşap, fiziksel olarak farklı şekillerde hesaplanıp programlanarak nemin derecesine göre iklime cevap verebilen bir malzeme haline gelebilir (Resim 3.47b) (Orhun ve diğerleri, 2014).



Resim 3.47. a) Hygroscope projesinin bilgisayar ortamındaki parametrik modeli, (URL-26)
b) Hygroscope, Achim Menges, (URL-27)

Bilginin hesaplamalı modelleme ve benzetimler aracılığı ile sentezlendiği günümüzde Yazıcı, yaygın kullanımdaki “malzeme seçimi” yöntemlerinin, birçok başarımlarını gerekliliğini karşılayan benzetim tabanlı “malzeme tasarımı” yöntemleriyle yer değiştirmekte olduğuna dikkat çekmektedir (Yazıcı, 2010). Nanoteknoloji, nanomalzeme geliştirilmesi, akıllı malzemeler bu doğrultuda ileri teknoloji ve bilimsel bilginin sentezlendiği araştırmaların sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karbon fiber malzemenin mimarlığın henüz keşfedilmemiş en büyük kaynağı olduğuna dikkat çeken Achim Menges yürütücülüğünde Stuttgart Üniversitesi Bilgisayarla Tasarım Enstitüsü ile Bina Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü’nün (ICD/ITKE) ortak çalışması olarak disiplinlerarası bir yaklaşımla oluşturulan ICD/ITKE 2012 pavyonunda kabuğu oluşturan cam ve karbon fiber takviyeli kompozit malzeme sayesinde dört milimetre kalınlığında ve sekiz metre yüksekliğinde bir kabuğun çevresel etkilere karşı yüksek performans göstermesi mümkün olabilmektedir (Resim 3.48).



Resim 3.48. ICD/ITKE Research Pavillion 2012, (URL-28)

Malzemeden beklenen performansın değiştiği günümüzde, çevresel etkilere dayanım göstererek formlarını ve yapılarını korumaları beklenen malzemenin artık çevresel etkilere tepki vereleri ve uyum sağlamaları beklenmektedir. Algılama, tepki verebilme, kontrol ve akıl özelliklerine sahip bu malzemeler “*intelligent, smart, adaptive*” isimleriyle literatürde yer almaktadır. Akıllı malzemeleri çevresel değişikliklere optimum koşulları sağlama ve aktif etki ortaya koyma kapasitesine sahip, çok fonksiyonlu gelişmiş malzeme sistemleri olarak tanımlamak mümkündür (Resim 3.49).



Resim 3.49. Akıllı Malzemeler (Arpacıoğlu ve Kuruç, 2010)

Dinamik, küresel tasarım ve düşünce malzeme ile mimariyi de etkilemiş, yerellik yerini küresel bir arayışa ve bununla gelen bir malzeme-form akışkanlığı anlayışına bırakmıştır. Akışkan olarak tanımlanan bugünün kitle-malzeme kültürü, teknolojik ilişkide mekânları ve öznelere yere ait olmaktan uzaklaştırmıştır. Böylece, kristalize geleneksel imgeden akışkan-imgeye geçilmiştir; sanal imgeler ve yeni saydamlıklar ortaya çıkmıştır. Form artık malzeme ile ilişkisini bağımsız kurabilmekte ve malzemeyi kendi anlatımında şekillendirebilmektedir. Özgün ve evrensel tasarımların malzemeyi kullanım biçimi

değişmiştir. Artık malzeme hiç olmadığı kadar tasarımda bağımsızdır. Forma geçmişte yön veren malzeme artık formun etkisine katkıda bulunan, bazen bu nedenle kendini yenileyen roldedir (Arpacıoğlu ve Kuruç, 2010).

Bir diğer önemli gelişim ise, gerek tasarımın gerekse üretim süreçlerinin, bilişim teknolojileri ile birlikte ağlar (*network*) üzerinden yapılabilmesi, bir anlamda tasarım ve üretim inşaat süreçlerinin zaman ve yerden bağımsız, ya da yerel/küresel düzlemde gerçekleştirilebilmesidir. Bu değişimin bir diğer sonucu da, farklı malzemelere ve bu malzemelerin değişik üretim teknolojileri ile şekillendirilmesinin erişilebilirliğidir. Günümüzdeki pek çok uygulamada bu anlayışı görmek olasıdır. Katı modelin tüm aktörler için ortak bir etkileşim ara yüzü oluşturduğu bu tür süreçte, tasarım, analiz ve farklı üretimler eş zamanlı olarak yapılabilmektedir (Gönenç Sorguç, 2005).

Mimarlık ve tasarım alanlarının büyük bir coşkuyla kucakladığı bu yeni teknolojilerin beslenme kaynaklarından birisi mekanik paradigmadan elektronik paradigmaya geçiş sürecinde tanımlanan “İmmateryalite” kavramıdır. Sesin, imajın, metnin, çoklu medyanın entegrasyonu ile adeta birer reklam panosunu andıran cepheler, yapılar immateryalite kavramını temsil etmektedir (Resim 3.50).

Yüzeyin dilinin yerini, görüntülerin dili almıştır. Yapı kabuğu, mimarının iletişimsel kavramsallaştırılması sonucu adeta bir ekran gibi kullanılmaktadır. Yapı kabuğunun sanal dünyaya açılan bir pencere olarak bu kullanımı sırasında, kabuk kendi malzeme ve form ile ilgili özelliklerini kaybetmektedir. Kabuk hiç olmadığı kadar değişken bir ara yüzdür. Ekranı bir cihaz olarak algılamaktan çok içindeki görsel imgelerle algılayan insan artık kabuğu da kendi durağan malzeme ve formundan çok üzerindeki imgelerle, renklerle algılamaktadır. “Makinenin göze doğal gelmesi”, malzemenin yolculuğu için yeni bir başlangıcı işaret eder (Arpacıoğlu ve Kuruç, 2010).



Resim 3.50. Egg of winds, gündüz ve gece görünümü, (URL-29)

Sorguç’ a göre sanal ortamın malzemesiz malzemelerinin (*immaterial materials*) günümüzde hibridleşen malzemelere dönüştüğü, mimarlığın, “etkileşimli yapı”, “performansa dayalı tasarım”, “akıllı yapı”, “uyum sağlayabilirlik”, “sürdürülebilirlik” vb. kavramları cesurca keşfetme ve uygulama becerisini arttırdığını ve arttıracağını söylemek bir kehanet olmayacaktır (Gönenç Sorguç, 2010).

Kinetik tasarımlarda kullanılan sistemler ve malzemeler, farklı algılayıcılar (sensor) ve/veya değişik özelliklerde aktif ve/veya pasif ve/veya nano malzemelerle katmanlar biçiminde tasarlanmış “hibridleşen malzemeler”, bütünleşik malzeme kavramından öte, bir ya da daha fazla malzemenin, sayısal üretim teknolojileri ile tasarlanıp formda bütünleşmeleri ve yepyeni bir malzeme özelliği göstermesi prensibine dayanır (Goulthorpe, 2000).

Gönenç Sorguç, hibridleşen malzeme kavramını, sayısal teknolojiler bağlamında yeni bir kavram olarak önermekte olup, bütünleşik veya entegre malzeme kavramından daha kapsayıcı bir üst çerçeveyi tanımlamakta kullanmıştır. Bu kapsamda malzemelerin alışılmış ya da yeni ve gelişmiş malzemeler olmasından öte, sayısal tasarım ve üretim teknolojileri ile tasarlanıp üretilerek, tanımlanmış bir performansa göre ve formla bütünleştirilmesi sonucunda, tek ya da birden fazla malzemenin ve/veya katmanın, yeni bir davranışı sergileme özelliğini vurgulamıştır. Bu tür hibrid malzemelerin ve bütünleştirildikleri form ve strüktürlerin araştırılmasında, mimarlık doğadan sayısal teknolojileri kullanarak, karmaşık modeller yolu ile doğadan yeniden öğrenmeyi de keşfetmektedir (Gönenç Sorguç, 2010).

Örneğin, MIT Media Lab profesörlerinden Mark Goulthorpe ve Decoi' nin tasarladığı “Hyposurface” projesinde kullandıkları metal modüllerin kinetik sistemlerle etkileşimli olarak bir yüzey oluşturmaları, pek çok benzeri çalışmaya öncülük etmiştir. Sistem alt parçalardan oluşan sabit bütün bir yüzey ve üst kademede devingen ve kullanıcı etkileşimli üst tabakadan oluşur. Bu örnek aynı zamanda son yıllarda hızla gelişen dinamik tasarımlarda kullanılan nanoteknolojik malzemeler ve algılayıcılar ile desteklenen farklı katman ve malzemelerden kurulu hibrid malzeme sistemlerine de örnek teşkil eder (Resim 3.51) (Goulthorpe, 2000).



Resim 3.51. Mark Goulthorpe ve Decoi'nin tasarladığı Hyposurface, (URL-30)

Isı, ses, ışık gibi çevresel girdilere göre farklı davranabilen ve/veya kullanıcılarla etkileşebilen bu yeni tür hibrid malzemeler kuşkusuz 21. yüzyılda yapıların performanslarının en iyilenmesinde önemli rol oynayacaktır. Bir diğer önemli açılım ise mimarlığın çok iyi bildiği malzemelerin farklı tekno-gizmelerle bir araya getirilmesi ve sonuçta “akıllı binalara” daha çok yaklaşılması olacaktır. Sayıları sürekli artan benzer tasarımlar, disiplinler arası iş birlikleri bu gelişmenin de hızını belirlemektedir (Gönenç Sorguç, 2010). Tüm bu yeni arayışlar mimariye getirdiği-getireceği yenilikler akıllı binaların yanı sıra ekolojik, yaşayan, dinamik, esnek, uyum sağlayabilen, değişebilir, taşınabilir, portatif, dijital mimari gibi çeşitli kavramlarda malzemenin özü, özellikleri, performansı ve doğayla uyumu vb. ile karşılığını bulmakta, geliştirilen malzeme sistemleri ile doğal ile üretilmiş olan arasındaki sınırları gittikçe silikleştirmektedir.

3.8. Sayısal Mimarlık ve Doğa Bilimleri İlişkisi

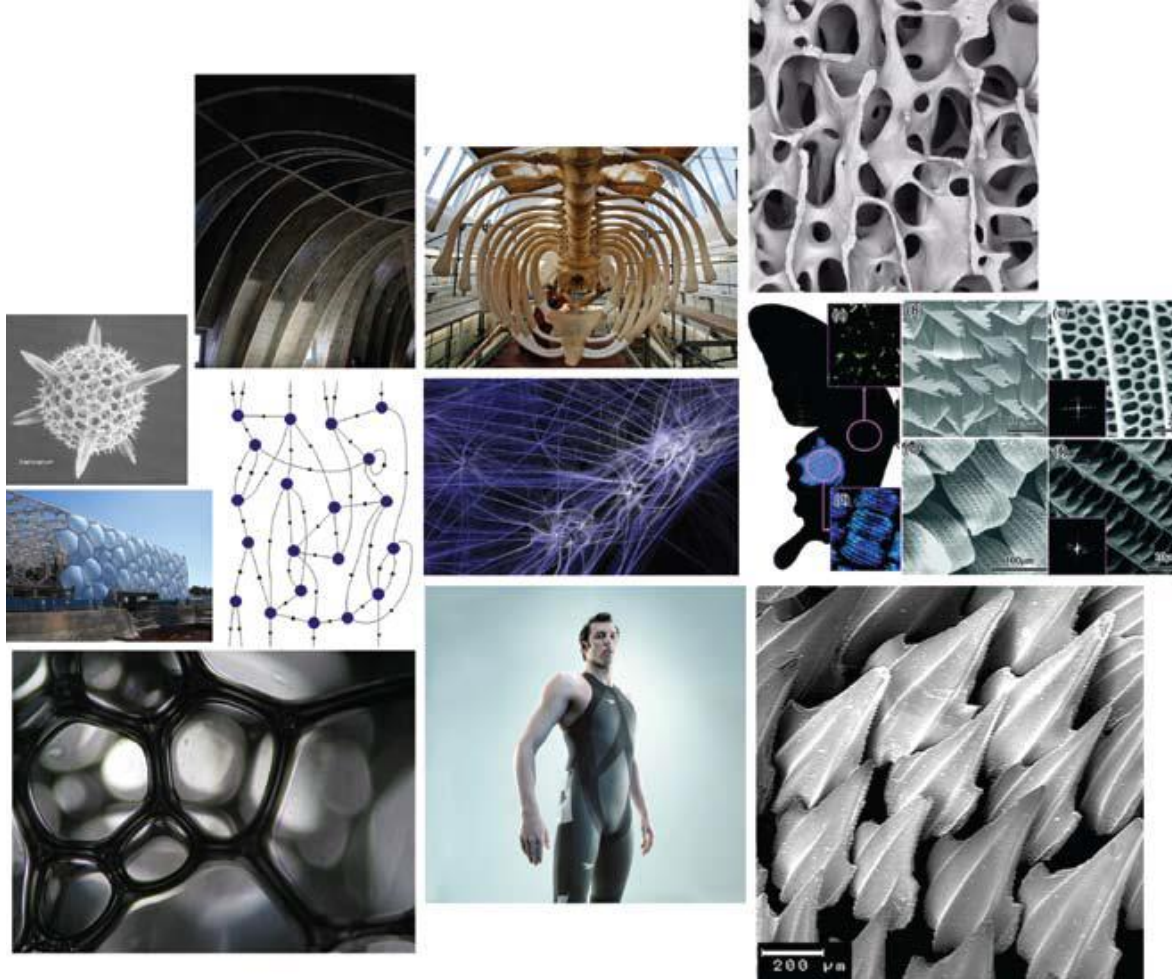
Özellikle 1990 sonrası dönemde, doğa bilimleri ve biyoloji biliminin, teknolojik gelişmeler ışığında hızla geliştiğini ve pek çok farklı alanda etkileri olduğunu söylemek mümkündür. Biyoloji hayat bilimidir, yaşamla ilgilenir. Mimari tasarım da biyolojiyi zaman zaman gerek malzeme gerek strüktür gerekse form anlamında kullanmakta ve doğada bulunan organizasyonları çeşitli kurgularla bilgiye dönüştürmektedir. Şüphesiz ki bu etkileşimde sayısal olanakların büyük rolü vardır.

Günümüzde birçok disiplinde gerçekleştiği gibi mimari bilginin kurgusunun yeniden incelenmesi ve yeniden modellenmesi arayışında, hesaplamalı düşünce tasarımcı ve incelenen obje arasında iletişime ve bilgi aktarımına olanak sağlayan ara yüz olarak davranır. Aynı zamanda hesaplamalı düşünce, farklı karakterde ve gerçeklikteki organizasyonların arasındaki ilişkilerin, benzerliklerin, etkileşimlerin anlaşılması ve tanımlanmasında da ara yüz olarak davranarak disiplinler arası bilgi alışverişini olanaklı kılar. Öte yandan hesaplamalı düşünce, sunduğu düşünme ve öğrenme biçimleri ile çevremizdeki gerçeklikten bilgi edinme yöntemlerine de yön vermektedir. Bu doğrultuda, doğadaki biçimlerin ve oluşum süreçlerinin bilgisayar temelli kurgular çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi, dinamik / hareketli / devinimsel sistemlerin anlaşılmasında ve yapılandırılmasında mimarlığa önemli bir araştırma alanı sunmaktadır. Böylece, doğal ile insan yapımı varlıkların arasında etkileşimli öğrenme ve anlamlandırma söz konusu olmaktadır (Gönenç Sorguç ve Erdoğan, 2011).

3.8.1. Biyomimesis

“Biyomimesis (Biomimicry, bios-hayat ve mimesis-taklit etmek)”, kavramı bir bilim dalı olarak ilk kez 1997 yılında “*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (Biyomimikri: Doğadan İlham Alan Yenilik)” adlı kitabında Janine Benyus tarafından somutlaştırılmıştır. Biyomimesis, doğal organizmaların yapılaşma/oluşum süreçlerinin ve çözümlerinin taklit edilerek, öğrenilerek yeni nesil tasarımlara ilham kaynağı olması kavramı 20.yüzyılın bir ürünü olarak literatüre girmiştir ve farklı disiplinlerce çalışılmaya başlanmıştır (Sassone ve Pugnale, 2008).

Doğada gözlemlenen oluşumların “ölçek”, “işlev” ve “oluşum süreçleri” insan yapımı strüktürlerden farklı olmasına rağmen, malzeme, enerji korunumu, hafiflik ve bu hafifliğe rağmen sahip oldukları dayanıklılığın pek çok ilerici mimara ve mühendise esin kaynağı olduğu bilinmektedir (Arslan Selçuk, 2007).



Resim 3.52. Doğanın farklı bilim dalarına model oluşturmaları, (Gönenç Sorguç ve Erdoğan, 2011)

Yukarıda doğanın farklı ölçeklerde ve farklı konu başlıkları altında incelenmesiyle mimarlık, mühendislik ve bilişim alanlarında benzeşme, öğrenme, modelleme kaynağı olması örneklenmiştir. Doğal yapılar ve strüktürel benzeşimler, sinir ağları (*neural networks*) ve ilişkisel bilişsel kurgular, mikro ölçekte doğal yapılar ve nano mühendislikteki gelişimler bu öğrenme sürecinin bir kaç ürünüdür (Gönenç Sorguç ve Erdoğan, 2011).

Mimarlık disiplini, biyomimetik parametreler ile etkileşiminde sayısal hesaplama yöntemleri, bilgisayar ve bilişim teknolojilerini kullanmak ve kendi sistematiğini yaratmak durumundadır. Bu disiplinlerarası birliktelik, tasarımların yalnızca form olarak değil, aynı zamanda strüktür, malzeme kullanımı, sürdürülebilirlik açısından da en iyilenmesi anlamında önemli bir rol oynamaktadır. Analitik yöntemlerle elde edilen verilerin sayısal ortamlarda görsel modellerinin üretilebilmesi ve bu modellerden yola çıkarak mimari tasarıma aktarılmasının ölçülebilir yöntemlerinin araştırılması, mimariye katılması elverişli bir disiplinlerarası sentez oluşturmaktadır. Form-strüktür-malzeme üçlemesinde doğadan öğrenmenin yolu, algoritmik düşüncenin mimarlık tasarımının bir parçası olmasında ve yapılacak olan bu benzeşimlerin sayısal veya analitik modeller üzerinden geliştirilmesinde aranabilir (Gönenç Sorguç, 2006).

“Biyomimesis” kavramının mimarlık bağlamında da tartışılması, olası bütün potansiyellerinin anlaşılmasına çalışılması ve sonuç ürünlere yansıma biçimlerinin bir sistematik içinde tartışılması kaçınılmaz olmuştur. Bu kavramın farklı bilgi alanlarındaki uygulamalarına özellikle de mimarlıktaki uygulama biçimlerine kesin bir tanım getirmek ya da çerçeveler çizmek gerçekçi olmamakla beraber her alan için farklı öngörüler mevcuttur. Örneğin, Koelman’ a göre “Biyomimesis ” mimarlıkta 3 temel uygulama alanı bulabilir:

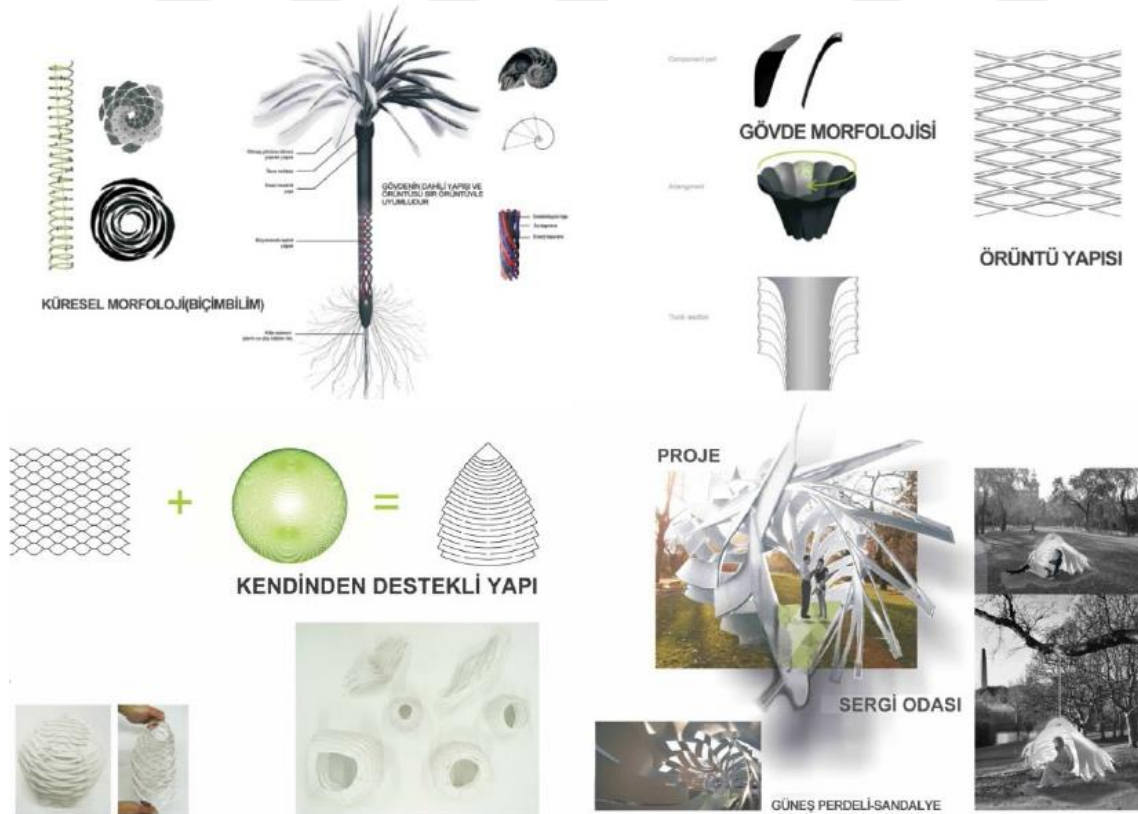
- Daha dayanımlı, güçlü ve kendi kendine “birleşebilen” ve kendi kendini onarabilen malzemelerin geliştirilmesinde,
- Binaların ve yapıları çevrenin iklimlendirilmesinde doğal süreç ve kuvvetlerin kullanılmasında,
- Enerji korunumlu ve çevrimli, atıkların tekrar kullanılmasına olanak veren, kaynakları tüketerek değil kaynak üreterek yapıları çevrelerin oluşturulmasında (Koelman, 2010).

FOA grubu, ‘Virtual House’ projesi ile ilgili açıklamalarında, geleneksel mekân anlayışına alternatif yaratma probleminin çözümünde, bilimsel bilgiyi nasıl kullandıklarına değinmektedir. Protein bandının, bir DNA kodunun oluşumunda aldığı biçimin, mekânın kodlanmasının nasıl bir biçim içerisinde oluşturulacağı problemine çözümde model alındığından bahsetmektedir (Resim 3.53) (Geray, 1999).



Resim 3.53. Virtual house, FOA, (Geray, 1999)

Sayısal mimarlık alanında araştırma ve proje çalışmalarını sürdüren, ReThinkArchitecture'ın kurucusu Juergen Weiss' in, esnek strüktürler üzerine kurulu pavilyon projesi de, doğadan esinlenerek elde edilen analiz süreci sonuçlarının mimari ölçeğe uyarlanması üzerine bir çalışmadır (Resim 3.54). Palmiye ağacının gövde yapısının morfolojisini ve gövdeyi saran kabuğun örüntüsünü inceleyen Weiss ve proje ekibi bu örüntü dokusunun esnek ve kendinden destekli yapısını projenin strüktürüne uyarlamışlardır (Weis, 2008).



Resim 3.54. Pavilyon projesi, proje gelişim aşamaları, (Weis, 2008)

3.8.2. Üretken sistemler

Alman felsefeci-matematikçi Gottfried Wilhelm Leibniz, üretken mantığı ilk kullananlardandır ve 20. yüzyılda Fritz Zwicky tarafından geliştirilen Morfolojik Metot' un da öncüsü olarak kabul edilebilir. 1948'de Zwicky, Leibniz'in yaklaşımının şemalaştırdığı halini "*The Morphological Method of Analysis and Construction*" isimli makalesinde sunmuştur. Temel olarak metot, herhangi bir ürünün tasarımında uygulanabilen tüm olasılıklar kümesini tanımlamayı amaçlar. Bu metotta öncelikle ürün için malzeme, renk, tasarım ve makine elemanları gibi değişkenlerden oluşan iki boyutlu bir matris tanımlanır. Bu değişkenler, matrisin kolonlarını oluşturur. Matrisin sıraları, bu değişkenlerin çeşitleriyle doldurulur. Tasarım işlemi, değişkenlerin farklı birleşimlerini oluşturarak tamamlanır (Akbulut, 2009).

Günümüzde, kavramsal tasarım ve mühendislik tasarımını birleştiren benzer programlar bulunmaktadır. Üretici metodoloji tasarım çalışması ve kavramsallaştırılması üzerine sıra dışı bir yol önermektedir. Üretici sistemler üzerine yapılan araştırmalar analiz ile çok yakından ilişkilidir ve bu doğa ve doğal sistemlerde içgüdüsel olarak daha belirgin olmaktadır. Doğa genelleşmiş sentezler, DNA'nın fiziksel araçlarını kullanmak, protein sentezleme ve biyokimya için özel olarak kurgulanmış mekanizmalar tasarlamıştır. Dünyadaki hayatın çeşitliliği ve uyum yeteneği; bu mekanizmaların tasarım problemlerinin aşılmasında ve basit ünitelerden değişkenliğin sağlanması ve çeşitliliğin üretilmesinde potansiyeli olduğunu göstermektedir (McCormack ve diğerleri, 2004).

Üretken sistemler çağdaş tasarım çalışmaları için uygundur; tasarım süreci ile olan bütünleşmeleri, diğer metotlarla başarılması mümkün olmayan ya da çok zor olan orjinal tasarım çözümlemelerinin geliştirilmesine imkân vermektedir. Temel prensiplere dayanan teknikler (*grammar-based techniques*), veri tabanı genişletmesi (*database amplification*), basit durumlardan karmaşık örüntü ve biçimler üretme prensiplerini kullanmaktadırlar. Bir tasarımcının yönetimi altında, tasarım çözümlemelerinin çoğaltılması için evrimsel sistemler (*evolutionary systems*) estetik seçicilik ile birleştirilerek kullanılabilir. Arabirim tasarımı ve diğer işaret sistemleri ile uyarlama prosedürleri (*adaptive procedure*) kapsamında tanımlanabilirler ve bu sayede evrimsel sistemlerin yorumlamaları ile uyumlu bir iletişim sistemi yaratılabilir ve bu bir kullanıcı tarafından kullanılabilir (Innocent, 1999).

Üretken süreçler, geniş etkilere sahiptir. Bu sistemlerin uygulama prensipleri ve felsefeleri çok daha genel bir sağduyu ile tasarım yapılabilmesi için alternatif yaklaşımlara ilham verebilmektedirler. Evrim fikirleri, çoğalma, çaprazlama ve uyumluluk gibi ilkeler, alternatif tasarım prensipleri üretmek için bir tasarım sürecine uyarlanabilirler. “Üretken sistemler bir proje için yeni olanakların oluşmasında canlandırıcı ve besleyici bir etki oluşturmaktadır ya da belki bir tasarım ekibinin kültür ve metodolojisini iletebilir ve taşıyıcılığını yapabilir” (McCormack ve diğerleri, 2004).

Geçtiğimiz 10 yıl içinde tasarım kültüründe önemli değişiklikler olmuştur. Bunların ilki, tasarım topluluğunda, tasarım problemlerine karşı disiplinlerarası ve birleşimci yaklaşımlara olan ilginin artmış olmasıdır. Bundan daha yakın ve sıkı bir bağlantı ise dijital tasarım metodolojilerinde ortaya çıkan esneklik sayesinde tasarım sürecindeki konsept/kavram ve üretim/uygulama arasındaki bağlantıdır. Tasarım süreci; birleşimci, disiplinlerarası ve 1970'ler ve 1980'lerde ortaya çıkmış olan yaklaşımlardan çok daha esnek bir etkinlik tarafından daha geniş bir biçimde gözlemlenebilmektedir. Bu yapı içerisinde, suni hayat ve evrimsel sistemlerden çıkan fikirler ve kavramlar kültürel dil ile entegre hale gelebilmektedir. Kültürel sistemler, kitle ilgisini çekmek için mücadele eden fikirler, trendler ve çeşitli üsluplar barındıran ekosistemler olarak kavramsallaştırılabilirler. Böylece, dolaylı olarak şans ve uyumluluk, fikir ve ürünlerin tasarımında büyük ölçüde tanımlanır (McCormack ve diğerleri, 2004).

Üretken Sisteme ait temel nitelikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- *Karmaşıklığı üretme becerisi:* Büyüklüğün düzenlenebilmesi, tarifinden oldukça güçtür. Bu, genelde veri tabanı genişletmesi olarak isimlendirilir ve bu yolla, verilen karmaşıklığın bileşenlerinin etkileşimi çok daha büyük davranış veya yapısal karmaşıklıkların kütlelerini oluşturur. Buna dinamik hiyerarşi denilmektedir. En iyi örnek hiyerarşisi atom, molekül, organel, hücre, organ, organizma ve ekosistem şeklinde özetlenebilecek çoklu hücreli organizmalardır.
- *Organizma ve çevre arasında karmaşık ve birbirine bağlı ilişkiler oluşturmak:* Organizmalar sadece çevrelerine dâhil olup uyum sağlamakla kalmazlar, onların varlıkları ve miktarları çevrenin kendisinde değişiklik yapabilir ve onu etkileyebilir. Bu sistemler homeostatiktirler. Böylece, organizmanın normal şartlardaki devamlılığını sağlarlar.

- *Kendi kendini onarma ve kendi yapısal özelliklerini koruma yeteneği:* İnsan yapımı strüktürler tipik olarak hem fiziksel hem de işlevsel açıdan bozulmaya müsait ve kırılabilirler. Üretici sistemler, stabil yapılarını korumak için değişken bir çevre içine kendilerini adapte edebilirler. Arı kümesi sistemleri örneğin, önemli bozunum ve bireysel kayıplara karşı gelebilir ve var olmayı sürdürmek için davranışsal işlevlerini tekrar yapılandırır ve adaptasyonu sağlarlar.
- *Yeni strüktürler, davranışlar, netice ve ilişkiler üretmede kabiliyetli olma:* Farklı derecelerde özgünlük mevcuttur. RNA ve DNA, protein sentezlemenin kodlanması ve değişimi için tamamen yeni bir mekanizmanın içinde oluşturulmuşlardır. Sanatçılar ve tasarımcılar da her zaman özgünlük ararlar. Sanatsal özgünlük, örneğin, DNA kadar büyük bir özgünlüğe sahip değildir ama ana kavram yeni kavramıdır. Üretken sistemler gerçekten yeni niteliklerin doğması için bir potansiyele sahiptirler (McCormack ve diğerleri, 2004).

Üretken tasarım yaklaşımı belirli deterministik ya da stokastik algoritmalarla formların üretimi, bu üretimin tasarım ürünü olarak performanslarının tasarım sürecinden başlayarak yorumlanması ve değerlendirilmesinde, tasarımcının yaratıcı yönünü destekleyerek tasarım uzamının genişlemesine yardımcı olur. Mimarlıkta hesaplamalı yaklaşımlar farklı kuram, yöntem ve teknikler bağlamında farklı problem alanlarında, farklı ölçeklerdeki karar süreçlerinde, planlama ve tasarım amaçlarıyla kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar Biçim Gramerleri, Fraktaller, L-Sistemler, Genetik Algoritmalar, Evrimsel Tasarım, Hücresel Özdevinim, Öz Örgütlenme, Sürü Zekâsı ve Çoklu Etmenler başlıkları altında ele alınmaktadır. Bu yaklaşımların tasarımın hangi süreçlerinde etkin olarak kullanılabileceği veya tasarımcıya yön gösterebileceği, bir araç, bir ortam, bir danışman veya bir ortak olarak katkıda bulunabileceği konuları, hesaplamalı tasarım bağlamında üzerinde düşünülmesi gereken önemli bir konudur. Örneğin, L-sistemlerin kullanıldığı bazı örneklerde amaç doğadan esinli bir yaklaşım bağlamında bitkilerin büyüme süreçlerine benzer bir tavırla farklı form arayışları iken, genetik algoritmaların kullanıldığı durumlarda amaç, form, malzeme ve strüktür ilişkisini sorgulamak olabilir. Burada algoritmaların ne amaçla kullanılacağı, hangi yöntemin ve tanım tekniğinin seçileceği gibi konular tasarım ürününü etkileyen önemli kararlardır (Çağdaş ve diğerleri, 2015).

3.8.3. Genetik algoritmalar

Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulan genetik algoritmalar, yapay zekânın gittikçe genişleyen bir kolu olarak geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Herhangi bir problemin genetik algoritmalar ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirilmesiyle yapılmaktadır. Son yıllarda çoğunlukla optimizasyon amaçlı olarak tasarım ve mühendislik problemlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Genetik algoritmalar ilk olarak, alternatifler üreterek, en uygunu bulma, tasarım problemini en iyi şekilde çözme gibi amaçlarla kullanılmıştır. Genetik algoritmalarındaki alternatif çözümlerin fazlalığı evrimsel sistemler içinde anahtar rolü oynamıştır (Oxman, 2006).

Canlı yapısındaki genlerin işlevini, bilgisayar ortamında algoritma ve kodlar üstlenmektedir. Genetik algoritmalar, çoğalma, mutasyon kurallarının işlendiği kromozom benzeri bir yapıya sahiptirler. Bu kromozomlara parametreler işlenir, tasarım boyunca değerlerinde değişimler görülür (Akipek, 2004).

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma en iyi olanın hayatta kalmasını amaçlayan, doğal seçim mekanizması ilkelerini temel alan bir yöntemdir. Yapılan bilgisayar simülasyonu ile da sonuca ulaşılan bir yöntemdir. Bireylerle işleme başlanır. Her birey, parametre uzayında bir noktayı temsil eder. Uygunluk değeri belirlenir ve bu değere göre bireyler seçilerek, yeni varlıklar elde edilir. Yeni çözümler, bireylerin uygunluğuna dayalı olarak geliştirilir (Altunkaynak ve Esin, 2004).

3.9. Tepkimeli Mimarlık

Tepki veren mekânlar, çevreden gelen çeşitli verileri algılayarak yüzeyin hareketlenmesi, mekândaki ışık, ses, dijital görüntü özelliklerinin değişmesi gibi tepkiler veren mekânlarla ilgili olarak kullanılan bir kavramdır. Dijital tasarım teknolojilerinin kullanımından önce de bina cephesinde dış etkilere göre değişimlerin olduğu örnekler vardır; örneğin Jean Nouvel'in Arap Enstitüsünde cephedeki birimlerin ışığa duyarlı olarak açılıp kapanması gibi (Resim 3.55). Bilgisayar teknolojilerinin bina yüzeylerine entegre edilen sensörleri ya

da kinetik mekanizmaları programlayabilmesi, ya da mekâna gelen veriyi mekândaki hareketlere çevirebilmesi gibi imkânları bu sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmaya başlamıştır (İnceoğlu ve Akipek, 2007).



Resim 3.55. Institut du Monde Arabe, Jean Nouvel, (Kolarevic, 2015)

Son dönemde tepki veren ortamlar konusunda sergilenen ilgi patlamasının önemli bir bölümü İtalya’da 2005 yılında ortaya çıkan, *Arduino* isimli pahalı olmayan bir açık kaynak mikro kontrolör panosunun devreye sokulmasından kaynaklanmaktadır. Bu pano ışık, hareket, dokunuş, ses, sıcaklık vs’yi saptayan çeşitli sensörlere kolaylıkla bağlanabilmekte ve bunlardan gelen verileri okuyarak ortamı “hissetmesi” sağlanabilmektedir. Pano ayrıca ışıklar, motorlar ve diğer cihazlar gibi tüm etkinleştiricilere bağlanabilmekte ve bunları aynı ortamı “etkileyecek” biçimde kontrol edebilmektedir. Bu yenilik aynı zamanda sensörlerden gelen girdi değerlerini yorumlayabilen ve etkinleştiricilerin işleyişini kontrol edebilen çıktı talimatları üretebilen yazılım kaleme alınmasıyla ilgili basit bir geliştirme ortamı ile birlikte ortaya çıkmıştır (Resim 3.56) (Kolarevic, 2015).



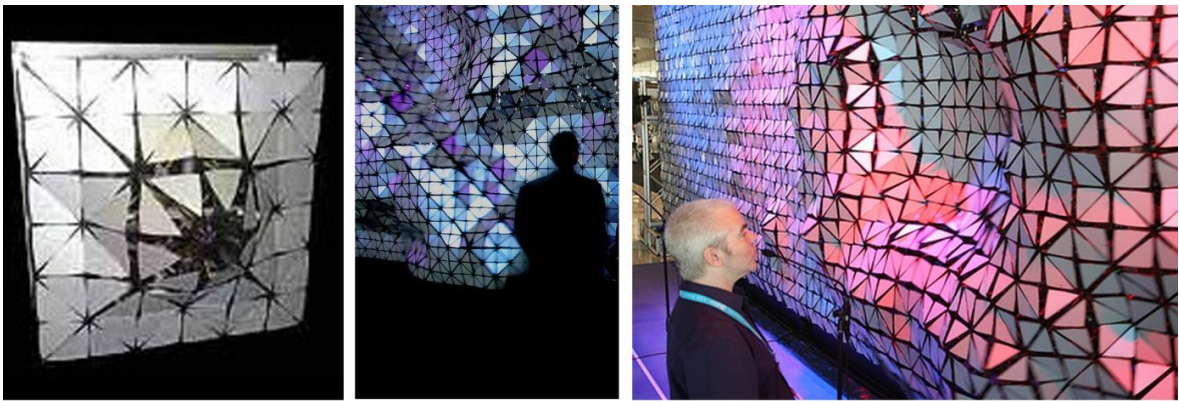
Resim 3.56. Arduino panoları, (Kolarevic, 2015)

Ruiz-Geli'nin, *Media TIC* binası (Resim 3.57), ortamdaki çeşitli değişimleri hissedebilen ve daha sonra sadece gölgelemeye değil aynı zamanda binanın aydınlatılma biçimine vs.'ye de buna denk düşen bir reaksiyon gösteren, yüzün üstündeki ağ bağlantılı *Arduino* panosu temelinde oluşturulan bir dizi kontrol sistemi sergilemektedir (Kolarevic, 2015).



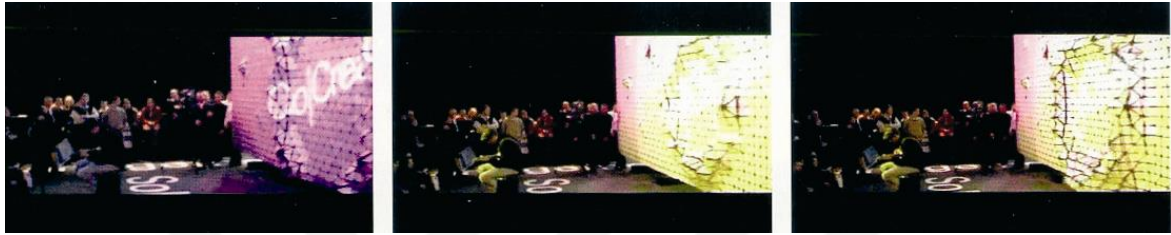
Resim 3.57. Media TIC binası ,Enric Ruiz-Geli (Cloud9), (Kolarevic, 2015)

2000 yılında Venedik bienalinde ve 2001'de CEBIT Fuarı'nda sergilenen Aegis Hyposurface projesi ise yüzeyindeki hareketlerle algılanma şekli devamlı olarak değişen ve kendini yenileyen bir projedir (Resim 3.58). Isı değişimi, hareket, ışık, ses gibi çevreden gelen etkilere yüzeydeki hareketlenmeler ve renk değişimleri ile cevap veren proje önemli tepkimeli mimarlık örneklerinden biridir.



Resim 3.58. Venedik bienalinde sergilenmiş olan Aegis Hyposurface'in prototipi, (İnceoğlu ve Akipek, 2007)

Çok sayıda alıcı-vericinin dizildiği bir matristen oluşan yüzey, çevredeki çeşitli etkileri algılar; bu veriler dijital ortamda matematiksel formüllere dönüştürülür; her bir matematiksel eşitlik ayrı bir yüzey hareketini belirler; yüzeydeki alıcı-verici noktalarının pozisyonu bilgisayarın hesaplama hızıyla paralel olarak sürekli değişir; yüzeyin hareketleri ve davranışları oluşur. Elektronik bir sinir sistemi gibi çalışan, çevreden gelen etkileri bilgisayar aracılığıyla çeşitli fiziksel değişimlerle dönüştürebilen tepkimeli bir mimari üründür (Resim 3.59) (İnceoğlu ve Akipek, 2007).



Resim 3.59. Aegis Hyposurface prototipinin yüzey hareketleri, (İnceoğlu ve Akipek, 2007)

Bölüm sonucu olarak özetlemek gerekirse, yirminci yüzyılın özellikle ikinci yarısından itibaren hızlı bir şekilde yaşantımıza giren sayısal teknolojilerin günümüzde bilgi iletişim teknolojilerindeki; CAD/CAM teknolojilerindeki; genetik, nanoteknoloji, robotik gibi bilim dallarındaki gelişmelerle farklı bir boyuta taşındığı görülmektedir. Sayısal teknolojilerdeki gelişmelerin mimarlık düşüncesini değiştirdiği/dönüştürdüğü ve tasarımda olduğu kadar üretimde de sürecin ayrılmaz bir parçası olduğu gözlemlenmektedir. Burada dikkat çeken bir diğer nokta konvansiyonel üretim yöntemlerinde sürecin sonunda yer alan üretimin bugünün teknolojisiyle nasıl ilk sıralara yerleştiğidir. Gelişmiş algoritma bilgisiyle ilişkilendirilen tasarım/üretim kararları aynı anda birden çok alternatife ulaşılmasını ve bu alternatifler arasından en uygunun bulunmasını mümkün kılmaktadır. Yine diğer bilim dallarındaki gelişmeler mimarlık ortamında malzemedan temsile, karar destek sistemlerinden işletim/kullanım/onarım/bakım gibi geniş bir alanda etki etmektedir.

4. SAYISAL MİMARLIK ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN TASARIM VE ÜRETİM SÜREÇLERİ

Bu bölümde yukarıda kuramsal çerçevesi verilmiş olan paradigmadik değişim ışığında ve teknolojinin gelmiş olduğu en son noktada sayısal mimarlık ve üretim araçları ile tasarlanmış ve yapımı tamamlanmış beş seçkin örnek üzerinden - Shanghai Tower, Metropol Parasol, Louvre Abu Dhabi Museum, Foundation Louis Vuitton, Hangzhou Tennis Center- sayısal teknolojilerin kullanımının tasarımcıya sunduğu avantajlar üzerine bir tartışma geliştirilmiştir. Örneklerin ortak özellikleri; hepsinin 21.yy ürünü olması, döneminin en son teknolojik olanakları ile tasarlanmış, eniyilenmiş ve üretilmiş olmaları olarak sayılabilir.

4.1. Shanghai Tower

Kasım 2008’de yapımına başlanan ve 2015 yılında tamamlanan Shanghai Kulesi, Shanghai’ın yeni finans merkezi Lujiazui yarımadasında, Huangpu Nehri’nin doğu yakası boyunca uzanan yeni iş ve ticaret merkezi Pudong’ta bulunmaktadır. Dünyanın 2. Çin’in ise en yüksek binasıdır. Kule Çin devlet şirketlerinin oluşturduğu bir konsorsiyuma aittir ve Amerikan mimarlık firması Gensler tarafından tasarlanmıştır. 632 m yüksekliğindeki 128 katlı kule toplam 540000 m² alana sahiptir. Shanghai Kulesi katmanlı konstrüksiyon ile inşa edilmiş, karma kullanımlı sürdürülebilir bir binadır.



Resim 4.1. Shanghai Tower (URL- 31)

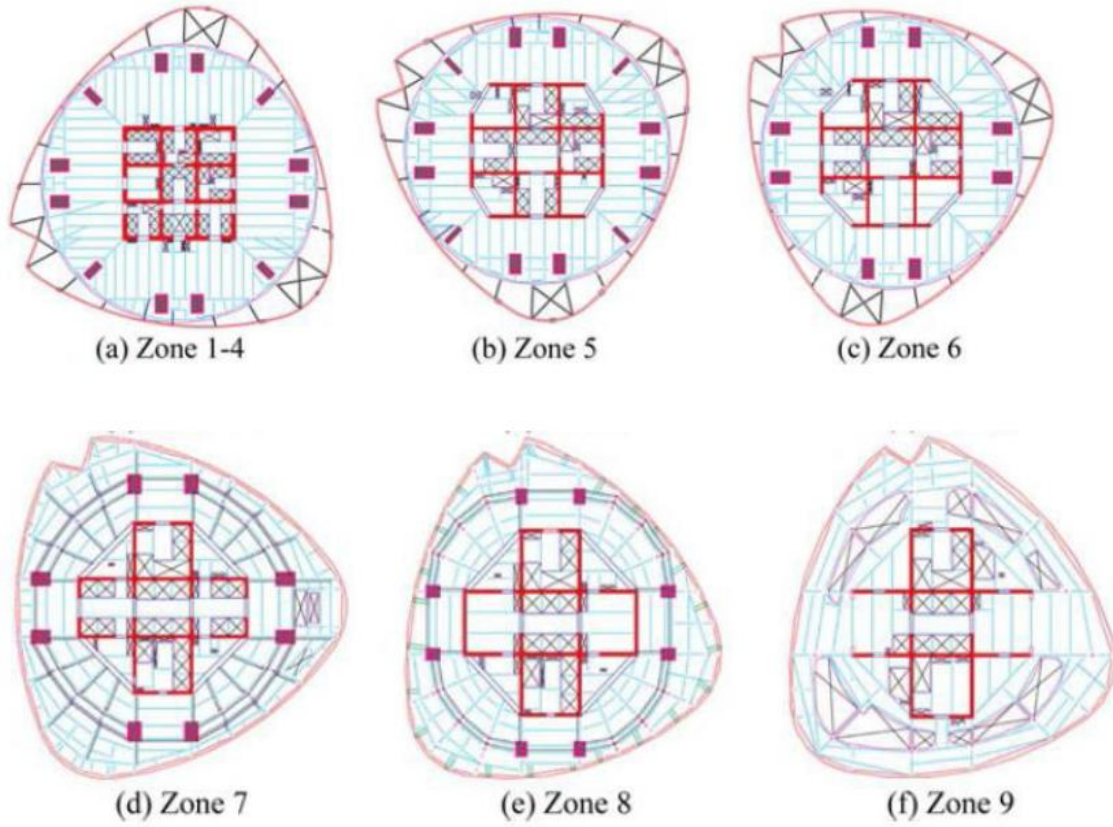


Resim 4.2. Rüzgâr tüneli çalışması ölçek ve rotasyon modelleri, (Faia, 2013)

Shangai Kulesi, teknoloji ile tasarımı entegre ederek, çok yüksek (*supertall*) binalarda yeni bir anlayışı da beraberinde getirmiştir. Gensler tasarım ekibi, Shangai 'de tayfunlara yol açabilecek seviyede bulunan rüzgâr yükleri için tasarıma da yön verecek kararlar almışlardır. Bunlar: kule cephesinin asimetrisi, sivrilen kulenin formu ve bina kütesinin yuvarlak köşeleri. Kule formunu belirlemek için başvuru rüzgâr testleri kule yanal yüklerini % 24 oranında azaltacak form ve strüktür belirlenmiştir. Rüzgâr yüklerindeki her % 5'lik azalmanın inşaat maliyetlerinde yaklaşık 12 milyon dolar tasarruf edilmesini sağladığı (Xio ve diğerleri, 2010) düşünüldüğünde bu teknolojileri kullanarak bina formunu belirlemenin önemi bir kez açığa çıkmış olacaktır (Resim 4.2.).

Shangai Kulesi tasarlanırken Gensler, Pekin'in Hutongs ve Shangai'nın Shikumen geleneksel şerit evler kavramını göz önünde bulundurmuştur. Komşuluklar dikey planlanmıştır, her biri kendi "Gökyüzü Bahçesi" ile sakinleri arasında etkileşimi ve toplum anlayışını teşvik etmektedir (Xia ve diğerleri, 2010).

Kule birbiri üzerinde dokuz dikey bölge şeklinde tasarlanmıştır. 1.bölge lüks butiklerin, kafelerin, restoranların bulunduğu katlardır. 2-6.bölgeler her biri kulenin içinde ayrı bir mahalle olarak çalışan ofis katlarıdır. Her ofis bölgesinde hem yapının kimliğine katkıda bulunan hem de sosyalleşmeye olanak sağlayan gökyüzü bahçeleri bulunmaktadır. 7.ve 8.bölgelerde beş yıldızlı bir otel vardır. 9.ve son bölgede ise açık-kapalı gözlem güvertesi gibi kamusal alanlar mevcuttur (Xia ve diğerleri, 2010).

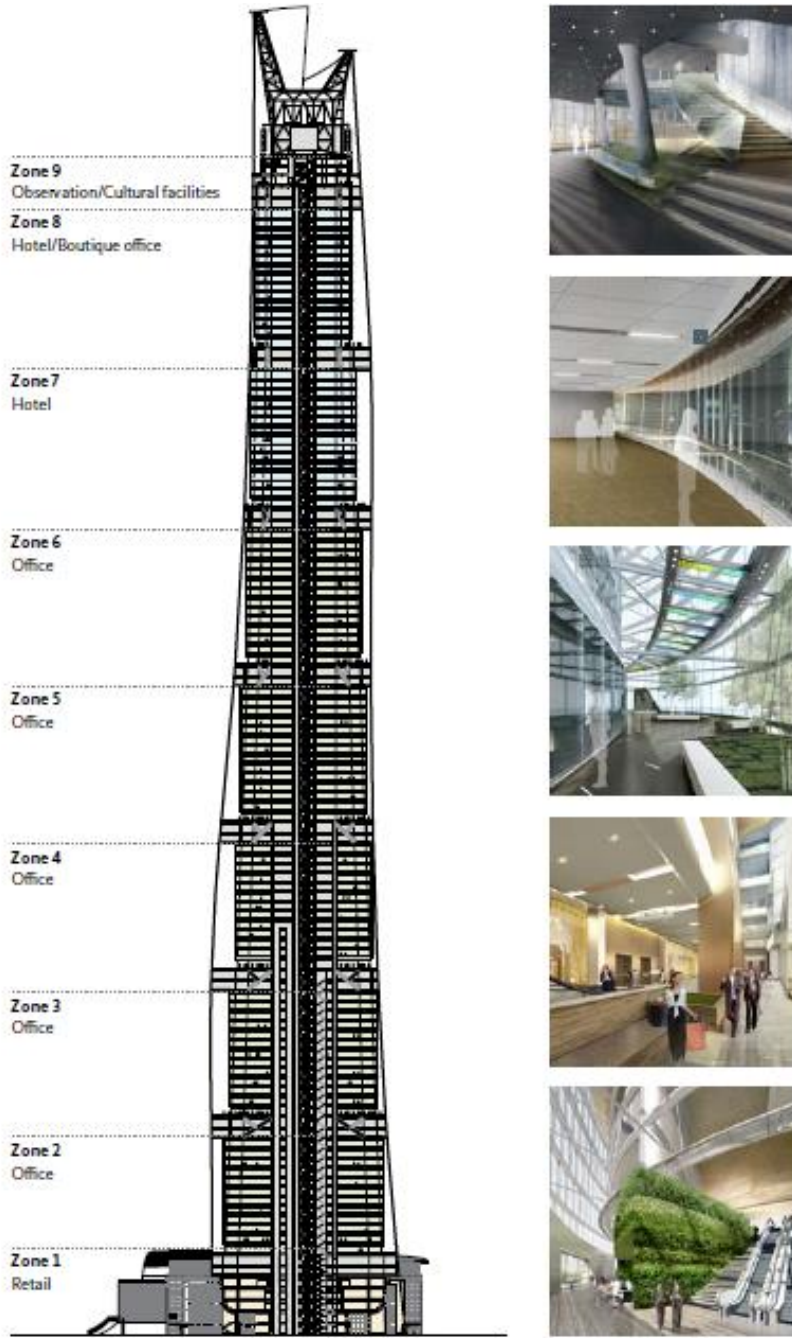


Resim 4.3. Kulenin 1-9 zonları arasındaki kat planları (URL-32)

Bina Çin’de hem ABD Yeşil Bina Konseyi tarafından verilen LEED Altın sertifikasına hem de Çin Üç Yıldızlı Yeşil Bina Tasarımı Etiketine sahiptir. Ayrıca bina iki sertifikalı en yüksek binadır. Sürdürülebilirlik açısından bazı özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Shanghai kulesinde benzer bir yükseklikteki geleneksel bir tasarıma göre % 25 daha az yapısal çelik kullanılmıştır ve sonuç olarak, ABD malzeme maliyetlerine göre 58.000.000 \$ tasarruf edilmiştir.
- Kulenin 124.katına kurulan 270 adet rüzgâr tribünü ile yılda 350000 bin kWh kadar elektrik üretmek amaçlanmıştır. Kapalı klima ihtiyacını azaltmak için sıcaklık değişimlerine tolerans gösterebilecek yalıtımlı çift katmanlı cam cephe tasarlanmıştır.
- Çift katlı cephenin dış katmanında rüzgâr, yağmur ve güneşi filtreleyen lamine cam kullanılırken, iç katmanda güneş kontrollü low-e camlar kullanılmıştır. Çift katlı cephe sayesinde doğal havalandırma ve soğutma sağlanmaktadır. Binanın ısıtma ve soğutma sistemleri jeotermal enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Ayrıca bina cephesi içinde yer alan bahçeler termal bir tampon bölge oluşturmakta ve iç hava kalitesini artırmaktadır.

- İnşaat uygulamaları sürdürülebilirlik için optimize edilmiştir. Kulenin dönen ve asimetrik cam cephesi bina üzerindeki rüzgâr yükleri azaltmaktadır.
- Isıtma ve havalandırma sistemlerinde kullanılmak üzere binanın dönen parapetinde yağmur suyu toplamaktadır. Yağmur suyu toplama ve geri dönüşümü ile gri su geri dönüşüm sistemlerinin kullanımıyla kulenin toplam su tüketiminin %40 oranında azaltılması planlanmaktadır (Gensler ve diğerleri, 2009; Xia ve diğerleri, 2010).



Resim 4.4. Shanghai Kulesinde düşey zonlar, (Faia, 2013)

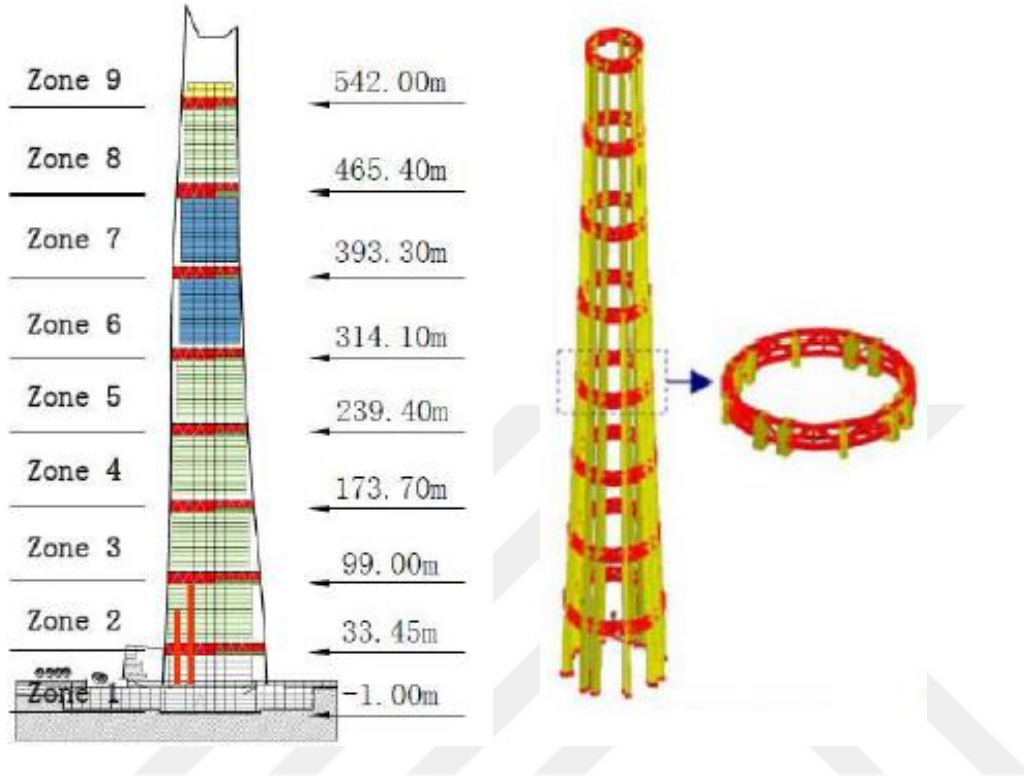


(a) (b) (c)
Resim 4.5. a) Kulenin dış görünümü, b) Cephe sistemi, c) Atrium (URL-33)

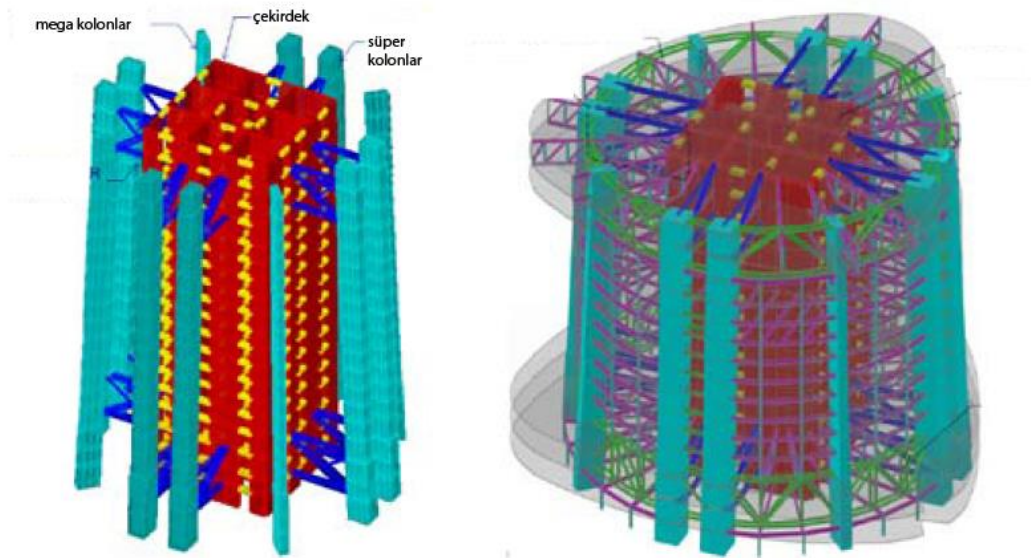
Kulenin ikonik formu ve çift cidarlı cephesini, geleneksel 2D yaklaşımları kullanarak üretmek son derece zor olduğundan projenin başarısı için model tabanlı tasarım büyük önem taşımaktadır. Tasarım aşamasında kullanılan BIM hem kuleyi 3D görselleştirmeye yardımcı olmuş hem de gelişmiş karar verme için tasarımın eniyilenmesi sürecinde yapılan analizleri kolaylaştırmıştır. Kulenin kent genelinde yansımaları analiz etmek için Ecotect yazılımı ile Revit tasarım modeli kullanılmıştır. Bu durum ışık kirliliğini en aza indirmek için dış perde duvarın optimize edilmesine yardımcı olmuştur. Tasarım boyunca BIM farklı disiplinlerin koordinesini ve inşaya yönelik çözümler üretilmesini sağlamıştır. Yapı mühendisi Thornton Tomasetti bu yenilikçi mimari formun oluşturulmasını izin veren basit, güvenli ve uygun maliyetli bir taşıyıcı sistemi tasarlamıştır. Bina, yüksekliği boyunca 8 güçlendirici kat ile ayrılan 9 ayrı bölgeye ayrılmıştır (Resim 4.6.).

Shangai Kulesinin yapısal sistemi bir çekirdek duvar iç tüp, bir dış mega çerçeve ve tüp ile çerçeve arasında 6 bölgede (2, 4, 5, 6, 7 ve 8. bölgeler) denge ayaklarından oluşmaktadır. Yapısal sistemin kalbi yaklaşık 30 metrekarelik, betonarme çekirdeğidir. Çekirdek denge ayakları (payanda) ve süper kolon sistemi ile uyum içinde hareket etmektedir. Kulenin yanal ve düşey direnci iç silindirik kulesi tarafından sağlanmaktadır. Kulenin yanal kuvvetlere dayanımı sağlayan temel elemanları ana çekirdek, denge ayakları ve süper kolon sistemidir. Sistem her bir bölgenin bir çift kemer kafes ile birlikte çapraz sütunları da dâhil olmak üzere, tüm süper sütunlarından oluşan bir mega çerçeve ile tamamlanmaktadır. Çekirdek betonarme iken, denge ayakları(payandalar)ve bant(kemer) kafes çelik ve süper

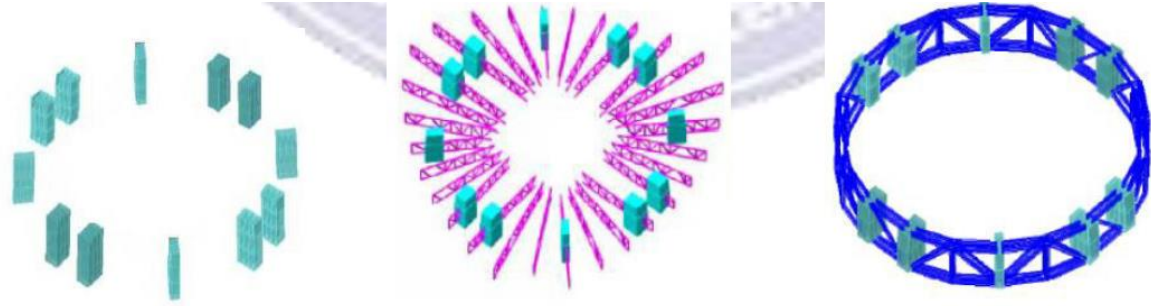
kolonlar ise beton kaplı çelik dikey kesitlerden oluşan kompozit yapıdır (Xia ve diğerleri, 2010).



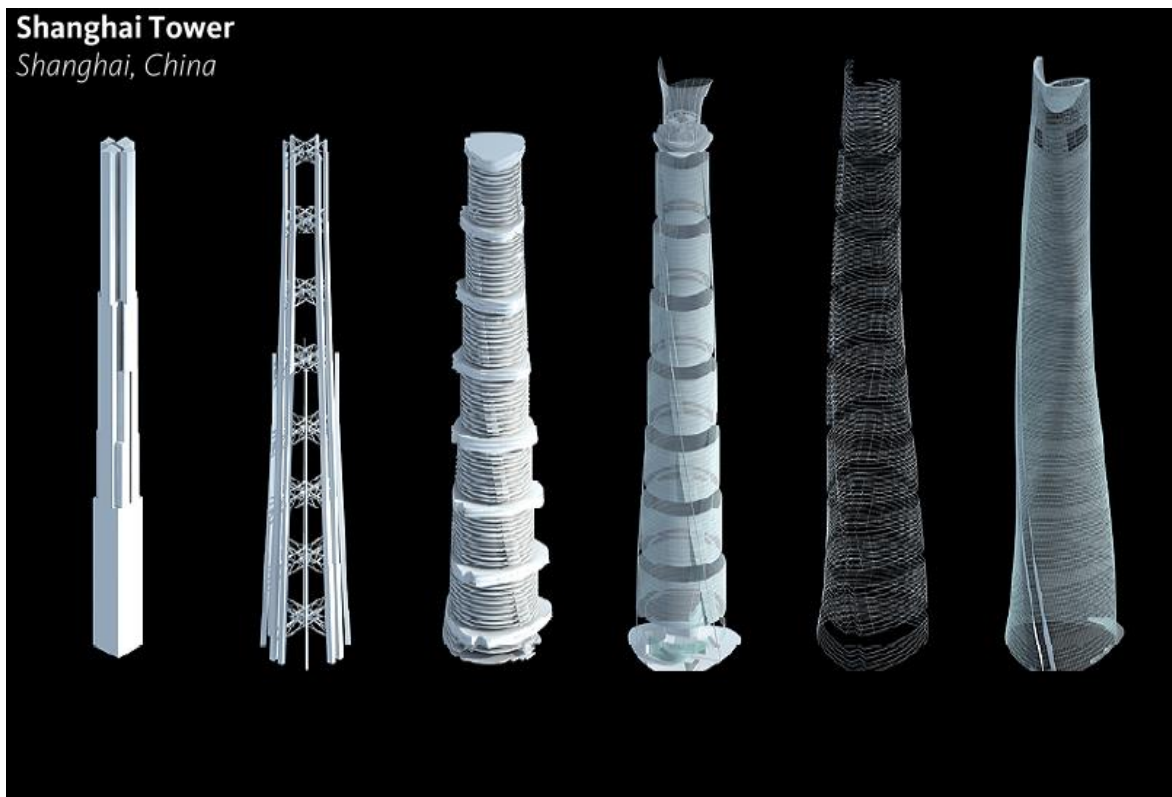
Resim 4.6. Kule bölgeleri ve güçlendirilmiş katlar. (URL-34)



Resim 4.7. Shanghai Kulesi strüktür elemanları (Xia ve diğerleri, 2010)



(a) (b) (c)
Resim 4.8. a) Kolonlar, b) Radyal kafes, c) Kutu kafes, (URL- 35)



Resim 4.9. Shangai Kulesinin strüktürel katmanları (URL-36)

Shangai Kulesi gerçeğe dönüştürülürken birçok zorlukla karşı karşıya gelinmiştir. Şimdiye kadar ilk kez, 850.000 tonluk bir kule yumuşak toprak bir temel üzerine inşa edilmiştir. Temel seviyesinde killi tabakalar bu durumu daha kritik hale getirmiştir. İnşaat sırasında ve sonrasında aşırı yük altındaki temelin performansı mühendisler için ana endişe konusu olmuştur. Yüksek binaların yapım aşamasındaki hatalar genellikle hizmet aşamasında ilave gerilmelere ve kalıcı deformasyona yol açar. Yapı güvenliği için inşaat sırasında izin verilen sınırlar ile yapının farklı bileşenleri istenen gerginlik ve strese tutulmalıdır. Ayrıca

kule üzerindeki rüzgâr yüklerini incelemek için bu yüklerin tahmini ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Binanın yapısal performansını tahmin etmek için ölçekli fiziksel modeller üzerinden farklı yükleme koşulları altında bir dizi sayısal analiz ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Shanghai Kulesi dünyanın en yüksek rüzgâr tüneline sahiptir ve bu tünel kulenin 1:85 ölçekli modeli içinde test edilmiştir. Model üzerinde ayrıca, iç sıcaklık ve hava-akış dağıtım simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar sonucunda kulenin formu rüzgâr yüklerini azaltmak için % 24 oranında modifiye edilmiştir.



Resim 4.10. 1:500 ve 1:85 model üzerinde rüzgâr testleri (Faia, 2013)

Ölçüm sonuçları rüzgâr kaynaklı yapısal tepki özelliklerini belirlemek için rüzgâr tüneli modeli ve sonlu eleman modelleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İzleme programı sert rüzgârlar, yüksek sıcaklıklar ve depreme maruz kaldığında binanın yapısal performansını kapsamlı olarak anlayabilmek için de fırsat sunmaktadır (Xia, 2010).

Güçlü rüzgârlar ve depremler için yükleme ortamı ve tepki mekanizmaları ölçmede yapısal dinamik yanıtları ve yapısal performans kaydetmek için gelişmiş sensörler dağıtarak optimum çözümler sunan Yapısal Sağlık İzleme (SHM- Structural Health Monitoring) programı kullanılmıştır. Sayısal analiz ve rüzgâr tüneli ve diğer fiziksel modeller inşaat süresince ve sonrasındaki 632 m yüksekliğindeki Shanghai Tower 'ın fiziksel davranışlarını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmıştır. Ayrıca, SHM kulenin gerçek zamanlı yapısal performansını izlemek ve inşaat süresince ve sonrasındaki güvenlik ve servis sağlamak için de kullanılmıştır. Kule, aynı zamanda sismik tepki ölçümleri ve deprem sonrası hasar değerlendirmeleri için kuvvetli yer hareketi izleme sistemleri ile donatılmıştır (Xia, 2010).

Tasarım sürecinde kullanılan model tabanlı görseller inşa sürecinde de en önemli unsur olmuştur. Yapımı da tasarımı ve strüktürü gibi birçok zorluk içeren kulede BIM kullanımı, işçilerin planlar ve kesitlerin yanı sıra sunduğu 3D görüş ve karmaşık alanların geleneksel görüşle bir kombinasyonunu içeren inşaat çizimlerini anlamasını kolaylaştırmıştır.

Tasarım ekibinin sayısal bina modellerini imalat için yeniden tasarlanmasıyla ve taşeronların fabrikasyon modellerini kullanarak koordinasyonun ve inşaat verimliliğinin arttığına ve malzeme kaybının azaldığına dikkat çeken Xia ve diğerleri (2010), kullanılan materyallerin inşaat alanına yarı hazır halde geldiğini ve fabrikasyonun büyük ölçüde fabrikalarda gerçekleştiğini belirtmektedir. Kuşkusuz ki kulenin yapımındaki başarının ardında "performansa" yönelik yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri bulunmaktadır. Bu kadar karmaşık ve meydan okuyucu bir yapıyı tüm paydaşlarla birlikte koordineli bir biçimde tasarlayıp inşa ettiklerini belirten yetkililer, bu koordinasyonun özellikle BIM (Building information modelling) sayesinde yapılabildiğinin de altını çizmektedir



Resim 4.11. Shangai Kulesi inşasına ait resimler (URL-37)

4.2. Metropol Parasol

Otopark olarak kullanılması planlanan bir bölge olan Sevilla'nın tarihi kesiminde Fas'a ve Roma'ya ait arkeolojik kalıntıların bulunmasıyla 21.yüzyılın kentsel mekânının yeniden

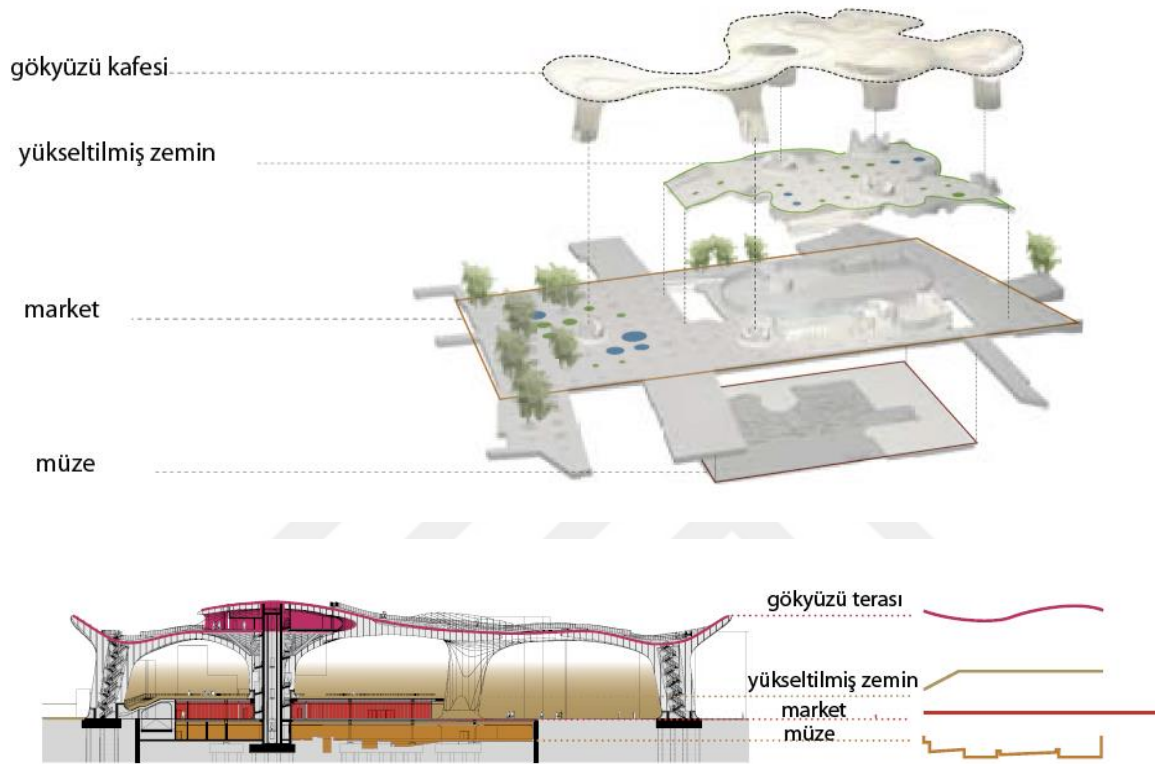
gözden geçirilmesi istenmiştir. Müze ve sosyal merkez olarak değerlendirilen alan J. Mayer Architects tarafından tasarlanmıştır.



Resim 4.12. Metropol Parasol (Koppitz ve diğerleri, 2012)

Metropol Parasol, ispanyanın en büyüleyici kültürel yerlerinden biri olarak Sevilla'nın rolünü ifade eden, Plaza de la Encarnacion'un yeni çağdaş kent merkezi olma potansiyelini araştıran yeni ikonik projesidir. Ortaçağ şehir içi yoğun dokusu içinde eşsiz bir kentsel mekân olarak; tarih, eğlence ve ticaret gibi çeşitli faaliyetlere olanak sağlayan Metropol Parasol, hem kentliler hem de turistler için yeni bir çekim merkezi olarak tasarlanmıştır. Mayer (2011), şehrin tarihine açılan arkeolojik bir pencerede konumlanan Metropol Parasol 'un 21.yüzyıl için yeni bir kamusal alan olarak tarihi barındırdığına vurgu yaparak, pazar yerindeki günlük hayata ev sahipliği yaptığına, etkinlikler düzenlemek ve düşüncelere dalmak için kamusal bir açık hava alanı önerdiğine ve yükselen strüktürüyle, çatı alanında panoramik bir Sevilla manzarası sunarak, ziyaretçilere vizyoner bir kültürden bahsettiğine dikkat çekmektedir. Bu yönüyle tarihi arkeolojik bir alanı çağdaş bir kent simgesine dönüştürmüştür.

Dünyanın en büyük ahşap yapılarından ve en yenilikçi projelerinden biri olan etkileyici ahşap strüktürden şemsiyelerin içinde ve altında bir arkeoloji müzesi, sebze meyve pazarı, yükseltilmiş meydan, çok sayıda bar ve restoran yer alırken şemsiyelerin tepesinde de bir manzara terası konumlanmaktadır. (Mayer, 2011).

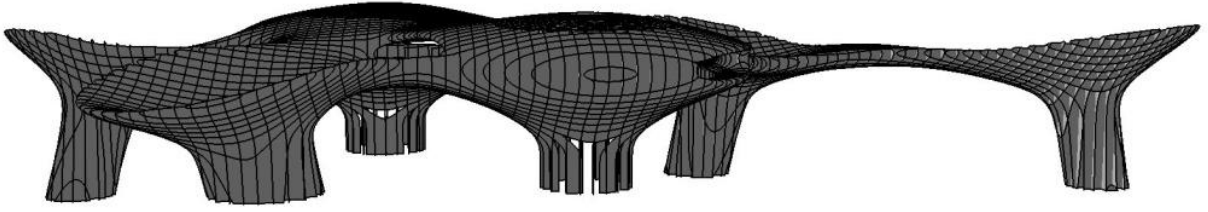


Resim 4.13. Metropol Parasol plan ve kesiti, (Mayer, 2005)

Yapının geometrisi ağaç ana hatlarıyla şekillenen gölgeleme yapılarıyla, serbest forma dayanmaktadır. Ayrı lamine ahşap levhalar (LVL) serbest formla ortogonal bir 1.5x1.5 metre desenin dikey kesimiyle elde edilmiştir (Koppitz ve diğerleri, 2012).



Resim 4.14. Şemsiyelerin temel konturları. (Koppitz ve diğerleri, 2012)

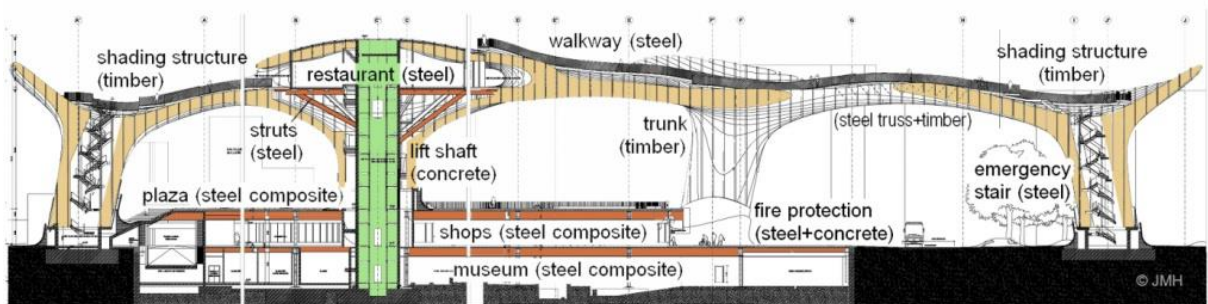


Resim 4.15. Metropol Parasol ahşap yapının Rhino-Modeli. (Koppitz ve diğerleri, 2012)

Dünyadaki, ahşapları poliüretanla (köpük) bir arada tutulan en büyük yapı olan Parasol, hafif bir metal strüktür olarak düşünüldüğünde, arkeolojik bir kazı alanından çağdaş bir dönüm noktası içine büyümektedir. Sütunları aşağıdaki müzeye erişimin önde gelen noktaları olmalarının yanı sıra yukarıdaki plaza ve panoramik güverte için tarihsel ve çağdaş kent arasında eşsiz ilişkiyi tanımlayan noktalardır (Mayer, 2005).

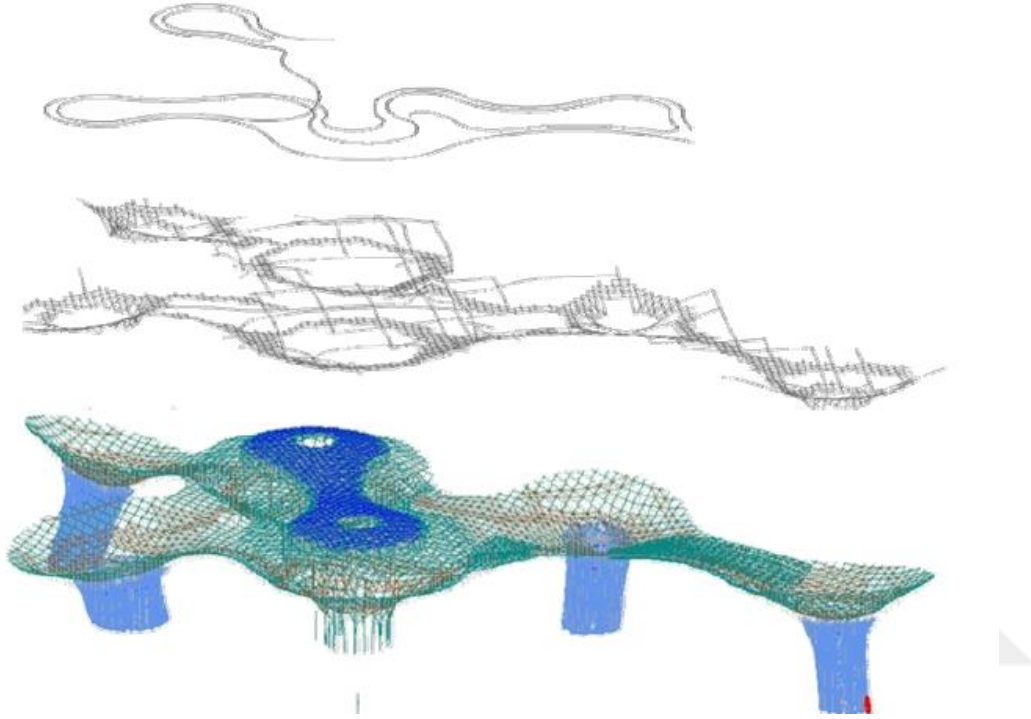
Yapıyı destekleyen sütunlar belirli yerlere konulacağından, asansör ve merdivenleri de içerecek yeterli sayıda mantar şekilli gövde, yüksek performanslı poliüretan reçine kullanılarak bir arada tutulan kereste ile çelikten oluşan yapısal bir sistemden oluşturulmuştur.

Metropol Parasol, farklı malzemelerin çeşitli mimari ve yapısal taleplerine bağlı olarak yapıda kullanılmasıyla hibrid bir strüktüre sahiptir. Temel ve restoran platformu altındaki silindirik asansör boşlukları betondan yapılmıştır. Müze alanı rot kolları altında birlikte düzenlen çelik kafes ve güçlendirilmiş betonla yayılmıştır. Kompozit çelik yapı restoranın ağırlığını taşımakta ve dış merdiven yolunu izleyip ve iki somut çekirdeğe bağlanan delikli çelikten oluşan eğimli desteklerle desteklenebilmektedir (Koppitz ve diğerleri, 2012).



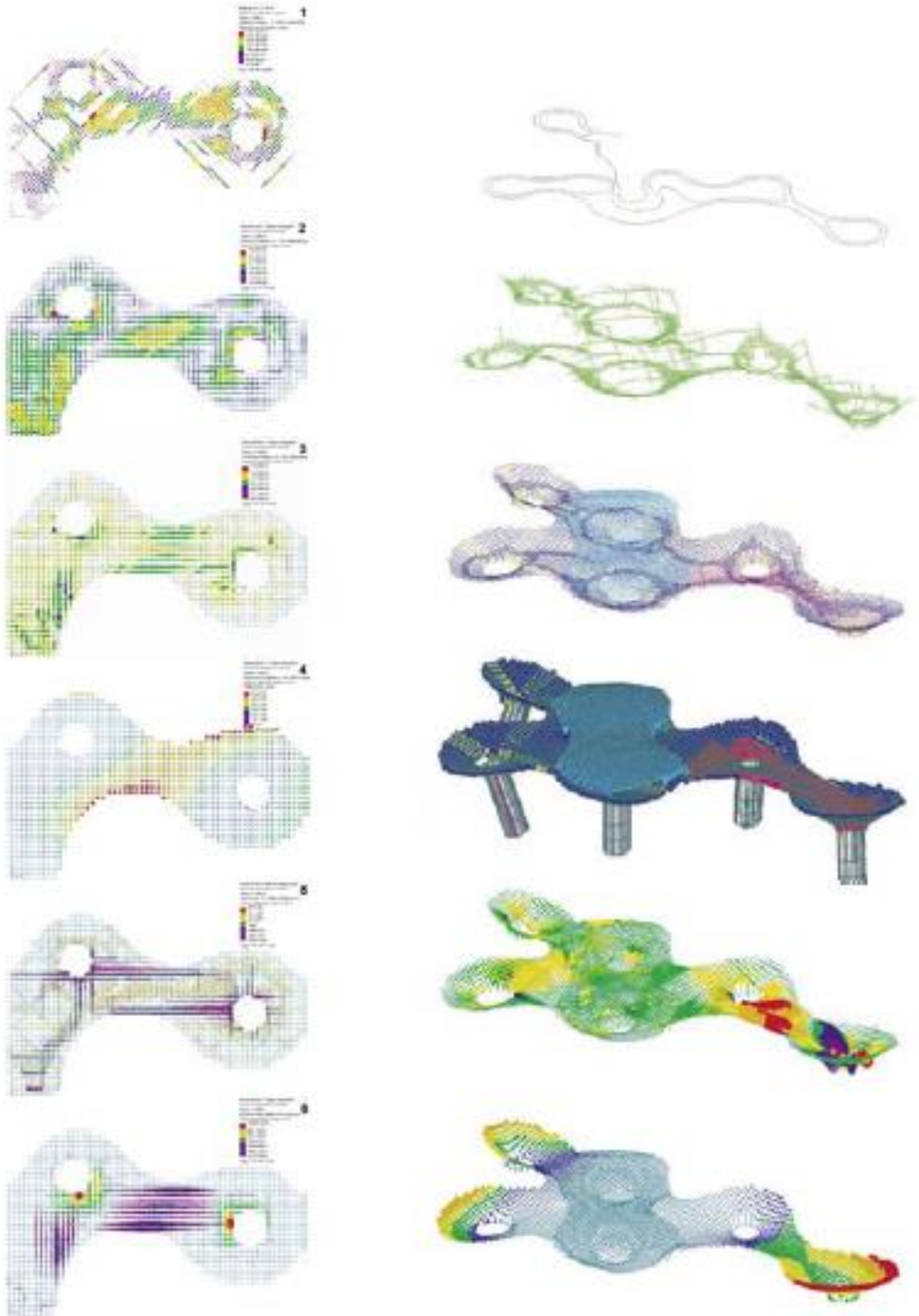
Resim 4.16. Metropol Parasol hibrid strüktürü, (Koppitz ve diğerleri, 2012)

Yapı kapalı bir çatıya sahip olmayıp, üzeri açık ve çeşitli dış etken ve yüklere maruz olduğundan ahşap yapıyı stabilize edecek diyagonal çeliklere ihtiyaç duyulması ağırlık konusunda sıkıntılara yol açmıştır. Diyagonal çeliklerin düzenlenme biçimi, ahşap ızgarada çift yönlü eylemlerin gerçekleşmesini mümkün kılmıştır.



Resim 4.17. Çelik köşegenleri ve gözlem yürüyüş yolları gösteren Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis) modeli (Koppitz ve diğerleri, 2012)

Metropol Parasolun yapısal analizleri oldukça karmaşık üç boyutlu hesaplamalar gerektirmiştir. Analiz için başlangıç noktası ahşap elemanların kesitlerinin yanı sıra bu elemanların oryantasyonunu içeren mimarın 3D modelidir. Bir bilgisayar programı yardımıyla, yapı mühendisleri otomatik olarak modelden ilgili geometrik verileri alarak analiz modeli oluşturmuştur. Analiz modeli elemanın genişliğine bağlı olarak sistemde her ahşap eleman ve çelik bağlayıcıya bir kitle atar. Metropol Parasol'un yapısal analizi ile ilgili önemli bir konu, ciddi bir hesaplama zorluğuyla sonuçlanan yapısal elemanların çokluğudur. Yapının nihai geometrisi yapıda her bir düğüme etki eden kuvvetlere bağlıdır. Bu kuvvetler ise yapı elemanlarının genişliği ve ağırlığının yanı sıra gerekli bağlantı boyutlarına bağlıdır. Bu bağımlı döngü sadece tüm strüktürün algoritmik çözümüyle kırılabilmiştir. Her bir algoritmik adım için girdi değerleri önceki aşamada elde edilen sonuçlardan elde edilmiş, tüm geometrik ve taşıyıcı kriterler karşılandığında algoritma yakınsaklığa ulaşmıştır (Koppitz ve diğerleri, 2012).



Resim 4.18. Köşegenlerin farklı yükler altında eğilme ve gerilme analizleri (Mayer, 2005)

Arup mühendisleri bu algoritmik rutini otomatikleştirmek için bir yazılım geliştirmiştir. Bu yazılım, yapıdaki ahşap elemanların ve her bir düğümün bağlantı detaylarının ağırlığı ve kalınlığını hesaba katmaktadır. Ahşap elemanların kalınlığı ve sonraki ağırlığı, sistemdeki yüklere bağlı olan yineleme işleminin her adımında yeniden tanımlanmıştır. Benzer şekilde, konektörlerin ağırlığı yineleme işleminin her adımında yeniden tanımlanmıştır. Tüm algoritmik işlemler tamamlandıktan sonra sonuçlar toplanarak ahşap yüklenicilere ve mimarlara iletilmiştir. Aynı veriler daha sonra imalat ve detay kontrolleri için doğrudan kullanılmıştır (Koppitz ve diğerleri, 2012).



Resim 4.19. Verilen güçlerle eşleşen farklı genişlikteki LVL kirişleri (Koppitz ve diğerleri, 2012)

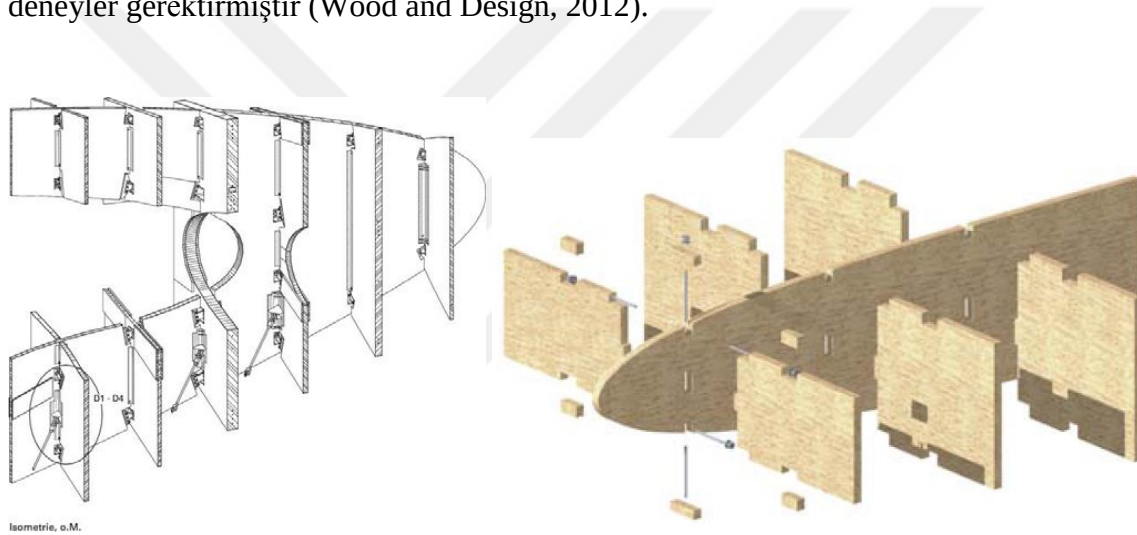
Ayrıntılı tasarım tamamlandıktan sonra, ahşap yapının gerçek ağırlığı dâhil bağlantı ayrıntıları FE modelinin son yinelemesinden gelen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Metropol Parasol projesi varlığını mimar, yapım ekibi, yangın mühendisleri, servisler ayrıca kereste yüklenicisinin de dâhil olduğu ekip üyeleri arasında geliştirilmiş entegre tasarıma borçludur. Takımda işbirliği ilk tasarım aşamasında başlamıştır. Böyle bir tasarım süreci için ön koşul, Almanya ve İspanya'da ki genel yüklenici de dâhil olmak üzere tüm ekip üyeleri arasında sayısal verinin sorunsuz transferidir. Böylece sanal 3D modeller analiz sonuçlarına göre mühendisler tarafından optimize edilmiş ve/veya doğrudan değiştirilmiştir (Koppitz ve diğerleri, 2012).

Metropol Parasol'un gelişimi ve yapımı karmaşık yinelemeli bir koordinasyon gerektirmiştir. 3D benzeşim modelleri kullanılarak, ahşap profillerde ki gerilmeler tespit edilmiştir. Böylece tüm eklem ve yapı profilleri test sonuçlarına göre optimize edilmiştir. Model verileri ayrıca Parasol'un yapımında çeşitli bağlantılar için üzerinde çentik içeren özel öğütülmüş ahşap elemanlarının üretiminde kullanılmıştır. Daha önce hiç görülmemiş bir ölçekte (150 m x 70m x 30 m) kompleks bir 3D strüktür geliştirmek, mühendisler için

özel bir çaba gerektirmiştir. Görünür destek yapı, ortaya çıkan yüklere göre 70mm-220mm arasında değişen malzeme kalınlığı ile 1.5 m x1.5m'lik grid sistemine dayanmaktadır. 16 metreye kadar uzanan yapısal ahşap elemanlar Almanya'da üretilerek Sevilla'ya taşınmış, sprey kaplanarak yerinde monte edilmiştir. Hava geçirgen poliüretan kaplama ahşabın yüzeyini, özellikle kenarları koruyacak ve bağlantıları mühürleyecektir (Wood and Design, 2012).

Konektörler tamamen yeni bir yapıcı ilkeye dayanmaktadır. Bağlantı noktalarında ahşap profiller içine dişli çelik çubuklar yapıştırılarak, yükler eşit olarak ahşap içine geçirilmiş, elemanlar içinde meydana gelen gerilmeler azaltılmıştır. Bu tekniğin geliştirilmesi sayısız deneyler gerektirmiştir (Wood and Design, 2012).

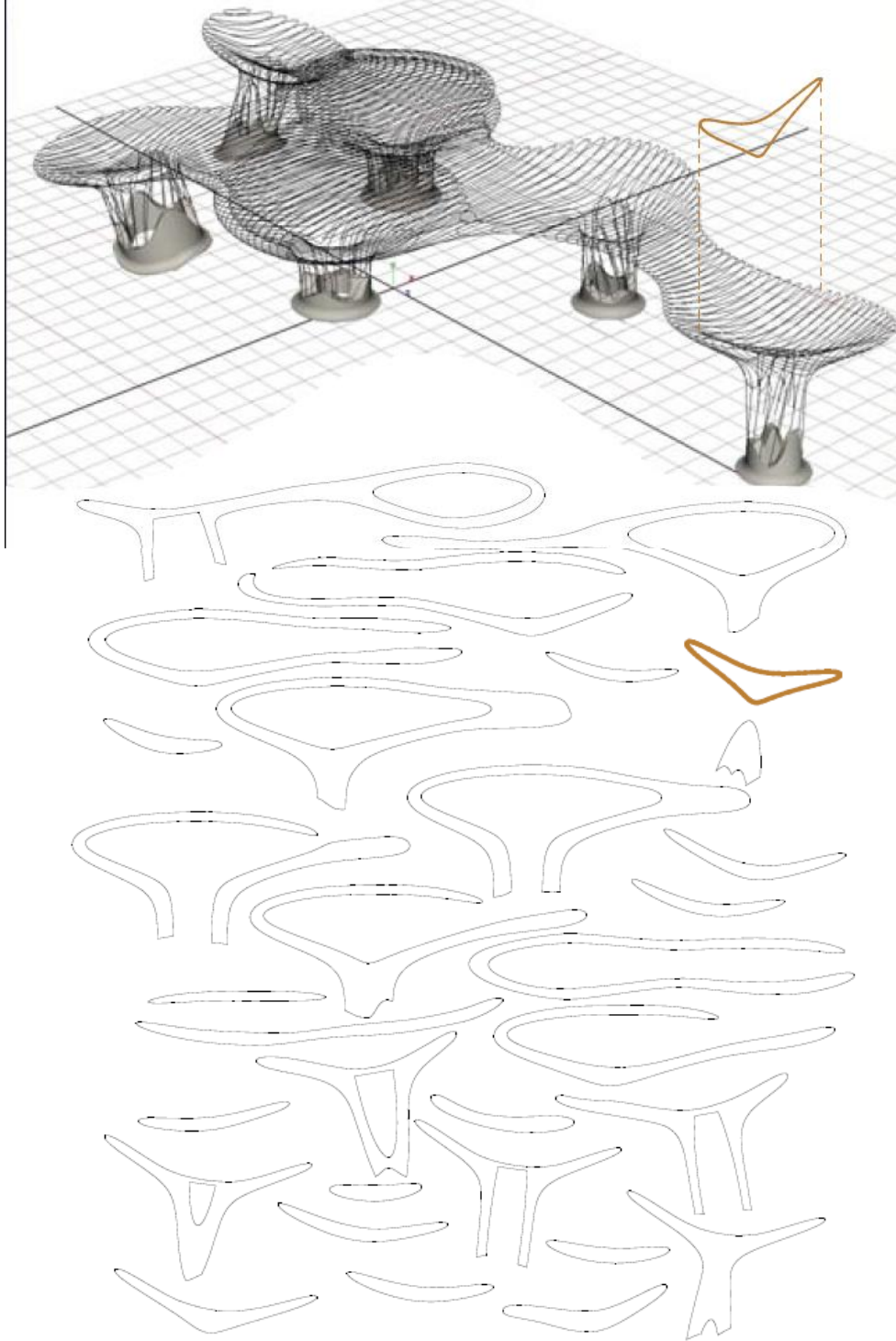


Resim 4.20. Bağlantıları da dâhil olmak üzere izometrik görünüşü, FFM 3D- inşaat modeli izometrik görünüş (Koppitz ve diğerleri, 2012)

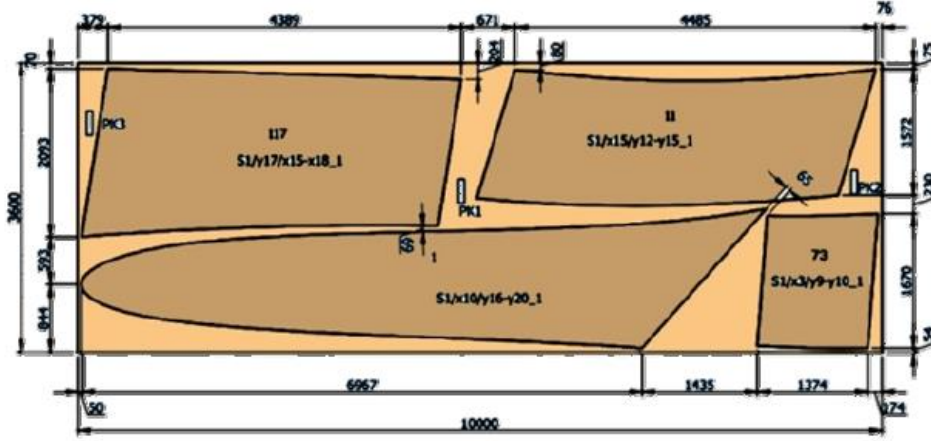
Mimari model verileri daha fazla üretime özgü verinin eklendiği ahşap yüklenici için oluşturulacak sanal modeli üretmek için yapısal mühendislerden gelen verilerle birleştirilmiştir.

24 ve 33 milimetre kalınlığında vakum işlenmiş ham paneller vakum işleminde 68 mm'den 311 mm kalınlığa kadar büyük paneller içine birlikte bağlanmıştır. Bir CAD ekibi makro planlamayla yaklaşık 3400 ayrı ahşap eleman ve bağlantı için yarı otomatik bir süreç inşa etmiştir. Aynı kalınlıktaki ahşap elemanlar milimetrik olarak CNC kontrollü robot tarafından kesilmiş ve öğütülmüş aynı zamanda ve çentiklenmiştir. Tutkallanmış yivli

ubuk için 65-70 cm derinliğinde 35000 boyuna delik ise elle açılmıştır (Koppitz ve diğerleri, 2012).



Resim 4.21. Üretim dizisi ve montaj (Meyer, 2005)



Resim 4.22. Panel kesme kalıbı, (Koppitz ve diğerleri, 2012)

Metropol Parasol, çeşitli programların uzun süreli uyumu, yüksek standartta mimari tasarımı, verimli yapı ve çevresel kaygılarıyla sürdürülebilir yapının öncüsü olan bir yeniliktir. İşçilik ile planlama ve yapımda lojistiğin akıllıca kullanımı üretim yöntemlerinin her ikisinin de sürece büyük bir verimlilikle katılmasını sağlamıştır.

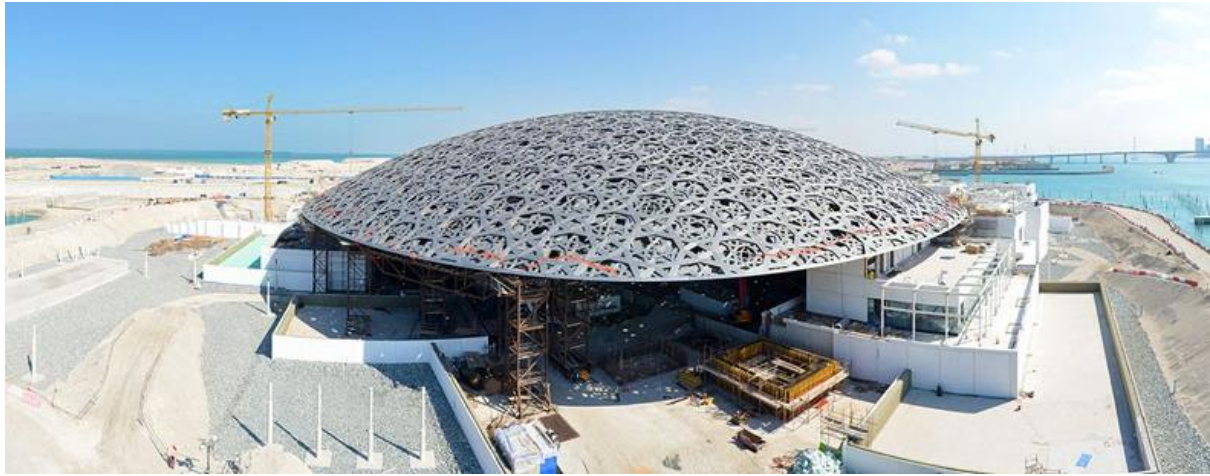
Parasol yapılarının montajı ardındaki temel fikir eleman donanımını mümkün olduğunca esnek tutmak ve eksenel kuvvetlerine ve bükülme momentlerine aktarmak için çelik bağlantı ayrıntılarını basit kullanmak ve aynı zamanda inşaat toleransları karşılamaktır. Montaj, şemsiye geometrisi ve buna karşılık gelen yükler ile koordine edilmiş kompleks iskele sistemi yardımı ile gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.23. Platform ve iskele manzarası, (Koppitz ve diğerleri, 2012)

4.3. Louvre Abu Dhabi Müzesi

Abu Dhabi açıklarında bulunan Saadiyat Adası'ndaki Kültür Bölgesi'nde yer alan Louvre Abu Dhabi Müzesi, Pritzker ödüllü mimar Jean Nouvel tarafından tasarlanmıştır. Jean Nouvel'ın "ada üzerinde ada" olarak tanımladığı ve Arap dünyası ve bu coğrafyaya ait korunmuş bölgeye atıfta bulunarak tasarladığı bina, bölgenin geleneklerinden alınan ilham ve modern mimariyi buluşturan, tüm kültürlerin bir araya getirildiği bir evrensel müze oluşturmak arzusunu yansıtmaktadır. Saadiyat Adası'nda yer alan Louvre Abu Dabi kum ve deniz arasında dengelenmektedir.



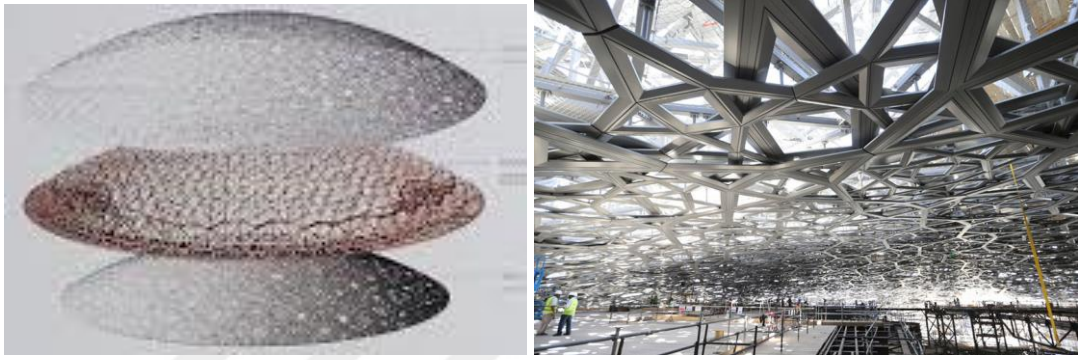
Resim 4.24. Louvre Abu Dhabi Müzesi, (URL- 38)

Müze yapısı kalıcı koleksiyonları için 6000 metrekarelik sergi alanı ve geçici sergiler için 2000 metrekarelik sergi alanı ile birlikte yaklaşık 24000 metrekarelik bir alan kaplamaktadır (Birch, 2010).

Müzenin kapalı galeri alanları ve açık yürüyüş yerleri üzerinde uçan bir dantel gibi yer alan 180 metrelik kubbe kompleksin en belirgin özelliğidir. Kubbenin dış kabuğunu ise "maşrabeya" adı verilen, geleneksel Arap mimarisinde uzun yıllardan beri kullanılan, balkon ve pencereyi hava akışını engellemeden kaplayan ahşap pencere örmeleri oluşturmaktadır. Bir maşrabeya gibi, Jean Nouvel'ın bu kurak iklimde "ışığın yağmuru" olarak nitelendirdiği kubbenin yaygın aydınlatma sistemi, müzenin iç galeri mekânları ve dış çevre arasında daha fazla etkileşim sağlamaktadır. Fraktal desenli bu kubbe galeriler arasındaki koridorlar ve açık alanlarda aydınlatma ve mikro klima için devrimsel bir tekniktir.

Kubbe, yıldızlı görsel efekti vermek için her biri birbiriyle çakışan, 3 kat karmaşık kafes üstünde ve altında yer alan 8 katman üzerinde binlerce alüminyum üçgenden yapılmıştır. Kaplama tabakalarının her biri, nihai bir etki oluşturmak için bir araya getirilmiş basit bir temel desene dayanmaktadır.

Çatının yapısal verimliliğini optimize edecek yapısal formu tasarlamak için Buro Happold Smart Solutions ekibi tarafından geliştirilen bir bilgisayar modelleme programı olan “Smart Formu” kullanılmıştır. Işık düzenlerinin istenen karmaşık etkisi 8 aylık bir çalışma sonucu nihai tasarım elde edilmiştir (Birch, 2010).

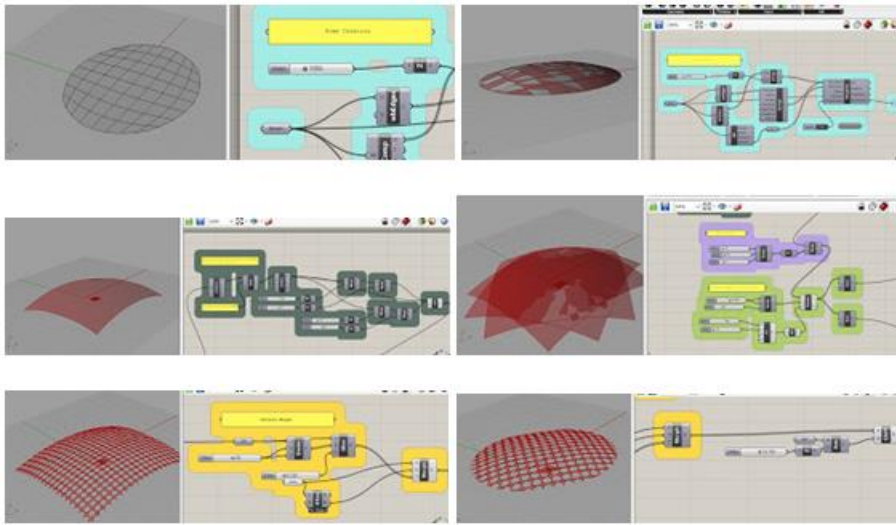


Resim 4.25. Kubbeyi oluşturan çerçeveler ve bu çerçeveleri kaplayan alüminyum üçgenler, (URL-39)

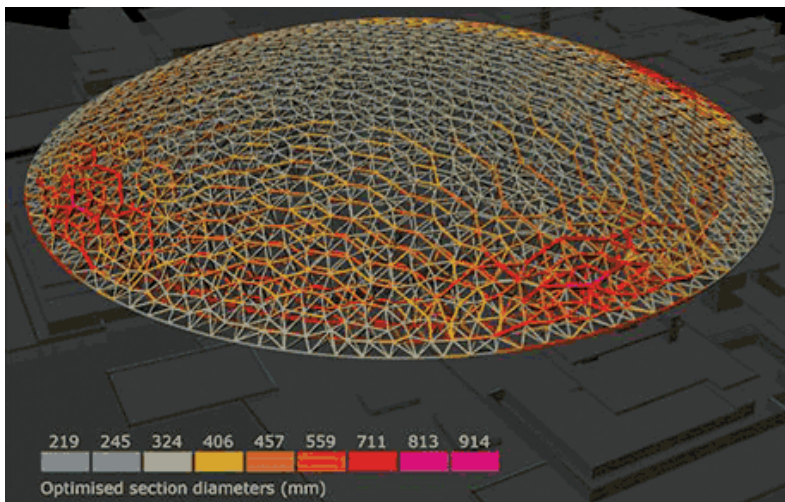
Hesaplamalı modelleme ekibi kubbe üzerindeki çalışmalarında entegre modelleme ve optimizasyonun sınırlarını zorladıkları iki yeniliğe imza atmışlardır. Birincisi istenen, estetik, yapısal ve çevresel performansı sağlamak için geometri, cephe kaplama deseninin katmanlı düzenleme ve boyutlandırması ve yapısal üyelerin etkileşimini sağlamak için modelleme ve analiz araçları kullanımıdır. İkincisi bu araçların kombinasyonudur, böylece bu araçlar mimari, yapı mühendisliği, cephe ve çevre tasarımı parametrelerinin düzgün ve verimli entegrasyonunu kolaylaştıran entegre bir modelleme ortamında final detayları için konsept tasarım üzerinde çalışırlar.



Resim 4.26. Çatının karmaşık kompozisyonunu gösteren dijital model ve yapı aşamasında kubbe (Birch, 2010)



Resim 4.27. Aynı desenli bir kaç farklı katmanın farklı rotasyonlarla üst üste getirilmesi ve kubbeyi oluşturma süreci, (URL-40)



Resim 4.28. Kubbenin optimizasyon aşaması, (URL-41)

4.4. Foundation Louis Vuitton (FLV)

Foundation Louis Vuitton tasarımı Frank Gehry'e ait, Jardin d'Acclimation'un içinde yer alan ve inşa edilmesinin imkânsız olarak kabul edildiği 'gerçeğe dönüşen bir rüya' olarak adlandırılmaktadır. Louis Vuitton Vakfı'nın Fransa'da ve uluslararası ortamda güncel sanatın görünürlüğüne artırmayı amaçlamasıyla 7.000 m²'lik kamuya açık bir alanda 11.000 m² üzerine konumlandırılmış; koleksiyonlar, sanatçıların katkıları ve güncel sergiler için ayrılmış 11 galerisi ve 350 kişilik oditoryumuyla 3.850 m²'lik bir müze alanı oluşturulmuştur.



Resim 4.29. Foundation Louis Vuitton, (URL-42)

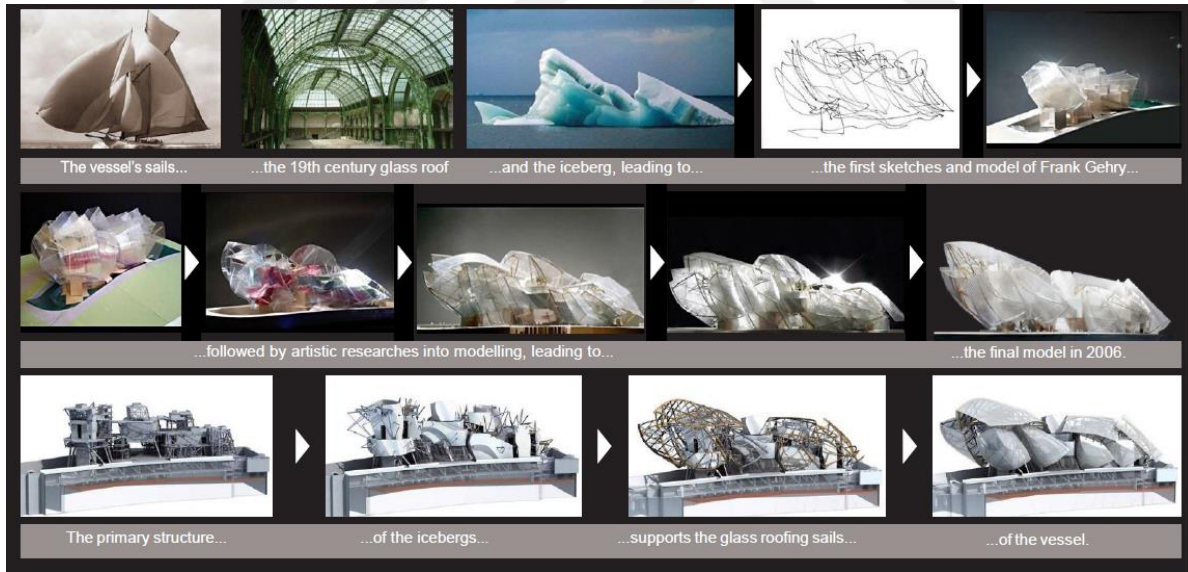
Fondation Louis Vuitton çığır açan tasarım ve yapım yöntemleri ile sayısız teknik ve teknolojik yenilikleri gerektiren görülmemiş karmaşık bir mimariye sahip bir girişimdir. 6 yılı konstrüksiyon tasarımına ayrılan 8 yıllık bir çalışmayı kapsayan uzun süreçten sonra proje, son derece karmaşık yapıların nasıl inşa edileceği bilgisinin katalizörü olmuştur.

Proje, tasarımının geometrik karmaşıklığı, iş birliği kavramı ve müşterinin yenilikçi yaklaşımı ile tanınmaktadır. Tüm bu faktörler birlikte hem geometrik hem de örgütsel

karmaşayla başa çıkmak amacıyla süreç etrafında yeniliklere ortam yaratmıştır (Nolte ve diğerleri, 2014).

Projenin, tümleşik zekânın, karmaşık işbirliğini ve daha önce benzeri görülmemiş mühendisliği nasıl mümkün hale getirip etkin kıldığına ilişkin yüksek-performanslı bir test vakası olduğuna dikkat çeken Nolte ve diğerlerine göre (2014) kendinden optimizasyonlu sistemler, hata sınırlarını detaylandırma ve materyal kısıtlamaları kadar, birbirinden farklı kurallar dâhilinde görevlerini yerine getirebilmektedir. Paris'in yeni kent simgesi sadece materyallerin muhteşem yeni kullanımı olmayacak, aynı zamanda tasarım girişimciliğinin kendi kendisini organize etmesinin cesur bir yolu olacaktır (Nolte ve diğerleri, 2014).

Frank Gehry'nin ilk taslaktan başlayarak sanatsal bir duruşu temsil eden yapısı, geç 19. yüzyıl cam ve bahçe mimarisinin hafifliğinden, buzdağının doğal, geçici şekilleri ve gemi yelkeninden ilham almıştır.



Resim 4.30. FLV tasarım aşamaları, (URL-43)

Proje için özel olarak üretilmiş bir su bahçesinin kenarına inşa edilen camdan bir bulutu andıran bina buzdağı (*iceberg*) olarak adlandırılan blokların bir araya gelişinden oluşmaktadır. Beton ile güçlendirilmiş fiber panellerle örtülü blokları ise ahşap direklerle destekli 12 adet devasa cam “yelken” çevrelemektedir. Cam yelkenler Foundation Louis Vuitton’a saydamlık hissini ve hareketini verirken, aynı zamanda binanın üzerine suyun,

tahtaların ve sürekli değişen ışıkların yansımaları sağlamaktadır. Bu ışık ve yansımalar oyunları aynı şekilde binanın içinde de devam etmekte, ziyaretçiler bir galeriden diğerine geçerken büyük cam boşlukları sayesinde dışardaki peyzajı içerde de deneyimleyebilmektedir (Karakaş, 2014).

Geometrik karmaşıklığının yanı sıra, Fondation Louis Vuitton projesi aynı zamanda küresel çapta yayılmış doğasından kaynaklanan kurumsal bir karmaşayı da taşımaktadır. Bir başka ifade ile tasarım ekiplerinin bir kısmı Paris'teki ofislerindeyken, tasarım mimarları Los Angeles'ta bulunmaktadır. Hem tasarım hem de inşa alanında Birleşik Krallık, Almanya, Belçika, İspanya ve İtalya'da da diğer bazı katılımcılar bulunmaktadır. Özetle tasarım ve inşa süreçlerine dâhil olan bir düzinenin üzerindeki şirketin hepsi mevcut 3 boyutlu bilgiye belli bir seviyede erişim ihtiyacı duymaktadırlar. Nolte (2014), bu ekiplerin çoğunun aynı model üzerinde geometrinin belirli yönlerini parametrik olarak tanımlamaya ihtiyaç duyduklarını belirtmektedir. Hedef, geleneksel doğrusal planlama sürecini tasarımcılar, mühendisler, mimarlar ve üreticiler arasında daha entegre, eşzamanlı tasarım yaklaşımı lehine çevirmektir (Nolte ve diğerleri, 2014).

Entegre modeller üretmenin gerçek yolları günümüz tasarım dünyasının acil ihtiyaçlarından olduğuna vurgu yapan Nolte ve diğerlerine (2014) göre inşaat sistemleri tekil oyuncuların üzerinde bütünüyle ustalaşamayacağı kadar karmaşıktır ve dijital modeller bu sistem kurallarına herhangi bir yerden ulaşılabilirliği mümkün kılmaktadır. Dijital model paylaşımında bulunan sistemler, bilginin hızlı dağıtımı, daha doğrudan izlenebilirlik, daha basit raporlama ve özgül sunucularda karmaşık hesaplamaların toplu ve otomatik işlenmesi gibi faydaları sorunsuz bir şekilde sunabilmektedir (Nolte ve diğerleri, 2014).

'Fondation' yüzlerce katılımcı için 3 boyutlu eşzamanlı tasarım sistemini gerektirmiştir. Bu ihtiyaca cevap veren hiçbir araç olmamasından dolayı Gehry Technologies yeni bir araç geliştirmiştir. İlk etapta araç, büyük yazılım projelerinde kaynak kod için yaygın bir şekilde kullanılan açık kodlu sürüm belirleme ve kitleme sistemi olan Sürüm yönetim sisteminde (SVN) inşa edilmiştir. Aslında yazılım geliştirme ve inşaat birçok ortak paydaya sahiptir, her ikisinde de sıklıkla coğrafi yönden dağınık, sıkışık programları ve karşılıklı bağımlılıkları olan birçok katkı sağlayıcı vardır. Bu yüzden yazılım geliştirmenin en iyi fikirleri alınıp mimariye uygulanmıştır. SVN sistemi, Digital Project, Xsteel,

SketchUp, Rhino ve birçok diğer platform gibi çok dilli model tabanını 400'ün üzerinde tasarımcı, mühendis ve mimar için ortak bir kaynaktan birleştirerek modelin bulut sistemine taşınmasını mümkün kılmıştır. Gehry Technologies, bilgisayarlar ve taşınabilir cihazlar için dünyanın en gelişmiş çoklu-platformlu İnşaat Bilgi Modeli (BIM) navigatörü olan Gteam'i oluşturarak ileri bir adım atmıştır. Gteam, bilgisayarın toplumsal amaçlı kullanımı, izlenebilirlik, veri görüntüleme/ortaya çıkarma, döngüsel iş akışı onayını tek bir yüksek hassasiyetli toplama aracında birleştirmiştir ki bu kitle katılımlı yüksek doğrulukta tasarım için gerçek bir araçtır (Nolte ve diğerleri, 2014).

Projenin gerçekleştirilmesi arkasındaki teknik süreçler, tarihsel amaçları bugünün dijital teknolojisiyle birleştirmeye uzanmaktadır. Transparanlık ve strüktürü hafifletmek amacı ile BIM modelinin geliştirilmesi ve bunu takip eden fabrikasyon sürecinde 10 firma ve 400'den fazla bireysel işçi olarak çalışan mimar, mühendis ve fabrikatör arasındaki sıkı tasarım işbirliği, sürekli ve eş zamanlı bir tasarım - mühendislik süreci ile gerçekleştirilmiştir. Teknik başarıdan daha fazlası ise projenin amaçlarını mimar ve müşteri arasındaki doğrudan işbirliği olmadan gerçekleşmesinin imkânsız olmasıdır. Bu ortak modeli çevreleyen BIM modeli ve iletişim teknolojileri, bu ilişkinin kritik noktasını oluşturmuştur.

BIM yazılımı ve bulut tabanlı bir işbirliği eşzamanlı tasarımı etkinleştirmiş, ileri parametriklik projeyi sonraki aşamaya getirmiş ve otomatik CNC işlemi fabrikasyon zincirini tamamlamıştır. Akıllı bileşenlerin kullanımı tasarım süreci boyunca karmaşıklığı, maliyet ve kaliteyi kontrol altında tutmuştur.

İlk andan itibaren, cam projenin merkezinde olmuştur. 1900 Evrensel Sergisi için yapılmış olan Grand Palais'te kullanılan camın güçlü varlığı, diğer yapı malzemelerine göre onu, Foundation çevresi ve doğası ile zengin bir etkileşim kurabilecek Paris için simgesel bir malzeme yapmıştır. 3600 adet cam panelin birleşiminden elde edilmiş on iki parçadan oluşan yelken benzeri dış kabuğun oluşturulmasında, cam panelleri istenilen milimetrik ölçülere getirmek ve bükmek için özel bir teknik geliştirilmiştir. Normalde metal kalıplar ile yapılabilecek bu imalat, 3500 kalıp gerektireceği için kullanışsız bir teknik olarak kalmıştır.

Fondation'ın en önemli tasarım zorluğu, cam ve beton panelleri önceden yapılmamış ölçekte belirli eğriliklerle bütünüyle şekillendirmek olmuştur. Kıvrımlı cam yüzeyleri oluşturabilmek için, üretici firma Sunglass, cam levhaları kusursuzca bükerek silindirik bir geometriye dönüşmesine imkân tanıyan büyük parametrik cam kalıpları kullanmıştır. Elbette tasarım yüzeylerinin dış hatları serbest biçimdedir veya en iyi ihtimalle geliştirilebilir- silindirin mutlak geometrisinden çok farklıdır. Gehry Technologies firması, bu 1x3 metre (3.3 x 9.8 foot) silindirleri tasarım yüzeyinin 5 milimetre (0.2 inch) içerisine yerleştirerek 3.500 serbest çizim şeklin her birine en iyi uyan silindiri bulmak için araçlar geliştirmiştir. Bu durum modelin kendi içine, uyarlamalar da dâhil olmak üzere, üretim ve fabrika kurallarını yerleştirmeyi gerekli kılmıştır -tümleşik üretimsel zekâ ve simülasyonda yeni bir adım (Nolte ve diğerleri, 2014).

FLV özel işbirliği araçları ile gelişmiş parametrik modellerin birleştirilmesiyle, BIM ve parametrik tasarımın eşzamanlı yeni modellere olanak sağlayan bulut üzerinde işbirliği için yapılandırılmış yeni bir paradigma geliştirmiştir. BIM yazılımı ve bulut tabanlı işbirliği, eş zamanlı tasarımı etkinleştirmiş, ileri parametriklik projeyi sonraki seviyeye projeyi getirmiş ve otomatik CNC işlem fabrikasyon zincirini tamamlamıştır.

4.5. Hangzhou Tennis Center

Dünyanın en önemli parametrik yapılarından biri olarak Hangzhou (Çin) de bulunan 10.000 koltuklu tesis, büyük bir spor ve eğlence master planının bir parçasıdır. NBBJ- CCDI iş birliğiyle gerçekleşen stadyumun tasarımı, heykelsi çelik kafes modüler sistemine dayalıdır. Ana stadyum ve tenis sahaları bölgedeki temel iki yapıdır. Her iki tesis de dış katmanını oluşturan tekrarlanan heykelsi geometriyle ortak mimari dili paylaşmaktadır (Miller, 2011).



Resim 4.31. Hangzhou Tennis Center (Miller, 2011)

Dış yüzeyin tasarımı için entegre bir parametrik sistem karmaşık geometrik sistemleri simüle etme, kavramsallaştırma ve belgeleme için oluşturulmuştur. Kavramsallaştırma için, parametrik sistem kontrol yüzeyi geometrisini açıkça tanımlamak ve biçimsel değişimleri incelemek için kurulmuştur. Fiziki simülasyon araçları temel yapı davranışını test etmek için kullanılmıştır.

Hesaplama NBBJ ekibinin tasarım sürecinde giderek daha önemli bir rol oynamıştır. Biçimsel yenilik ve performans odaklı sistemlere olan talep tasarımcıların “*out-of-the-box*” 3D modelleme ve BIM paketleri ötesinde yeteneklerini genişleten, yeni süreç arayışlarını gerektirmiştir. Hangzhou Tennis Center tasarım ekibi, yeni hesaplama süreçlerin uygulanmasına ek olarak parametrik araçların özelleştirilmesi ile kısmen de olsa zorlukları aşmak zorunda kalmıştır. Binanın tasarımcıları iki rasyonel nedenle merkez zarfını modellemek için parametrik tasarım kullanmıştır: birincisi, uygun yenilikçi bir cilt bulmak ve ikincisi ise yapıda kullanılacak çelik tüketimini azaltmaktır. Hangzhou Merkezi'nin parametrik tasarım süreci zarfın geometrisinin belirlenmesinden hemen sonra başlamıştır. NBBJ izleyiciye açık görüş alanı sağlayan etkin bir kabuk modellemek için zarf yapısı için kullanılacak çelik miktarını azaltmak niyetinde olmuştur. Sonuç olarak ortaya çıkan kabuk, beton ile bağlı 24 çelik kafes ile bu hedefi gerçekleştirmiştir ve parametrik tasarım sayesinde çelik tüketimi %67 oranında azaltılmıştır (Lashihar, 2016).

Tenis merkezi sahaları için parametrik-odaklı süreç uygulanmıştır. Grasshopper' da ayrıntılı bir parametrik algoritma geliştirilmiş, stadyum geometrisi üzerinde çalışmak ve ekip ortakları ile bilgiyi koordine etmek için kullanılmıştır. Ana stadyum sistemi için kapasiteyi aştığından dolayı tenis merkezi algoritması önemli ölçüde genişletilmiş ve parametrik tasarım ilk kez bu projede aşağıdaki durumlar için de kullanılmıştır:

Geometri Tasarımı: Dış geometriyi parametrik olarak tanımlama ve kontrol etme

Form Varyasyonları: Bina şekli ve deneme alternatiflerini hızlı bir şekilde düzeltme

Yapısal İşbirliği: Analize hazır yapısal modeller oluşturma sistemleri

Kavramsal Simülasyon: Karmaşık yapıların sezgisel kavrayışı için fiziki simülasyonu entegre etme

Yüzey Analizi ve Kaplama: Yüzey özelliklerini görselleştirme ve detaylı parametrik kaplama sistemleri

Koordinasyon: Harici belgelendirme yazılımında kullanılması için parametrik olarak üretilen modelleri düzenleme ve dışa aktarma

Belgeleme: Ortografik perspektif (dikey izdüşüm) kullanarak temsil edilemeyen unsurlar için

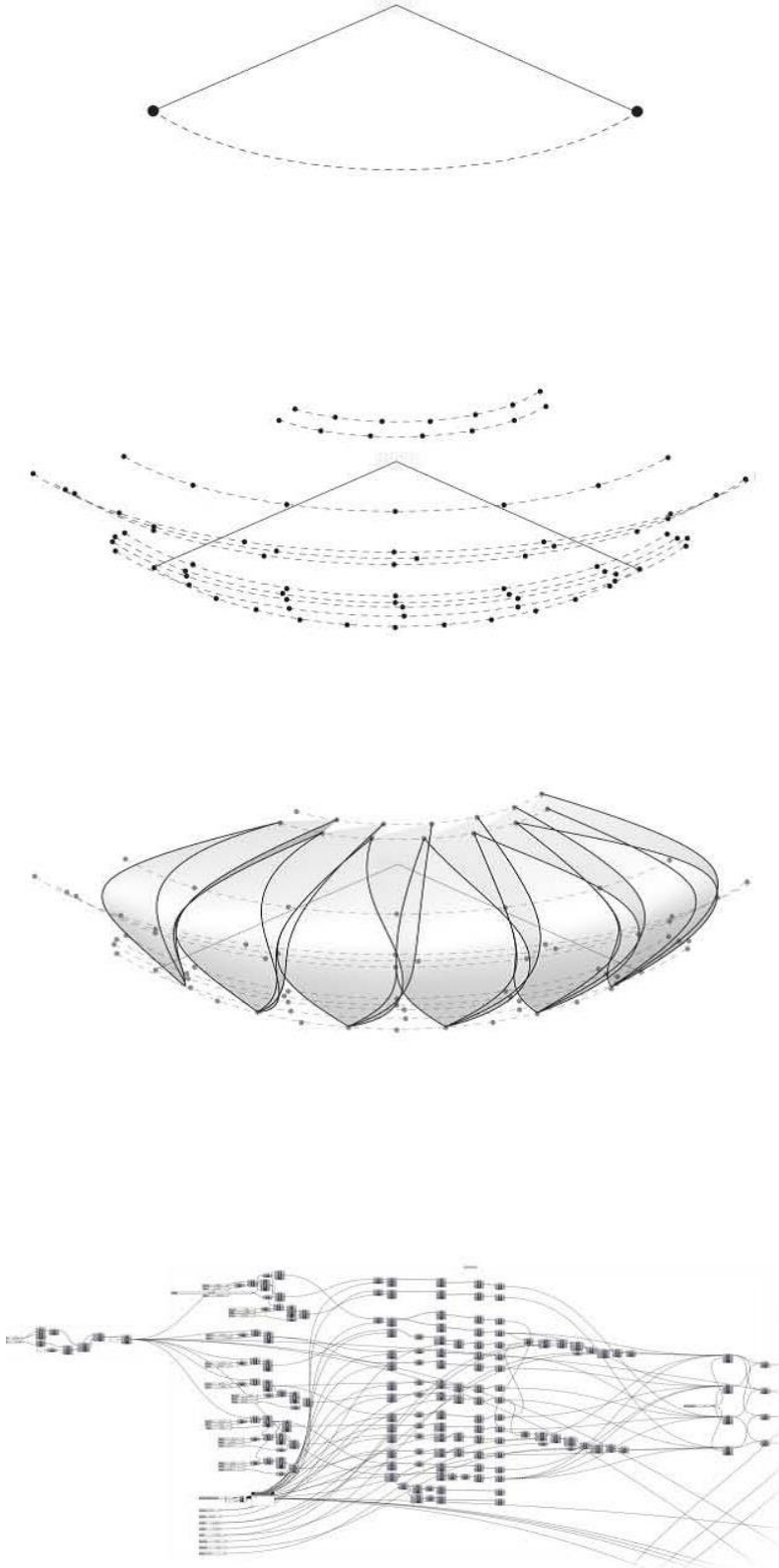
2 boyutlu tanımlayıcı geometri sistemleri (Miller, 2011).

Geometri tasarımı

Dış katman dairesel bir kemer etrafında dizilen 24 kiriş modülden oluşmaktadır. Taç yaprağı (*petal*) olarak ifade edilen kirişler stadyumun tribünlerini kuşatan geniş-ölçekte tekrarlı bir desen oluşturmaktadır. Tenis stadyumuna kendi görsel imajını vermenin yanı sıra, yapı iskeleti aynı zamanda işlevsel olarak tribün için yağmurdan korunma ve gölgelenme imkânı sağlamaktadır. Yapı aynı zamanda stadyumun spor aydınlatması gibi teknik ekipmanlarını da barındırmaktadır. İlk yüzey geometrisi, ilerleyen aşamalarda katmana ilave tesisler inşa etmek için baskı sistemi olarak hizmet vermektedir. Birimsel (modüler) sistem, yüzeyin kenar kıvrımlarını belirlemek için kontrol noktaları olarak görev yapan nokta bulutu sistemi kurularak parametrik olarak tanımlanmıştır. Egemen yüzey daha sonra kenar eğrileri arasında uzanmaktadır (Resim 4.32). Stadyumun simetrisinden dolayı, tüm katmanın sadece dörtte biri bu aşamada hesaplanmıştır. Bu yaklaşım sistemin, tasarımcıların uçtan uca görünümü değerlendirmelerine izin verirken daha hızlı yinelemelere imkân sağlayarak hesaba dayalı performansını iyileştirmiştir (Miller, 2011).

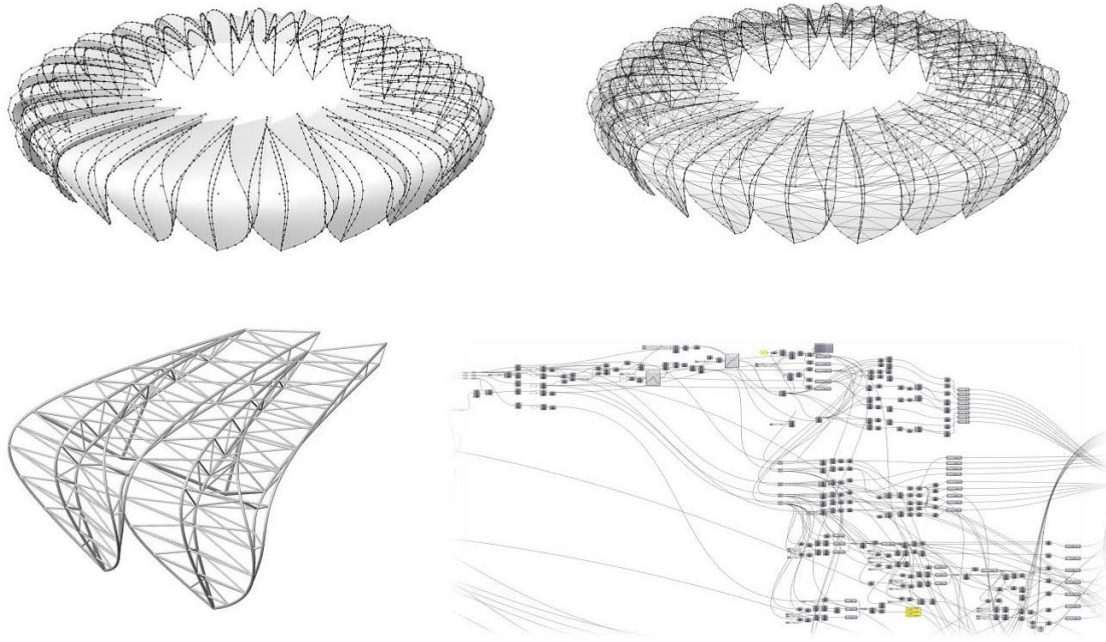
Form varyasyonları

Dış geometrinin parametrik tanımı tasarım ekibinin kavramsal kısıtlamalar kapsamında etkin bir şekilde tasarım alternatiflerini ve değişkenlerini araştırmasına imkân tanımıştır. Nokta bulutunun parametrik kontrolü biçim kontrolünde birincil araçtı. Nokta bulutunu işlemek (sınıflandırma, dönüştürme) için parametreler tasarım ekibinin dış yüzeylerin farklı düzenlemeleri üzerinde çalışmasına olanak vermiştir (Resim 4.33). Değerlendirmenin büyük bölümü estetik yargıya dayalı olmasına rağmen, gölgelenme, su tahliyesi, yapısal performans ve spor teknik sistemleri de aynı zamanda nihai şekle ulaşmada dikkat edilen etkenlerdir.



Resim 4.32. Dış kabuğun geometrisini tanımlamak için algoritma (Miller, 2011)

içinden nasıl geçtiğinin sezgisel bir gösterimini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Genleşen ve sıkıştırılan güçler maksimum stres alanlarına ek olarak resmedilebilmektedir. Bu kapasiteyi kavramsal seviyede tasarım modelinin içine entegre ettirmek tasarım ekibinin daha çok bilgiye dayalı kararlar vermesine ve yapısal mühendis ekibiyle daha detaylı diyaloga girmesine imkân tanımıştır.



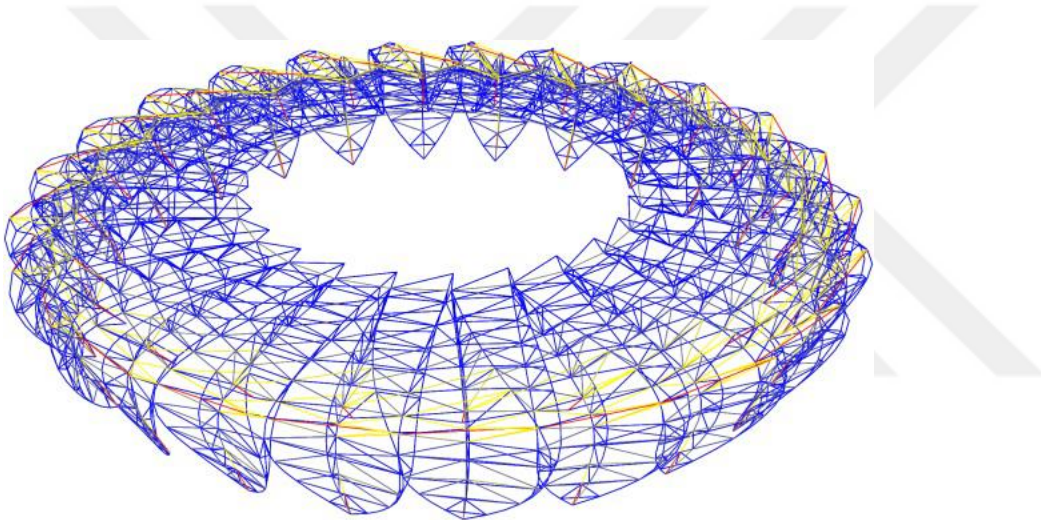
Resim 4.34. Parametrik strüktür tasarım modeli (Miller, 2011)

Yüzey analizi ve kaplama

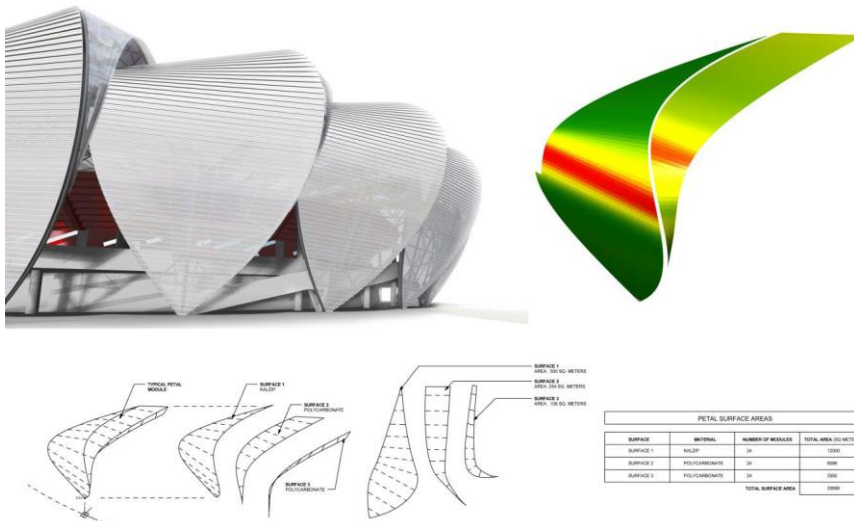
Parametrik algoritmaya, geometrideki eğrilik alanlarını görüntülemek ve değiştirmek için yüzey analizi de entegre edilmiştir. Taç yaprakların çizeli yüzeyi, yüzeyin UV koordinatları kullanılarak kaplanmıştır. Her bir panelin düzlemsellik testi yapılmıştır. Eğrilikler dik kenet alüminyum plakaj sisteminin seçimi konusunda bilgi vermiştir.(Resim 4.36) Plakaj sistemi, panel ek yerleri, gerekli boşlukların bırakılması ve delinme oranlarının görsel şekli üzerinde daha doğru bir biçimde çalışabilmek için parametrik olarak modellenmiştir. Alüminyum panellerin üretim süreci konik uçlu düzenleme ile yüzeyin her bir ucunda kesintisiz aralıklara olanak sağlar. Bu, ön cephe bileşenlerinin, çizeli yüzey UV parametrelendirmesine sadık kalmasıyla sonuçlanmıştır.

Koordinasyon

Tenis merkezinin tasarım gelişim aşaması için tenis stadyum geometrisinin belgelendirilmesi gerektirmiştir. Geometrik gelişim ve yapısal tasarım açısından gerekli bir araç olmasının yanı sıra Grasshopper algoritması, aynı zamanda diğer harici belgelendirme araçları ile de koordinasyonu kolaylaştırmıştır. Kilit model elementlerin dışa aktarım sürecini 3D DWG dosya sistemine entegre eden özel komut dizileri oluşturulmuştur. Komut dizisi dönüştürülmüş dosyaların otomatik güncellenmesini mümkün kılmıştır ve böylece harici uygulamalar güncel bilgiden faydalanabilmişlerdir. Tasarım ekibi bu yöntemi, 3D bilgisini Autodesk Revit modele çevirmede temel araç olarak kullanmıştır.



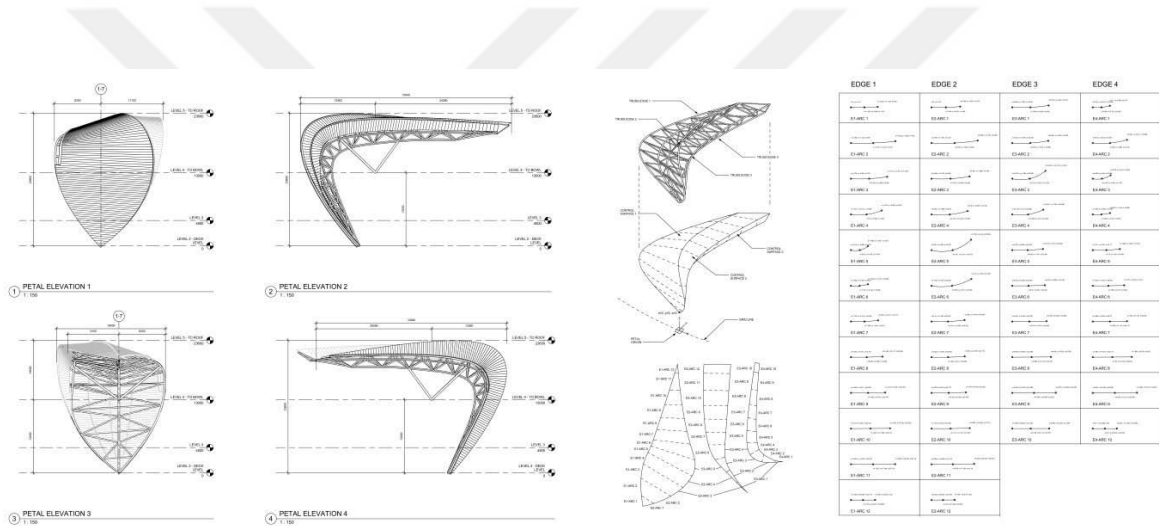
Resim 4.35. Kafes kirişi merkez modeline ağırlık yüklemesini görselleştirmek için kangaro fizik motoru kullanımı (Miller, 2011)



Resim 4.36. Yüzey analizi ve yapraklı kafes kiriş formunun kaplaması (Miller, 2011)

Belgeleme

Revit dış kaplamanın ortografik çizimlerini içeren belgelendirme sayfalarını üretmek için kullanılmıştır. Dış kaplamanın çizimleri 2 boyutlu belgelendirme kümesini dâhil etmeleri için CCDI ekibiyle paylaşılmıştır (Resim 4.37). Ortografik perspektif kullanarak tanımlanamayan geometri için, iki boyutlu tanımlayıcı geometri oluşturma amacıyla algoritma da kullanılmıştır. Taç yapraklı kiriş yüzeylerin ile ilgili olarak, özel bir Grasshopper komut dizisi çizeçli açmayı otomatik hale getirmiştir. Bu çizimler bir yüzey miktar hesap tablosu ile birlikte kullanılmıştır. Algoritma aynı zamanda yüzey eğrilikleri hakkında bilgi içeren güncel bir hesap tablosunu da ortaya çıkarmıştır (Miller, 2011).



Resim 4.37. Grasshopper da oluşturulmuş geometriler ile Revit Architecture'da oluşturulan ortografik çizimlerin kombinasyonları kullanılarak oluşturulan belge örnekleri (Miller, 2011)

Tez çalışması boyunca yapılan araştırmalar ve 4.bölümde incelenen örnekler sonucunda sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin 21.yüzyıl tasarım dilinin oluşturulmasında son derece yenilikçi yaklaşımlar barındırdığı görülmüştür. Çizelge 4.1. bu bölümde detaylı olarak irdelenen 5 örneğin yenilikçi sayısal teknolojilerin tasarımcıya sunduğu avantajlar bağlamında sonucunu sunmaktadır.

Çizelge 4.1. Yenilikçe sayısal teknolojilerin tasarımcıya sunduğu avantajlar

YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLERİN TASARIMCIYA SUNDUĞU OLANAKLAR	SAYISAL TEKNOLOJİLERLE GELİŞTİRİLMİŞ TASARIMLAR				
	SHANGHAI TOWER	METROPOL PARASOL	LOUVRE ABU DHABI	FLV	HANGZHO TENNIS CENTER
Tasarımcının yapıya özgü yeni tasarım biçimleri geliştirebilmesi	X	X	X	X	X
Kavramsal tasarımda özgün formların araştırılmasına imkân vermesi	X	X	X	X	X
Tasarımın üretimden önceki süreçlerde test edilebilmesi	X	X	X	X	X
Tasarıma özgü yenilikçi üretim sistemlerinin geliştirilebilmesi	X	X	X	X	X
Malzemenin kendi doğal kapasitesini en üst düzeyde ortaya çıkartacak yenilikçi tektoniklerin geliştirilebilmesi		X		X	
Çok sayıda parametrenin eşzamanlı olarak ele alınabilmesi	X	X	X	X	X
Üretilen modellerin tasarımın en iyilenmesine olanak sağlaması	X	X	X	X	X
Tek bir modelin farklı disiplinlerden pek çok kişinin birlikte çalışabileceği ortak bir medya oluşturması	X	X	X	X	X
Akustikten strükture, ısıtma-soğutmadan aydınlatmaya kadar pek çok konuda detaylı analiz yapılabilmesi	X	X	X	X	X
Tasarım ve üretim bilgisinin eş zamanlı olarak ele alınabilmesi	X	X	X	X	X

Çizelge 4.1. (devam) Yenilikçe sayısal teknolojilerin tasarımcıya sunduğu avantajlar

Hızlı prototipleme imkânların kullanılarak tasarımın gelişmesine katkıda bulunması	X	X	X	X	X
Karmaşık tasarım problemlerinin algoritmik ilişkilerle çözümlenebilmesi		X			X
Yeni ve farklı tasarım ortamlarının oluşturulabilmesi			X	X	X
Kompleks geometriye sahip nesnelerin tasarlanması, en iyilenmesi ve üretilmesine imkan vermesi	X	X	X	X	X
Sistemlerin türettiği bilgilerin somutlaştırılarak fiziksel bir tasarım ürününe dönüştürülebilmesi	X	X	X	X	X
Formların strüktürel potansiyellerinin yeniden keşfedilmesi	X	X	X	X	X
Sürdürülebilir tasarım desteği	X	X			
İnşaat maliyetlerinde tasarruflara olanak vermesi	X	X	X	X	X



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgi çağı olarak adlandırılabilen bu yüzyılda, gelişen teknolojinin etkisiyle mimari tasarım/üretimine yönelik yenilikçi teknik ve yöntem arayışları hız kazanmıştır. Sayısal Mimarlık adı altında toplanabilecek yaklaşımların sonucunda ortaya çıkan ürünlerin/denemelerin hem sayıları hem de nitelikleri her geçen gün artarak yaygınlaşmaktadır. Çoğunlukla temsil ve sunum aracı olarak kullanılanlagelen sayısal ortamın; çok sayıda ve karmaşık veri, enformasyon ve bilginin işlendiği üretken ve yaratıcı potansiyelleri ve son ürüne yönelik barındırdığı olanaklar bu yüzyılın mimari tasarım ve üretim süreçlerinde bir paradigma değişimine işaret etmektedir. Artık bilgisayarlar tasarımda işbirlikçi bir rol oynamanın yanı sıra fabrikasyon/üretim sürecini de etkilemekte ve dönüştürmeye başlamaktadır. Bu olanaklarla temel geometrik formların kullanımını dikte eden kısıtlar ortadan kalkmakta, karmaşık formların tasarımı, eniyilenmesi ve üretimi mümkün olmaktadır. Bütün bu paradigma değişimi, "sürecin" bütüncül olarak tasarımının son ürün tasarımından daha önemli olduğu konusundaki tartışmayı da beraberinde getirmektedir. Tez kapsamında incelenen örneklerin sonucunda da ifade edildiği gibi geleneksel tasarım ve üretim anlayışından tamamen farklı olarak sayısal teknolojiler tasarımcılar için pek çok olanaklar barındırmaktadır. Bu potansiyeller çerçevesinde sayısal ortamın 21.yüzyıl tasarım ve üretim anlayışına olan etkilerinin neler olabileceği şöyle sıralanabilir:

- Sayısal ortamın sağladığı hesaplama gücü sezgisel sürecin somutlaştırılarak fiziksel bir tasarım ürününe/sonuç ürüne dönüştürülebilmesine olanak sağlamaktadır.
- “Mimarlar çizemediğini inşa eder” sınırlaması sayısal teknolojilerle aşılarak, farklı geometriler ve özgür formlar ile çalışılabilme olanağı elde edilmiş, aynı zamanda karmaşık geometrilere sahip tasarımların ifade edilmesi/sunulması ve yapılabirliği/uygulanması sağlanmıştır.
- Binanın tüm yaşam döngüsünde kullanılabir sayısal yaklaşımlar aracılığıyla sayısal tasarım ürünleri dosyadan fabrikaya/bilgisayar ekranından şantiyeye üretilebirmekte ve kitlesel üretimi de mümkün olabilmektedir.

- Mimarlığın diğer disiplinlerle olan ilişkisinin etkin bir biçimde artmasıyla tek bir model üzerinden tasarımdan üretim kadar pek çok paydaşla ortak bir kurgulamasına ve çalışmasına olanak sağlanmaktadır.
- Tasarım bilgisi üretim bilgisi ile eşzamanlı olarak gelişmekte ve bu durum tasarımcının tüm süreçlerde etkin bir rol almasını sağlamakta/zorunlu kılmaktadır.
- Sayısal araçlar, teknikler ve teknolojiler aracılığıyla tasarım ve yapım bilgilerinin senkronizasyonu, tasarım anlayışı ve malzemeleştirme faaliyetleri arasında zenginleştirilmiş bir diyalogu açığa çıkarmaktadır. Malzeme özelliklerinin sayısallaştırılabilmesi ve kendi doğal kapasitelerini en üst seviyeye taşıyacak tasarımların yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.
- Sayısal araçlar bina performansından ısıtma-soğutma hesaplamalarına, akustik analizlerden strüktür analizlerine kadar pek çok konuda benzeşim yapabilme imkânı sunmaktadır.
- Her aşamada performans değerlendirmesinin yapılabilmesi ve eniyilenmiş durumun seçilebilmesi üretimden önceki süreçlerde sağlanmaktadır.
- Tasarımı ve üretimi karmaşık, yinelemeli bir koordinasyon gerektiren mimari ürünlerde karşılaşılan problemler, tanımlanan algoritmik ilişkilerle çözümlenmekte, geleneksel sürece göre daha kontrollü ve hassas bir tasarım ve üretim süreci sağlanmaktadır.
- Farklı disiplinlere ait bilgilerin analiz, simülasyon ve diğer sayısal araçlarla tasarım ve üretim sürecine girmesiyle geliştirilen sistemler sayesinde farklı uzmanlık alanlarında pek çok kişinin aynı model üzerinde çalışması ve sürece hem kalite hem de zaman bağlamında katkı sağlanmaktadır.
- Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle sanal ortamda oluşturulan formlar ile kişi artık tasarım aşamasında sürece dâhil olabilmekte ve mekânsal deneyim başka bir boyuta taşınmaktadır.

Gelişen teknoloji ve disiplinler arası çalışmalar sonucunda üretilen yeni malzemeler, yeni sistemler sayesinde mimari ürün statik olmaktan çıkıp çevresel etkilere duyarlı ve onlara cevap verebilen dinamik bir yapıya dönüşmektedir. Bu durumda tüm çevresel etkiler tasarıma yön veren parametreler olarak tanımlanabilmektedir.

- Malzemenin hesaplanabilirliği sayesinde kısıtlayıcı özellikleri aşılmakta, kendi doğal kapasitesini en üst düzeye çıkarabilecek tasarımlar gerçekleşmektedir. Bu durum alışlagelmiş tektoniklerin de sınırlarını zorlayarak yenilikçi yaklaşımların kullanımını desteklemektedir.
- Hesaplamalı tasarım araçları ve bilgisayar destekli üretim/tasarım/üretim ve malzemeleştirme süreçleri arasında geleneksel yöntemlere göre daha etkin bir entegrasyon sağlamaktadır.

Sayısal teknolojilerin geleceği zengin ve çeşitliliği olan diyaloglara yol açacak yeni keşiflere ve uygulamalara olanak sağlayacağını söylemek yanlış olmayacaktır. Çalışma sonunda elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda sayısal araç ve yöntemlerin sağladığı tüm bu olanakların mimari tasarım ve üretim süreçlerine yeni perspektifler kazandırdığı ve sayısal ortamın kendine özgü hesaplama yeteneği ile şimdiye kadar denenmemiş geometrilerin gerçekleşmesi yönünde potansiyellerin bulunduğu açıktır. Mimarlık gündeminde “yeni” sayılabilecek sayısal teknolojilerin mimarlık pratiği için geniş bir tartışma alanı oluşturması beklenmektedir ve bu tartışmaların sonraki çalışmalara ışık tutacağı öngörülmüştür.



KAYNAKLAR

- Akipek, F., Ö. (2004). *Bilgisayar Teknolojilerinin Mimarlıkta Tasarım Geliştirme Amaçlı Kullanımı*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akipek, F., Ö. ve İnceoğlu N. (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları. *Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi e- Dergisi*, 2 (4), 237-253, İstanbul.
- Altunkaynak, B., Esin, A. (2004). Doğrusal Olmayan Regresyonda Parametre Tahmini için Genetik Algoritma Yöntemi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2), 43-51.
- Arpacıoğlu, Ü., Kuruç, A. (2010). Zamansız Malzemelerin Zamanda Yolculuğu. *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, 5 (15), 47-51.
- Arslan Selçuk, S., Gönenç Sorguç, A. (2007). Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 22 (2), 451-459.
- Arslan Selçuk, S., Gönenç Sorguç, A. (2015). Bilgisayar Ekranından Şantiyeye. *Yapı Dergisi*, 407, 154-160.
- Atılğan, D. (2006). *Gelişen tasarım araç ve teknolojilerinin mimari tasarım ürünleri üzerindeki etkileri*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Atılğan, D. (2006). Mimari Tasarım Araç ve Teknolojilerinde Duyuların Rolü ve Mekânsal Deneyim. *Ege Mimarlık Dergisi*, 3(58),10-13.
- Bonwetsch, T. (2015). *Robotically assembled brickwork*, Doktora Tezi, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- Bovill, C. (1996). *Fractal geometry in architecture and design*. Boston: Birkhauser Press.
- Cohen, G. (2004). *Technology Transfer*. London: Sage Publications, 336.
- Çağdaş, G. (2005). Enformasyon Teknolojilerindeki Evrimsel Sürecin Mimari Tasarım Eğitimine Yansımaları. *STÜDYO Tasarım Kuram Eleştiri Dergisi*, 2, 2-6.
- Çağdaş, G. Bacınoğlu, Z., Çavuşoğlu, Ö. (2015). Mimarlıkta Hesaplamalı Yaklaşımlar. *DOSYA 35: Mimarlıkta 'Sayısal' Fırsatlar – Bilgisayarlar Mimarlığın Neresinde?;* Ankara: TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Çakır, M. (2006). *Bilgisayar Teknolojilerinin Gelişimi İle Ortaya Çıkan Form Üretim Teknikleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakır, O. Demir, Y. ve İlal, M.E. (2014, 26-27 Haziran). *Yapı Bilgi Modelleme Yazılımlarının Bina Başarımı Programları ile Birlikte İşlerliklerinin Tasarım*

Sürecine Etkisi. VIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumunda sunuldu, İzmir.

Çelebi, G., Gültekin, A. B., Harputlugil, G., Bedir, M. ve Tereci, A. (2008). *Yapı Çevre İlişkileri*, Ankara: Çizgi Basım Yayın Ltd. Şti.

Deutsch, R. (2011). *BIM and Integrated Design, Strategies for Architectural Practice*, Canada: John Wiley and Sons Publications.

Duman, A. (2013). *Sayısal Mimarlıkta Bütünleştirilmiş Tasarım Sürecinin Mimari Yapı Üretim Ortamlarını Dönüştürme Potansiyelleri: Türkiye İçin Bir Değerlendirme*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). *BIM Handbook, A Guide Book to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, New Jersey: John Wiley and Sons Publications.

Ediz, Ö. (2003). *Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ediz, Ö. (2007). Değişen Geometrik Kurgunun Mimarlık üzerindeki Yansımaları. *Mimarlık Malzeme Dergisi*, 4, 48-49.

Ediz, Ö., Erbil, Y., Akıncıtürk, N. (2010). Günümüz mimarlığının dinamikleri: Iceberg'in görünmeyen yüzü. *Mimarlık Dergisi*, 354.

Elmas, Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, Ankara: Seçkin Yayınevi.

Erbaş, S. K. (2013). Mimaride Parametrik Tasarım ve Eğitimi, *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 2(4), 119-124.

Erbaş Korur, Z. N. (2012). *Genetik Mimarlık Kavramının Günümüz Mimarlık Anlayışları İçindeki Yeri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erbil, Y. (2010). *1980 Sonrasında; Yapı Tasarım Ve Üretiminde Meydana Gelen Değişimin "Ürün-Süreç" Yenilikleri Bağlamında Analizi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Frampton, K. (1995). *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, London: MIT Press.

Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture*, London: Architectural Association Publications.

Gensler, M. A., Xia, J. (2009, 22-23 Ekim). *Completing a Supertall Trio, Evolution of The Skyscraper "New Challenges in a World of Global Warming and Recession"*. CTBUH Sempozyumunda sunuldu, Chicago.

Geray, H. FOA. (1999). *Virtual House: Potential Beyond the Future*, *Architectural Design*

Dergisi, 69(9), 10.

Gezer, H. (2012). Malzemenin Gizil Güçlerinin Mimariye Katkısı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20, 97-118.

Gönenç Sorguç A. (2005). Role of System Architecture in Developing New Drafting Tools, *Japanese Society of Mechanical Engineers International Journal*, 28(2), 244-250.

Gönenç Sorguç, A., Arslan Selçuk, S. (2006). *Yapay Zeka Araştırmaları ve Biomimesis Kavramlarının Günümüzde Mimarlık Alanındaki Uygulamaları: Akıllı Mekanlar*, 4. Yapı ve Kentte Bilişim Kongresinde sunuldu, Ankara.

Gönenç Sorguç A. (2009). Doğadaki Süreçleri Anlamak İçin Bir Arayüz: Sayısal Teknolojiler, Sayısal Düşünme ve Tasarlama, *Arredamento Mimarlık Dergisi*, Mayıs 2009, İstanbul.

Gönenç Sorguç, A., Erdoğan E. (2011). Hesaplamalı Modeller Aracılığıyla Mimari ve Doğal Biçim Türetim İlkelerini İlişkilendirmek, *METU JFA*, 28(2), 269-282.

Gönenç Sorguç, A. (2006). Mimarlıkta Sayısal Teknolojilerin Kullanımı: Yeni Tektonikler ve Hibridleşen Malzemeler, *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, 41-46.

Gürtekin, A. (2007). *Görsel Temsilin Mimarlıktaki Yeri Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hartoonian, G. (1994). *Ontology on construction*, Cambridge: Cambridge University Press.

Harman, S. (2011). *Nanoteknolojinin Mimariye Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Harputlugil, G. U. (2009). *Enerji Performansı Öncelikli Mimari Tasarım Sürecinin İlk Aşamasında Kullanılabilecek Tasarıma Destek Değerlendirme Modeli*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Harputlugil, G. U. (2011). Enerji Performansına Dayalı Tasarımda Analiz ve Simülasyon, *Megaron*, 6(1), 1-12.

Harputlugil G.U., Hensen, J.L.M., (2006, 3-7 April). *Relation Between Building Assessment Systems and Building Performance Simulation*, International Build & Human Environment Research Week Proceedings, Delft University of Technology Netherlands, 333-343.

Hight, C., (2007). *Putting out the Fire with Gasoline: Parables of Entropy and Homeostasis from the Second Machine Age to the Information Age- Softspace: From A Representation of Form to a Simulation of Space*, London: Routledge Press.

Innocent, T. (1999). *The Language of Iconica*, in Dorin - First Iteration: A Conference on Generative Systems in the Electronic Arts, Melbourne: CEMA.

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

İnternet: Akbulut, D. (2009). Evrimsel Tasarım Yöntemi ve Yaratıcılığın Süreci, İçerisindeki Yeri, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sanatvetasarim.gazi.edu.tr%2Fmakaleler%2F%2FC4%B1dilek.pdf&date=2017-04-15>, Son Erişim Tarihi: 15.04.2017.

İnternet: Birch, A. (2010). Jean Nouvel's Louvre Abu Dhabi Museum, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bdonline.co.uk%2Fjean-nouvel%25E2%2580%2599s-louvreabudhabimuseum%2F3161359.article&date=2017-09-12>, Son Erişim Tarihi: 12.09.2017.

İnternet: Birol, G. (2016). Modern Mimarlığın Ortaya Çıkışı ve Gelişimi, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fw3.balikesir.edu.tr%2F%2F7Ebirol%2Fmodernizm.pdf&date=2016-06-04>, Son Erişim Tarihi: 04.06.2016.

İnternet: Chandler, D. (2016). What is technology, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aber.ac.uk%2Fmedia%2FModules%2FMC10220%2Fwhattch.html&date=2016-06-22>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2016.

İnternet: Do|Su, (2016). Bloom, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dosuarch.com%2Fbloom.html&date=2016-06-15>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2015.

İnternet: Faia, K., S. (2013). Digital Design Firm, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffondemad.gputechconf.com%2Fgtc%2F2013%2Fpresentations%2F3517-++++++Gensler-Digital-Design-Firm.pdf&date=2016-09-15>, Son Erişim Tarihi: 15.09.2016.

İnternet: Goulthorpe, M. (2000). Hyposurface, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hyposurface.org%2F&date=2016-07-08>, Son Erişim Tarihi: 08.07.2016.

İnternet: Güney, Z. (2016). Parametrik Tasarım Nedir?, URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fv3.arkitera.com%2Fg99++++++.html%3Fyear%3D%26aID%3D2070&date=2016-05-07>, Son Erişim Tarihi: 07.05.2016.

İnternet: Hasol, D. (2016), *Yapının Endüstrileşmesi*, URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.doganhasol.net%2FArticles%2Fyapininendustrilesmesi_10686.html&date=2016-06-23, Son Erişim Tarihi: 23.06.2016.

İnternet: URL-1 URL:http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Farchitecturedesigntheory.files.wordpress.com%2F2014%2F05%2Falmanak_adt1.pdf&date=2016-04-03, Son Erişim Tarihi: 03.04.2016.

- İnternet: URL-2 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcourses.arch.hku.hk&date=2016-03-13>, Son Erişim Tarihi: 13.03.2016.
- İnternet: URL-3 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.franken-architekten.de&date=2017-02-25>, Son Erişim Tarihi: 25.02.2017.
- İnternet: URL-4 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpastexhibitions.guggenheim.org%2Fgehry%2Fustra_21.html&date=2016-03-03, Son Erişim Tarihi: 03.03.2016.
- İnternet: URL-5 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arcspace.com%2Farchitects%2Fgehry%2Fzollhoff%2F&date=2016-04-04>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2016.
- İnternet: URL-6 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsosyalmedya.com%2F&date=2016-04-05>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-7 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.digitalage.com.tr&date=2016-04-05>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-8 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hafelegateway.com%2F2016%2F01%2F25%2Fyazicidan-cikan-cephe%2F%29+&date=2016-04-05>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-9 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.esa.int%2FHighlights%2FLunar_3D_printing&date=2016-04-05, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-10 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.infoera.lv%2Fuploads%2Fnews%2Fid77%2FBIM_lifecycle.jpg&date=2016-04-05, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-11 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fold.mo.org.tr%2Fmimarlikdergisi%2Findex.cfm%3Fsayfa%3Dmimarlik%26DergiSayi%3D360%26+RecID+%3D2024&date=2016-04-05>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- İnternet: URL-12 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftangible.media.mit.edu%2Fprojects%2F%2C&date=2016-04-07>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.
- İnternet: URL-13 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki>

[%2FNon-Euclidean_geometry&date=2016-04-07](#), Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.

İnternet: URL-14 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.andrews.edu%2F%7Ecalkins%2Fmath%2Fbiograph%2Fbioriema.htm&date=2016-04-07>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.

İnternet: URL-15 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0010448512001844&date=2016-04-07>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.

İnternet: URL-16 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.crabstudio.com%2Fgraz-kunsthause&date=2016-04-07>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.

İnternet: URL-17 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdiscovery.ucl.ac.uk%2F13132%2F1%2F13132.pdf&date>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.

İnternet: URL-18 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frioranchomathcamp.com%2FTopology.asp&date>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2016.

İnternet: URL-19 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.matder.org.tr%2Fbulten%2Fbulten.asp&date>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2016.

İnternet: URL-20 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.manovich.net&date=2016-04-10>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2016.

İnternet: URL-21 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fblog.lib.umn.edu%2Fyuanx072%2Farchitecture%2F&date=2016-04-12>, Son Erişim Tarihi: 12.04.2016.

İnternet: URL-22 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fv3.arkitera.com%2Fv1%2Fproje%2Frosenthal%2Fhakkinda.htm&date=2016-04-12>, Son Erişim Tarihi: 12.04.2016.

İnternet: URL-23 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+http%3A%2F%2Fwww.faulders-studio.com%2Fproj_airspace.html&date=2016-07-13, Son Erişim Tarihi: 13.07.2016.

İnternet: URL-24 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.core.formula.com%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2008%2F04%2F2375791252_5dd2c207b5_b.jpg&date=2016-07-14, Son Erişim Tarihi: 14.07.2016.

- İnternet: URL-25 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dosuarch.com%2Fblom.html&date=2016-07-15>, Son Erişim Tarihi:15.07.2016.
- İnternet: URL-26 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.grasshopper3d.com%2Fphoto%2Fhygroscope-parametric-model-i&date=2016-07-15>, Son Erişim Tarihi:15.07.2016.
- İnternet: URL-27 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.grasshopper3d.com%2Fphoto%2Fhygroscope-back-side%2Fnext%3Fcontext%3Duser&date=2016-07-15>, Son Erişim Tarihi:15.07.2016.
- İnternet: URL-28: URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ficd.unistuttgart.de%2F%3Fp%3D8807&date=2016-07-15>, Son Erişim Tarihi:15.07.2016.
- İnternet: URL-29 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.noemalab.org&date=2016-07-16>, Son Erişim Tarihi:16.07.2016.
- İnternet: URL-30 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hyposurface.org%2F&date=2016-07-16>, Son Erişim Tarihi: 16.07.2016.
- İnternet: URL-31 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdu.gensler.com%2Fvol5%2Fshanghai-tower%2F&date=2016-07-16>, Son Erişim Tarihi:16.07.2016.
- İnternet: URL-32 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fglobal.ctbuh.org%2F&date=2016-09-03>, Son Erişim Tarihi:03.09.2016.
- İnternet: URL-33 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Farchitizer.com%2Fblog%2Fautodesk-shanghai-tower%2F&date=2016-09-03>, Son Erişim Tarihi:03.09.2016.
- İnternet: URL-34 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frepository.lib.polyu.edu.hk%2F+%26+ctbuh.org&date=2016-09-03>, Son Erişim Tarihi:03.09.2016.
- İnternet: URL-35 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frepository.lib.polyu.edu.hk&date=2016-09-03>, Son Erişim Tarihi:03.09.2016.
- İnternet: URL-36 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frepository.lib.polyu.edu.hk%2F&date=2016-09-03>, Son Erişim Tarihi:03.09.2016.

İnternet: URL-37 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FShanghai_Tower&date=2016-09-03, Son Erişim Tarihi:03.09.2016.

İnternet: URL-38 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdesignhooked.com%2Fcomplexity-at-its-best+abu-dhabi-jean-nouvel-louvre&date=2016-09-03>, Son Erişim Tarihi: 03.09.2016.

İnternet: URL-39 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdesignhooked.com%2Fcomplexity-at-its-best-abu-dhabi-jean-nouvel-louvre&date=2016-09-12>, Son Erişim Tarihi: 12.09.2016.

İnternet: URL-40 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhugraphic.ae%2FInfographics-features&date=2016-09-12>, Son Erişim Tarihi:12.09.2016.

İnternet: URL-41 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frhinograss.blogspot.com.tr%2F2013_03_01_archive.html&date, Son Erişim Tarihi:12.09.2016.

İnternet: URL-42 URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.fondationlouisvuitton.fr%2F%23&date>, Son Erişim Tarihi:12.09.2016.

İnternet: URL-43 URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffidic.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FSETEC%2520Candidature%2520%2520Fondation%2520Louis%2520Vuitton%2520_1.pdf&date=2016-09-12, Son Erişim Tarihi: 12.09.2016.

İnternet: Karaca, İ. (2013), *Topoloji Ders Notları*, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffen.ege.edu.tr%2F%7Eismetkaraca%2Ftopoloji.pdf&date=2016-04-05>, Son Erişim Tarihi:05.04.2016.

İnternet: Konuralp, M. (2014). *Tektonik ve Deneyim*, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fmimarliktakuramveelestiri.wordpress.com%2F2014.12.26%2Fmehmet-konuralp-final-++++++25-aralik2014-tektonik-ve-deneyim-emre-ozdemir%2F&date=2016-07-07>, Son Erişim Tarihi: 07.07.2016.

İnternet: Koelman, O. (2010). *Biomimetic Buildings Understanding & Applying the Lessons of Nature*, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.rmi.org%2Fsitespages%2Fart1048.php+&date=2016-04-07>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2016.

İnternet: Lashisar, S., B. (2016). *Case Study : Computational Design of Hangzhou Tennis Center*, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arch2o.com%2Fcase-study-computational-design-++++hangzhou-tennis-center%2F&date=2016-09-17>,

Son Erişim Tarihi: 17.09.2016.

İnternet: McCormack, J., Dorin, A., Innocent, T. (2004). *Generative Design: a paradigm for design*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.csse.monash.edu.au%2F%7Ejonmc%2Fresearch%2FPapers%2FgenDesignFG04.pdf&date=2016-07-07>, Son Erişim Tarihi: 07.07.2016.

İnternet: Novak, M. (2000), *TransVienna*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.archilab.org%2Fpublic%2F2000%2Fcatalog%2Fnovak%2F+novaken.htm&date=2015-11-06>, Son Erişim Tarihi: 06.11.2015.

İnternet: Sekler, E. (1965). *Structure, Construction and Tectonics, Structure in Art and in Science* URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Firis.nyu.edu%2F%7Ercody%2FThesis%2FReadings%2FStructure%2520Construction%2520Tectonics++++%2520-%2520EduardSekler.pdf++&date=2016-09-15>, Son Erişim Tarihi: 15.09.2016.

İnternet: Tanyeli, U., (2004). Mimarlık dili değişirken Türkiye, *Mimarlık Dergisi*, URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.felsefeekibi.com%2Fforum%2Fforum_posts.asp%3FTID%3D35507%26PN%3D2%2C+++&date=2016-06-20, Son Erişim Tarihi: 20.06.2016.

İnternet: Tezcan, E. (2016). *Yazıcıdan Çıkan Cephe*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hafelegateway.com%2F2016%2F01%2F25%2Fyazicidan-cikan-cephe%2F&date=2016-05-15>, Son Erişim Tarihi: 15.05.2016.

İnternet: Topoloji, (2016). URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tdk.gov.tr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_gts%26arama%3Dgts%26guid%3DTDK.GTS.57f8fea7b82202.01489405&date=2016-04-05, Son Erişim Tarihi: 05.04.2016.

İnternet: Weis, (2008). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frethinkarchitecture.blogspot.com.tr%2Fsearch%2Flabel%2FBiomimicry+&date=2017-04-15>, Son Erişim Tarihi: 15.04.2017.

İnternet: Wood and Design, (2012). URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwooddesign.dgtlpub.com%2F2012%2F2012-05-31%2Fpdf%2FMetropol_Parasol.pdf&date=2016-09-12, Son Erişim Tarihi: 12.09.2016.

Johansen, J. M. (2002). *NanoArchitecture a New Species of Architecture*, New York: Princeton Architectural Press.

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer- Aided Design*, Cambridge: MIT Press.

- Karaboğa, D. (2004). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.
- Karakaş, G. (2014). Fondation Louis Vuitton, *Artunlimited*, 28.
- Kendir, E. (2005). Mimarlık Pratiğinde Bilgisayar Desteği: Temsili Olandan Yapısal Olana Doğru, *Mimarlık Dergisi*, 321.
- Kolarevic, B. (2000, 25-28 Eylül). *Digital Morphogenesis and Computational Architectures, Constructing The Digital Space*, 4th SIGRADI Conference Proceedings, Rio de Janeiro/Brezilya, 98-103.
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, London: Spon Press.
- Kolorevic, B., Klinger K. (2008). *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making Architecture*, London: Routledge.
- Kolarevic, B. (2015). Bina Kaplamalarında Yeni Özellik: Uyarlanabilirlik, *DOSYA 35: Mimarlıkta 'Sayısal' Fırsatlar – Bilgisayarlar Mimarlığın Neresinde?*, Ankara: TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Koppitz, J.,P., Quinn, G., Schmid, V., Thurik, A., (2012). Metropol Parasol - Digital Timber Design, *ARUP Dergisi*, Özel sayı, 249-257.
- Köksal, H. (2005). *Dijital Mimarlıkta Tasarım ve Üretim Süreci*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Liu, Y. (2006). New tectonics: a preliminary framework involving classic and digital thinking, *In: Design Studies*, 27(3), 267-307.
- Lynn, G. (1993). Architectural Curvilinearity: The folded, the Pliant and The Supple, *Architectural Design*, 102, 24-31.
- Lynn, G. (1998). *Animate Form*, New York: Architectural Press.
- Lynn, G. (2002). *Canlanan Biçi*. (Çev. N. Togay), Mimarlık ve Sanallık, İstanbul: Boyut Yayınları, 63-89.
- Mandelbrot, B., B. (1982). *The fractal geometry of nature*, New York: W.H. Freeman And Company.
- Mayer, J. H. (2005). Metropol Parasol Redevelopment of Plaza de la Encarnacion in Sevilla, *Spain Project Booklet*, Spain.
- Mayer, J.,H. (2011). Tarihe Açılan Şemsiye, *XXI Dergisi*, 100, 62-65, İstanbul.
- Miller, N. (2011). The Hangzhou Tennis Center: A Case Study in Integrated Parametric Design, *ACADIA Regional 2011: Parametricism Dergisi*, Özel sayı, 141-148.

- Nolte T., Witt, A. (2014). Gehry Partners' Fondation Louis Vuitton, *Architectural Lynn, Design*, 84(1), 82-89.
- Orhun, D., Özcan, N., (2014). Sayısal Tasarım- Mimarlıkta Morfogenetik Tasarım ve Öncü Örnekler, *Mimarlık*, 376.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age, *Design Studies*, 27(3), 229-265.
- Oxman, R. (2008). Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium, *Design Studies*, 29(2), 99-110.
- Önder, A. (2002). *Siberuzayda Mimarlık*, Çağdaş Mimarlık Sorunları Dizisi, İstanbul: Boyut Yayınları.
- Özden, O. (2011). *Sayısal Mimarlık Uygulamalarının Yapım Süreçlerinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Öz, S. (2002). *Teknolojinin Mimari Ürüne Yansımaları Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pak, B. (2003). *Dijital Ortam Mimari Tasarım Arakesitinde Bir Tasarım Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pak, B. (2005). Yeni Mimarlık: Üç Boyutlu Arayüzler ve Mekanlaşmış Medya ,*Mimarlık*, 321, 45-46.
- Pamir, H. (2001). Teknoloji ve Detay, *XXI Dergisi*, 8, 18-23.
- Reddy, K., P. (2011). *BIM for Building Owners and Developers, Making a Business Case Using BIM on Projects*, New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- Sarıgül A., İ. (2008). *Mimaride Gelecekçilik*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Sassone, M., Pugnale A. (2008). *Optimal Design of Glass Grid Shells With Quadrilateral Elements by Means of a Genetic Algorithm*, 21. eCAAD Konferans Bildirileri, NY, USA.
- Schwarzer, M. (1993). Ontology and Representation in Karl Botticher's Theory of Tectonics, *Journal of the Society of Architectural Historians*, 52(3), 267-280.
- Semper, G. (1989). *The Four Elements of Architecture and Other Writings*. (Çev. Mallgrave, H.F., Herrmann, W.), Cambridge: Cambridge University Press.
- Sökmenoğlu, A. (2005). *Enformasyon ve İletişim Teknolojilerinin Sosyal ve Yapılı Çevrelerde ve Mimarlık Disiplininde Yaratığı Dönüşümler*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Sönmez, E. (2007). *Temsil Üzerinden Mimarlığa Bakış*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tanyeli, U. (2002). Mimarlıkta Temsiliyet, *Arredamento Mimarlık Tasarım Kültürü Dergisi*, 146-76.

Tanyeli, U. (2008). *Bu Deneyin Bağlamı: Sonuç-Biçim Yerine Süreci Tasarlamak, Strüktürel Mantığı Araştırmak: L işi Oda*, İstanbul: Garanti Galerî.

Tarım, M. (2006). *Mimari Tasarımda Topoloji*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tercan, A. (2009). Mimarlıkta Tasarım - Teknoloji İlişkisinin Evrimi, *Mimarist*, 31.

Terzidis, K. (2003). *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*, London: Spon Press.

Turan, B. O. (2009). *Dijital Tasarım Sürecinin Geleneksel Tasarım Stüdyosuna Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Türkan, İ. (2005). *Dijital Ortamda Tasarımın Mekan Kavramına ve Kurumsal Kimlik Anlayışına Yansımaları*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

Yazıcı, S. (2010). Malzeme Zekası ile Mekanı Kurgulama, *Mimarlıkta Malzeme*, 5(15), 53-63.

Yazıcıoğlu, D., A. (2012). *Bir Kamusal Strüktür Olarak Pavyon Yapılarının Dijital Teknolojilerle Yeniden Biçimlenişi*, 8. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumunda sunuldu, İzmir.

Yurttaş, F. (2009). Endüstri Devriminden 20. Yüzyıla Malzeme, Teknoloji ve Mimarlık, *Mimarlıkta Malzeme*, 4(14), 31-35.

Weygant, R.S. (2011). *BIM Content Development, Standarts, Strategies and Best Practices*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Williams, R., 1989, “İkibin’e Doğru”. (Çev. Tarım, E.), İstanbul: Ayrıntı Yayınları, 15.

Xia, J., Poon, D., and Mass, D.C. (2010). Case Study: Shanghai Tower, *CTBUH Journal*, 2(10), 12-18.

Zağpus, S. (2005). Geleceğin Yapıları; Akıllı Binalar, *Mimarist*, 132, 45-50.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TOZLU, Sinem
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.02.1989, Gümüşhane
 e-mail : sinemtozlu@gmail.com
 Telefon : 5558662754



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Mimarlık Bölümü	2014 – 2017
Lisans	Gazi Üniversitesi /Mimarlık Bölümü	2006 – 2011
Lise	Ali Fuat Kadirbeyoğlu Anadolu Lisesi	2002 – 2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011 – 2014	TU&FAN Mimarlık Müh Ltd. Şti.	Proje Şefi
2014 – 2015	Doğan Mimarlık Müh. Ltd. Şti.	Proje Şefi
2017 –	MSA Mimarlık	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce Orta Seviye

Hobiler

Seyahat etmek, Fotoğraf çekmek



GAZİ GELECEKTİR..