

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIKTA HESAPLAMALI TEKNOLOJİLER
VE GEOMETRİ**

Mimar Nilay TERZİ

**FBE Mimarlık Anabilim Dalı Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şebnem YALINAY ÇİNİCİ

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam	2
1.3 Yöntem.....	3
2. MİMARİ TASARIM ve GEOMETRİ İLİŞKİSİ	4
2.1 Geometri Tanımı	5
2.2 Mimari Tasarımı Etkileyen Geometrik Gelişmeler	5
2.3 Topolojik Geometri	9
2.3.1 “Eğrilik” Kavramı.....	10
2.3.2 NURBS Eğrileri.....	10
2.3.2.1 Mimari Tasarımda Topoloji: İlk Örnekler	12
3. MİMARİDE HESAPLAMA TEKNİKLERİ ve GEOMETRİ.....	15
3.1 20.yy.da Hesaplama Teknikleri ve Geometri.....	15
3.2 2000 sonrası Hesaplamalı Teknolojiler ve Geometri	18
3.3 Parametrik Tasarım Teknolojileri.....	22
3.3.1 Parametrik Geometri.....	22
3.3.2 Parametrik Modelleme.....	23
3.3.3 Parametrik Modelleme Yazılımları	26
3.3.3.1 Parametrik Modelleme Yazılımları ile Tasarlanan Örnek Projeler.....	29
4. ÜRETKEN GEOMETRİK SİSTEMLER ve MİMARLIK	35
4.1 20.yy.dan sonra Mimari Tasarımda Biyoloji ve Geometri İlişkisi.....	35
4.2 Fraktal Geometri.....	38
4.2.1 Fraktal Geometriyle Üretilen Örnek Projeler.....	41
4.3 Voronoi Diyagramı.....	44
4.3.1 Voronoi Diyagramlarıyla Üretilen Örnek Projeler.....	46
4.3.1.1 “The Grotto” Projesi	46
4.3.1.2 “The Water Cube” Projesi.....	48
4.3.1.3 Object E-architecture Projeleri.....	51
4.3.1.4 G_Nome. Net.Lab projesi	53
4.3.1.5 Matsys Projeleri.....	54

4.4	Biçim Gramerleri (<i>Shape Grammars</i>)	55
4.5	L-Sistem	58
4.6	Öz Örgütlenme (<i>Self-Organization</i>)	59
4.7	Beliren/Ortaya Çıkan Mimari (<i>Emergent Architecture</i>),	60
5.	SONUÇ	63
KAYNAKLAR		68
İNTERNET KAYNAKLARI		72
EKLER		75
Ek 1 Öklid (Euclides) Geometrisi		76
Ek 2 Mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisine ait zaman çizelgesi		77
ÖZGEÇMİŞ		78

KISALTMA LİSTESİ

AGU	Advanced Geometry Unit
BDÜ	Bilgisayar Destekli Üretim
BIM	Building Information Modelling (Bina Bilgi Modellemesi)
CAD	Computer-aided Design
CAM	Computer-aided Manufacturing
EPS	Expanded Polistiren
ETFE	Etilen Tetrafluroetilen
GC	Generative Components
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines
SG	Smart Geometry
SIAL	The Spatial Information Architecture Laboratory
SMCP	Smart Cloud of Points
SMG	Specialist Modelling Group

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Parthenon’a ait uyum (<i>harmony</i>) analizi [5].	4
Şekil.2.2 Öklidyen, hiperbolik ve küresel geometrilerin sembolik gösterimi [2].	5
Şekil 2.3 Perspektif Kartezyen koordinat sistemi (Atılgan, 2006).	6
Şekil 2.4 Yerküre üzerinde bir üçgenin iç açıları toplamı ve Riemann modeline göre küresel (eliptik) geometri [2-6].	7
Şekil 2.5 Beltrami’nin modeline göre Öklidyen olmayan geometri [6].	7
Şekil 2.6 Möbius şeridinin elde edilişi [2-11].	9
Şekil 2.7 Nurbs eğrisindeki başlangıç, kontrol ve bitiş noktaları; çeşitli oranların etkisi [15].	11
Şekil 2.8 Topolojik mimariye bir örnek: Gehry’nin Bilbao’daki Guggenheim Müzesi. (Kolarevic, 2000).	12
Şekil 2.9 Philibert De Lorme Pavyonu ve modelin üretim için kodlanması (Kolarevic, 2003).	13
Şekil 2.10 Philibert De Lorme Pavyonunun üç kaçış noktasına göre düzenlenmesi ve Projektif geometri esaslarına göre biçimlendirilen panel (Kolarevic, 2003).	13
Şekil 3.1 Einstein Kulesi ve Erich Mendelsohn eskizleri [19-20].	16
Şekil 3.2 Notre Dame du Haut(1950-55) ve TWA terminali JFK Uluslararası Havalimanı. (1956-61) [14-16-19].	16
Şekil 3.3 The Casa Mila(1905-07) ve La Sagrada Familia(1882-Devam ediyor)[9-15].	17
Şekil 3.4 Gaudi’nin yapılarında görülen bazı doğa benzeşimleri [12].	17
Şekil 3.5 Bilbao Guggenheim Müzesi, Prag “The Dancing House”, Frank O. Gehry [48-34].	19
Şekil 3.6 Bina Bilgi Modellemesi (BIM) programı [38].	20
Şekil 3.7 Bir dikdörtgen ile bir çember arasındaki ilişkisel transformasyonları gösteren bir örnek (Burry ve Murray,1997).	24
Şekil 3.8 Sydney Opera Evi’nin parametrik modellemesi (Burry ve Murray,1997).	25
Şekil 3.9 GC ile tasarlanan bir model; çift eğrili yüzeyin parametrik geometrisinin sembolik modeli ve düz örüntü planı (Hensel ve Menges, 2006).	26
Şekil 3.10 ParaCloud yazılımı ile tasarlanan örnekler [65-66].	28
Şekil 3.11 Avlu örtüsü iç mekan çalışması; çatı kirişleri planı (Hensel ve Menges,2006).	29
Şekil 3.12 Yatay yükler altındaki sapmaların strüktürel analizleri; çatı panelleri üzerinde ortalama günlük yalıtım ve gölgeleme analizleri (Hensel ve Menges, 2006).	29
Şekil 3.13 Çatı strüktürünün dijital detayları, (Hensel ve Menges, 2006).	30
Şekil 3.14 EphemeralMATTER, F-U-R, 2004 [57]	31
Şekil 3.15 AgumentedFRAME projesinin plan, kesit ve detayları [57].	32

Şekil 3.16 AgumentedFRAME projesine ait strüktürel analizler [57].	32
Şekil 3.17 Elif Erdine Baskın'ın ParaCloud yazılımıyla ürettiği parametrik modellemeler....	33
Şekil 3.18 Elif Erdine Baskın'ın GC yazılımıyla ürettiği parametrik modellemeler	34
Şekil 4.1 Greg Lynn, Ark of the Worl Museum [26].	36
Şekil 4.2 BCE Place, Toronto, 1987, Santiago Calatrava [27-28].	37
Şekil 4.3 Gare do Oriente, Lizbon, Santiago Calatrava [30].	37
Şekil 4.4 Britanya kıyıları [29].	38
Şekil 4.5 Mandelbrot kümesinin 4 adımı [32] ve doğadaki fraktal eğreltiotu (Bovill,1996)...	39
Şekil 4.6 Öklid geometrisi ve Fraktal geometri [18].	39
Şekil 4.7 Öklidyen ve Fraktal boyutların karşılaştırılması [32].	40
Şekil 4.8 Koch eğrisinin oluşturulması (Bovill, 1996).	40
Şekil 4.9 Yessios ve Eisenman'ın Frankfurt Biocentrum projesinin fraktal süreci üzerine.....	
yaptığı çalışmalar (Terzidis, 2006) (Rocker, 2008).	41
Sekil 4.10 J.W. Goethe Frankfurt Biology Laboratory, Eisenman (Claflen,1991).	42
Şekil 4.11 Eisenman'ın "Fin d'Out Hou S" evi (Schmitt,1988) ve üç boyutlu modeli [47].	42
Sekil 4.12 Galinski Okulu /Berlin - Zwi Hecker - (Jencks, 1997).	43
Şekil 4.13 Hessing Showroom ve Ses Bariyeri (<i>Acoustical Barrier</i>), Utrecht-Rotterdam.....	
otobanı, Kas Oosterhuis, Hollanda [17].	43
Şekil 4.14 İki boyutlu bir Voronoi hücrelerini oluşturma yöntemi ve Voronoi diyagramı.....	
örnekleri [37].	44
Şekil 4.15 Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi (Allister ve Snoeyink, 2000)[36]...	45
Şekil 4.16 Voronoi hücrelerinin kenarlarına çeşitli algoritmaların uygulanması [37].	45
Şekil 4.17 "The Grotto" projesi (Aranda/Lasch ve Bosia, 2007, s. 7-14)[51].	46
Şekil 4.18 The Water Cube, Beijing, PTW, 2008 [40].	48
Şekil 4.19 On iki ve on dört yüzlü katılardan oluşan Weaire-Phelan modeli [55].	49
Şekil 4.20 "A House of Bubbles" –Water Cube strüktürünün hücresel birleşim şeması [39].	49
Şekil 4.21 Watercube cephesinden alınan bir ETFE yüzey detayı [41-43].	50
Şekil 4.22 Object E-architecture tasarım ofisinin Voronoi diyagramı yöntemi ile tasarladıkları	
St. Louis'deki tren istasyonu projesi [37].	51
Şekil 4.23 Kentsel analizde kullanılan Voronoi Diyagramları [37].	52
Şekil 4.24 Object E-architecture tasarım ofisinin Voronoi diyagramı yöntemi ile tasarladıkları	
gökdelene ve çevre düzenlemesi projesi [37].	52
Şekil 4.25 Gnome-Net.Lab Projesi [67].	53

Şekil 4.26 Gnome-Net.Lab Projesi'nde kullanılan parametrik modelleme araçları [67].	53
Şekil 4.27 Voronoi Morphologies'in üç boyutlu Voronoi çizimleri, modelleme ile prototipe ait görseller [68].	54
Şekil 4.28 Miguel Fisac La Moraleja'daki evi(sol üstte); P_Wall duvarına ait analizler ve görsel [68-70].	55
Şekil 4.29 Çin buz ışını gramerinden türetilen desenler ve üretici dört kural (Stiny, 1977) ..	56
Şekil 4.30 Buz desenlerinin türetilmesi için kullanılan dört kural (Stiny, 1977)	56
Şekil 4.31 Palladio villa planları (Stiny and Mitchell, 1978)	56
Şekil 4.32 Standart ve parametrik biçim gramerleriyle türetilen desenler (Stiny, 1985)	57
Şekil 4.33 Froebel Blokları ile türetilen üç tasarım yöntemi (Stiny,1980)	57
Şekil 4.34 L-sistemle türetilen Rose Champion Modeli (Lychnis kırlalesi)	58
Şekil 4.35 Object E-architecture'in L-sistem ile geliştirdiği çok katlı yapı projesi [37]	59
Şekil 4.36 Farklı koşullar altında kendi kendine organize olan: a. İzlanda'daki kükürt drenajı, b. Yıldırım, c. Retinadaki kan damarları, d. Ağaç dalları, e. Paris metrosu (Isaacs, 2008)	59
Şekil 4.37 Honeycomb Morphologies projesine ait modelleme ve prototip görselleri [68]. ...	60
Şekil 4.38 Scheffler ve Ortakları ile Achim Menges, Hercules Anıtı, 2005	61

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Mimari geometriler.....	14
Çizelge 4.1 Üretken geometrik sistemler	62
Çizelge 5.1 Mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisine ait zaman çizelgesi (orijinal büyüklükteki tablo için bkz. Ek 2).....	65
Çizelge 5.2 Mimaride statik ve dinamik geometri kullanımlarının karşılaştırılması	66

ÖNSÖZ

Mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisini araştıran bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Yüksek Lisans Programı'nda yürütülmüştür. Tezin oluşumu ve gelişiminde, öncelikle her türlü bilgisini, kaynağını ve zamanını benimle paylaşan ve çalışmanın oluşumunda en önemli katkı sahibi, değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şebnem Yalınay Çinici'ye; aldığım yüksek lisans eğitimim süresince birlikte çalıştığım bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma; özellikle tez hazırlık sürecinde yanımda olan Yük. Mimar Serhat Anıktar'a; tez çalışması sürecine gerekli zamanı ayırmamı sağlayan Yük. Mimar Elvan Şenol'a ve bütün çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezde büyük emeği geçen ve araştırma kaynaklarına ulaşmam konusunda bana destek olan sevgili teyzem İTÜ Merkez Kütüphanesi E-Kaynaklar ve Süreli Yayınlar Bölüm Sorumlusu Yasemin Kaynak'a; bana her açıdan örnek olan ve beni tezimde hedefe ulaşmam konusunda yönlendiren sevgili ağabeyim Makine Yük. Mühendisi Sertan Terzi'ye, ve bugüne kadar her konuda maddi ve manevi arkamda olduklarını hissettiren sevgili anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2009

Mimar Nilay TERZİ

ÖZET

Geometri, mimarlık disiplininde gelişen hesaplamalı teknolojilerin temelinde önemli bir yere sahiptir. Geometri alanındaki gelişim ve değişimler, sadece mimari sunumları değil, tasarım anlayışını ve 1990'lı yıllardan sonra bilgisayar destekli mimari tasarım araçları olarak geliştirilen yazılım programlarının işleyiş mantığını da etkilemişlerdir. Tezin amacı mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler göz önüne alındığında geometrinin dinamik ve etkileşimli kullanımının önemini vurgulamaktır.

Tezin kapsamındaki tarihsel dönem içinde incelendiğinde çağdaş hesaplama teknolojilerinden parametrik tasarımın geometri kullanımı olarak daha dinamik bir modelleme ortamının kurulmasına öncülük ettiği söylenebilir. 20.yy içinde incelenen örneklerdeki tasarım anlayışında geometrik model statik olarak kurulmaktadır. Parametrik tasarımda ise geometrik model daha dinamik kurularak mimari yapıların işlevsel gereklilikleri, çevresel etkiler ve farklılaşan veriler esas alınabilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin dinamik olarak kontrol edilebilmesi, yapı formlarının gereksindiği karmaşada üretilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, günümüzde binaların dijital ortamda malzeme, yapı ve performans gibi diğer bütün verileri de içerebildiği bir sistem olarak modellenmesi gündemdedir. Binaların tasarım sürecinde mimarları ve mühendisleri bir araya getirmeyi hedefleyen “Bina Bilgi Modellemesi (BIM)” gibi yazılımların modelleme sistemlerinde de dinamik geometri önemli rol oynamaktadır. Bu modelleme sistemi, tasarım sürecinde farklı disiplinlerin bir arada çalışmasını sağlamak ve kolaylaştırmaktadır. Elde edilen değerlendirmeler sonucunda çağdaş tasarım anlayışında yapılara ait geometrik sistemlerin ilişkili olduğu bütün disiplinler ile etkileşiminin göz önünde bulundurularak kapsamlı bir şekilde düşünülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mimari tasarım, geometri, bilgisayar destekli tasarım, üretken geometriler, parametrik tasarım, hesaplamalı tasarım

ABSTRACT

Geometry has an important role for the computing technologies, which develop in the discipline of architecture. Development and change in the field of geometry effect not only the architectural presentations, but also the design understanding, and the operational logic of software programs developed as computer aided architectural design tools after 1990s. The aim of this thesis is to emphasize the importance of dynamic and interactive use of geometry, when the computing technologies in architecture are concerned.

When the historical period, covered by the thesis, is examined, it can be claimed that parametric design, one of the modern computation technologies, leads the establishment of a more dynamic modeling environment in terms of utilization of geometry. In the design approach of examples, examined in 20th century, the geometrical model is created statically. However for parametric design, it is possible to take functional requirements of architectural structures, environmental factors, and differing data into consideration by creating geometrical model more dynamically. Controlling the relationships between variables dynamically allows production of building forms with the required complexity. Furthermore, nowadays to model buildings in digital media as a system, where all other data, such as material, structural, and performative can be included, is under discussion. Dynamic geometry plays an important role also in modeling systems of such software, like “Building Information Modeling (BIM)”, that are aiming to gather architects and engineers in design process of buildings. This modeling system ensures and enables different disciplines to work together during the design process. As a result of evaluations, it became clear in contemporary design approach that geometrical systems of buildings must be considered in a comprehensive manner by taking all related disciplines into consideration.

Keywords: Architectural design, geometry, computer aided design, generative geometry, parametric design, computational design

1. GİRİŞ

Tarihsel süreçte geometrideki gelişmeler doğrultusunda mimarlara tasarımlarında özgünlük ve özgürlük yolu açılmıştır. Mimarların tasarımlarında farklı geometrileri kullanabilmeleri tasarımlarının temsilinde kolaylıklar sağlamıştır. Mimari yapılara ait strüktür hesapları ve performans analizleri gibi konularda da geometrideki değişimin ve gelişimin etkisi büyük olmuştur.

Mimari tasarımın oluşturulma sürecinde çeşitli veriler temel alınmaktadır. Bunlar tasarımcının mimari yaklaşımlarını içeren değerler ve tasarımın içinde yer alacağı alanın çevresel faktörleri gibi etkenlerdir. Mimari tasarım, tarihsel süreç içinde dijital teknolojilerin gelişimiyle sayısal ölçütleri artarak karmaşılaşan bir süreç haline gelmiştir. Çağdaş mimaride yapılar çevresel, iklimsel verileri ve enerji değerlerini temel alan, daha çok performansa dayalı ve canlılar gibi yaşayan binalar haline dönüşmektedir. Geleneksel mimaride ideal geometri ölçütlerinin kullanılması zorunluyken, performansa dayalı yapılarda bu dayatmalar aşılmış ve daha yenilikçi geometrilerin mimariye adaptasyon arayışları doğmuştur.

Mimarlar çoğu zaman yapıların tasarımında doğa ile analogik bağlar kurarak, hatta taklit ederek biyolojik ve genetik formlarda yapılar oluşturmaya çalışmışlar. Bu geometrik sistemler doğadaki canlılar gibi çeşitli formlar üretme potansiyeline sahiptir. Bu formları türeten geometrik sistemler tezde *üretken geometrik sistemler* olarak adlandırılmıştır. Bu geometrik sistemler son 10-15 yıldır bilgisayar desteği sayesinde tasarım sürecinde yapı olarak kurgulanabilmekte ve seçilen parametreler ile kurduğu ilişkiler hesaplanarak uygulanabilmektedirler. Bu ilişkisel hesaplar mimari geometrilerde statik form tasarımından daha çok alternatif türeten dinamik bir geometrik tasarıma geçişi sağlamaktadır. Dinamik tasarım süreçlerinde mimarlarla farklı disiplinlerin işbirliği, mekansal kurgu ve organizasyonun yanı sıra yapının taşıyıcı sistem, malzeme, mühendislik, tesisat gibi temel problem alanlarında da daha etkin sonuçlar elde edilebilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, tezde mimari tasarım ve hesaplamalı teknolojiler ilişkisinde geometride gelişen üretken geometrik sistemlerin etkisi araştırılmaktadır.

1.1 Amaç

Tezin amacı, tarih içinde geometri kullanımındaki değişimin mimari tasarıma etkisini araştırmak ve mimarideki bu geometrik değişimler paralelinde hesaplamalı teknolojilerin ilerlemesiyle gelişen dinamik geometri anlayışının önemini vurgulamaktır. Ayrıca bu çalışmada, ilişkisel olarak pek çok değişkenin dahil olabildiği tasarım sürecinde geometrik kurgunun önemi üzerinde durulacaktır. Bu bağlamda gündeme gelen *üretken geometrik sistemlerin* hesaplamalı tasarım ve üretim süreçlerine etkisi tartışmaya açılacaktır.

Araştırmadaki üst hedef, mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisinin değiştiği dönemde mimarları etkileşimli ve disiplinler arası çalışmalara izin veren yazılımlarda geometrinin değişen kullanımı ile yarattığı etkiyi anlamaya çalışmaktır.

1.2 Kapsam

Tezin araştırma kapsamında ağırlıklı olarak incelenen konu, mimari tasarımda geometri kullanımıdır. Tez, mimari tasarımda 20.yy.da kullanılan hesaplama teknikleri ve 2000 sonrasında gündeme gelen bilgisayar destekli hesaplama teknolojilerinin geometriyle olan ilişkilerini içermektedir.

Tezin kapsamında, mimari tasarım ve geometri ilişkisi ikinci bölümde genel anlamıyla açıklanmaktadır. Bu bölümde “geometri”nin tanımı yapıldıktan sonra, tarihsel süreç içinde mimari tasarımı etkileyen geometrik gelişmeler sırasıyla Öklid geometrisi, Öklid-olmayan geometriler ve “eğrilik” kavramı bağlamında topolojik geometri üzerinde durulmuştur.

Tezde 20.yy. ve 2000 sonrası olmak üzere iki ayrı dönemde incelenen geometrik gelişmelerin mimaride kullanılan hesaplama tekniklerine olan etkileri üçüncü bölümde ele alınmaktadır. 2000 yılı sonrası geliştirilen parametrik tasarım bu bölümde modelleme anlayışı ve yazılımları ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bilgisayar desteği ile parametrik geometrinin mimariye nasıl yansıtıldığı örneklerle gösterilmektedir.

Tezde günümüz mimarisinde karmaşık geometrili yapıları tasarlama yöntemlerinden biri olarak gösterilen *üretken geometrik sistemler* dördüncü bölümde incelenmektedir. Bu bölümde özellikle üretken geometrik sistemlerin hesaplama tekniğindeki biyolojik ve analogik ilişkiler üzerinde durulmuştur. Üretken geometrik sistemler Fraktal geometri, Voronoi diyagramları ve biçim gramerleri başlıkları altında örnek projeler ve çalışmalarla detaylı olarak açıklanmıştır. Bu yapıların geometrik benzerlikleri ya da farklılıkları, hesaplamalı tasarım ile ilişkilerini keşfetmek amacıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Üretken

geometrik sistemlerin bir devamı niteliğinde olan, ancak geometri ötesinde algoritmalara dayanan evrimsel sistemlerden L-sistem, Öz Örgütlenme ve “Beliren (Emergent)” mimari gibi başlıklara kısaca değinilmiştir. Bu başlıklar birer örnek üzerinden ele alınmıştır. Yine evrimsel sistemlerde görülen mutasyon, melezleme ve doğal seleksiyon gibi genetik bilimine ait kavramlara dayanan genetik algoritmalar ve hücresel otomata gibi hesaplama teknikleri tez kapsamına dahil edilmemiştir.

İlk dört bölümdeki araştırmalar ışığında ortaya çıkan sonuçların değerlendirmesi “Sonuç” bölümünde yapılmaktadır. Mimari geometrideki son gelişmelerin, çağdaş tasarım yaklaşımları ve hesaplama teknolojileri açısından gelecek çalışma ortamlarına sağladığı yararları değinilmiştir. Tüm çalışmalar ve bilgiler oluşturulan tabloyla sonuç bölümünde değerlendirilmiş ve geometrik sistemlerin hesaplamalı teknolojilerle ilişkisinde mimari tasarıma etkisi hakkında öngörülerde bulunulmuştur.

1.3 Yöntem

Araştırma sürecinde;

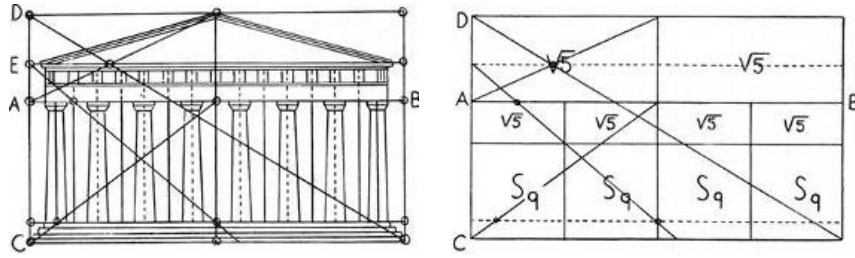
- Yapılacak araştırma sonucunda cevaplarına ulaşılmaması istenen ve araştırmaya ışık tutacak soruların sorulması;
- Araştırmanın kavram haritasının oluşturulması;
- Geometri kavramının ve yeni mimari biçimlerin hesaplama tekniklerindeki değişimin ve eşik dönemlerin saptanması;
- Geniş bir literatür çalışması yapılarak ulaşılabilen geometrik sistemlerin ortaya konulması, bu tekniklerin birbirleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi;
- Üniversitelerde yapılan kuramsal çalışmalar ve mimarlık pratiğinde kullanılan yöntemlerin incelenmesi;
- Birçok mimari proje içinden seçim yapabilmek için ölçütlerin belirlenmesi;
- Bulunan geometrik sistemlerin kullanıldığı projelerin saptanması, bu projelerin örnek olarak kullanıldıkları başlıklar altında incelenmesi;
- Sonuçların başlangıçtaki sorular da göz önüne alınarak değerlendirilmesi;

yoluna gidilmiştir.

2. MİMARİ TASARIM ve GEOMETRİ İLİŞKİSİ

Geometri, bir mimari yapının formunu oluşturan ve dikkat çeken ilk özelliğidir. Mimari tasarım sürecinde genellikle yöntem olarak başlangıçta formdan yola çıkılmakta, sonra mevcut konstrüksiyona adım adım ulaşılmaktadır (Pottman ve Kilian, 2007).

Matematik ve geometri, tarih içinde mimari yaklaşımlarda strüktürel ve görsel açıdan formların tasarlanmasını etkilemiştir. Parthenon tapınağı gibi Eski Yunan mimarisi örneklerinde, doğadan esinlenerek geliştirilen altın oran* bağıntısından yararlanılmıştır (Şekil 2.1). Mısır mimarisinde astronomi bilimi etkisinde geliştirilen çeşitli geometrik oranlar ve hesaplamalar kullanılmıştır. Rönesans mimarisinde Vitruvius'un türettiği matematiksel ilişkilere dayalı oranlar, ritimler ve simetriler önemli rol oynamıştır. Modern mimarinin kübik formları ve dikdörtgen duvarları Öklid geometrisinin özelliklerini göstermektedir.



Şekil 2.1 Parthenon'a ait uyum (*harmony*) analizi [5].

Unwin, *Mimariyi Analiz Etme (Analysing Architecture)* isimli kitabında mimari tasarım ve geometri ilişkisini şöyle açıklamaktadır: “Mimari tasarımda biçimlerin geometrisini oluşturan ölçütler öncelikle tasarımcıların tercihi yönünde belirlenmektedir. Mimarlıkta tasarımcıların geometriyi kullanımındaki yaklaşımlar, geleneksel mimaride ideal geometrilerin dayatılması ya da alana zorlanan bir geometrinin uygulanması, modern mimariden sonra ise yerin ve orada olmanın şartlarının araştırılması ile ortaya çıkarılan geometrinin kullanımıdır” (Unwin, 1997, s.99).

Bu bölümde mimari tasarım ve geometri ilişkisini anlayabilmek için geometrinin tanımı ve tarihte mimari tasarımları etkileyen geometrideki gelişmeler üzerinde durulacaktır.

* Altın oran, doğada, bir bütünün parçaları arasında gözlemlenen, yüzyıllarca sanat ve mimaride uygulanmış, uyum açısından en yetkin boyutları verdiği inanan geometrik ve sayısal bir oran bağıntısıdır [2].

2.1 Geometri Tanımı

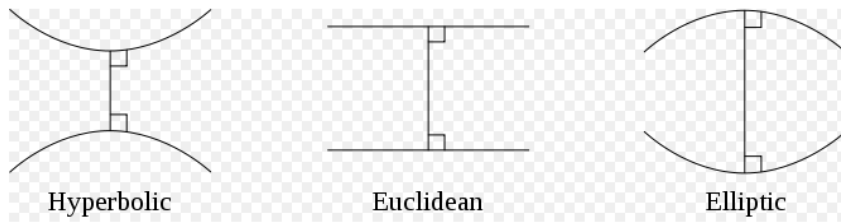
Matematik ve geometri olgusunun ilk esin kaynakları doğa ve yaşamdır. İnsanın geometri adına yaptığı, doğada var ve yadsınamaz gerçekleri görmek, bunlar arasındaki ilişkileri keşfederek soyut alanda (zihinde) bu ilişkileri yeni gerçeklere ve yeni ilişkilere götürmek olmuştur [1].

Geometri, dar sözlük anlamında “yer ölçüsü” demektir. "Geo" (yer) ve "metro" (ölçüm) kelimelerinin birleşiminden türetilmiş bir isimdir. Geometri (veya hendese), matematiğin *uzamsal* ilişkileri - yani *algılanan nesnelerin temel niteliği veya bir nesnenin uzayda kapladığı yer-* ile ilgilenen alt dalıdır [2-3]. Etimolojik olarak "geometri" kelimesi, dünya'nın ölçümü anlamına gelir [4].

2.2 Mimari Tasarımı Etkileyen Geometrik Gelişmeler

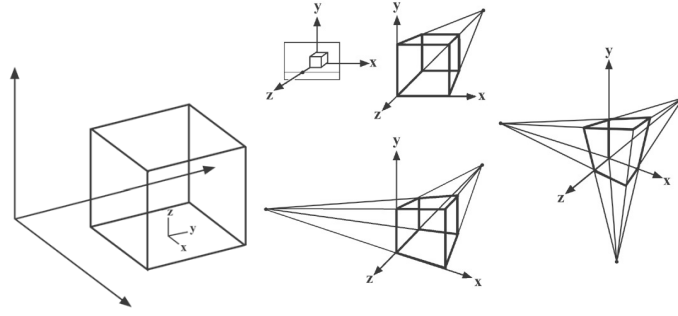
Geometrinin tarihsel süreç içindeki gelişimine bakıldığında çeşitli dönemlerden geçtiği görülmektedir. Bu gelişmeler mimari tasarım anlayışını etkilemiştir. Geometri tarihinde uzun yıllar kesinliği tartışlamayan Öklid geometrisi bir devrim sayılırken Öklid olmayan geometriler birçok bilgisayar yazılımının temelini oluşturmuştur.

Felix Klein 1871 yılında geometrileri üç tip; Küresel, Öklidyen ve Öklidyen olmayan geometri olarak sınıflandırmıştır. Klein, bu geometrilere *Eliptik (=Küresel)*, *Parabolik (=Öklidyen)* ve *Hiperbolik Geometri (=Öklidyen olmayan)* adını vermiştir (Dönmez, 2002).



Şekil.2.2 Öklidyen, hiperbolik ve küresel geometrilerin sembolik gösterimi [2].

Klein 1872 yılında; hem Öklidyen, hem de Hiperbolik geometrileri “Projektif geometri”nin bir alt geometrisi olarak düşünülebileceğini savunmuştur [6]. Projektif geometriler, gözün temsil sisteminde bir noktaya yerleştirilmesi ile yapılan geometrilerdir. Geleneksel temsil sistemlerinde, üç boyutlu nesnelerin iki boyut üzerinde durağan görünüşlerini temsil etmek üzere *projektif geometrilerden* yararlanılmıştır (Pérez-Gómez, 1997).



Şekil 2.3 Perspektif Kartezyen koordinat sistemi (Atılgan, 2006).

Öklid geometrisi Öklid tarafından MÖ.300 yılında hazırladığı Elementler çalışmasında düzlemsel geometrinin aksiyomlarını belirtmesiyle ortaya çıkmıştır (bkz.Ek1). Öklid'in çalışmalarının 2 özelliği vardır:

- Öklid, uzayı sezgi ve fiziksel olayların formu olarak tanımlamıştır.
- Öklid, mantığı soyutlayarak mantık konusundaki ilk büyük çalışmayı yapmıştır.

Bu anlamda “Elementler” çalışması soyut mantık ile fiziksel deneyimleri birleştiren ilk girişimdir (Cache, 1998). Öklid geometrisinin postulatları(ön doğruları) şu şekildedir:

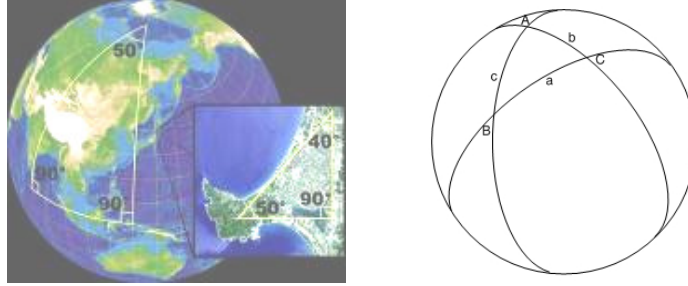
- Herhangi iki nokta arasına, bir doğru çizilebilir.
- Doğru, doğru olarak sonsuza kadar uzatılabilir.
- Bir noktaya eşit uzaklıkta bulunan noktaların geometrik yeri çemberdir.
- Bütün dik açılar birbirine eşittir.
- Bir doğruya dışındaki bir noktadan yalnızca bir tek paralel çizilebilir [25].

Öklid geometrisinin en önemli özelliği *paralellik* belitidir*. Bu beliti sağlamayan, ama geri kalan tüm belitleri sağlayan geometrilere *Öklid dışı geometriler* denir. Öklid'in beşinci ön kabulü "bir doğruya, dışındaki bir noktadan bir ve yalnız bir paralel çizilebilir" yerine, Gauss "bir doğruya, dışındaki bir noktadan birden fazla paralel çizilebilir" şeklinde değiştirerek önermesini yapmıştır [7].

* Başka bir önermeye götürülemeyen ve kanıtlanamayan, böyle bir geri götürme ve kanıtı da gerektirmeyip, kendiliğinden apaçık olan ve böyle olduğu için öteki önermelerin temeli ve ön dayanağı olan temel önermeye belit denir. Eş anlamlısı aksiyomdur[33].

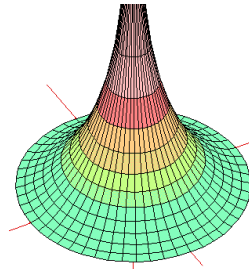
Hilbert, Lobachevsky, Bolyai ve Gauss tarafından yapılan *Öklidyen olmayan geometriler* araştırmaları modern geometrinin gelişmesini sağlamıştır. Modern geometri daha çok belitsel olarak incelenmektedir [2]. Öklid olmayan geometriler, uzaysal mekanın eğrisel ve çok boyutlu oluşları ana fikirleri üzerinde gelişen geometrilerdir (Kolarevic, 2003). Öklidyen olmayan geometrilere *hiperbolik geometri* ya da *küresel geometri* örnek gösterilebilir.

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 [6]. Riemann mekanın eğriselliğiyle birlikte, pozitif ve negatif eğrisellik kavramlarını da ortaya koymuştur. Ona göre 0 eğimindeki bir yüzey düzdür [8].



Şekil 2.4 Yerküre üzerinde bir üçgenin iç açıları toplamı ve Riemann modeline göre küresel (eliptik) geometri [2-6].

Şekil 2.4'de görüldüğü üzere bir kürenin üzerinde (örneğin yerküre) bir üçgenin iç açıları toplamı 180 derece değildir. Çünkü bir kürenin yüzeyi öklidyen değildir. Ama yerel olarak Öklidyen kurallar gerçeğe yakın bir sonuç vermektedir. Örneğin yerkürenin üzerinde küçük bir üçgende üçgenin iç açıları yaklaşık 180 derece kabul edilmektedir [2].



Şekil 2.5 Beltrami'nin modeline göre Öklidyen olmayan geometri [6].

Beltrami 1868 yılında üç boyutlu uzayda Öklidyen olmayan geometrinin bir modelini oluşturmuştur. Burada Öklidyen olmayan geometri bir eğrinin (Tractrix) asimptotu etrafında dönmesiyle oluşturulmaktadır. Bu yüzeydeki en kısa eğriler doğru kabul edilmektedir [2-6].

Görüldüğü üzere matematikçiler tanımlanabilen geometrik şekiller için, metrik kavramlarla sınırlandırılmayan çeşitli yöntemler ortaya çıkarmışlardır. 19.yy.da çoğu bilim adamı araştırmalarında, Öklidyen uzayın ele geçirdiği fiziksel uzayın strüktürü üzerinde duran varsayımlara dayalı çalışmışlardır. Bu araştırmalar sırasında çoğu zaman çeşitli geometrileri de keşfetmişlerdir (Hensel ve Menges, 2008).

Felix Klein, bütün bilindik ve tanımlı geometrileri, transformasyonlar* (dönüşüm) grubu adı altında, değişkenlerine ve kategorilerine göre ayırmıştır (Fauvel,1987). Çeşitli gruplar ve değişkenler birbirlerine bağlı olacak şekilde düşünülmüştür. Örneğin rijit transformasyonlar (döndürme, çevirme, yansıtma işlemleri) Öklid geometrisinin uzunluk, açı ve biçim gibi özelliklerini içermektedir. Metrik özelliklerin değiştiği yerde, bunların değişkenleri başka geometrilerin karakterize ettiği transformasyon grupları altında bulunmalıdır. Klein tarafından ortaya atılan transformasyona dayalı hiyerarşilerden çıkartılabilecek sonuç, gittikçe farklılaşan geometrik bir uzaydır (Hensel ve Menges, 2006).

Mimari tasarımlar Kartezyen uzayın üç boyutundan, uzay ile zamanın etkileşiminin görüldüğü dördüncü boyutun sürekliliğine doğru hareket etmektedir. Uzayın diğer boyutları mimari düşünce için yeni potansiyeller öneren ilgi çekici olasılıkları açmaya başlamaktadır. Çok boyutlu uzayın ‘eğrilmiş’ mimarisi, sadece biçimlerin değişmesine değil, çok boyutlu olayların, etkilerin ve ilişkilerin alanlarına doğru yönelmeyi sağlamaktadır (Kolarevic, 2003).

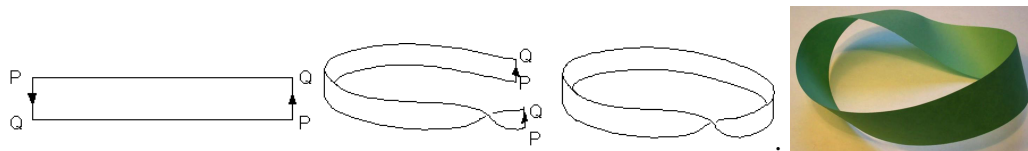
Öklid ve Öklid-dışı geometrilerin sonrasında geometri tarihinde bir eşik sayılan *eğrilik* kavramının gelişimi ve bu bağlamda ortaya çıkan topolojik geometrinin tanımı ile topolojik geometrinin mimari anlayışı nasıl etkilediği üzerinde durulacaktır.

* Transformasyonlar ya da dönüşümler, uygulama kapsamında bir durumu başka bir duruma dönüştüren operatörler olarak tanımlanmaktadır. Mimarlar daha çok geometrik dönüşümlerle ilgilidir: çeviri, rotasyon, yansıtma, ve ölçek değiştirerek boyutsal çeşitleme gibi (Mitchell, 1986, s.144)

2.3 Topolojik Geometri

Topoloji, eski Yunanca 'da yüzey veya uzay anlamına gelen “*topos*” ve “*bilim*” anlamına gelen “*logos*” kelimelerinden türetilmiştir. Dolayısıyla topoloji uzaylar veya yüzeyler bilimidir[2]. Topoloji, matematikte geometrik biçimlerin ya da objelerin sündürme, döndürme gibi dönüştürme işlemleriyle değişmeyen özelliklerinin incelendiği bir daldır [14]. Örneğin bir daire ile elips, ya da kare ile dikdörtgen topolojik olarak aynıdır. Tanımlanmış/Belirlenmiş (*explicit*) 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 geometride amaç, nesneleri yırtmadan ve koparmadan, eğip bükerek bir başka nesneye dönüştürebilmektir. Topoloji, matematiğin bir dalı olarak 19. yüzyılın sonlarında ünlü Fransız matematikçi Henri Poincaré'nin (1854–1912) çalışmaları ile sistematik oluşumuna başlamıştır. İlk topolojik kavramları ortaya atıp üzerine derin bir teoriyi kuran Poincaré'dir. Poincaré, “Topoloji, geometrik şekillerin, sadece alışılmış uzayda değil, üçten fazla boyutlu uzaylarda da niteliklerini öğrenmemizi sağlayan bir bilimdir.” demiştir [11]. Topolojik geometrilerinin en popüler olanı, Alman matematikçi A. Ferdinand Möbius' 1858 yılında ortaya koyduğu Möbius şerididir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Möbius şeridinin elde edilişi [2-11].

Topolojik yapılanmalar genelde “karmaşık” ya da “eğrisel” olarak tanımlanmakta, topoloji eğrisel yüzeylerle eşanlamlı olarak düşünülmektedir. Oysaki bu doğru değildir. Ayrıca topolojik yapılanmaların Öklid-dışı geometrilerle üretildiği yönünde bir yanlış anlayış da vardır (Kolarevic, 2003).

2.3.1 “Eğrilik” Kavramı

Bir eğri, tek boyutlu ve sürekli bir geometrik nesnedir. Eğrilik ise bir eğrinin, yüzeyin, doğrunun ya da düzlemin sapmalarının miktarlarıdır. Bir eğriyi tanımlayabilmek için eğri üzerindeki her noktanın ne kadar eğildiğini belirlemek ya da parametreleri tanımlamak gerekmektedir. Bu hesap, Isaac Newton ve Gottfried Wilhelm Leibniz tarafından, 1660 ve 1680 yılları arasında yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda Jacob ve Johann Bernoulli tarafından geliştirilmiştir (Hensel ve Menges, 2008).

Alcis-Claude Clairaut’un yüzeyin eğriliği çalışmaları sırasında tartışma konusu olarak açtığı “Çift Eğrilikli Eğri” (3 boyutlu düzlemdeki eğriler) çalışmasında yöntem olarak diferansiyel ve integral* hesaplarını kullanmıştır. Leonhard Euler eğrileri parametrik olarak tanımlamaya çalışırken, diferansiyel geometrinin merkezine girmeyi başarmıştır. Karl Friedrich Gauss, matematik tarihinde önemli bir yeri olan “Eğrisel Yüzeyler Söyleşisi” makalesinde, diferansiyel geometri ile ilgili çalışmalarına yer vermiştir. Bu makalede, bir yüzeyin her noktasının tam olarak nasıl kavislendiğini ölçmek için kullanılan yöntem araştırılmıştır. Gauss’un eğrilik üzerindeki çalışması, tek boyutlu bir eğrinin, üç boyutlu bir uzayda iki boyutlu bir yüzeye geçişini sağlamıştır (Hensel ve Menges, 2008).

Kavisli yüzeyler mimari tasarım için büyük bir potansiyel getirmiştir. Bu potansiyel tasarım, üretim ve malzeme formunun davranışı üzerinde hem *geometrik* hem de *topolojik* olarak önemli etkiler yaratmıştır. Hensel ve Menges’e göre (2008) “Eğrilik” kavramı geometri ve topolojiyi sentezleyerek, formu bulmaya dayalı süreçteki ilk adımı temsil etmektedir.

2.3.2 NURBS Eğrileri

Bilgisayar ortamında tasarım çalışmalarıyla yeni geometrik kavramların kullanımı ihtiyacı doğmuştur. Möbius bandı gibi topolojik geometriye ait kavramları analitik ve algoritmik olarak bilgisayara tanıtmak amacıyla NURBS kavramı ortaya çıkmıştır.

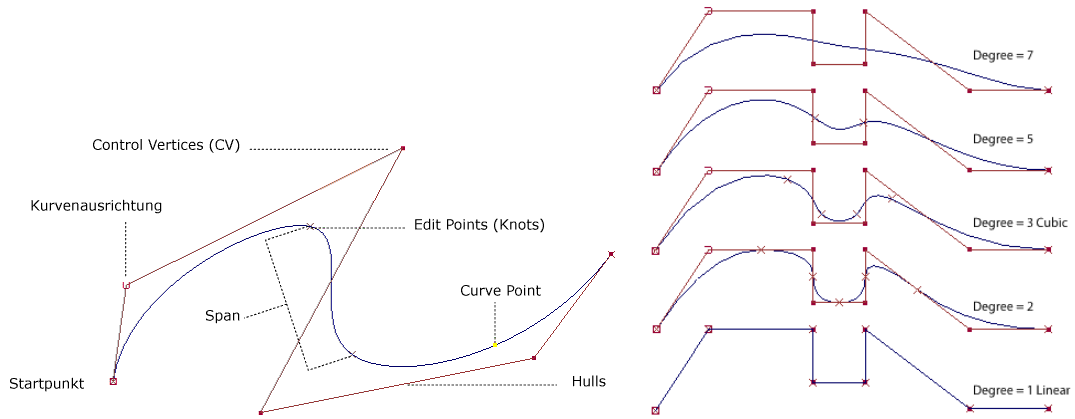
Öklidyen geometride ayrı birimler (*discrete volumes*) Kartezyen uzayı içinde temsil edilmektedir. Topolojik uzayda geometri bilinmeyen denklemlerle değil, bir dizi olasılığın tanımlandığı parametrik fonksiyonlarla açıklanmaktadır. Topolojik geometrideki sürekli eğriler ve yüzeyler "esnek-yüzey" (*rubber-sheet*) geometrisiyle ve matematiksel olarak NURBS eğrileri ve yüzeyleriyle nitelendirilmiştir (Piegl and Tiller, 1997).

* İntegral veya Tümlöv, bir fonksiyon eğrisinin altında kalan alanıdır; başka bir deyişle, fonksiyonun türevinin tersi olan bir fonksiyon elde edilmesini sağlamaktadır [2].

NURBS (*Non-uniform Rational B-spline*) kelimesi içindeki B harfi, eğrinin eğim derecesini belirleyen ana fonksiyondan (*basis function*) gelmektedir. R harfi ise “ratio” dan gelmekte ve iki basit fonksiyon arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. Kelime anlamı olarak NURBS, eşit olmayan aralık ve eğim derecelerine sahip eğrisel bir çizgiyi ifade eder (Kolarevic, 2003).

NURBS’ler, çok eğrilikli bir yüzeyi tanımlamakta kullanılmaktadır. Bir NURBS eğrisi veya yüzeyinin şekli kontrol noktaları, ağırlık ve düğüm yerinin manipüle edilmesi ile kontrol edilmektedir. Topolojik uzayda hesaplanabilen NURBS eğrileriyle heterojen formlar türetilbilmektedir (Kolarevic, 2000).

NURBS’ler mimari tasarıma girdikçe yapılara ait geometrileri fonksiyonel olarak tanımlamak ve parametrikleştirmek gerekmektedir. Kolarevic (2003), parametrik ilişkilerin mimari tasarımda kullanımı için; tasarımcının üreteceği mekâna dair değişken bilgileri sabitlere bağlı olarak değiştirebileceğini ve tasarımını yapılabileceğini söylemektedir.



Şekil 2.7 Nurbs eğrisindeki başlangıç, kontrol ve bitiş noktaları; çeşitli oranların etkisi [15].

Dijital yazılımlarda kullanılan *parametrik polinom*, *spline*^{*}, *nurbs*, *bezier*, *parametrik biküçük yüzeyler* ve *n-patch*’ler gibi karmaşık matematiksel tanımlamalar, temel eğrilerden oluşan yüzeylerin modellemelerini mümkün kılmaktadır (Hensel ve Menges, 2008).

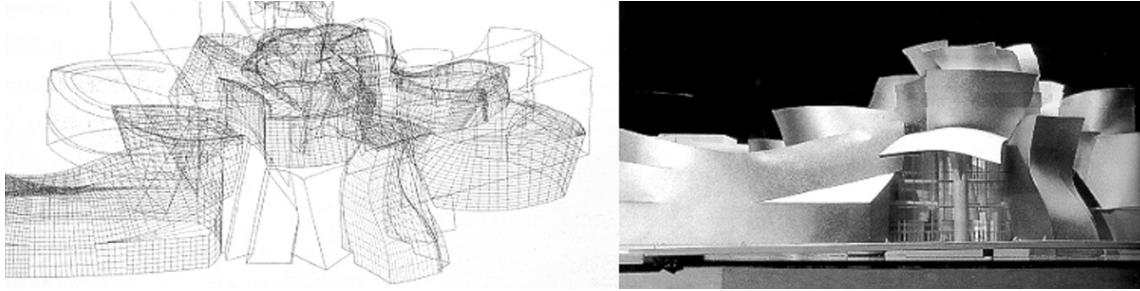
* Çizim terminolojisinde “Spline”, noktalar kümesi tarafından belirlenen düzgün bir eğri oluşturmak için kullanılan esnek bir şerittir. Matematiksel olarak bu tür eğriler, ilk ve ikinci türevleri, farklı eğri bölümlerinde sürekli olan *küçük polinom fonksiyonu* ile tanımlanmaktadır (Uğur, 2006).

Spline eğrilerinde, “kontrol noktası” adı verilen konumlara ait koordinat kümeleri tanımlanmaktadır. Eğrilerin kontrol noktaları yeniden tanımlanıp değiştirilebilir, yeni kontrol noktaları eklenebilir ya da silinebilir. Kontrol noktaları, eğrinin genel şeklini belirlemektedir. Sürekli *parametrik polinom fonksiyon** parçalarında da bu kontrol noktaları kullanılmaktadır.

Spline türleri; *Bezier Spline*, *B-Spline*, *Beta-Spline* (β -*Spline*), *Rational Spline*, NURBS. *Bezier Spline*’ları, Fransız Mühendis Pierre Bezier tarafından Renault otomobil gövdelerinin tasarımında kullanılmak üzere geliştirilmiş spline yaklaşım metodudur. Spline’lar genelde otomobil, gemi, uçak, uzay aracı gövdeleri, ürün tasarımı gibi endüstriyel tasarımlarda kullanılmaktadır (Uğur, 2006).

2.3.2.1 Mimari Tasarımda Topoloji: İlk Örnekler

Greg Lynn 1993 yılındaki "Mimari eğrisellik (*architectural curvilinearity*)" isimli makalesinde yeni topolojik tasarım yaklaşımların ilk örneklerinden biri olarak Gehry’nin Bilbao müzesini örnek göstermiştir (Kolarevic, 2000).



Şekil 2.8 Topolojik mimariye bir örnek: Gehry’nin Bilbao’daki Guggenheim Müzesi (Kolarevic, 2000).

Geometrideki bu gelişmelerin mimari tasarımda kullanımına ait farklı bir görüş olarak Bernard Cache’nin çalışmalarına da değinilecektir. Cache, “Extended Play” adlı makalesinde mimarinin temeli olarak gördüğü geometrideki gelişimin mimarlar için getirdiği sonuçları tartışmaktadır. Çalışmasında Öklid olmayan, çok boyutlu geometrilerin uygulandığı topolojik uzaydaki tasarımların üzerindeki bilgisayar desteğini vurgulamayı hedeflemiştir (Cache, 1998).

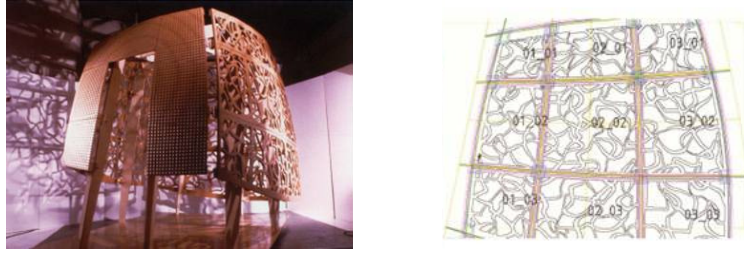
* Sürekli *parametrik polinom fonksiyon* parçalarında kontrol noktalarını kullanmanın iki yolu vardır:

— Ara değerlendirme (*Interpolation*) Spline’ları: Eğri, tüm kontrol noktalarından geçer.

— Yaklaşım (*Approximation*) Spline’ları: Eğrinin tüm kontrol noktalarından geçme şartı yoktur (Uğur, 2006).

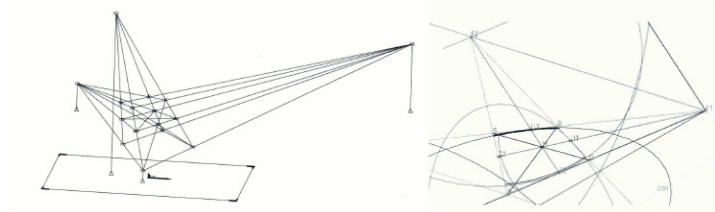
Cache'ye göre bir yapılanmanın inşası Öklid uzayında mümkündür. Topolojik bir yapı Öklidyen uzaya taşındığında sonsuz bir yapılanmaya dönüşmektedir. Oluşan yeni topolojik yapılar Öklidyen uzayda kareleşmiş ya da eğrilmiş şekillere dönüşmektedir. Cache makalesinde aslında Öklidyen geometrinin topolojik geometriyi içerdiğini söylemektedir. Öklid-dışı geometrilerin Öklidyen geometrinin bir alt kümesi olduğunu ve bilgisayar ortamında kullanılan yazılımların temelindeki geometrinin Öklid-dışı değil aslında yine Öklid tabanlı olduğunu savunmaktadır (Cache, 1998). Kolarevic'e (2003) göre de Öklid-dışı geometrilerin uzamsal karakteristiklerini temel alan bazı modelleme yazılımları, aslında yine Kartezyen uzayının limitli/sınırlı dönüşümlerini kullanmaktadırlar.

Cache'nin CAD yazılımlarıyla ilk karşılaşması 1980'lerin sonlarına doğru EUCLID programıyla olmuştur. Cache bu yazılımı özellikle küçük ölçekli işlerin kullanıcıları için karmaşık ve pahalı bir program olarak görmüştür. Dolayısıyla Cache kendi tasarım programını geliştirmeyi tercih etmiş ve bir bakıma kendi laboratuvarını kendisi kurmuş, 1990'ların başında *TopSolid* adındaki programın yazımına katkıda bulunmuştur [9].



Sekil 2.9 Philibert De Lorme Pavyonu ve modelin üretim için kodlanması (Kolarevic, 2003)

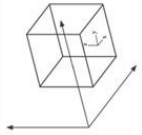
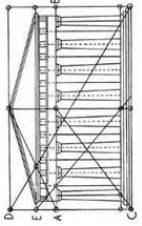
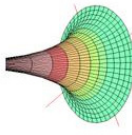
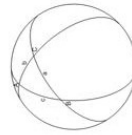
Cache çalışmalarında, dijital teknolojilerle yeni öncüler yaratmak yerine, tarihle yeni ilişkiler kurmaya çalışmanın önemini vurgulamıştır. Objectile tasarım grubunun bir üyesi olan Cache 2002'de uyguladıkları Philibert De Lorme Pavyonu tasarımında, Philibert De Lorme'un kullandığı projektif ve *steretomi* adındaki taş kesim geometrilerinden etkilenmiştir. Pavyonun tasarımı üç kaçış noktasına göre her yüzeyi eğriselleşen bir küpten geliştirilmiştir (Kolarevic, 2003) (Şekil 2.10). Bu projede kendi tasarladığı *TopSolid* programını da kullanmıştır.



Sekil 2.10 Philibert De Lorme Pavyonunun üç kaçış noktasına göre düzenlenmesi ve Projektif geometri esaslarına göre biçimlendirilen panel (Kolarevic, 2003).

Bu bölümde üzerinde durulan Öklid, Öklid-dışı ve Topolojik geometri çeşitleri örnek projelerle Çizelge 2.1’de gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.1 Mimari geometriler

* ÖKLİD Parabolik Geometri Kartezyen Uzay Koordinatlar Sistemi, denklemler	 
* ÖKLİD DIŞI Küresel Geometri Hiperbolik Geometri Geometrik Eğriler	  
* TOPOLOJİK GEOMETRİ Topolojik eğriler (ilişkiler) Parametrik fonksiyonlar * NURBS, SPLINE Kontrol ve düğüm noktaları	   

3. MİMARİDE HESAPLAMA TEKNİKLERİ ve GEOMETRİ

Geometri, mimari tasarımın ve formun temelini oluşturmaktadır. Mimari tasarımda geometrik kuralları esas alan hesaplama tekniklerinin kullanılması bilgisayar desteği öncesinde başlamıştır. Mimari tasarım ve geometri ilişkisi açısından asıl eşik bu teze göre, dijital tasarım teknolojilerine geçişte yaşanmaktadır. Dijital tasarım teknolojilerinin gelişmesiyle mimarlıkta yeni olanaklarla karşılaşılmalıdır. Dolayısıyla mimari tasarım ve geometri ilişkisi, dijital teknolojilerle gelişen olanaklar düşünüldüğünde 20.yy. ve 2000 sonrası olmak üzere iki bölümde ele alınacaktır.

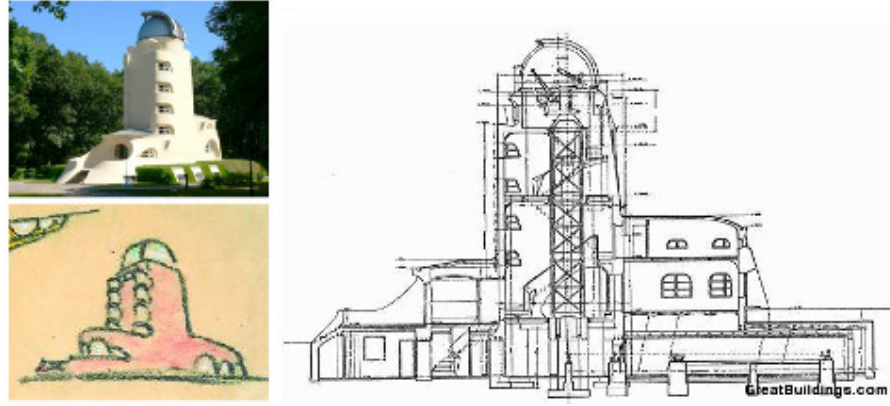
3.1 20.yy.da Hesaplama Teknikleri ve Geometri

Kolarevic'e göre (2003) dijital tasarımdan önce geleneksel mimaride yapı geometrileri, Öklid geometrisini oluşturan elemanlar, çizgiler, daireler, dörtgenler ve bunların kompozisyonları ile sınırlıydı. Karmaşık eğrisel çizgiler, çeşitli yarıçaplara sahip dairelerle ifade edilir, teğetlik, merkezden uzaklık gibi verilerle düzenlenir, bu şekilde çizilir ve uygulanırdı. Bu bölümde bilgisayar destekli tasarımdan önce 20.yy. mimarisindeki tasarım-geometri ilişkisine örnek olarak, tasarımlarını Kolarevic'in geleneksel mimariyi tanımladığı Öklid geometrisi çizgisinden çıkarmaya çalışan ve dinamikleşme yolunda giden projeler üzerinde durulacaktır.

20.yy.da özellikle eğriler yardımıyla tanımlanan üç boyutlu serbest geometrik yüzeylere sahip yapıların tasarımında hesaplamalı tekniklere başvurulmuştur. Serbest geometrik yüzeyler tasarımlarda mimarlara esneklik sağlamıştır. Mimaride karmaşık geometriler ve serbest yüzeyler çok erken dönemlerde görülmektedir. Çift eğrili yüzeyler, kubbelerde ve binaların heykelsi bezemelerinde mevcuttur (Pottman ve Kilian, 2007).

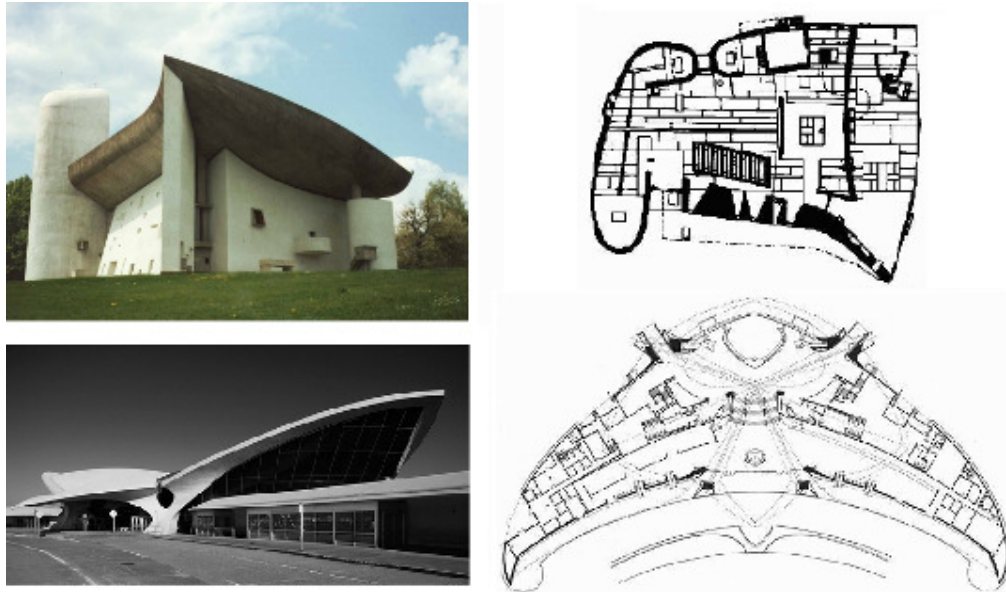
20.yy.da mimarların ekspresyonizm ve organik mimari gibi akımlardan etkilendiği dönemlerde, dik açılı geometrinin dayattığı kurallara karşı çıkan serbest geometrik yapılar tasarlanmaya başlanmıştır. Bu yapılar 20.yy.dan önce, bilgisayar destekli tasarımın daha kullanılmaya başlanmadığı dönemlerde uygulandıkları için inşaat yapım süreçleri çok uzun sürmekteydi. Dolayısıyla hem zaman, hem maliyet açısından çok tercih edilen formlar değillerdi.

Ekspresyonist (dışavurumcu) yaklaşımla tasarlanan örneklerden ilki sayılan Potsdam'daki Einstein Kulesi'nde (1920-21) mimar Erich Mendelsohn yapı içerisindeki fonksiyonların etkilerini yapı geometrisine irrasyonel bir biçimde yansıtmaktadır.

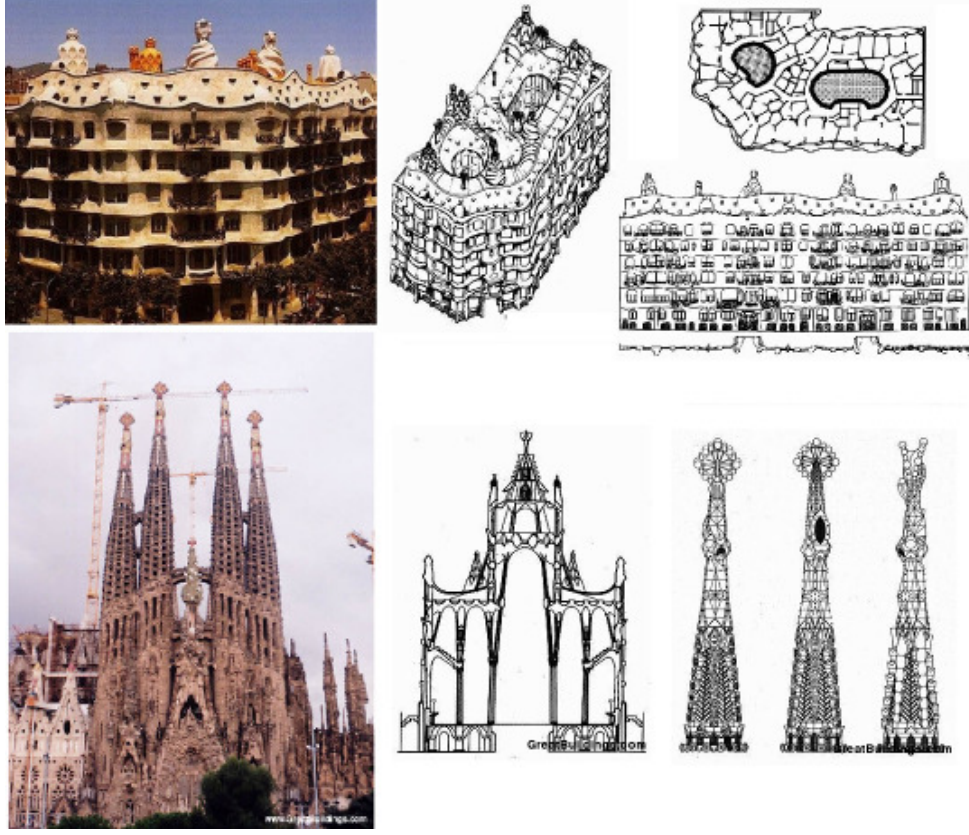


Şekil 3.1 Einstein Kulesi ve Erich Mendelsohn eskizleri [19-20].

Ekspresyonizm akımının ardından 1960'lı yıllarda da organik ve sembolik yaklaşımların etkisinde kalan heykelsi geometrik formlar dikkat çekmektedir. Le Corbusier'in Notre Dame du Haut-Ronchamp Şapeli ve Eero Saarinen tarafından tasarlanan TWA terminali JFK Uluslararası Havalimanı organik ve dışavurumcu akıma örnek olarak gösterilebilir. Ronchamp Şapeli'nde (Fransa, 1950) rasyonel mimarlığa karşıt bir görüş olarak gelişen, doğal formlardan oluşan, plastik değerleri güçlü mimari ifadeleri içeren organik akımın etkisi görülmektedir. Sembolizm etkisindeki TWA terminali de irrasyonel anlayışla tasarlanmıştır. Yapının formu analogik yöntem kullanılarak, kanatlarını simetrik olarak açmış, iki ayağı üzerinde henüz yere konmuş büyük bir kuş görünümündedir [10].



Şekil 3.2 Notre Dame du Haut(1950-55) ve TWA terminali JFK Uluslararası Havalimanı (1956-61) [14-16-19].



Şekil 3.3 The Casa Mila(1905-07) ve La Sagrada Familia(1882-Devam ediyor)[9-15].



Şekil 3.4 Gaudi'nin yapılarında görülen bazı doğa benzeşimleri [12].

Serbest geometriye sahip eğrisel formların tasarım anlayışında doğayla analojik bir ilişki kurulmaktadır. Antoni Gaudi'nin yapılarında da görülen canlıların iskelet sistemi ve kemikleriyle yapılan analogiler mimarın tasarımlarında önemli rol oynamıştır. Gaudi form bulma tekniği ve fizik modelleri ile serbest yüzeylerin statüğünü ve biçimini geliştirmeye çalışan ilk mimarlardandır. Hatta bu özelliğiyle topolojik geometriyi kullanan ilk mimarlardan biri olarak da gösterilebilir. Gaudi, “The Casa Mila” ile “La Sagrada Familia” örneklerinde

olduğu gibi, doğadaki formları taklit ederek kullanmış, endüstrinin getirdiği biçimlerin doğaya aykırı olduğunu savunmuştur (Tokman, 2005). Gaudi yapılarında farklılığı ve estetiği yakalamak, bu tasarımlara uygun taşıyıcı sistemlerini inşa etmek için doğadaki yapılanmaların dinamik veya statik yüklere nasıl karşı koyduğunu gözlemlemiştir (Şekil 3.2) (Masso, 1999).

20.yy. ekspresyonizm, organik ve sembolizm gibi akımlarının etkisindeki mimari yapıların eğrisel tasarımlarında statik ve durağan ilişkiler söz konusudur. Yapıların mimarisi çevre verilerine ve mimarın yaklaşımına göre öznel ve tek bir sonuç üretecek şekilde tasarlanmıştır. Örneğin TWA terminalinde bir canlının hareketinin tek bir ‘an’ı düşünülerek tasarlandığı için ancak statik bir geometriden söz edilebilir. Bu yapıda o canlının tüm hareketlerinin göz önünde bulundurulduğu esnek bir tasarım anlayışı yoktur. Ve yapı başka çevre verilerine sahip bir ortama taşınamaz. Daha sonraki bölümlerde bu olasılıkları da hesaplayan dinamik geometri örnekleri üzerinde durulacaktır.

Gaudi’nin yapılarındaki tasarım kurgusunda hareket analizleri ilk kez hesaplara dahil edilmeye başlanmıştır. Ancak yeterli donanım ve teknolojik kolaylıklar sağlanmadığı için tasarım süreci ancak maketlerle yürütülmüş ve tasarım esnekliği sınırlı ölçülerde sağlanmıştır.

Anlaşılabileceği üzere tezdeki ‘dinamik geometri’ ifadesi bir yapının eğrisel veya irrasyonel formdaki hareketli tasarım anlayışı ile ilgili değildir. Tezde vurgulanan dinamik geometri tanımı 2000 sonrası hesaplamalı tasarım teknolojiler ile gündeme gelen bir başlık olarak açıklanabilir.

3.2 2000 sonrası Hesaplamalı Teknolojiler ve Geometri

Önceki bölümde gördüğümüz gibi bilgisayar destekli tasarımın gelişimine kadar olan dönemde hesaplamalı yöntemler sınırlı yapı geometrilerine ve tasarımlara izin vermekteydi. Mimaride hesaplamalı teknolojilerin kullanımı, mimarların geometri ile kurdukları ilişkiyi kolaylaştırarak gelişmesine yardımcı olmaktadır. Kolarevic (2003) bilgisayar ortamında mimari tasarımın önemli ayırt edici özelliklerini; topoloji, Öklid-dışı geometriler ve NURBS kullanımı, parametrelere, performansa ve güç alanlarının tanımlanmasına dayalı teknolojilerin tasarım sürecine dahil edilebilmesi olarak belirtmektedir.

1940 ve 1950 yılları boyunca havacılık ve otomotiv üretimi endüstrisinde doğan uygulama ihtiyaçları, serbest yüzey geometrilerinin matematiksel tanımının gelişmesini sağlamıştır. “Bir yüzey dijital olarak nasıl tasarlanır?” ya da “sayısal olarak bir kesim makinesini kontrol edebilmek için, serbest bir yüzey ile nasıl iletişim kurulmalıdır?” gibi görevlerin çözümü için bilgisayar besleyen yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgisayar destekli geometrik tasarım,

günümüzde karşılaştığımız serbest geometrik yüzeylerin tanımlanmasını kolaylaştırmıştır (Pottman ve Kilian, 2007).



Şekil 3.5 Bilbao Guggenheim Müzesi, Prag “The Dancing House”, Frank O. Gehry [48-34].

Bilgisayar destekli geometrik tasarım (*CAGD-Computer Aided Geometric Design*) teknolojilerini kullanan ilk mimar Frank O.Gehry’dir. Tasarımlarında ürettiği biçimler, benzeşerek gelişebilen yüzeyler (*approximating developable surfaces*) olarak tanımlanmaktadır (Pottman ve Kilian 2007). Bilbao’daki Guggenheim Müzesi’nin eğrisel yüzeylerinin hesaplarında uçak endüstrisinde kullanılmakta olan CATIA yazılımını kullanmıştır.

2001 yılında uygulamacılar ve eğitmenlerin ortaklığında kurulan Smart Geometry* grubu geometriyi mimari tasarımın temel araçlarından biri olarak kabul etmiştir. Mimari tasarım bir süreç olarak tasarımcıları desteklemeli ve hesaplamada yeni potansiyelleri harekete geçirmelidir. Yeni nesil mimarlar için, matematik ve algoritmaların kullanımı, kurşun kalem gibi doğal hale gelmelidir [13].

Smart Geometry grubu, parametrik tasarım ve yazılımlardan dijital üretime kadar olan geniş bir alanla ilgilenmektedir. SG grubu, mimarlığı dijital mimarlıkta kullanılan araçlardan ve tekniklerden, “Beliren (*Emergent*)” mimarinin şekillendirilebildiği yeni bir dile doğru taşımayı hedeflemiştir. SG grubu yerleşmiş becerilere, karmaşık geometrilerin sağladığı kurallı sistemlerin tasarımını ve kontrolünü eklemeye çalışmaktadır [13].

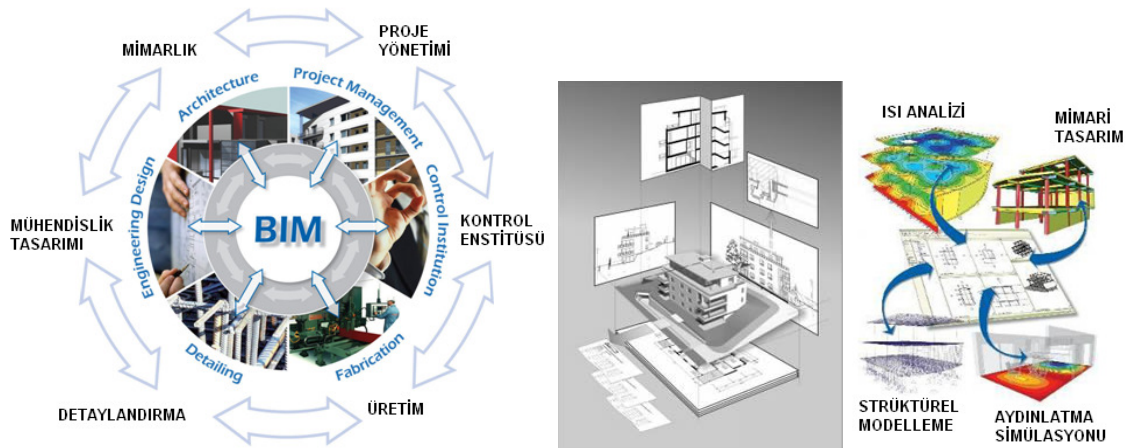
* “Smart Geometry” grubu hesaplamalı tasarım araçlarını, mimari tasarımla olan ilişkisinde ele almaya çalışmıştır. Bu grubu, dünyanın önde gelen mimari ve mühendislik uygulamacılarından *Foster + Partners*, *KPF*, *Arup*, *Büro Happold* ve eğitim kurumlarından *Architectural Association*, *MIT*, *Delft Teknik Üniversitesi*, *Bath Üniversitesi* temsil etmektedir. Grubun ilgilendiği başlıca konular; mimari geometri, dijital üretim, analizler ve simülasyonlar, strüktür ve enerjidir. [13].

Kısacası SG grubunun temel amacı, 3 boyutlu modellemelerin ve yazılımların hesaplamalı tasarım sürecine katılmasını, gerekirse süreçle beraber değişebilmesini sağlamaktır. Hesaplamalı tasarımın eğitimde doğru aktarılamadığı düşünüldüğü için akademisyenler de bu gruba katılmıştır. SG grubuna göre bilgisayar ortamında parametrik modellemeye eğitim alanında yer verilmesi için eğitmenlerin teşvik edilmesi gerekmektedir.

Smart Geometry grubu parametrik modelleme yazılımlarından *Generative Components* programının oluşturulmasında yardımcı olmuştur [13]. *Generative Components* programı, SG grubundaki özel bir kullanıcı topluluğunun yazılımın test sürümlerini birkaç yıl kullandıktan sonra piyasaya sürülmüştür. Bu topluluk yazılımı şekillendirmede ve onu tanımlamakta önemli bir rol oynamışlardır.

SG grubu tasarımın konuları üzerinde yoğunlaşmaktadır. SG grubu veri yönetimi üzerinde duran BIM teknolojisi sistemiyle de ilişkilidir [63]. “Bina Bilgi Sistemi” ya da “Bina Bilgi Modellemesi (*Building Information Modelling – BIM*)” bina projelerinin tasarımına ve dokümantasyonuna yeni bir yaklaşımdır [53].

BIM, yapı projelerinde koordineli, tutarlı, hesaplanabilir bilginin üretilmesini, saklanması ve yeniden kullanılmasını sağlayan yeni bir teknolojidir. Yapı projesinde yer alan mimar, mühendis, yüklenici ve mal sahibi arasındaki iletişimi, tasarım ekipleri arasındaki koordinasyonu, tasarım ekibi içindeki verimliliği artıran bu sistem, yapının tüm özelliklerini temel atılmadan önce görebilmeyi ve tasarım kararlarını buna göre almayı sağlamaktadır [54].



Şekil 3.6 Bina Bilgi Modellemesi (BIM) programı [38].

Bina Bilgi Sistemi'nin üç temel özelliği vardır:

- Yapıyı tanımlayan tüm verilerin tutulduğu bir sayısal veritabanı ile çalışmaktadır.
- Revizyonlar bu veritabanında yapıldığı için, herhangi bir dokümanda yapılan bir değişiklik, veritabanından üretilen (ki çoğu otomatik olarak üretiliyor) tüm dokümanlara (görünümler, listeler, vs.) yansımaktadır.
- Tasarım süreci boyunca toplanan tüm veriler, daha sonra kullanılmak üzere saklanmaktadır [54].

BIM mimar ve mühendislerin aynı yapı modeli üzerinde eşzamanlı çalışabilmesini sağladığı için disiplinler arası koordinasyon eksikliğinin yol açtığı hataları önlemede yardımcı olmaktadır. Bina Bilgi Sistemi'nin kullanımı, sadece tasarımcıya değil aynı zamanda yüklenici ve müşteriye de avantaj sağlamaktadır. BIM'de yapı tasarımında yer alan farklı disiplinler için özel yazılımlar yer almaktadır. Mimarlar, İnşaat, Makine ve Elektrik Mühendisleri, ortak bir platformda ama kendi çalışma alanları için özelleştirilmiş yazılımlarla çalışmaktadırlar[54].

Bina bilgi modellemesi sistemleri geometrik primitiflere dayanan bilgisayarla çizim sistemlerinden farklı olarak bina nesnelerini temel alır ve onların birbirleriyle olan ilişkilerini de modeller. Değişkenler arasındaki ilişkilerin kontrolü, karmaşık formların üretilmesini kolaylaştırmıştır. Bunun güncel mimaride ve mimarlık eğitimindeki en önemli yansımalarını, giderek artan sayıdaki karmaşık geometrik formlara sahip projelerle gözlemleyebiliyoruz [38].

Bina bilgi modellemesi vektörel geometrinin yanı sıra mimari nesneleri de içermektedir. Yeni nesil bina bilgi modellemesi uygulamalarının çoğu mimari tasarıma destek olan strüktürel modelleme, ısı analizi, aydınlatma simülasyonu, vs. programları ile birlikte çalışma özelliğine sahiptir [38].

Koordinat sistemlerine ve “Tanımlayıcı hale getirilmiş (*explicit*)” geometri prensibine dayalı eski CAD yazılımları bina bilgi modelleme sistemleri için uygun değildir. Bina bilgi modelleme sistemleri parametrik tasarım teknolojileriyle paralel olarak çalışmaktadır. 2000’den sonra geliştirilen parametrik tasarım teknolojileri mimarlıkta kullanılan örnekleriyle birlikte geometri açısından ele alınarak açıklanacaktır.

3.3 Parametrik Tasarım Teknolojileri

Türk Dil Kurumu Sözlüğü'nde parametre, cebirde bir denklemin katsayılarına giren değişken nicelik olarak tanımlanmaktadır [1]. Bilgisayar biliminde parametre, bir dizi komutun sisteme girilen çeşitli veriler üzerinde işlem yapmasıyla ilgili bir terimdir [2].

Geometri her zaman mimari söylemde önemli bir rol oynamıştır. Mimari tasarımlar parametrik modelleme ile dijital hesaplamaların araç olarak kullanıldığı dinamik geometrik ilişkilere dönüşmüştür (Hensel ve Menges, 2006).

Mimarlar başlangıçta, bir yapının şeklini parametrelerle tanımlanan geometrik ilişkileriyle kurmaktan uzaktaydılar. Parametrik tasarım yöntemleriyle, tasarımlar değişkenlere, ifadelere ve koşullara bağlı kalarak kurulan parametrik denklemlerle tanımlanmaya başlanmıştır. Yine parametrik denklemlerin belirlenen değişkenleri, ifadeleri, bağlı söylemleri ve betikler (*script*) değiştirilerek ayrıntılı tasarım örnekleri türetilabilmektedir (Hensel ve Menges, 2006).

Parametrik tasarım yöntemi, CAD/CAM sistemlerinde kısıtlılık (*constraint*) kavramı ile uygulanmaktadır. Kısıtlılık, bir nesne veya nesneler grubunun davranışını sınırlandıran bağıntılardır. Çizgilerin paralel veya dik olmaları, bir çizginin bir eğriye teğet olması, dairelerin eş merkezli olmaları, bir boyutun başka bir boyuttan küçük olması veya bir boyutun bir başka boyutun belirli bir katı olma zorunluluğu kısıtlılığa örnek olarak gösterilebilir (Monedero, 2000).

Bu bölümde parametrik tasarımın temeli sayılan parametrik geometri açıklandıktan sonra parametrik modelleme ve yazılımları hakkında bilgi verilip parametrik modellemeyle tasarlanan örnek projelere yer verilecektir.

3.3.1 Parametrik Geometri

Tekin “Mimari Sunumlarda Modern Geometrik Kavramlar (*Modern Geometric Concepts In Architectural Representation*)” adlı bibliyografya derlemesinde parametrik geometriyi, Öklid dışı geometrilere ait bir eşik olarak kabul etmektedir [50]. Bridges’e göre, biçimler parametrik olarak tanımlandığında sabit uzunluklar yerine, ölçüler birbirine bağlı olarak çalıştırılmaktadır. Böylece parametrik olarak tanımlanmış geometrik biçimin, bir bileşenindeki ölçü değiştirildiğinde ona bağlı bulunan diğer birimlerin uzunlukları da bu değişime göre yenilenmektedir (Penz, 1992).

Aish (1992) ise “ilişkisel geometri” kavramını tanımlamıştır. Her ne kadar bu tanım iyi bulunmasa da, parametrik değişkenleri mantık yoluyla ortaya çıkaran bu tanım literatürde geliştirilmiştir. Aish’e göre ilişkisel geometriler, bağımlılık ilişkileriyle şekillenen bir dizi geometrik ve parametrik nesneden oluşmaktadırlar[50].

3.3.2 Parametrik Modelleme

Parametrik modelleme, parametrelere dayalı olarak kurulan ve sonuç biçimin parametrelerin kontrolü altında sürekli değişebildiği modelleme yöntemleridir. Parametrik modellemede tasarımı geometrik olarak sınırlayan kurallar belirlemektedir (Schmal, 2001)

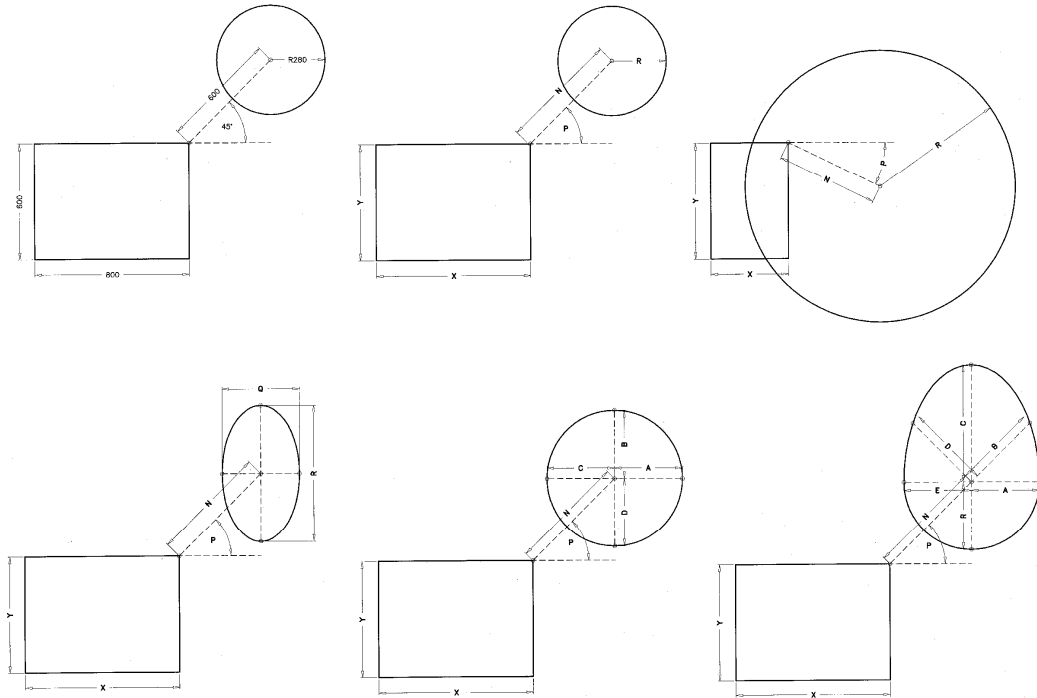
Parametrik modelleme yazılımlarının öncülleri uçak, otomobil, gemi-inşaat mühendisliği ve üretim-tasarım endüstrisi için geliştirilmiştir. Mimaride bu modelleme yöntemiyle karmaşık geometriler düzenli bir rasyonalizasyon (mantığa vurma) sürecine sahip olabilmektedir. Parametrik tanımlama sonrasında yapının genel kurgusu üzerinde hızla değişiklikler yapılabilmektedir. Parametrik model, üretim ve konstrüksiyon ile ilgili ilişkisel ve geometrik bilgileri de kapsayabilmektedir. Dolayısıyla, üretim ile ilgili bilgilerde parametrik model üzerinden gerektiğinde değişen verilerle yeniden hesaplanabilmektedir (Hensel ve Menges, 2008).

Parametrik modellemelerde hesaplamalar, geleneksel tasarım ve yapım süreçlerinde olduğu gibi statik bir geometri kurgusuna sahip değildir. Tasarımcı parametrik modellemede, tanımlanabilen ve değiştirilebilen geometrik bir sistemi geliştirme durumundadır. Parametrik modellemede sistemin ölçülebilir ve geometrik özelliklerinin kurallarının tasarlanmış olması gerekir (Hensel ve Menges, 2008).

Parametrik modelleme topolojik geometriyi temel alır. Çünkü Öklid geometrisi, uzunluk, alan ve hacim gibi kavramalara dayalı, metrik bir uzayda işlerken, topolojik geometri uzayında mesafe, yakınlık ile tanımlanamayan ve sabit kalmayan, dinamik bir uzunluk cinsi ile ifade edilmektedir. Topolojik uzayda objeler, tanımlanan noktaların karakteristik özellikleri değiştirilmeden esnetilebilir ya da objelerin ölçeği değiştirilebilir (Hensel ve Menges, 2006).

Parametrik tasarımda bir modelin temeli noktalardan oluşmaktadır. Öklid geometrisinde noktalar arasındaki ilişki, sabit uzunluklar ve ölçülerle tanımlanırken, parametrik modelleme bir noktanın diğer noktalardan ne kadar uzakta olduğu tanımlanarak kurulur (Hensel ve Menges, 2008).

Parametrik modelde geometrik ilişkiler tanımlanmaktadır. Eski CAD yazılımlarının “Tanımlanmış (*explicit*)” koordinat sistemlerine dayalı geometrisindeki model ile parametrik modelleme yazılımlarının “ilişkisel” geometrisi arasındaki fark, iki çemberin merkez noktalarından bağlanan bir doğrunun dijital çiziminin kavranmasıyla anlaşılabilir. Koordinat sistemlerine dayalı “Tanımlanmış (*explicit*)” geometride, her iki çemberin pozisyonunda değişiklik olursa, bağlanan çizginin silinmesi ve yeniden çizilmesi gerekmektedir. Parametrik modelde ise merkezler ve çizginin arasında öyle bir ilişki kurulur ki, çizgi her iki çemberin her hareketini takip etmektedir. Örneğin çizginin ve çemberin yarıçapının uzunluğu gibi olan diğer ilişkiler öngörülmesi olabilir ya da her iki çemberin kesişmesinin önlenmesi gibi şartlara bağlı ifadelerden sonra ilişki kurulabilir. Önceden tanımlı ve modeli çalıştıran bütün geometrik ilişkiler, parametrik olarak artan tutarlı ifadeler ve kısıtlar yolu ile tanımlanmaktadır (Hensel ve Menges, 2008). Bu örnekten yola çıkarak “Tanımlanmış (*explicit*)” geometride Kartezyen uzayındaki transformasyonların statik(tek/sabit) bir etki, parametrik geometride ise ilişkisel parametrelere dayanan transformasyonların dinamik(birçok/çeşitli) etkiler yarattığı söylenebilir.



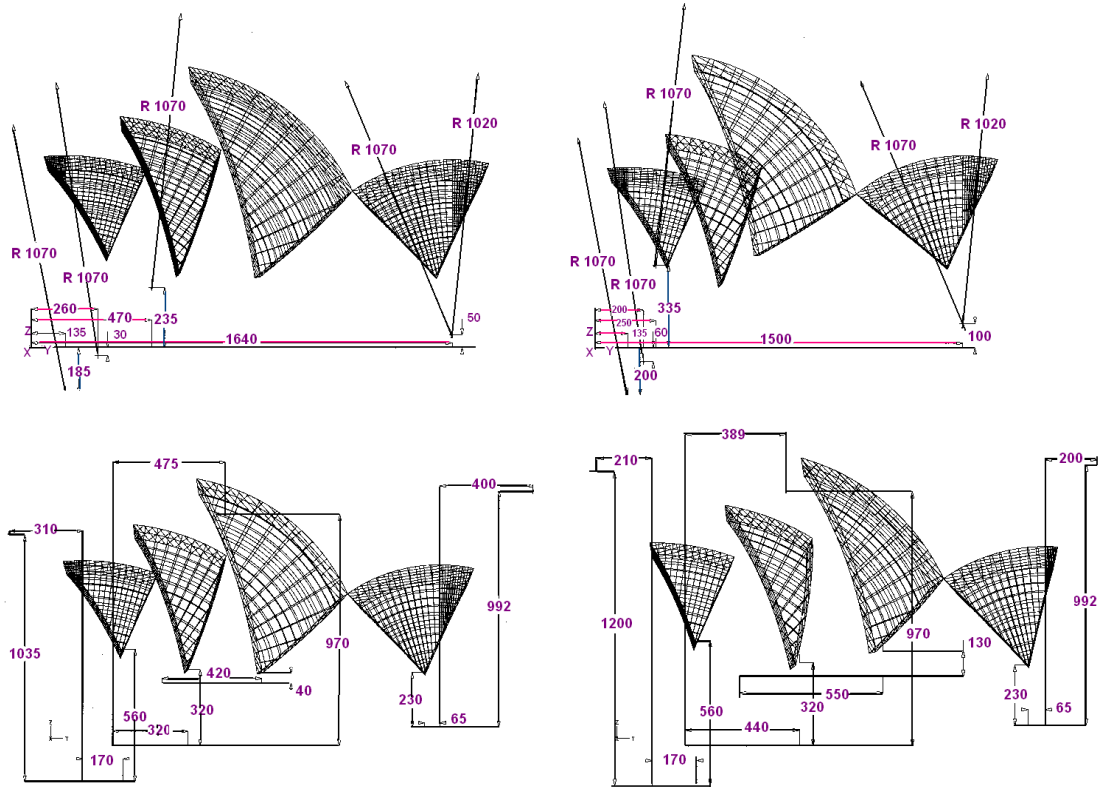
Şekil 3.7 Bir dikdörtgen ile bir çember arasındaki ilişkisel transformasyonları gösteren bir örnek (Burry ve Murray,1997).

Şekil 3.7’de Burry ve Murray’ın “Bilgisayar Destekli Mimari Tasarımın Kullanımı Parametrik Varyasyonlar ve İlişkisel Geometri (*Computer Aided Architectural Design Using Parametric Variation And Associative Geometry*)” adlı makalesinden alınan bir dikdörtgen ile bir çember arasındaki ilişkisel değişimleri (transformasyonları) gösteren bir örnek yer almaktadır.

Mark Burry, parametrik geometriye dayalı tasarım sürecinde sınırların belirlenmesi ve parametrelerin sonuç ürünün biçimini istenilen düzeyde çeşitlendirebilecek nitelikte kurgulanması gerektiğini vurgulamaktadır (Burry ve Murray,1997).

Burry’ye göre (1997) bir yapıyı ya da mekanı parametrik olarak modelleyebilmek için;

- İlk önce *sabitleri ve değişkenleri* tanımlamak gerekmektedir.
- Mekanın ya da yapının belirli sayıda, birbiri ile ilişkili alt sistemlerden oluşan, *düzenli bir geometriye* sahip olması gerekmektedir.
- Mekan veya yapının *hesaplanabilir ilişkilendirmeleri* olmalıdır.

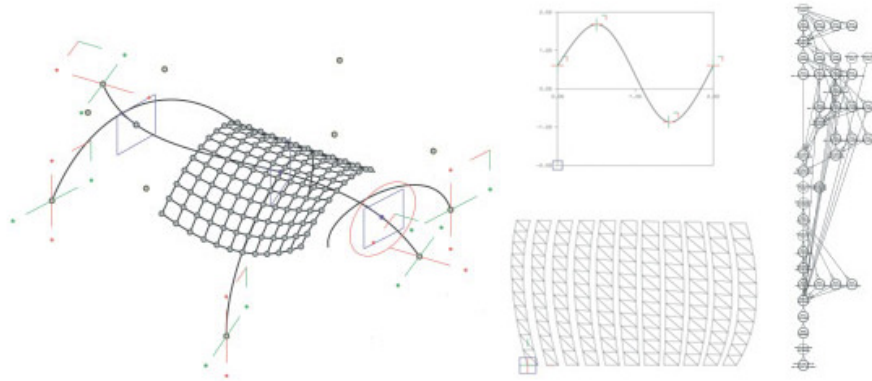


Şekil 3.8 Sydney Opera Evi’nin parametrik modellemesi (Burry ve Murray,1997).

Parametrik modeli oluşturmak başta biraz karmaşık olsa ve zaman alsa da, herhangi bir veri değişiminde tüm modelin değişmesi kolayca mümkün olmaktadır. Bu yenilenme dakikadan daha hızlı, saniyelik bir iştir. Parametrik model, değiştirilebilir ve analiz edilebilir. Parametrik tasarım teknolojileri ile mevcut geometrilerin farklı kullanımları gündeme gelmektedir (Burry ve Murray, 1997).

BDÜ (Bilgisayar Destekli Üretim-CAM-*Computer-aided Manufacturing*) teknolojilerinin kullanımında da geometrik veri ve girdiler (*input*) değiştirilebildiği ve hızlı adaptasyon sağlanabildiği için “parametrik modelleme” yararlı bir araç olmaktadır. *Generative Components* ve *Paracloud* gibi programlar ise parametrik modelleme konusunu gündeme getiren ve mimari modellemeyi parametrik olarak kurmak üzere geliştirilmiş yazılımlardır. Bu programlarla yapının parametrik modeli oluşturulabilmektedir. Yani, üç boyutlu modellerin her bir bileşeni diğer bileşenle ilişkili olarak oluşturulabilmekte ve sayısal değerleri her an değiştirilebilmektedir [13].

3.3.3 Parametrik Modelleme Yazılımları



Şekil 3.9 GC ile tasarlanan bir model; çift eğrili yüzeyin parametrik geometrisinin sembolik modeli ve düz örüntü planı (Hensel ve Menges, 2006).

Generative Components, Bentley firmasının desteğiyle, Robert Aish önderliğinde *Smart Geometry* grubu tarafından geliştirilen parametrik bir CAD yazılımıdır. Kısaca GC olarak adlandırılmaktadır. İlk olarak 2003 yılında tanıtılmış, 2005 yılının başında uygulamalı olarak Londra AA(Architectural Association) okulu tarafından kullanılmış ve 2007 yılında ticari olarak dağıtılmıştır. GC yazılımının kullanıcılarının geleneksel tabanını akademisyenler ve teknolojik alt yapısı gelişmiş tasarım firmaları oluşturmaktadır [2].

Bu yazılım aracılığıyla dinamik modeller üretilebilmekte ve geometri doğrudan manipüle edilebilmektedir. Kuralların uygulanmasıyla modelin elemanları arasındaki dinamik ilişkiler kurulmakta; karmaşık formları ve sistemleri tanımlarken ise algoritmalar kullanılmaktadır. GC yazılımı *Bentley Systems* için DGN, *AutoDesk* için DWG, *Rhino* için STL(*Stereo Lithography*) gibi birçok endüstriyel standardın girdi ve çıktı dosyalarını içermektedir. Dolayısıyla *Building Information Modeling* sistemi ile uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. GC tarafından BIM modellerini oluşturmak ve yönetmek için veriler türetilmekte ve bu şekilde ortak bir iş akışının oluşması sağlanabilmektedir [63].

Bentley'in araştırma direktörü olan Robert Aish'e göre, geleneksel CAD yazılımındaki mimari kütüphaneler "pencere, kapı, duvar" gibi basitleştirilmiş ve hesaplanabilir elemanlar ile sınırlıydı. Tasarımcılar CAD yazılımındaki mimarinin bu çok sınırlı formunu geliştirmek yerine daha genel, kalıplaşmış geometrileri kullanarak ya da geleneksel bileşenlere ve yapılandırmalara dayalı mimarilere yönelmişlerdir. Bu yaklaşım tasarım adına olumsuz sonuçlar doğurmuştur (Hensel ve Menges, 2006). Bu nedenle Robert Aish araştırmaları sırasında, gelecek nesil CAD yazılımı olan *Generative Components*'i geliştirmiş ve özelliklerini kilit kavramlarıyla birlikte şu şekilde açıklamıştır:

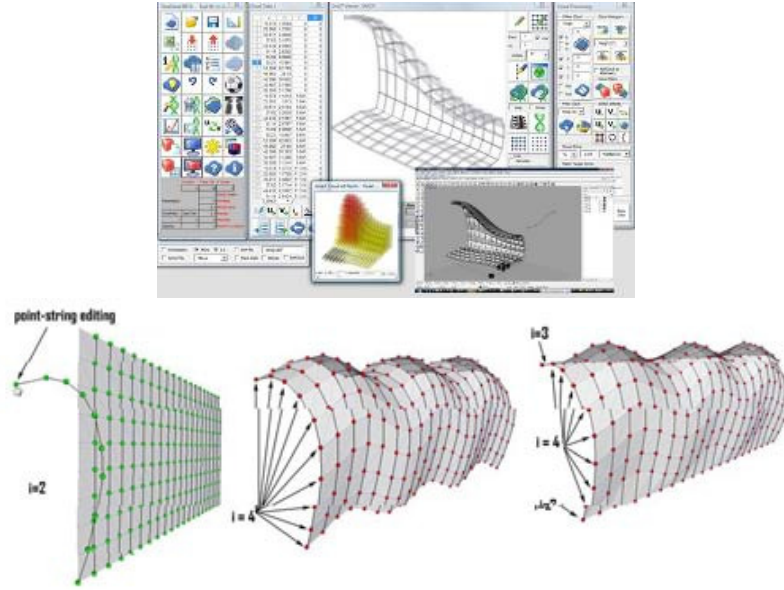
"*Generative Components*; tasarım teorisi ile hesaplanabilir teori arasında uyum gösteren, "nesneye yönelik, niteliğe dayalı" bir modelleme sistemi ve geliştirme ortamı olarak açıklanabilir. GC teknolojisini aşağıdaki sekiz temel kavramı esas olarak alır:

- 1) Ortaya Çıkarım (*Implication*)
- 2) Şartlı modelleme (*Conditional modelling*)
- 3) Uzatılabilirlik (*Extensibility*)
- 4) Bileşenler (*Components*)
- 5) Çoğaltma (*Replication*)
- 6) Programlı tasarım (*Programmatic design*)
- 7) Çoklu temsiller (*Multiple representations*)
- 8) Tasarımın işlemsel modeli (*Transactional model of design*)" (Hensel ve Menges, 2006).

"Ortaya çıkarım" becerisi geometrik fikirleri algoritmik olarak tanımlamakta ve otomatik değişim üretimi yoluyla yeni ürünler ortaya çıkarmaktadır. Betiklerin (*script*) şartlara dayalı (Şartlı modelleme yeteneği) kodlamaları uygulamalarda geometrik tasarımların yapılandırma değişikliklerine ve alternatif üretmesine yardımcı olmaktadır. Oluşturulan parametrik

modellerin bileşenleri “Uzatılabilirlik” özelliği ile orijinal model yeniden kullanılabilir ya da dönüştürülebilir. Dijital bileşen setleri “Çoğaltma” özelliğiyle varyasyonlarına türetilir. Çoklu temsiller aracılığıyla kullanıcının aynı anda farklı, tamamlayıcı, bağlantılı temsillerle çalışabilmektedir. Bu temsillerin düzenlenebilir, yeniden çalıştırılabilir bir tasarım geçmişi vardır (Hensel ve Menges, 2006).

ParaCloud da parametrik modelleme yazılımlarına örnektir. Yazılımının orijinal ağlara (mesh) dayalı ayarları, ağları değiştirmek için kullanılan kontrol araçları, bileşenleri kontrol etme ve katmanlara çevirme, örüntüler türetme gibi özellikleri vardır. Program, CAD Rhino, Bentley MicroStation V8/XM yazılımlarıyla ve BIM gibi bina bilgi modellemesi sistemleriyle uyumlu çalışmaktadır. Çıktılar DXF ve Maya MEL formatındadır. Ayrıca Excel dosyalarını parametrik modellere dönüştürülebilir ya da üretim aşamasında parametrik modellerin Excel olarak dökümü alınabilmektedir [64].



Şekil 3.10 ParaCloud yazılımı ile tasarlanan örnekler [65-66].

ParaCloud içindeki “*Smart Cloud of Points* (SmCP-Noktalardan oluşan akıllı bulut kümeleri)” araçları türetici nokta bulutlarına dayanan yeni bir parametrik modelleme ortamı sağlamaktadır. Nokta kümelerinin her koordinatının ilişkiler ağı için eklenen ve “i” ile tanımlanan 4. bir değeri vardır [66]. Böylece SMCP aracılığıyla nokta bulutu modeli için dördüncü bir boyut önerilmektedir. Önerilen model $[(x, y, z) * i]$ olarak tanımlanmaktadır. Bu ileri boyut türetici algoritmaları sayısal bir noktalar kümesi olarak temsil etmekte ve nokta bulutu modelinin yenilenmesi ve değiştirilebilmesi için parametrik bir arayüz sağlamaktadır [71].

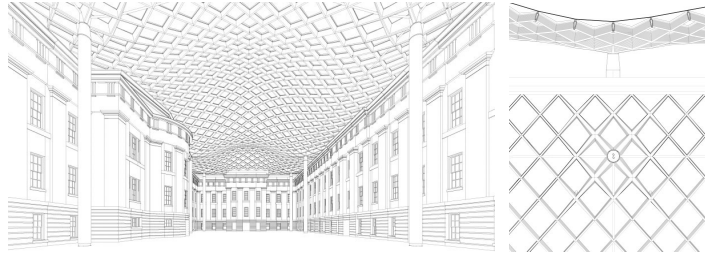
Nokta bulutunun üretilme süreci GDNA (Geometrik DNA) denilen ikinci bir katman matrisiyle oluşturulmaktadır. Nokta koordinatları modelin yenilenmesini ve farklı geometrilere dayalı çeşitli tasarım alternatiflerinin oluşturulmasını sağlamaktadır [71].

Parametrik modelleme yazılımlarının işleyişini daha iyi açıklayabilmek için *Generative Components* ve *ParaCloud* programıyla üretilen örnek projeleri ele almak yardımcı olacaktır.

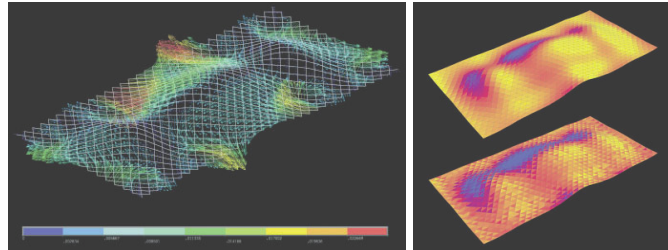
3.3.3.1 Parametrik Modelleme Yazılımları ile Tasarlanan Örnek Projeler

Smithsonian Enstitüsü Avlu Kapatma Projesi

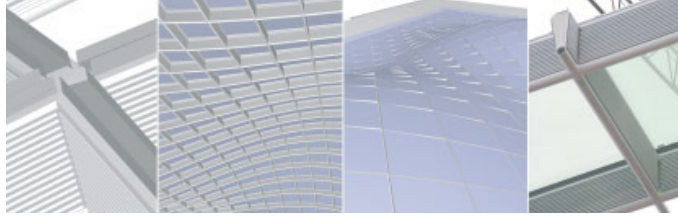
Foster ve ortakları 2004 yılında Washington'daki Smithsonian Enstitüsü'nün ofis binası avlusu için parametrik modelleme yoluyla yeni bir çatı örtüsü tasarlamıştır. Projenin tasarım sürecinin başından itibaren uzman modelleme grubu SMG (*Specialist Modelling Group*) modelleme teknikleri üzerine proje ekibine tavsiyelerde bulunmuş, yeni dijital araçlar geliştirmiş ve karmaşık geometrik konuları çözmeye yardımcı olmuştur (Hensel ve Menges, 2006). Parametrik modelleme yazılımlarının betik (*script*) ara yüzü kullanılarak belirlenen parametrelerle çatı bileşenlerinin detaylı alternatifleri oluşturulmuştur. Çatıya ait komut dosyası, örtünün her bileşeni yerel koşullara adapte olabilecek ve performans değerlendirmeleri aracılığıyla çevrelerine yanıt verebilecek şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.11 Avlu örtüsü iç mekan çalışması; çatı kirişleri planı (Hensel ve Menges,2006).



Şekil 3.12 Yatay yükler altındaki sapmaların strüktürel analizleri; çatı panelleri üzerinde ortalama günlük yalıtım ve gölgeleme analizleri (Hensel ve Menges, 2006).



Şekil 3.13 Çatı strüktürünün dijital detayları, (Hensel ve Menges, 2006).

Projede betiklerin (*script*) bir tasarım yaklaşımı olarak kullanılması birçok fayda sağlamıştır: Parametrik modelde çatı geometrisi kiriş kesitini veya panelleşme sisteminin mantığını etkilemeyecek şekilde kısıtları belirlenerek değiştirilmiştir. Böylece çatı geometrisi bazı ön koşulları sağlayacak şekilde serbestleşmiş ve birçok alternatif üreten dinamik bir geometriye dönüşmüştür. Yeni çatı seçenekleri oluşturabilmek için, betik içinde kod'un farklı parçaları eklenebilir, kaldırılabilir ya da düzenlenebilir olarak düşünülmüştür. Betikler (*script*) üzerinden değişiklikler yapıldığı zaman, yeni bir dijital model hızla üretilebilmektedir. Bu projede bilgisayar desteğiyle parametrik bir model, çatı sisteminin değerleri ve ilişkileri üzerinde çok hassas kontroller sağlamıştır. Tasarım geçmişi, üretken bir komut dosyasının bir kopyası olarak kaydedildiği için, model tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar üretebilmiştir (Hensel ve Menges, 2006).

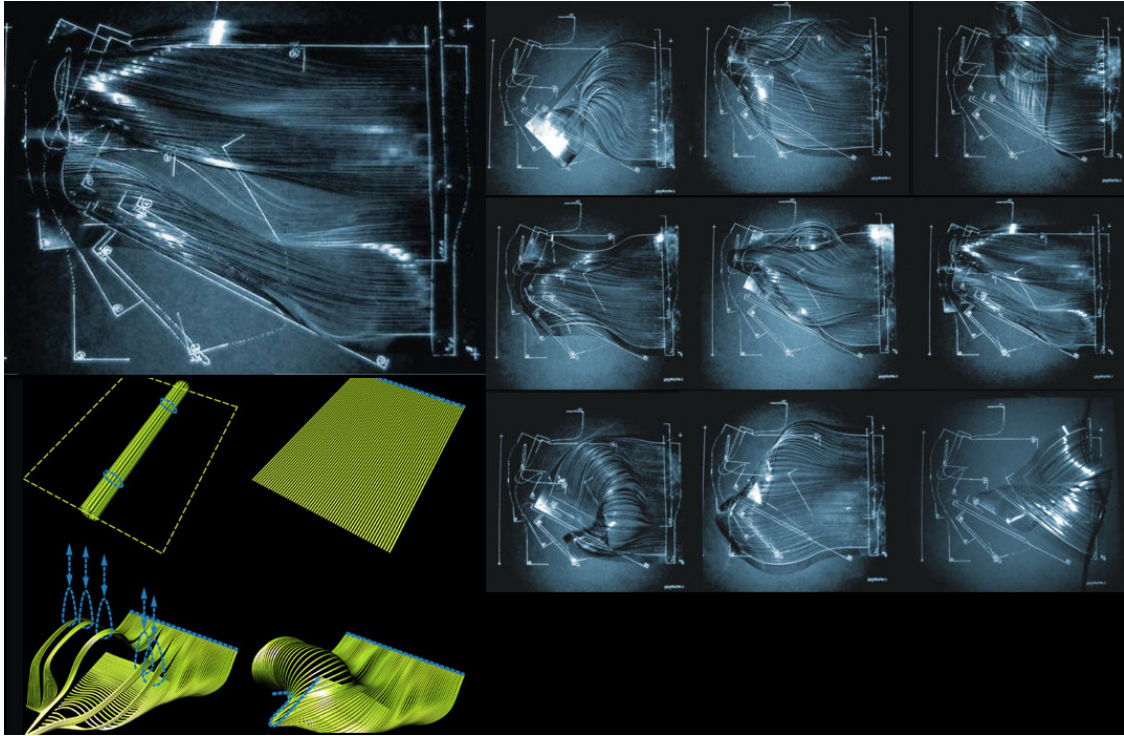
F-U-R Ephemeral Matter projesi

F-U-R* yaptığı araştırmalarla teknolojiyi, mühendisliği ve tasarımı birbirine bağlamaktadır. Fiziksel modeller bilgisayar simülasyonları aracılığıyla endüstri ve strüktür mühendislerini tasarım sürecine dâhil etmektedir. F-U-R projelerinde disiplinler arası bir yaklaşımla çalışmayı amaçlamaktadır [57].

EphemeralMATTER projesi F-U-R grubu tarafından 2004 yılı "Ephimeral (kısa ömürlü) structures in the City of Athens" yarışmasında Atina Olimpiyatları'nda yapılacak olan bir sergi pavyonu için tasarlanmıştır. Pavyon tasarımında mekansal olarak sınırlı ve çeşitli koşullara sahip sergi programı uyarlanmaya çalışılmıştır. Projenin amacı çeşitli karakteristik çevresel verilere uyumlu çözümlerin geliştirilebilmesidir. Strüktür topografya ve performansa göre şekil almaktadır [35].

* F-U-R çeşitli araştırma projelerinde uzun vadeli bir işbirliği sonrasında Mirco Becker ve Oliver Tessmann tarafından 2002'de İngiltere ve Almanya'da kurulmuştur. F-U-R uluslararası alanda faaliyet göstermektedir [71]

Giriş bölümü için, dört kontrol noktası etrafında kendiliğinden biçim değiştirebilen iki boyutlu membran malzemesi önerilmiştir. Membrandaki bu deformasyonlar, çok sayıda üç boyutlu mekansal görünüşü yaratmaktadır. Parametrik modelleme sonucunda oluşturulan dokuz adet morfolojik strüktür dijital araçlarla analiz edilmiştir. Analizlerde kenetlenmiş kirişlerin basınç altında sıkıştırılması sonucunda oluşan deformasyonunun etkisi ve ortaya çıkan geometrik yapılanma araştırılmaktadır. Dijital modelin yanı sıra, dijital modele arka plan sağlayacak 1:1 ölçeğinde prototip model üzerinde uygulanacak performans testi yapılmıştır [35] (Kwang Young, 2007b) (Becker, 2004). Bu örnekte dört parametre etrafında şekillenen parametrik modelden üretilen çeşitli alternatifler dinamik geometri ilişkisini göstermektedir.

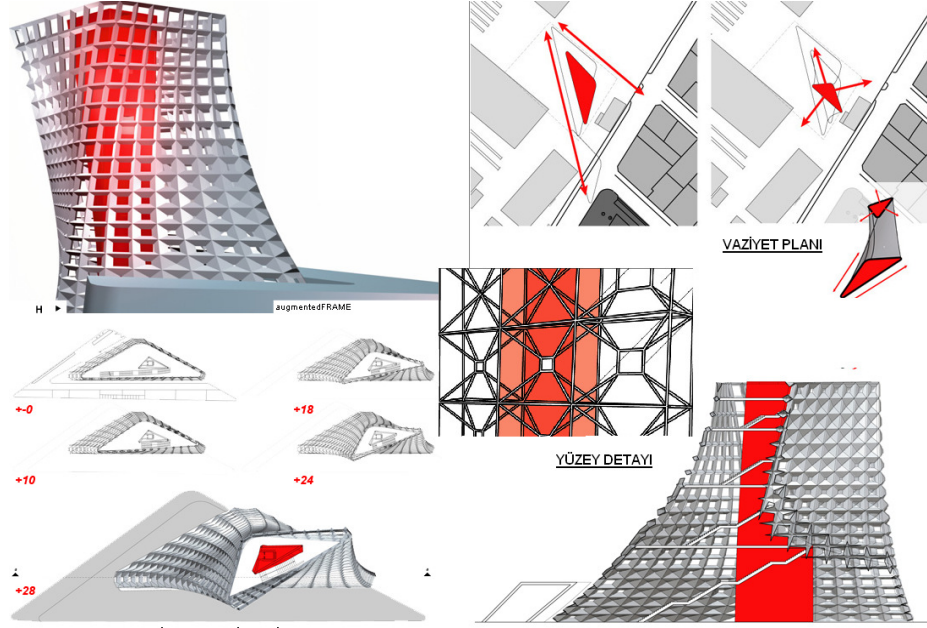


Şekil 3.14 EphemeralMATTER, F-U-R, 2004 [57]

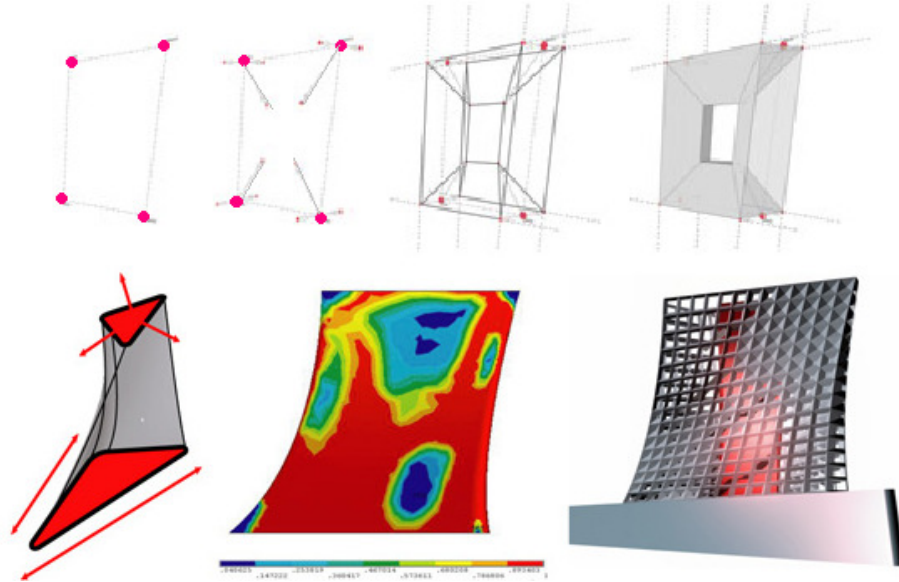
F-U-R Agumented Frame Projesi

AgumentedFRAME projesi 2010 Olimpiyatları Paris'te bir şehir ikonu yarışması için tasarlanmış, 2005 yılında Rotterdam'daki AEC konferansında sergilenmiştir. Projede mühendislerin ve mimarların işbirliğiyle mimari araçlarda strüktürel analizlerin potansiyelleri araştırılmıştır. Parametrik bileşenler mimari yüzeylerdeki bölgesel gerilimleri okumaya cevap vermektedir. Parametreleri etkileyen betikler (*script*) NURBS yüzeylerini parametrik

uzaydaki çeşitli morfolojik çerçevelere dönüştürmektedir. Ayrıca bu betikler çelik çubukların uzunluğunu, düğüm noktalarının ve metal levhaların boyutlarını ayarlamaktadır. Her çerçeve modülü CAD-CAM üretiminde kullanılabilecek şekilde düşünülmüştür [57] (Kwang Young, 2007b).



Şekil 3.15 AgumentedFRAME projesinin plan, kesit ve detayları [57].



Şekil 3.16 AgumentedFRAME projesine ait strüktürel analizler [57].

DRL Pavyonu, 2007

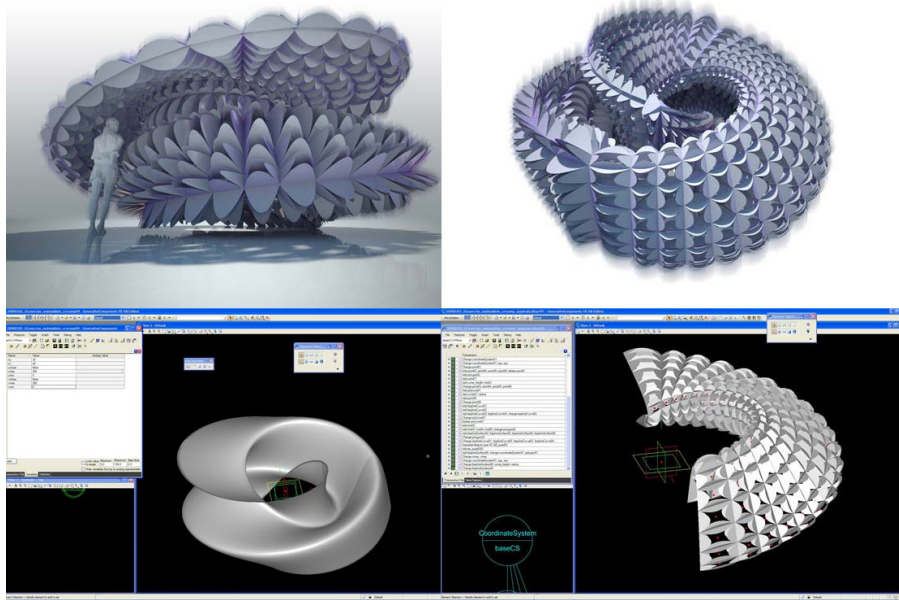
Elif Erdine Baskın bu önerisinde, AA Tasarım Araştırma Laboratuvarı'nın 10 yıllık tasarım düşüncesinin (*design thinking*) yeni formlarını gerçek, somut bir yapı içinde yakalamayı amaçlamaktadır. Pavyon iç ve dış arasındaki farkın net olmadığı *Non -orientable Manifold* topolojisi biçimindedir. Pavyonun biçimi, Klein şişesi ve Mobius bandı olmak üzere iki Non-orientable Manifold'un matematiksel özelliklerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Yapı geometrisini bileşenleriyle birlikte türetmek için *Paracloud* yazılımı kullanılmıştır. Baskın 2008 yılında bu çalışmasını GC yazılımıyla geliştirmeye çalışmıştır [72].



Şekil 3.17 Elif Erdine Baskın'ın ParaCloud yazılımıyla ürettiği parametrik modellemeler

AADRL.TEN Pavyonu, 2008

Baskın'ın katıldığı Münih'teki 2008 yılı SmartGeometry atölyesi çevre, üretim, form, hesaplama (*computation*) ve mimarlık olmak üzere 5 farklı alandan oluşuyordu. Hesaplama grubunun bir üyesi olan Elif Erdine Baskın, GC yazılımıyla matematiksel olarak tanımlanmış formların betiklerini yazmayı ve onları manipüle etme yollarını araştırmıştır [72].



Şekil 3.18 Elif Erdine Baskın'ın GC yazılımıyla ürettiği parametrik modellemeler

YME'nin AADRL.TEN Pavyonu için geliştirilen bu öneride Baskın'ın amacı, GC yazılımıyla esas alınan “Möbius-Klein Nonmanifold” geometrisini parametrik olarak derinlikleri ve açıklıkları değişebilen bileşenleriyle birlikte tanımlamaktır. GC betiğinde, herhangi bir geometriyi açık bir formülle tanımlamak mümkündür. Betikte yüzeyin x , y , z koordinatlarının parametreleri tanımlanabilir. GC betiğinde alt-tanım kümesi için eklenen değişkenler değiştirilerek yüzeyin herhangi bir bölümünü görselleştirmek mümkün olmaktadır. Möbius Klein Nonmanifold'un dört alt tanım kümesini oluşturmak için farklı derinlik ve açıklıklardaki dört tip temel bileşen UV koordinatlarına ayrılmıştır. Baskın daha sonraki çalışmasında modelin yüzeyindeki farklı yoğunlukların koordinatlarının haritasını çıkarmayı hedeflemektedir. Ancak UV koordinatları yüzeydeki topolojik dönüşümleri vurgulamak için bazen yeterli olmamaktadır. Baskın, çok eğri yüzey alanlarının yoğun koordinatlarını ve daha az eğri olan bölgelerdeki daha az yoğun koordinatların haritasını çıkarmanın üretim aşamasında kolaylıklar sağlayacağı düşüncesindedir [72].

4. ÜRETKEN GEOMETRİK SİSTEMLER ve MİMARLIK

Doğadaki canlı ve cansız varlıkların yapılarındaki kuralların taklit edilmesi (Biomimesis*) ya da soyutlanması ile geliştirilen çeşitli hesaplama teknikleri mimari tasarımlarda üretici ve dinamik sonuçlar getirmiştir. Tezde ‘üretken geometrik sistemler’ adı verilen, Fraktal ve Voronoi gibi geometri setlerini içeren hesaplama tekniklerinin mimari tasarımlarda uygulanmasını özellikle bilgisayar desteği ve parametrik yazılımlar kolaylaştırmıştır.

Bu bölümde öncelikle üretken geometrik sistemlerin mimariye adaptasyonunu kavrayabilmek için 20.yy.dan sonra mimari tasarımdaki biyoloji ve geometri ilişkisi açıklanacak, daha sonra üretken geometrik sistemlerden Voronoi ve Fraktal geometrileri ve bu üretken geometrik sistemlerin tasarım yöntemi olarak kullanıldığı örnek projeler üzerinde durulacaktır.

4.1 20.yy.dan sonra Mimari Tasarımda Biyoloji ve Geometri İlişkisi

Vitruvius’tan bu yana mimarlıkta, doğadaki farklı imajlarla farklı şekillerde ilgilenilmiş, değişik ilişkiler kurulmuştur. 19.yy.dan itibaren, biyolojinin bir bilim dalı olarak ortaya çıkması ve doğaya dair bilimsel açıklamalarının gelişmesiyle, mimarlığın daha öncesinde doğayı taklit etme şeklindeki ilgisi, doğayı açıklayan kanunlara ve bilimsel açıklamalara yönelik değişmiştir (İnceköse, 2008).

D’Arcy Wentworth Thompson 1917 yılında, morfoloji üzerine yaptığı çalışmalarını yayınladığı “*On Growth and Form*” adlı kitabıyla bitki ve hayvan formlarının temel matematik açısından anlaşılır olabileceğini savunan ilk araştırmacılardan biri olmuştur. Kitap, doğal geometrilerin büyüme ve fiziksel süreçlerinin dinamikleri içinde araştırılması adına bir klasik olmuştur. D’Arcy Thompson, organizmaların boyutlarını ve gelişimini yöneten yasaları, örneğin karmaşık geometrik örüntüleri içeren hücrelerin ve dokuların statiklerini ve dinamiklerini sorgulamıştır. Thompson’a göre form, çevresindeki güçlerin bir diyagramıdır. Yapılar da çevrelerindeki fiziksel ve kültürel güçlerle ilişkili olma zorunluluğunu taşımaktadır (Beesley ve Bonnemaïson, 2008). Sonraki yıllarda Thompson’un bu tasarım yaklaşımından etkilenen mimarlar bilgisayar desteğiyle hesaplanan Fraktal ve Voronoi gibi üretken

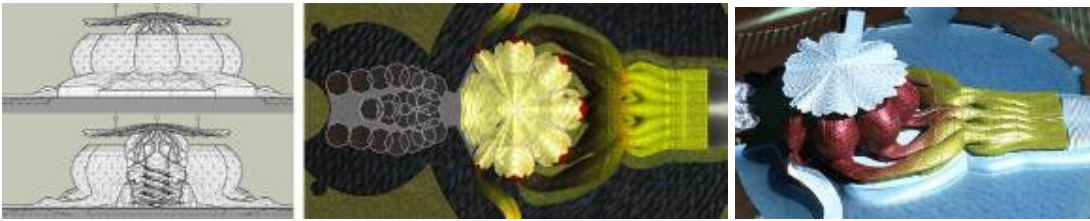
* Canlı ve cansız varlıkların taklit edilerek yeni tasarımlara esin kaynağı olması kavramı, yani “Biomimesis”, 20.yüzyılın sonunda literatüre girmiş, doğadan esinlenme/öğrenme/uyarlama ve/veya uygulama biçimlerinin neler olabileceği ve farklı bilgi/teknoloji alanlarında nasıl kullanılabileceği sistematik olarak tartışılmaya başlanmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2006).

geometrik sistemleri kullanmışlardır. Yapıları birer canlı gibi yaşatmaya ve çevresel performanslarıyla birlikte değerlendirip tasarlamaya çalışan “Beliren (*Emergent*)” mimari de Thompson’un tasarım yaklaşımının uygulanmaya başlandığı örnekler arasında gösterilebilir.

Fraktal geometrisi 1970’li yıllarda Mandelbrot’un doğadan esinlenerek geliştirdiği ve evrendeki her şeyin Öklid geometrisiyle açıklanamayacağını savunmasıyla birlikte önerdiği üretken bir geometrik düzendir. Mandelbrot önerdiği bu geometrik düzenle bilgisayar destekli tasarım alanındaki birçok çalışmanın temelini hazırlamıştır (Akipek,2004). 1990’lardan sonra ise biomorfik biçimler, genetik ve evrimsel algoritmalar gibi doğa bilimsel bilgilerin gündeme gelmesiyle yeni bir mimari dil oluşturulmakta; doğadaki yaşam modelleri bilgisayar destekli tasarımın konusu olmaya başlamaktadır (Schmal, 2001).

Bilgisayar teknolojisinin gelişmeye başlamasıyla doğayla ilişkili biyolojik formların tasarlanması kolaylaşmıştır. Başlangıçta hayvan figürleri ya da bitkiler birer simge olarak taklit edilmiş ya da yapı ile figür arasında analogik bağlar kurulmuştur. Biyoloji bilimi ile teknolojinin getirdiği yeniliklerin bir araya gelmesi, doğadan alınan referansların işlevsel olarak strüktürel ya da dinamik ölçüde kullanılmasını sağlamıştır (Aldersey, 2003).

Greg Lynn, bilgisayar teknolojilerinin desteği ile birlikte yürüttüğü tasarımlarda organik mimarlığı takip etmiştir. Lynn’in tasarımlarına ilişkin açıklamalarında çeşitli doğal metaforlara (yaprak, ağaç, çiçek gibi) yer verdiği görülmektedir. *Ark of the World Museum* projesinde doğadaki organizmaların formunu model almıştır. Bir bitkiyi andıran bu yapının bileşenleri, tıpkı bir canlının organları gibi belirli görevleri yerine getiren ve birbirleriyle ilişkili parçalardır (Rosa, 2003).



Şekil 4.1 Greg Lynn, Ark of the Worl Museum [26].

Mimar-mühendis Santiago Calatrava’nın tasarımlarında da doğadaki formları strüktürel olarak aynen uyguladığı görülmektedir. Calatrava tasarım felsefesinde doğadan esinlendiğini açıkça dile getirmiştir. Mimarlığı anlamak için geometrinin dilini anlamanın, strüktürün dilini anlamak kadar önemli olduğuna inandığını belirtmiş ve her ikisinin de malzemenin özellikleri ve doğanın yapılaşmalarıyla birlikte onun için esin kaynağı olduğunu söylemiştir (Tzonis, 2004; Zardini, 1996).



Şekil 4.2 BCE Place, Toronto, 1987, Santiago Calatrava [27-28].

Calatrava'nın yapılarından Toronto'daki BCE Kompleksi'nin tonozunu taşıyan içe doğru eğimli sekiz adet çelik kolon, kaburga kemiklerinden oluşmuş bir iskelete benzetilmektedir. Benzer etkiler Calatrava'nın Lizbon Oriente İstasyonunda da görülmektedir (Özkanlar, 2008).



Şekil 4.3 Gare do Oriente, Lizbon, Santiago Calatrava [30].

Calatrava'nın eskizlerinde ve pek çok bina ve köprü tasarımında Gaudi gibi hayvan şekillerinden ve iskelet sistemlerinden yola çıktığını ve yapılarında benzeşim ve analizleri de sıklıkla kullandığı görülmektedir (Tzonis, 1999; Jodidio, 1998). Ancak onun tasarımlarında benimsenen “doğadan bilinçli öğrenme” arayışının sonuçları olan ve “alışılmışın dışında” diye tanımlanabilecek form ve strüktürlerin “süreci” yeterince yansıtamadığı ileri sürülmüştür. Calatrava'nın birçok tasarımında doğa ile etkileşimi “form arayışı” düzeyinde kalmıştır (Zardini, 1996).

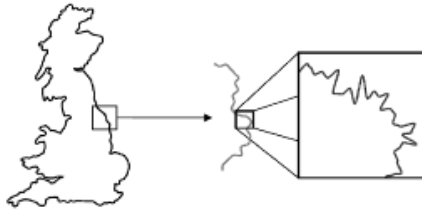
Greg Lynn'in tasarım yaklaşımının temelinde ise "dinamizm" kavramı vardır. Lynn, mimari tasarımın "zaman", "hareket" ve "dönüşüm" kavramları ile ilişkisini sorgulayarak yeni bir tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Bu ilişkilerin analizleri matematik, fizik ve biyoloji bilimleri ile de ilgilenmeyi gerektirmiştir.

Lynn'in mimari tasarım yaklaşımını ortaya koyduğu *Animate Form* (Canlanan Biçim) adlı çalışmasında organik form, organik süreçler, evrim, mutasyon ve canlılar ile ilgili çağdaş teorilerin, mimari tasarıma uyarlanabileceğinden bahsetmektedir. Organik bir form ile mimari bir formun oluşum süreci arasında çeşitli ilişkiler kurarak mimari formun oluşum sürecini kontrol etmeyi amaçlamıştır. Lynn tasarım sürecini, doğal ve dinamik organizmalarla ilişkiler kuran bir form oluşturma süreci olarak görmektedir. Mimari tasarım sürecinde hareket anlayışının bilimsel bazı modeller aracılığı ile bilgisayar ortamında nasıl üretilebileceğini araştırarak mimaride dinamik geometriyi gündeme getirmiştir (Lynn,1999).

Bilgisayar destekli tasarımdan sonra doğadaki örüntülerin analiz edilmesiyle geliştirilen Fraktal ve Voronoi gibi üretken geometrik sistemlerin mimari tasarımlara uyarlanması mimaride geometri ile biyolojinin etkileşime girdiğini göstermiştir. Üretken geometrik sistemler Fraktal ve Voronoi geometrisi olmak üzere iki alt başlıkta ele alınacaktır.

4.2 Fraktal Geometri

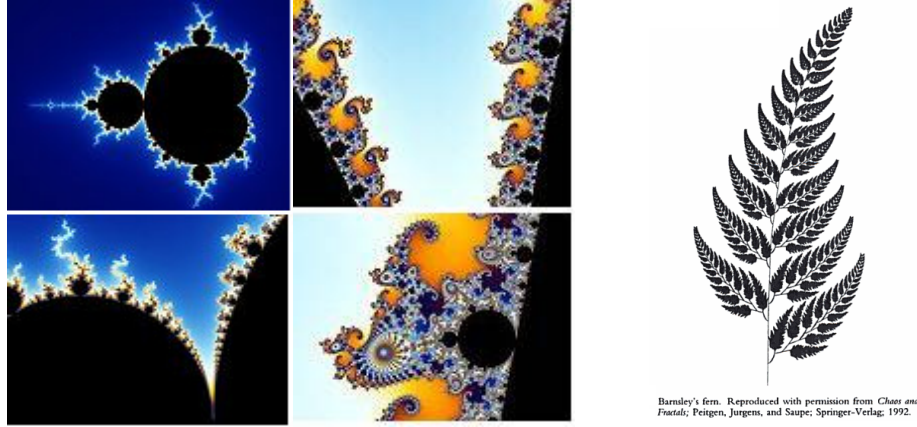
Fraktal kavramı ilk defa Benoit Mandelbrot tarafından 80'li yıllarda kullanılmıştır. Mandelbrot "*fraktal*" terimini Latince bir fiil olan "*fractus*"tan almıştır. Bu kavram, "düzensiz" ya da "düzensiz parçalar yaratmak" anlamına da gelen *frangere* kökünden gelmektedir. Fraktallere sahip bir yapının 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).



Şekil 4.4 Britanya kıyıları [29].

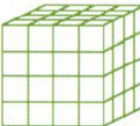
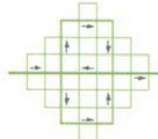
Fraktal geometri ile ilgili araştırmalarına Britanya kıyılarının uzunluğunun ne kadar olduğu sorusundan yola çıkarak başlayan Mandelbrot, klasik geometriye ait formların doğal formları tanımlamakta yetkin olmadığını fark etmiştir. "Bulutlar küre, dağlar koni, kıyılar daire değildir. Şimşek düz bir yol izlemez. Doğadaki birçok form ve örüntüler düzensiz ve parçalanmıştır.". Ona göre doğadaki nesneler, bir şeklin tekrarından oluşan karmaşık formlara

sahiptirler. Doğadaki bu karmaşık formlar, Öklid geometrisinin yalın formlarını bozan şekilsiz nesneler olarak görülmüştür. Böylece Mandelbrot, fraktal adını verdiği şekillerden yola çıkarak doğaya ait yeni bir geometri oluşturmuştur. Mandelbrot'un belirttiği gibi, Öklid geometrisi formları, basit ve temel geometrik formları tanımlamakla sınırlı iken, fraktal geometri, doğayı ve doğadan kaynaklanan oluşumları tanımlamakta yetkin bir yöntem ortaya koymuştur (Mandelbrot, 1982).



Şekil 4.5 Mandelbrot kümesinin 4 adımı [32] ve doğadaki fraktal eğreltiotu (Bovill,1996).

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

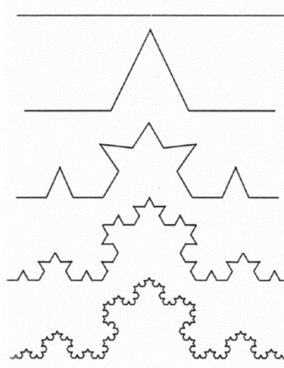
Euclid Geometrisi				Fraktal Geometri				
Geleneksel (>200yıl)				Modern (~20 yıl)				
Karakteristik bir ölçek ve boyut var				Özel bir şekilde ya da ölçekte değil				
Basit objeler için uygulanır				Doğadaki formlara uygulanabilir				
Bir formül ile tanımlanabilir				Çevrimli bir algoritma ile tanımlanabilir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

Şekil 4.6 Öklid geometrisi ve Fraktal geometri [18].

EUCLİDYEN BOYUTLAR		FRAKTAL BOYUTLAR	
• (nokta)	0	---	0.4
—	1		1.4
	2		1.8
	3		2.6

Şekil 4.7 Öklidyen ve Fraktal boyutların karşılaştırılması [32].

Fraktal geometri, doğadaki örneklerden yola çıkılarak insan eliyle ya da bilgisayar desteğiyle de üretilebilmektedir. İnsan eliyle üretilmiş en iyi örneklerden birisi *Koch Eğrisi*'dir. Mandelbrot çalışmalarında 1904 yılında *Koch Curve*'yi keşfeden İsveçli matematikçi Helge von Koch'tan etkilenmiştir. Üreten (*generator*) ve başlangıç biçimi (*initiator*) 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).



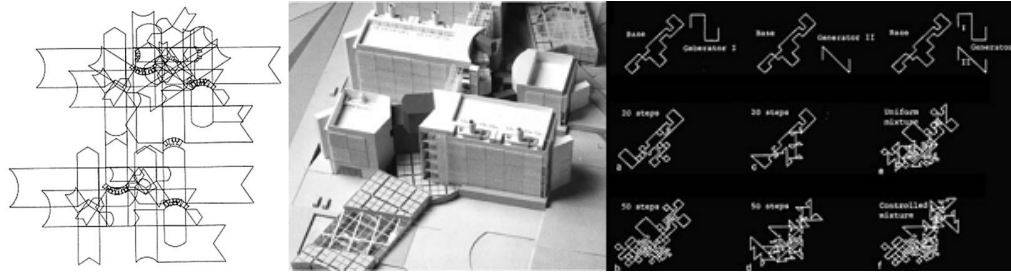
Şekil 4.8 Koch eğrisinin oluşturulması (Bovill, 1996).

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 (Çağdaş, 1994) (Ediz, 2003).

Günümüz mimarisine ait ürünlerin pek çoğu, biçim dili düzenli, yalın ve Öklid geometrisine dayalı olarak tanımlanabilecek geçmişteki örneklerden farklı olarak, karmaşık ve kendine benzerlik kavramları çerçevesinde fraktal özellikler göstermektedir. Öklid dışı formlar da sayısal ortamda tanımlanıp üretilebilmektedir. Fraktal kurguların bilgisayar ortamında algoritmalarla üretilebilmesi, mimari form ve biçim arayışlarında tasarımcıya yardımcı olmaktadır. Jencks'e göre (2002) günümüz mimarlığında Öklid geometrisine dayalı formlar artık daha az görülmekte ve yeni tasarımlar çoğunlukla fraktaller, dalga formları ve evreni oluşturan çeşitli strüktürlerinden oluşmaktadır (Ediz, 2003)(Jencks, 2002).

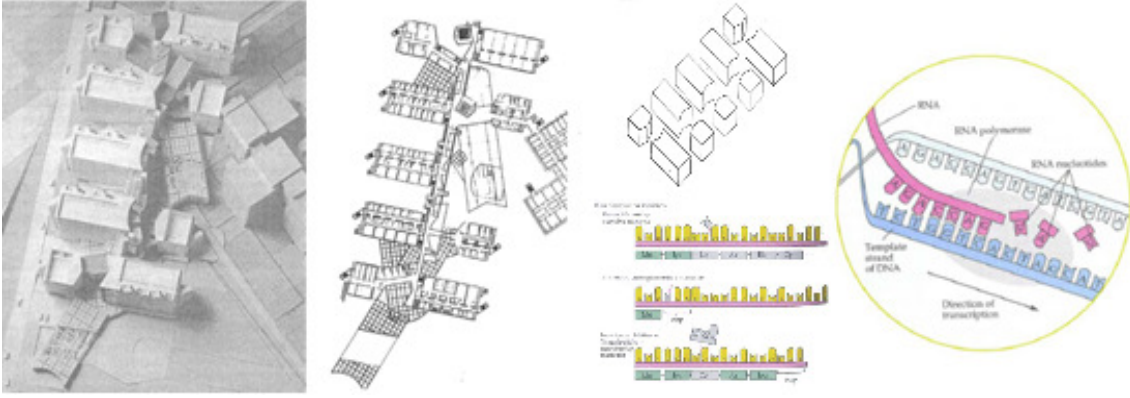
4.2.1 Fraktal Geometriyle Üretilen Örnek Projeler

Fraktal geometriyi mimaride kullanılır bir araç olarak gören ve bu konuda araştırmalar yapan ilk önemli kişiler Chris Yessios ve Peter Eisenman'dır. Peter Eisenman geometrik ayrıştırma, kopyalama ve ölçeklendirme gibi bilgisayar destekli yöntemleri içeren tasarım araştırmaları yapmıştır. Yessios fraktal geometriyi, arabesk süslemeleri ve DNA/RNA biyolojik sürecini fraktal üretici biçimleri olarak kullanmıştır. Böylece birçok üretici biçime aynı temelde bağlı kalan ve birçok adımda çevrime gidebilen (ileri ya da geriye doğru) bir fraktal programı geliştirmiştir (Yessios, 1987). Eisenman ve Yessios'un birlikte çalıştığı *Biocentrum* projesinde bu fraktal programlar kullanılmıştır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



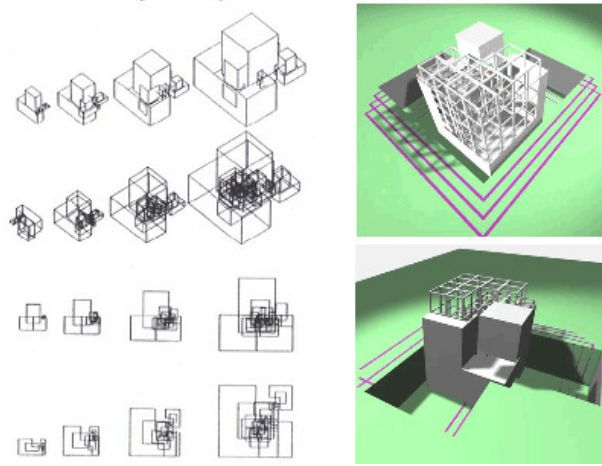
Şekil 4.9 Yessios ve Eisenman'ın Frankfurt Biocentrum projesinin fraktal süreci üzerine yaptığı çalışmalar (Terzidis, 2006) (Rocker, 2008).

Peter Eisenman, 1987 yılında Frankfurt Üniversitesi için tasarladığı biyolojik araştırmalar merkezi (Biocentrum) projesinde DNA ve RNA'ların kurgusundan yola çıkmıştır. Eisenman, bu tasarımda Öklid kaynaklı geometriyi terk ederek biyolojik gelişme sürecine benzerliği nedeniyle fraktal geometriyi temel almıştır. Biyolojik semboller biçim yaratma sürecinde başlangıç koşulları oluşturmaktadır. Başlangıç biçimleri, DNA replikasyonu (çoğaltma) ve fraktal geometri aracılığı ile kontrol edilen bir süreç içerisinde üretilmektedir (Çağdaş, 1994) (İnceköse, 2008).



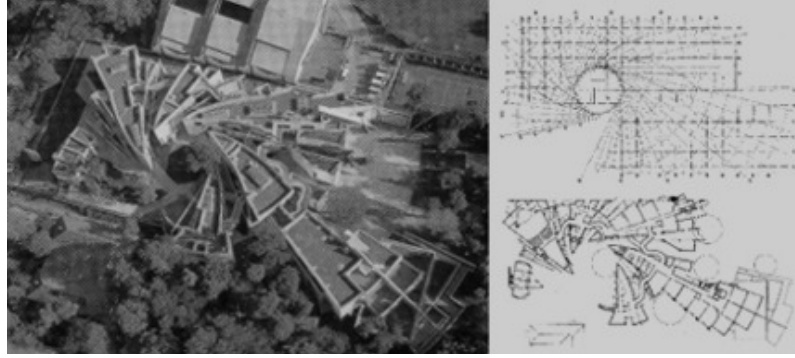
Sekil 4.10 J.W. Goethe Frankfurt Biology Laboratory, Eisenman (Claflen,1991).

Peter Eisenman Dekonstrüktivizm'in etkisinde kaldığı dönemde tasarladığı “Fin d’Out Hou S”adlı projesinde, yine fraktal kurguya dayalı üç boyutlu bir tasarım modeli kullanmıştır. Fraktal algoritma ile üretilen bu kurgu, perspektif, görünüş ve plan gibi mimari ifade tekniklerine olanak vererek izlenebilmektedir (Ediz, 2003) (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Eisenman'ın “Fin d’Out Hou S” evi (Schmitt,1988) ve üç boyutlu modeli [47].

Bir diğer örnek ise Zwi Hecker'in Berlin'de yaptığı okul binasıdır. Yapı geometrik formunu ayçiçeğinden almıştır. Yapının yılan şeklinde koridorları, dağ şeklinde merdivenleri ve balık şeklinde odaları vardır. Dikdörtgensel gridler ve ayçiçeği formu sonucunda yapıda kendine benzer birçok oda oluşmuştur (Şekil 4.12). Karmaşık form ve yapı içinde yön bulmayı sağlamak için yapının parçaları farklı renklere boyanmıştır. Karmaşık bir objeyi basit kurallar veya algoritmalar ile tanımlamak fraktal geometrinin bir başka özelliğidir (Jencks, 1997).



Sekil 4.12 Galinski Okulu /Berlin - Zwi Hecker - (Jencks, 1997).

Hollanda’da 2006 yılında uygulanan “Hessing otomobil sergi salonu ve ses bariyeri” de sayısal ortamın potansiyelinden ve fraktal geometrilerden faydalanılarak tasarlanmıştır. Kas Oosterhuis yapıyı birbirinin aynı olmayan, fakat kendine benzer (self similar) elemanların yan yana gelmesiyle tasarlanmıştır. Yapı Rotterdam-Utrecht otobanı doğa ile dinamik bir şekilde etkileşime girerek, 1,5 km boyunca yer almaktadır. Benzer elemanlar tamamen birbirlerinden farklıdır ve hepsi ayrı ayrı bilgisayar ortamında tasarlanarak üretilmiştir (Ediz, 2007).



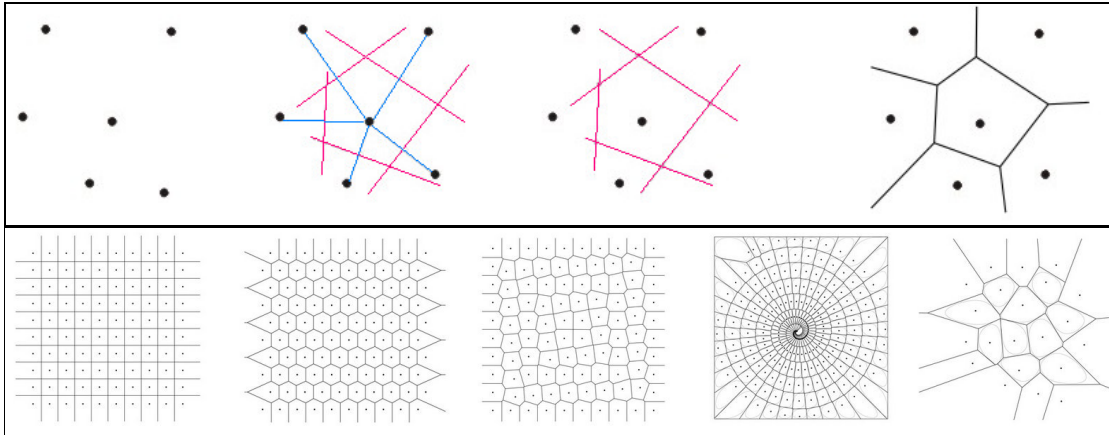
Şekil 4.13 Hessing Showroom ve Ses Bariyeri (*Acoustical Barrier*), Utrecht-Rotterdam otobanı, Kas Oosterhuis, Hollanda [17].

Fraktal geometriyle üretilen bu karmaşık sistemler, algoritmalar ve bilgisayar desteği yardımıyla mimari tasarıma adapte edilebilmektedir. Bu yöntem içinde barındırdığı çeşitlilik olanağı ile geometrinin dinamik kullanımına farklı bir açılım getirmektedir

4.3 Voronoi Diyagramı

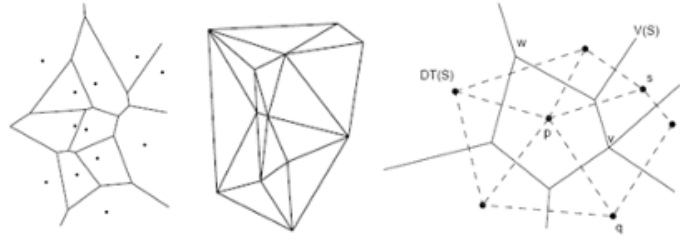
Dijital yöntemlerin mimarlıkta kullanılmasıyla birlikte doğadaki geometriler mimari projelerde kavramsal olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fraktal geometrilerden sonra bu geometrilere başka bir örnek olarak Voronoi diyagramları gösterilebilir.

Voronoi diyagramı literatürde “Dirichlet”, “Thiessen” veya “Wigner-Seitz” diyagramı olarak da anılmaktadır. Voronoi diyagramı ilk kez 1644 yılında Descartes tarafından bulunmuş, 1850 yılında ilk kez Dirichlet tarafından kullanılmış, Rus matematikçi Voronoi ise 1908 yılında diyagramı kullandığı bir algoritma geliştirmiştir. Bir Voronoi diyagramı, nesne veya noktalardan oluşan bir başlangıç kümesini temel alarak, alanları çözümleme veya parçalama yoludur. Voronoi Diyagramları biyoloji, kimya, meteoroloji gibi çeşitli bilimsel alanlarda ve algoritmik geometri, malzeme gibi diğer bilimsel disiplinlerde kullanılmaktadır. [2].



Şekil 4.14 İki boyutlu bir Voronoi hücreni oluşturma yöntemi ve Voronoi diyagramı örnekleri [37].

Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine, o noktanın “Voronoi Çokgeni” denilmektedir. Kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur (Şekil 4.12). Bu diyagram en yakın nokta problemleri için kullanılan kesin bir yapıdır. Bir noktanın Voronoi çokgeni herhangi bir noktayı, kendisine en yakın konumdaki komşu noktalardan ayırmaktadır. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşmakta, her nokta kendisine ait komşu noktalar ile birleştirildiğinde Delaunay üçgenlemesi elde edilmektedir (Yanalak, 1997).



Şekil 4.15 Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi (Allister ve Snoeyink, 2000)[36].

Voronoi diyagramları mimari bağlamda birçok sebepten ötürü faydalı olabilir:

- İki ve üç boyutlu strüktürel özelliklerin her ikisine de uyarlanabilir.
- Yakınlığa veya komşu olmalarına göre alanları bölmek ya da düzenlemek için bir araç olarak kullanılabilirler.
- Birçok doğal oluşumları tanımlayan köpük, sünger veya kemik hücreler gibi formları strüktürel mekânı düzenleyen yeni yöntemlerde ele alarak mimariye şekil verebilirler [37].

Voronoi diyagramını esas alan mimari yapılarda, yapı elemanları boşluk düzenleyici olarak üçüncü boyuta aktarılabilir. Sayısal ortamda mekân ile fonksiyon ilişkileri, insan boyutları, düzlem/hacim tercihleri gibi parametreler göz önünde bulundurularak üçüncü boyutta belirlenen noktalar, yapı iç boşluğunda Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenleşmesinden faydalanılarak birleştirilebilmektedir. Boşluk böylece hücre prensibinde çalışan tek bir yapı taşından örülmektedir. Bu örüntü boşluğun üst düzlemiyle karşılaştığı noktalarda çatı davranışı, yan düzlemleriyle karşılaştığı noktalarda cephe davranışı, iç hacimlerde ise yerleşim için elverişli kütle/ hacim davranışları sergilemektedir. Statik olarak düzlem/uzay kafes mantığında çalışan bu yeni organizasyon modeli, esnek oluşum prensipleri sayesinde boşluğun sergilediği farklı hacim/yüzey ilişkilerine kendini adapte etmekte güçlük çekmemektedir [10].

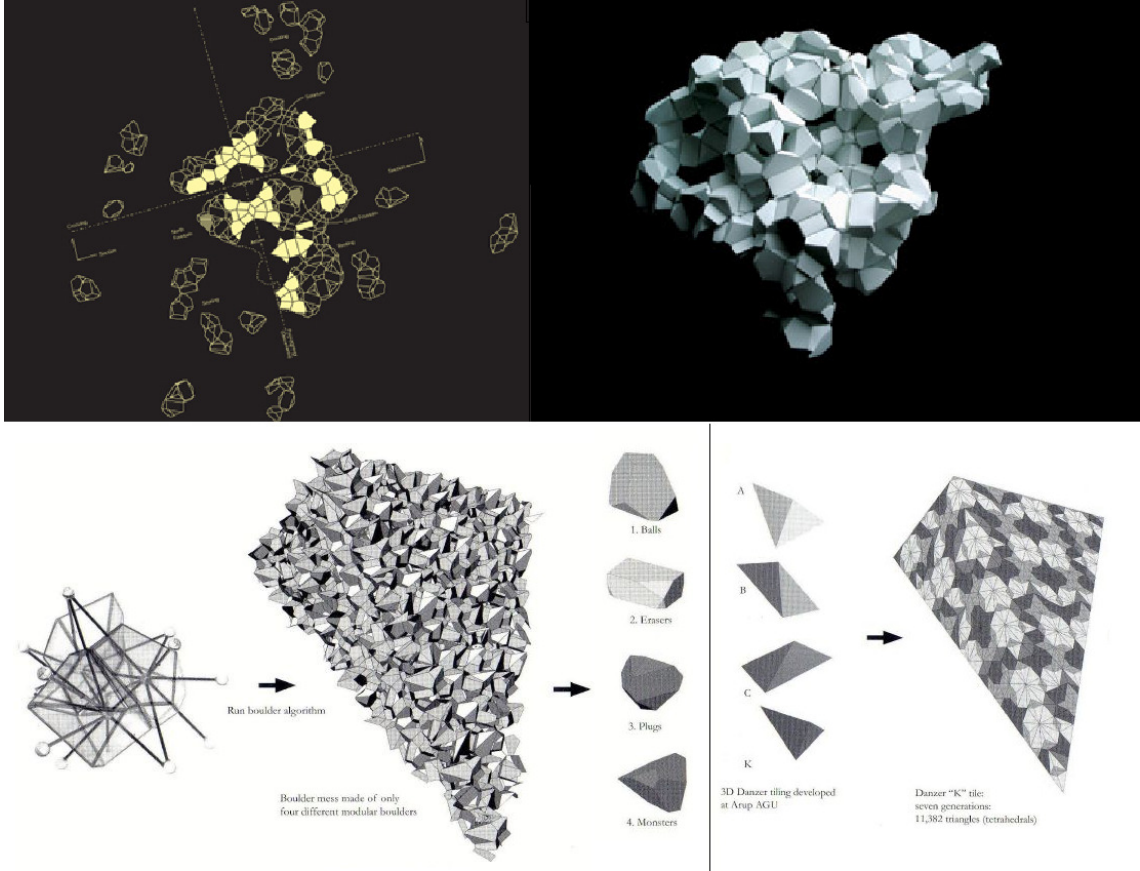


Şekil 4.16 Voronoi hücrelerinin kenarlarına çeşitli algoritmaların uygulanması [37].

4.3.1 Voronoi Diyagramlarıyla Üretilen Örnek Projeler

Bu bölümde Voronoi diyagramları prensibiyle tasarlanan örnek projeler incelenecektir. İlk Voronoi hücrelerinin hesaplama mantığını en iyi açıklayan örnek *The Grotto* projesi, diğeri strüktüriyle ve uygulanan örneklerden biri olmasıyla dikkat çeken *The Water Cube* projesi, ayrıca *Object E-architecture* ve *F-U-R*'un da çalışmalarına yer verilecektir.

4.3.1.1 “The Grotto” Projesi



Şekil 4.17 “The Grotto” projesi (Aranda/Lasch ve Bosia, 2007, s. 7-14)[51].

“The Grotto” projesi, Aranda ve Lasch tarafından hesaplamalı tasarım yoluyla Danzer tekniği ve Voronoi hücrelerinden türetilerek tasarlanmıştır. “Grotto” aslında, bir mağaraya benzetmek için bir bahçede yapılan yapay bir strüktür veya kazı anlamına gelmektedir. Projede bir Grotto’nun yapısal parçasının bir kayacık olmasından yola çıkılarak, kayacıkları birleştiren modüler bir takımın geliştirmesi hedeflenmiştir (Hwang, Sakamoto, 2006).

Arup'un "İleri Geometri Birimi (*AGU-Advanced Geometry Unit*)" tarafından geliştirilmiş Grotto'nun strüktürel çözümü için; dört yapı taşından oluşan bir sete, Danzer kaplama tekniği ile modülerliği transfer eden algoritmaların bir birleşimi uygulanmıştır. Bu hesaplama teknikleriyle asla iki kez aynı yolun tekrarlanmadığı olağanüstü düzenli, üç boyutlu bir biçim (*pattern*) ortaya çıkmıştır. Grotto'nun yapısındaki türetme mantığı hem içeri hem de dışarı doğru büyümeye eğilimlidir (Aranda ve Lasch, 2005).

Bu projede kristalograflar ve mimarlar, boşluksuz denilecek kadar katı bir malzemeyi düzenlemek için modülerlik, simetri ve periyodik özelliklerin bütün olasılıklarını bulmayı görev edinmişlerdir. Kristal bilimi ve onunla ilişkili diğer disiplinlerin ortak çalışmasıyla, nano ölçekte taklit edilebilen geometriler yapı ölçeğine büyütülerek moleküler yapıtaş modelleri geliştirilmiştir (Aranda ve Lasch, 2005).

The Grotto'nun deney aşamasında avlu uygulaması için bir köpük mağarasının inşa edilmesi önerilmiştir. Malzeme olarak kullanılan EPS (Expanded Polistiren- Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük) köpüğünün hafifliği, ucuzluğu ve kesimdeki kolaylığı, ilk maliyet tahminlerinin ve bütçenin altında kalmasını sağlamıştır (Aranda ve Lasch, 2005).

The Grotto projesinde, mimari ve inşaat disiplinlerinin sınırları içinde malzemelerin hangi yapısal kuvvetler ile karşılaştığı, bu kuvvetlere standartlaşarak veya modülerleşerek nasıl katıldığı veya transfer edildiği takip edilmiştir. *The Grotto* projesinde yapılan strüktürel ve mekansal araştırmalarla matematik ve malzeme bilimlerinin mimari deneye olan etkisi keşfedilmiş, özellikle üç boyutlu bir katı yapının kristal bilimi anlayışıyla geliştirilebileceği görülmüştür (Aranda ve Lasch, 2005).

Doğadaki geometrik örüntüleri doğal formlarını basitçe taklit ederek değil, tasarımcı tarafından geliştirilen hesaplama teknikleri aracılığıyla yeni tasarım problemleri olarak analiz etmek gerekir. Aranda ve Lasch'ın yaptığı bu bilgisayar destekli araştırmada, modern bir mekân uyarlamasının üretilmesi için, yeni geometriler türetilmiş ve ileri üretim teknolojileri kullanılmıştır.

4.3.1.2 “The Water Cube” Projesi

Pekin ulusal su sporları merkezi *The Water Cube* projesinin yapı strüktürü de *Voronoi geometrisi* prensibine dayanmaktadır. PTW mimarlık grubu, “Water Cube”^{*} ulusal su sporları merkezinin tasarım konseptinde, su moleküllerinin mimari bir dille birleştirilmesi kavramından yola çıkmıştır.

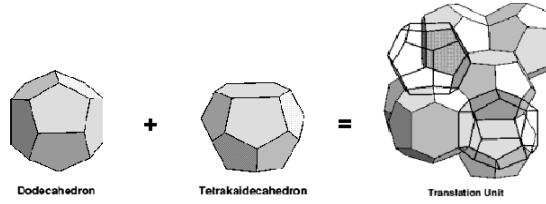


Şekil 4.18 The Water Cube, Beijing, PTW, 2008 [40].

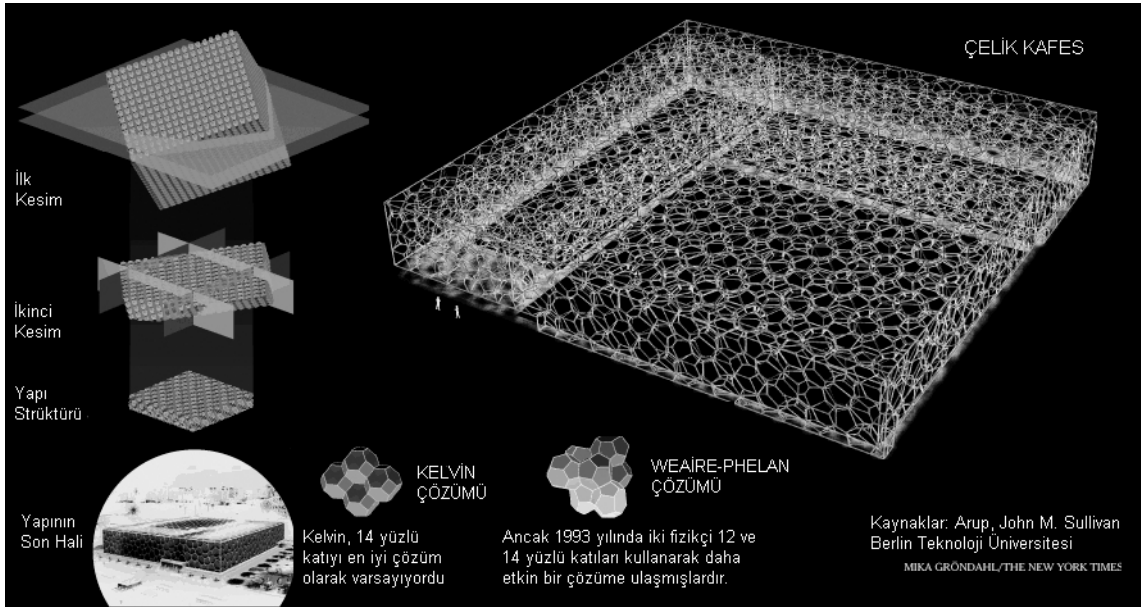
Water Cube yapısının strüktürü su kabarcıklarının geometrisiyle oynanarak kristalize edilmiş masif bir dikdörtgen formdan oluşmaktadır. Tüm yüzeyine baloncuklar yayılmış olan yarı saydam küp H_2O strüktürüne oldukça benzemektedir. Yapının strüktürel tasarımında sabun köpüklerinin tesadüfi ve organik görünümlü doğal oluşumuna ulaşılması amaçlanmıştır. Yapının tasarımında Trinity College’nin fizik profesörleri İrlandalı Weaire ve Phelan’ın “Sürekli bir düzen içinde sabun köpüklerinin şekilleri nasıl olur?” problemine önerdikleri çözümlere ilişkin çalışmalarından yararlanılmıştır. Weaire ve Phelan’ın oluşturdukları strüktür modeline göre organik ve rastlantısal gözüken bir formun ardında çok sıkı ve birbirini tekrar eden matematiksel bir hesabın olduğu gözlenmiştir. Baloncukların birbirlerine her zaman düzenli bir geometride dokunduklarından yola çıkılarak, düzenli kesişme noktaları, düğümleri ve dikmeleri olan bir strüktür sistemi oluşturulmuştur [69].

^{*} Pekin Ulusal Su Sporları Merkezi “Su Küpü” olarak da bilinir. Açılan uluslararası yarışma sonucu uygulanan “Water Cube” ($[H_2O]^3$), Avustralyalı mimarlık şirketi PTW, Ove Arup & Partners, Çin İnşaat ve Mühendislik Ortaklığı, Çin Uluslararası Tasarım Ortaklığı işbirliğinde gerçekleştirilmiştir. Strüktürün inşasını CSCEC (China State Construction Engineering Corporation) üstlenmiştir. Merkez 80 bin m²’lik bir alana inşa edilmiş, 17 bin kişilik bir kapasiteye sahiptir [42].

Water Cube strüktürü Weaire-Phelan köpüğünden oluşan bir bilgisayar modelinin belirli açılarla iki sefer kesilmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 4.18). Kelvin köpüğü yerine, daha düzensiz ve organik sonuçlar verdiği için “Weaire-Phelan” strüktürü tercih edilmiştir [42].



Şekil 4.19 On iki ve on dört yüzlü katılardan oluşan Weaire-Phelan modeli [55].



Şekil 4.20 “A House of Bubbles” –Water Cube strüktürünün hücresel birleşim şeması [39].

Bu binayı tasarlarlarken Weaire-Phelan strüktürünün bilgisayar modeli, rastlantısal bir görünüm elde etmek amacıyla belirli bir açıyla kesilmiş ve daha sonra tekrar diğer kesim eksenine dik bir şekilde kesilerek bir küp formu elde edilmiştir. Dan Hill, “Weaire Phelan” strüktürüne dayanan bu yapıda kullanılan yöntemle minimum yüzey alanlarının eşit boyutlardaki hacimlere bölünebildiğini açıklamaktadır. Bu minimum yüzeyli form, yapı baloncuklarının bir modüler kafes modeli ile bağlanması sonucu sağlanmıştır. Ancak bunlar aynı hacimlerde, oldukça idealize baloncuklardır. Diğer bir deyişle, bu kübik bir ızgara modülasyonudur. Ancak bu modüler birimler, iki farklı düzensiz katının birleşmesinden oluşmaktadır (Whitelaw, 2008).

Water Cube cephesini tanımlamak için SIAL* grubu çalışmıştır. Amaç gözle görülebilen rastgele durumdaki bileşen elemanların standardizasyonu ile bir cephe üretmektir. Bu cephede üretebilmek için düzensiz ve mozaikler halinde döşenmiş bir ızgara sistemi üretebilmek için Voronoi diyagramını bulan matematiksel Delaunay Üçgenlemesi hesabı kullanılmaktadır.



Şekil 4.21 Watercube cephesinden alınan bir ETFE yüzey detayı [41-43].

Water Cube tasarımının hedeflerinden biri; erken mimari düşüncesinden, günümüz yapı formuna geçişte binanın "organik kalitesi"ni sürdürmektir. Bu binayı yüksek ölçüde ileri bir giydirmeye tekniğinin kullanılmasına rağmen organik yapan ve ilk "cephe ile bütünleşen strüktür" örneklerinden biri olmasıdır. Bu düşüncüyü destekleyen sebepler Verb yayınlarında şu şekilde açıklanmıştır:

PTW mimarlık firmasından Chris Bosse'a göre; Water Cube strüktürünün görünüşü aykırıdır. Suyun katı hali gibi olmasına rağmen, akışkan hissettirmektedir. Kabarcıkların kitlesel hareketi durağan değildir. Teknik olarak; birçok katmandan oluşan ETFE* yüzü karmaşık, hafif bir strüktürdür (Şekil 4.21). Duvarlar ve çatı örtüsü tek bir eleman olup, yatay ve düşey fonksiyonlara bölünmeyen bir organizma gibi çalışmaktadır. Strüktür ve cephe bütünleşmiş ve tektir (Portoghesi, 2000).

Michael Weinstock'e göre; Water Cube strüktüründe sistematik değişiklik, doğal ile üretilen arasındaki sınırların kaldırılmasıyla sağlanmıştır. Doğal maddelerdeki form, malzeme ve yüzey arasındaki karmaşık etkileşimler, bio-taklitçi (biomimetic) endüstriyel süreçler ve yeni

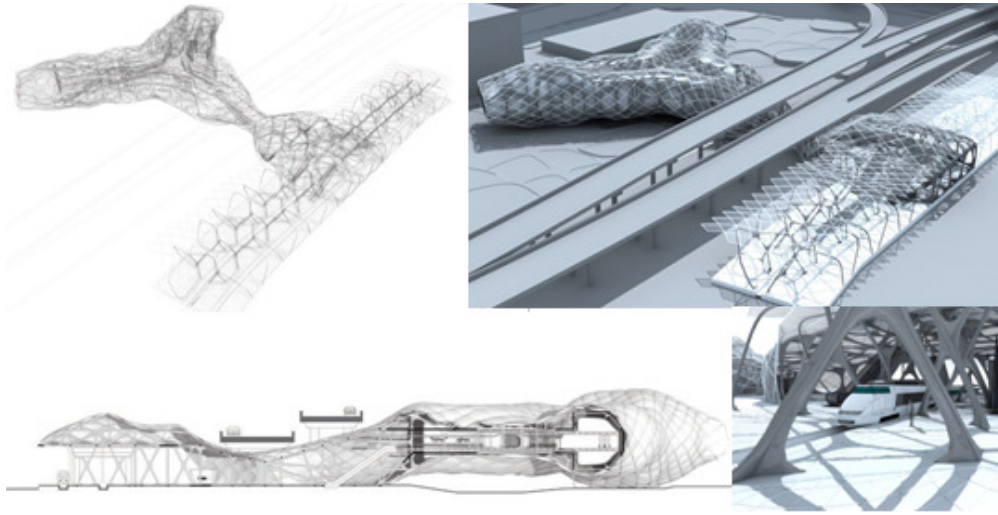
* SIAL(*The Spatial Information Architecture Laboratory*) deneysel dijital araştırmalara yönelik çalışan bir araştırma grubudur.

* ETFE, içi hava dolu olan "etilen tetrafluroetilen" opak plastik bir malzemedir [44].

yüksek performanslı malzemeler türetmiştir. Bio-taklitçi stratejilerde form, malzeme ve strüktür basit bir süreç içine entegre olabilir; çok küçük bir ölçekten büyük bir yapının tasarım ve strüktürüne adapte edilebilmektedir. Bu yönüyle Çin’de bulunan Herzog&Meuron tarafından tasarlanan National Stadium’un (Ulusal Stadyum) strüktürü ile benzerlikler göstermektedir (Portoghesi, 2000).

4.3.1.3 Object E-architecture Projeleri

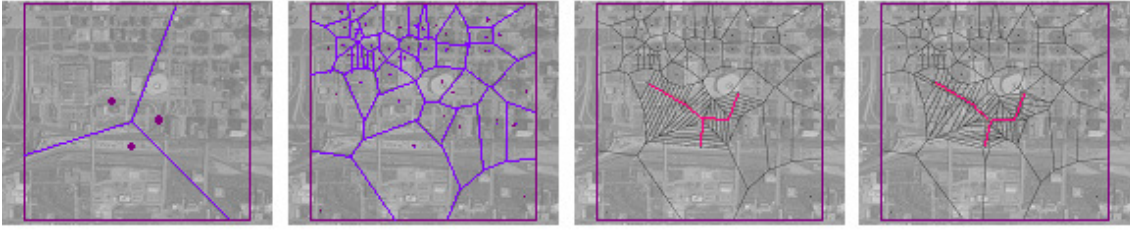
Object E-architecture tasarım ofisi de araştırma projelerinde Voronoi diyagramını tasarım aracı olarak kullanmıştır. Tasarım ofisine ait iki proje üzerinde durulacaktır. İlki St. Louis’deki tren istasyonu projesi, diğeri ise bir gökdelen ve çevre düzenlemesi projesidir.



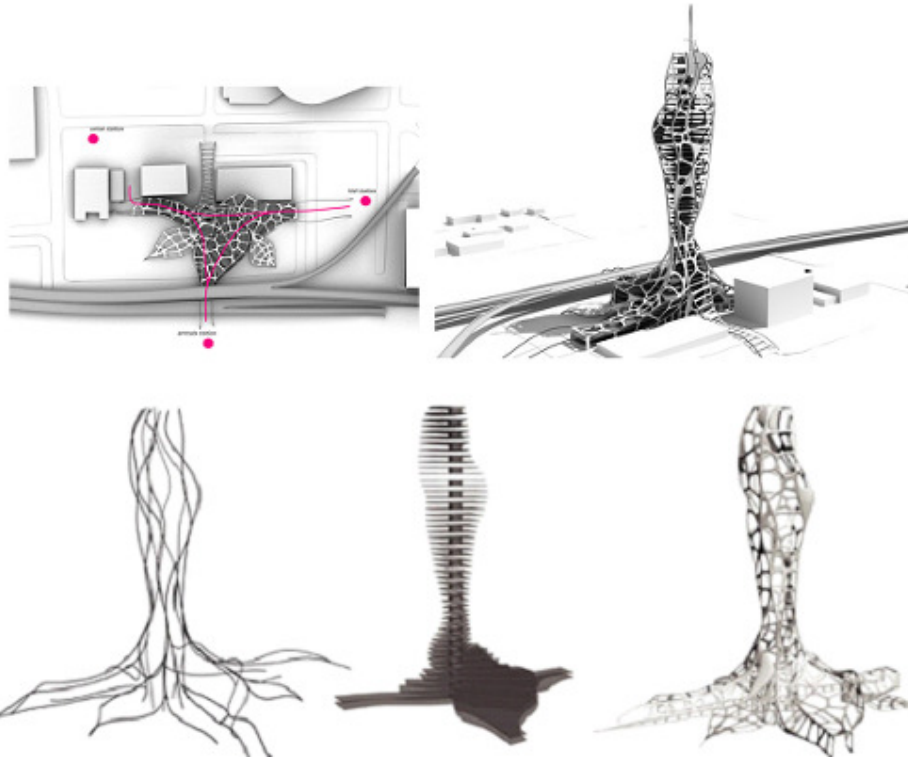
Şekil 4.22 Object E-architecture tasarım ofisinin Voronoi diyagramı yöntemi ile tasarladıkları St. Louis’deki tren istasyonu projesi [37].

İlk proje araştırması St. Louis’de iki metro istasyonunu ve tren istasyonunu birbirine bağlayan bir alışveriş merkezi tasarımıdır. Alışveriş merkezinin yapısı insan vücuduyla benzerlik gösteren organ, kemik ve deri gibi katmanlardan oluşmaktadır. Burada organlar kapalı alanları, kemikler strüktürel sistemi ve deri ise diğeri ikisini saran dış membranı temsil etmektedir [37].

Object E-architecture grubunun ikinci örnek projesi bir gökdelen ve çevre düzenlemesi tasarımıdır. Tasarımın başlangıcında belirli bir sitenin mevcut kentsel durumunu analiz etmek ve müdahale edilen yerini belirtmek için Voronoi diyagramları kullanılmaktadır. Burada kentsel analizlerde sadece yakınlık ilişkilerine bağlı basit Voronoi diyagramları temel alınmaktadır. Bir başka deyişle vaziyet planındaki her nokta aynı değere sahiptir [37].



Şekil 4.23 Kentsel analizde kullanılan Voronoi Diyagramları [37].

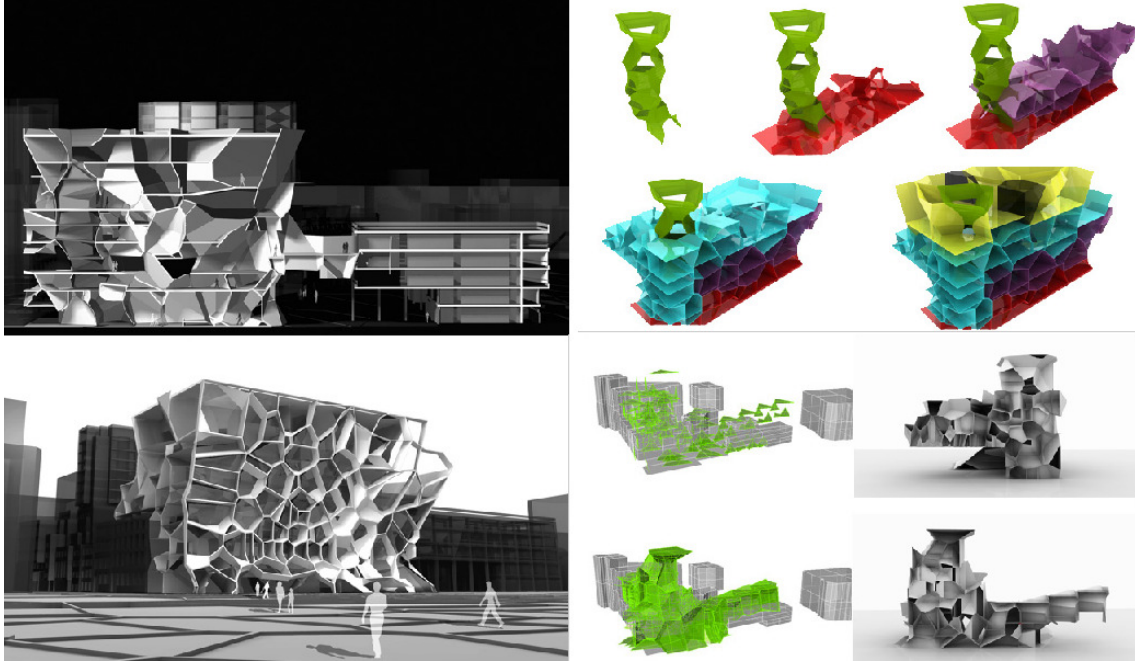


Şekil 4.24 Object E-architecture tasarım ofisinin Voronoi diyagramı yöntemi ile tasarladıkları gökdelen ve çevre düzenlemesi projesi [37].

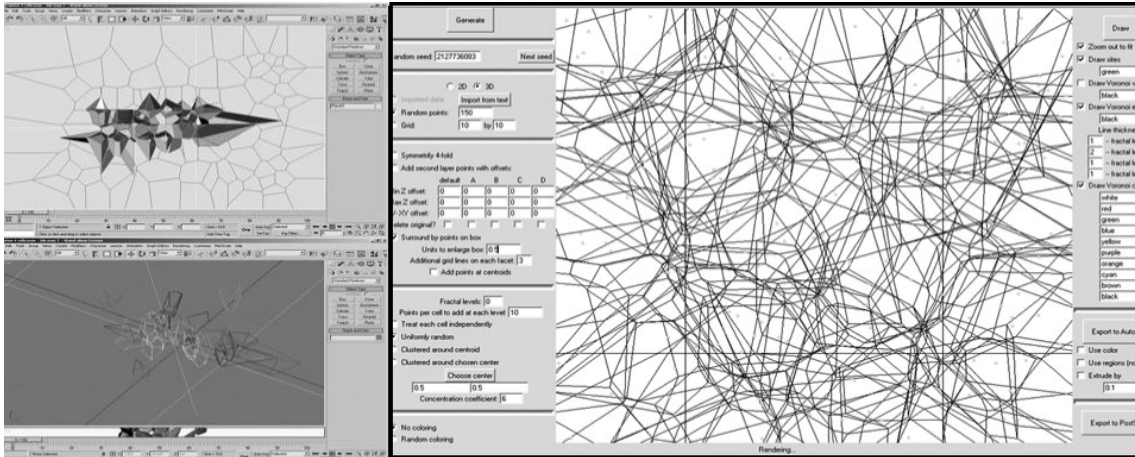
Projede çalışılan animasyonlar üç boyutlu Voronoi diyagramının türetebildiği sınırları tanımlamaktadır. Başlangıçta seçilen noktalar seti programın gereksinimlerine göre ayarlanmaktadır. Program kullanımında elemanları tanımlayabilmek için Voronoi diyagramı en uygun seçeneklerden biridir. Voronoi diyagramının algoritmik doğasına direnen bir yolda ve bu yolun mantığa vurulmaya çalışılan sürecinde diyagram serbest bırakılırsa yüksek ihtimalle öngörülemeyen sonuçlar oluşturabilir [37].

4.3.1.4 G_Nome. Net.Lab projesi

G_Nome grubu Londra’da Tom Verebles’in yönlendirdiği bir öğrenci grubu (İbrahim Ammash, Jimena Arazia, Maria Loreto Flores ve Ahmad Sukkar) tarafından kurulmuştur. Grup Net.Lab projesinde, parametrik olarak modellenen, Voronoi diyagramlarının algoritmalarını tasarım aracı olarak kullanan ve “BIM” gibi etkileşimli ağ ortamlarıyla bağlantı kurabilen, disiplinler arası bir mimariyi önermiştir [67] (Kwang Young, 2007a).



Şekil 4.25 Gnome-Net.Lab Projesi [67].

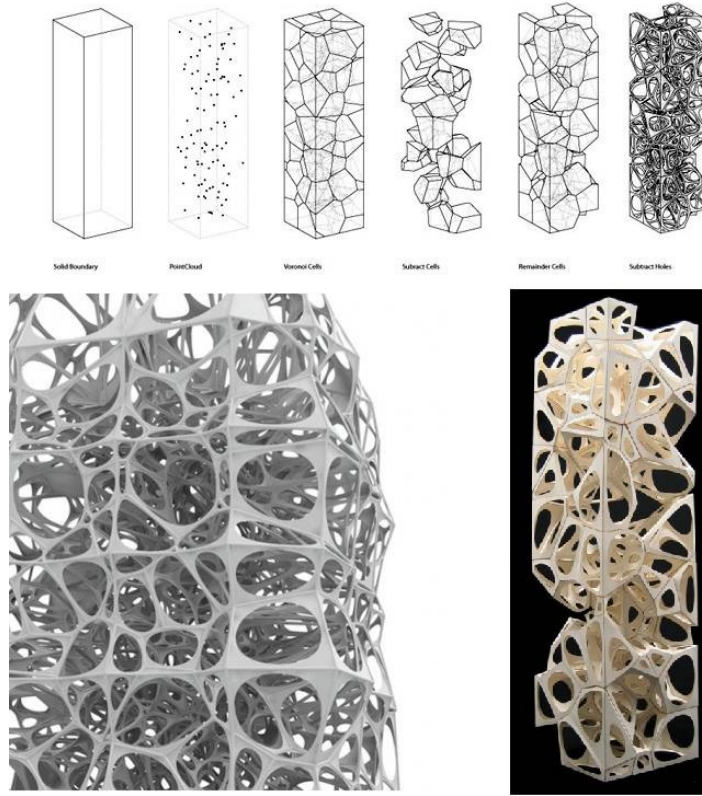


Şekil 4.26 Gnome-Net.Lab Projesi’nde kullanılan parametrik modelleme araçları [67].

4.3.1.5 Matsys Projeleri

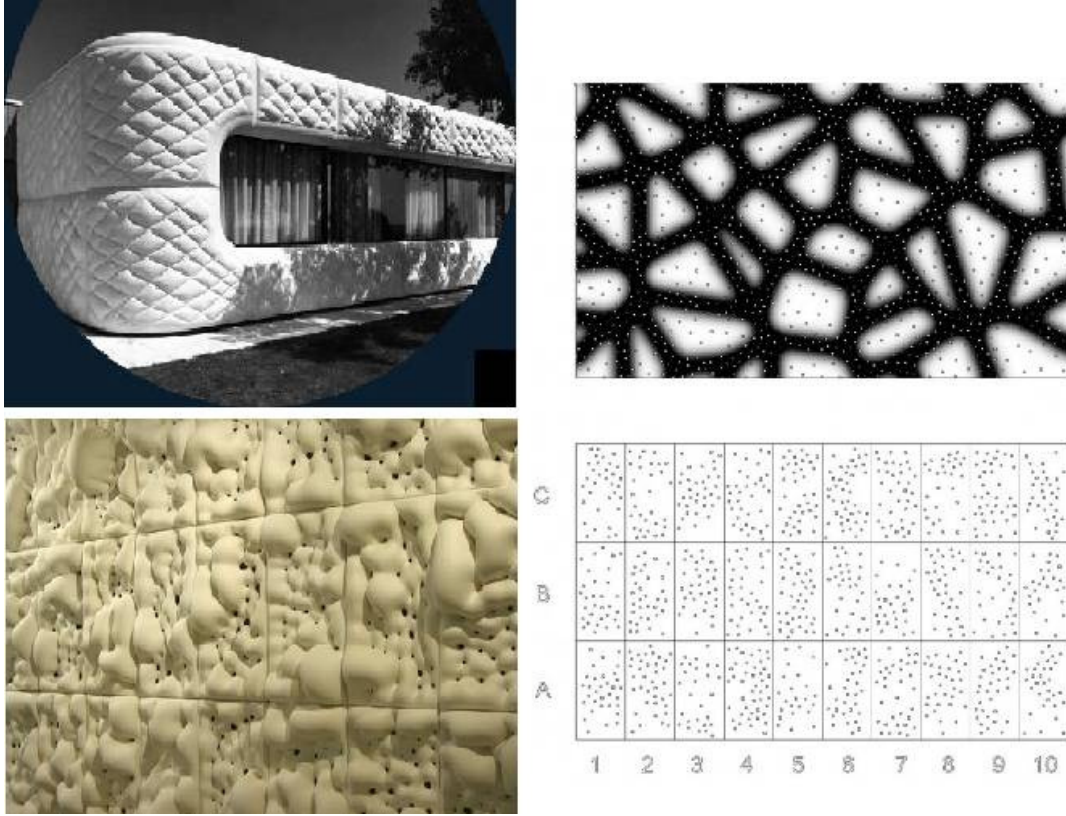
Andrew Kudless'in 2004 yılında kurduğu Matsys tasarım atölyesinde mimarlık, mühendislik, biyoloji ve hesaplama teknikleri arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması konusunda araştırmalar yapılmaktadır. Matsys grubuna ait projeler bu grupta incelenecektir.

Matsys'in 2005-2006 yılları arasında *Voronoi Morphologies* adlı çalışmasında iki ve üç boyutlu Voronoi hücresel strüktürlerini tasarım araçları olarak kullanılmıştır. Projeyi tasarlarlarken Voronoi hesaplarını yapabilen Rhino ve Qhull programlarını ve CNC makinelerine uyum sağlayan betikler (*script*) kullanmışlardır.



Şekil 4.27 Voronoi Morphologies'ın üç boyutlu Voronoi çizimleri, modelleme ile prototipe ait görseller [68].

Matsys 2006 yılında Banvard Galerisinde sergilenecek olan *P_wall* adındaki bir duvar elemanının sıva ve elastik kumaştan oluşan iki malzemenin kendi kendilerini organize etmeleri (*self-organization*) yoluyla ilgi uyandıran görseller ve akustik efektler üretmesi için araştırmalar yapmıştır. Kudless, İspanyol mimar Miguel Fisac 1960-70li yıllardaki çalışmalarından ilham almış; daha büyük ve değişik bir örüntüyü meydana getirmeye çalışmıştır (Kwang Young, 2007b) [68].

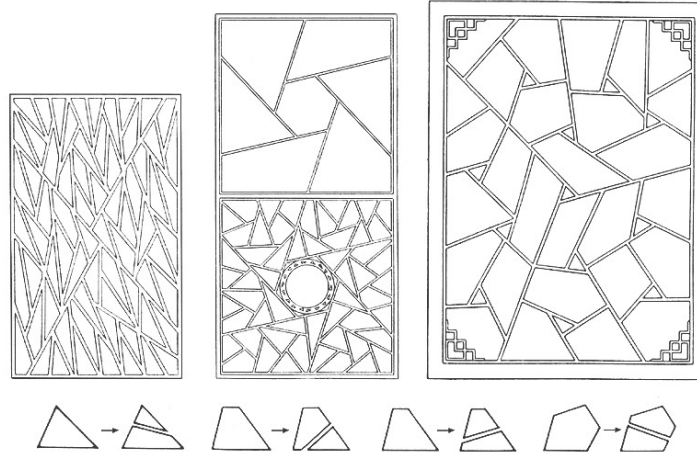


Şekil 4.28 Miguel Fisac La Moraleja'daki evi(sol üstte); P_Wall duvarına ait analizler ve görsel [68-70].

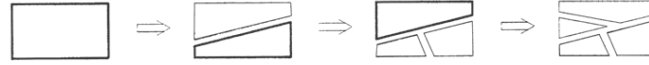
4.4 Biçim Gramerleri (*Shape Grammars*)

Biçim gramerleri, 70'li yıllarda George Stiny ve Jim Gibbs tarafından geliştirilmiş, biçim kompozisyonları üreten kural tabanlı bir hesaplamalı tasarım yöntemidir. Biçim gramerlerini diğer türetici tasarımlardan ayıran en önemli özellik, soyut sembollerle veya harflerle değil, biçimlerle tanımlanmasıdır. Yazı karakterlerinin yerini nokta, çizgi, yüzey ve kütleler gibi geometrik elemanlar almaktadır. Dolayısıyla kurallar da matematik ve geometri temellidir. Kurallar basit aritmetik işlemlerle (toplama, çıkartma vb.) ve hareket ettirme, döndürme, yansıtma gibi temel Öklid dönüşümleriyle tanımlanmaktadır (Gibbs ve Stiny, 1992). Biçim gramerleriyle geometride ilk kez “parametre” kavramına yer verilmiştir.

Biçim gramerleri ile yapılan ilk çalışma Stiny' nin 1977 de yazdığı “*Ice-Ray: A Note on The Generation of Chinese Lattice Designs*” isimli makalesidir. Bu çalışmada Çin buz deseni kompozisyonları dört basit kural içeren gramer ile anlatılmış, gramer kuralları kullanılarak mevcut Çin buz desenlerinin ve aynı stilde sayısız tasarımın yapılabileceği gösterilmiştir (Stiny, 1977).



Şekil 4.29 Çin buz ışını gramerinden türetilen desenler ve türetici dört kural (Stiny, 1977)



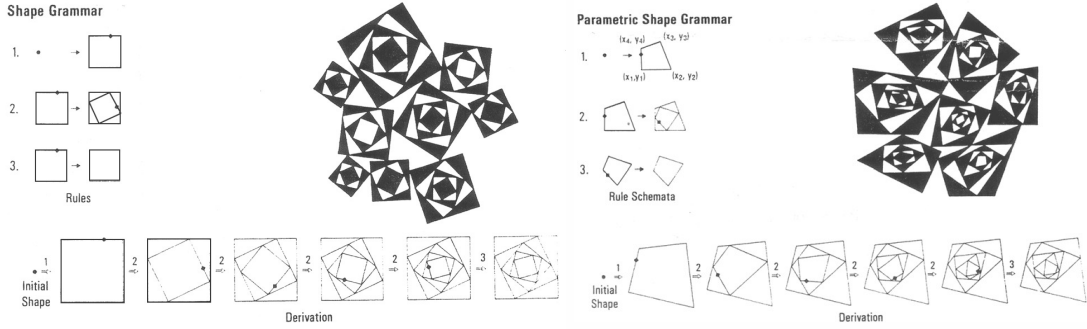
Şekil 4.30 Buz desenlerinin türetilmesi için kullanılan dört kural (Stiny, 1977)

1978 yılında Stiny ve Mitchell ürettikleri Palladian gramerleriyle Palladio villalarının analitik gramer çözümlemesini yaparak ilk kez biçim gramerlerini kullanarak bir mimari yapının stil analizini yapmışlardır (Şekil 4.32). Stiny yaptığı analizlerde Palladio'nun ilk dört kitabında yazan kuralları CAD ortamına aktarmıştır (Çolakoğlu, 2005).



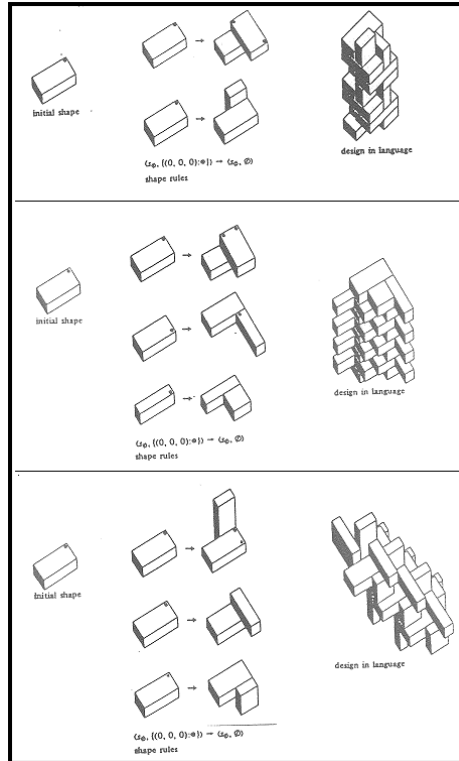
Şekil 4.31 Palladio villa planları (Stiny and Mitchell, 1978)

Stiny'e (1985) göre standart (parametrik olmayan, temel) ve parametrik olmak üzere iki çeşit biçim grameri vardır. Standart ve parametrik biçim gramerleri için örnekler Şekil 4.32'de yer almaktadır.



Şekil 4.32 Standart ve parametrik biçim gramerleriyle türetilen desenler (Stiny, 1985)

Frederick Froebel'in anaokulu çocukları için tasarladığı ahşap bloklar da biçim gramerlerinde yer bulmuştur. Froebel blokları, çocukların geometri bilgisine ve soyut düşünme becerisine katkıda bulunmuştur. Stiny (1980), "*Kindergarden Grammars: Designing with Froebel's Building Gifts*" makalesinde Froebel'in çalışmasını referans alarak geliştirdiği "Froebel Blok Grammar" türetici tasarım yöntemini tasarım atölyelerinde kullanmayı önermiştir.



Şekil 4.33 Froebel Blokları ile türetilen üç tasarım yöntemi (Stiny, 1980)

Gramer tabanlı analiz yöntemi operasyonel/işlemseldir. Yani kurallar tasarımcı tarafından manipüle edilebilir, yeni kurallar ekleyip, çıkarabilir veya mevcut kuralları değiştirerek yeni bir tasarım grameri oluşturabilir. Biçimlerin seçimi ve biçimler arası ilişkilerin geometrilerine ya da anlamalarına göre belirlenmesi tasarım problemine, programına ve tasarımcının yorumuna göre belirlenir. Biçim grameri kural tabanlı olmasına rağmen esnek ve değişime açık bir yöntemdir (Çolakoğlu, 2005).

4.5 L-Sistem

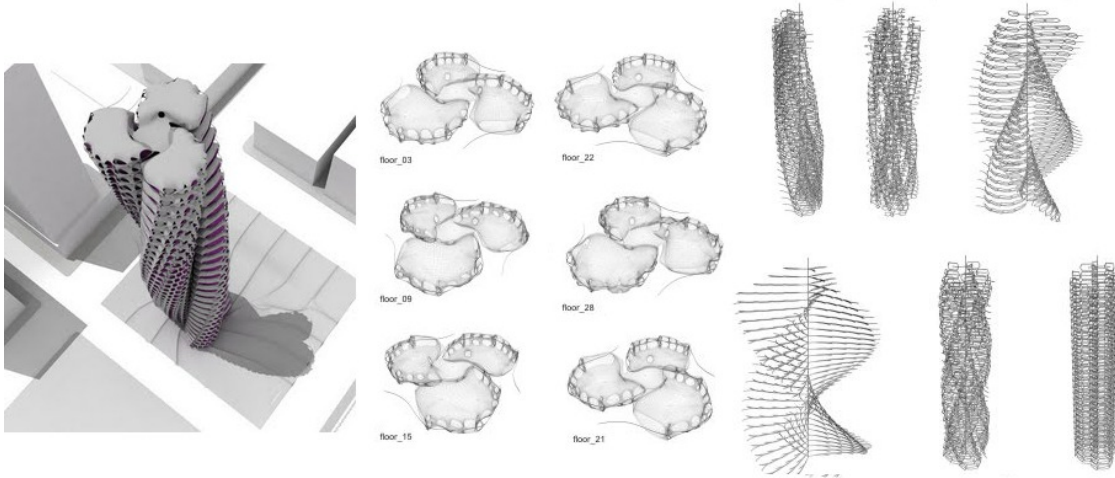
Biyolog Lindenmayer 1968 yılında basit çok hücreli organizmaların gelişimini bilgisayar bilimcilerinin yardımıyla soyutlayarak modellemiştir. L-Sistem olarak anılan bu modelde ‘analitik prensip’ sistemin üyelerini belirlerken, ‘üretken prensip’ ise bir algoritma yardımıyla sisteme yeni üyeler üretmekte ve sistem prensiplerini yeni oluşan sisteme göre yeniden yazmaktadır. Bu bir bitki büyümesinin soyut modellemesidir. Günümüzde L-sistem’in ana fikri, mimarlık disiplininde algoritmalar yardımıyla ortamın ekolojisine uygun tasarımlar üretilmesi açısından incelenmektedir. Kendini organize eden ve kendini tekrar ederek gelişen bir sistemdir (Hensel, 2006).



Şekil 4.34 L-sistemle türetilen Rose Campion Modeli (Lychnis kirlalesi)

Rose Campion (Lychnis kirlalesi) modeli L-Studio tarafından L-sistemi ile üretilmiştir. Bu modelde Calgary Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Departmanı’nın geliştirdiği yazılım paketi kullanılmıştır (Hensel, 2006).

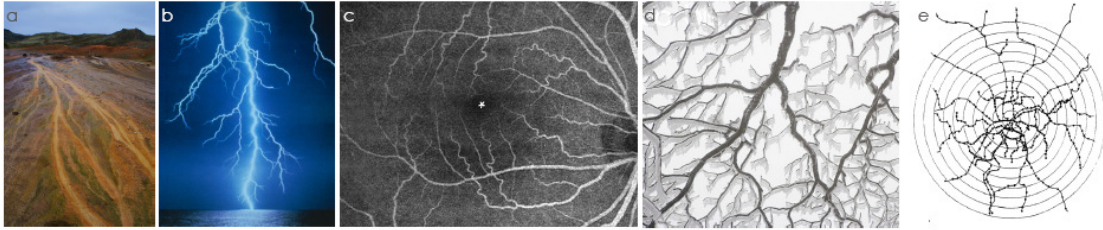
Object E-architecture grubu L-sistem algoritmasını form üretici bir yöntem ve süreç olarak yüksek bir yapının tasarımında kullanmışlardır. Çok katlı yapı örneğinde olduğu gibi L-sistem hem bir modelleme aracı hem de gerçek bir üretken sistem olarak kullanılabilir. L-sistem özyineleme görevi ile de formun geliştirilmesi için önemli bir rol oynamaktadır [37].



Şekil 4.35 Object E-architecture'in L-sistem ile geliştirdiği çok katlı yapı projesi [37]

4.6 Öz Örgütlenme (*Self-Organization*)

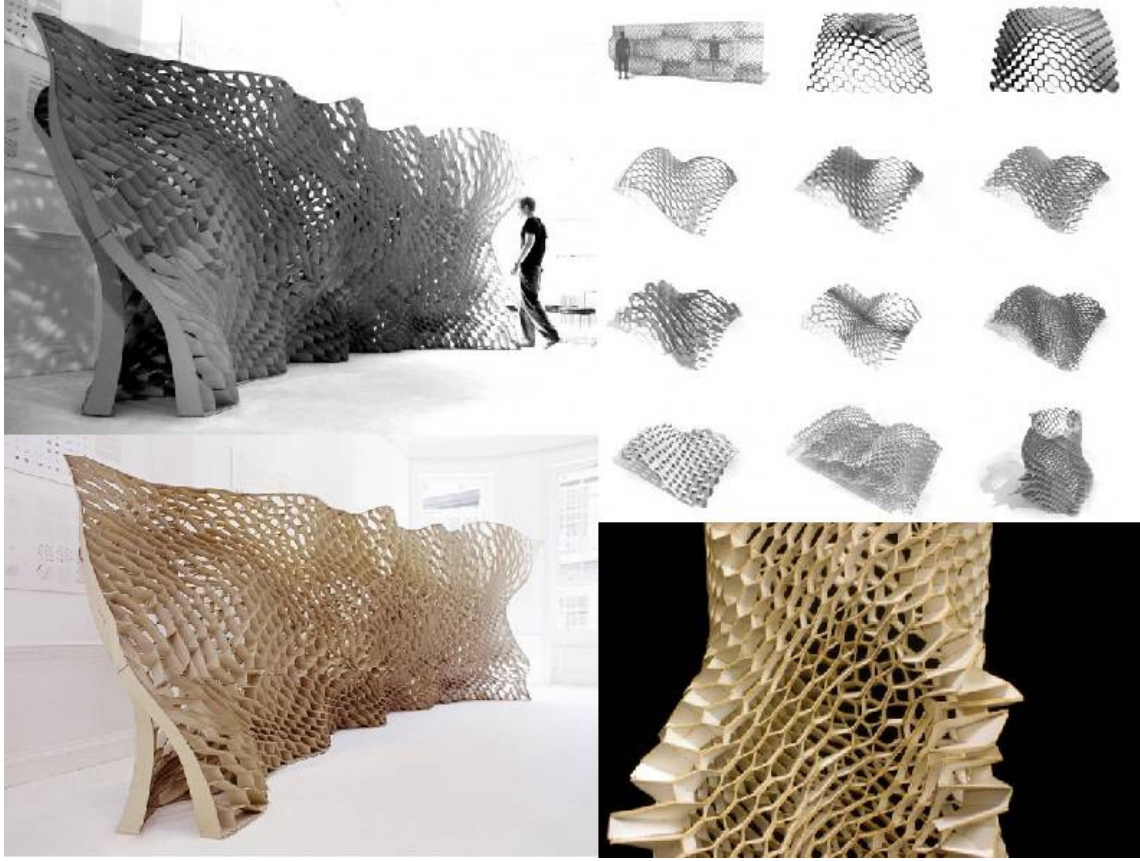
Mimari tasarım sürecinde biyolojik gelişimin ve doğanın tasarıma model olarak alındığı bir tasarım yaklaşımıdır. Doğadaki kendi kendini organize eden sistemler, örneğin karıncaların yuva yapma süreci ya da kuş sürülerinin hareketlerini incelemektedir. (Hadid ve Schumacher, 2003). Kendini organize etme, dışarıdan bir yönlendirme ve yönetme olmadan, yani içsel olarak sistemin kendini çevre etmenlerine karşı özel bir fonksiyon için düzenleme işlemidir (Hensel, 2006).



Şekil 4.36 Farklı koşullar altında kendi kendine organize olan: a. İzlanda'daki kükürt drenajı, b. Yıldırım, c. Retinadaki kan damarları, d. Ağaç dalları, e. Paris metrosu (Isaacs, 2008)

Matsys-Andrew Kudless'in *Honeycomb Morphologies* adlı projesinde tasarım ve performansın yüksek derecede bütünleşebileceği bir malzeme sisteminin geliştirmesi hedeflenmiştir. Bu bütünleşmede konsept olarak organizmaların form, gelişim ve yeteneklerini esas alan gelişim kavramını esas alınmıştır. Modelde bir bal peteği sisteminden yola çıkılarak kendi kendine organize edebilen üretici bir algoritma üretilmiştir. Geometri ve malzemeyi belirleyen parametreleri içeren bir modülasyon sistemi aracılığıyla çeşitli

performanslara cevap verebilen üretim teknolojileri kullanılmıştır. *Manifold* adı verilen büyük ölçekteki prototip Londra'daki "AA 2004 Projects Review" sergisi için hazırlanmıştır.(Kwang Young, 2007b) [69].

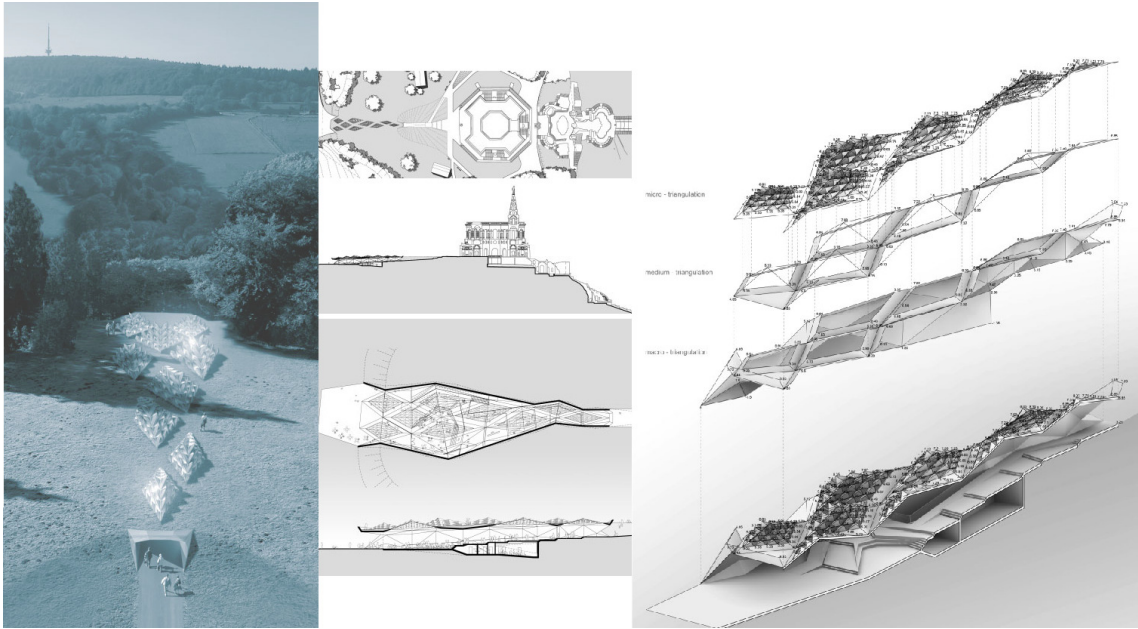


Şekil 4.37 Honeycomb Morphologies projesine ait modelleme ve prototip görselleri [68].

4.7 Beliren/Ortaya Çıkan Mimari (*Emergent Architecture*),

“Beliren/Ortaya Çıkan” mimari (*Emergent Architecture*), mimari biçim geometrisinin kurgusundan önce performans değerlerine önem veren, adapte olma, kendisini yeniden düzenleme özelliklerine sahip program birleşimlerine izin veren bir mimari yaklaşımdır (Akipek, 2004). “Beliren (*Emergence*)” birçok disiplinin içinde görülen ve evrimsel biyoloji, yapay zeka, karmaşıklık kuramı gibi teorilerle bağdaştırılan bir kavramlar bütünüdür (Weinstock, 2004). Üretimi sağlayan kurallar, parametreler ya da objeler önceden tahmin edilemeyecek rastlantısal ve karmaşıklıkta formların ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu tasarım anlayışında kişi, nesneler ve çevre yapıları arasındaki dinamik ilişkinin önemi vurgulanmaktadır. Yapının bulunduğu yere ait dinamik süreçleriyle doğal dünyaya benzetilmesi yeni teknolojilerle daha kolay gerçekleştirilebilir (Castle, 2008) [31].”

Zaman ve mekan içerisinde dönüşen biçimlerin ortaya çıkışını morfogenetik(*morphogenesis**) temsil etmektedir. Biçimler tasarlanan çevreyle dinamik ilişkilere sahip kurgular içerisinde ortaya çıkarlar. Biçimler kendini ortaya çıkararak karmaşık örüntüler oluşturmaktadır. Yapı geometrisi, kendi kendini oluşturan süreç (morfogentik) içerisinde, kendi çevresine adapte olan dinamik örüntüler ile tanımlanmaktadır. Ancak bu tasarım süreci şu an sadece model olarak kalmaktadır. Çünkü yapay organizmaların üretimini gerçekleştirmek günümüzde zor olsa da, yapının tasarımında bulunduğu yerin dinamik süreçlerini hesaplayan tasarım anlayışıyla doğal dünyaya benzetilmesi gelecek yeni teknolojiler aracılığıyla daha kolay gerçekleşecektir (Weinstock, 2004).



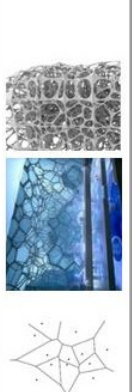
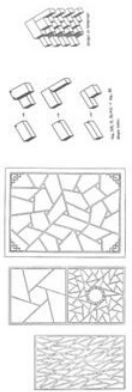
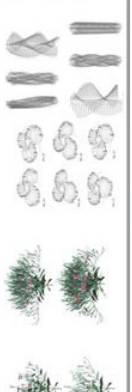
Şekil 4.38 Scheffler ve Ortakları ile Achim Menges, Hercules Anıtı, 2005

“Beliren (*Emergent*)” mimari örneği Scheffler ve ortaklarının 2005 yılında tasarladığı Hercules Anıtı projesi biomimetik’in kendi kendine benzerlik ilkesine dayanmaktadır. Yapının geometrisi tanımlanabilen parametreler sistemiyle ortaya çıkmaktadır. Temel parametrik kurulum üçgen geometriler ile tanımlanmaktadır. Birbirine bağlı dört eklemenin sınırları üçgenleme sistemi ile çizilmektedir. Çevreye adapte olma ve performansa dayalı olarak tasarlanan proje iç içe geçen kıvrımlara sahip küçük üçgenlerden, büyük kıvrımlara sahip piramit geometrisine uzanan diziler sisteminden oluşmaktadır (Hensel ve Menges, 2006).

* Morfogenetik(*Morphogenesis*) bir organizmanın şeklini geliştirebilmesi için gerekli biyolojik süreç [2]

Bu bölümde üzerinde durulan Fraktal geometri, Voronoi diyagramları, Biçim Gramerleri, L-Sistem, Öz-Örgütlenme ve Beliren mimari gibi üretken geometrik sistemler örnek projelerle Çizelge 4.1’de gruplandırılmıştır.

Çizelge 4.1 Üretken geometrik sistemler

* Fraktal Geometri (1982)		* Jencks, 1977, Galinski Okulu
* Voronoi Diyagramı (1908)		* PTW, 2006, WaterCube * Matsys, 2005, Voronoi Morphologies
* Biçim Gramerleri (Shape Grammars) (1977)		* Stiny, 1977, Çin Buz Desenleri, 1980, Froebel Blokları,
* L-Sistem (1968)		* Lindenmeyer * L-Studio, Rose Champion * Object E-architecture
* Öz-Örgütlenme (Self-Organization)		* Matsys, 2004, Honeycomb Morphologies
* Beliren/Ortaya Çıkan Mimari (Emergent Architecture)		* Scheffler, 2005, Hercules Anıtı

5. SONUÇ

Tezin amacı mimaride geometri kullanımının tarihsel süreç içerisindeki kırılma noktalarının ve geometrinin mimarlıkta hesaplama teknikleriyle ilişkisini ortaya koyabilmektir. Bu amaçla mimaride geometri kullanımının tarih içerisindeki geçirdiği aşamalar ve hesaplama tekniklerinin bilgisayar desteğiyle gerçekleşen *statikten dinamiğe, parametrik ve üretken dönüşümleri* ele alınmıştır (bkz. Çizelge 5.1).

Tezde parametrik ve üretken geometrik sistemler mimarlık disiplinindeki hesaplama teknikleri açısından değerlendirilmiştir. Tezde ağırlıklı olarak üzerinde durulan bilgisayar ortamında parametrik modelleme ile doğayla ilişkili üretken sistemlerin etkileşimi konusunu vurgulayan örnekler yorumlanmıştır.

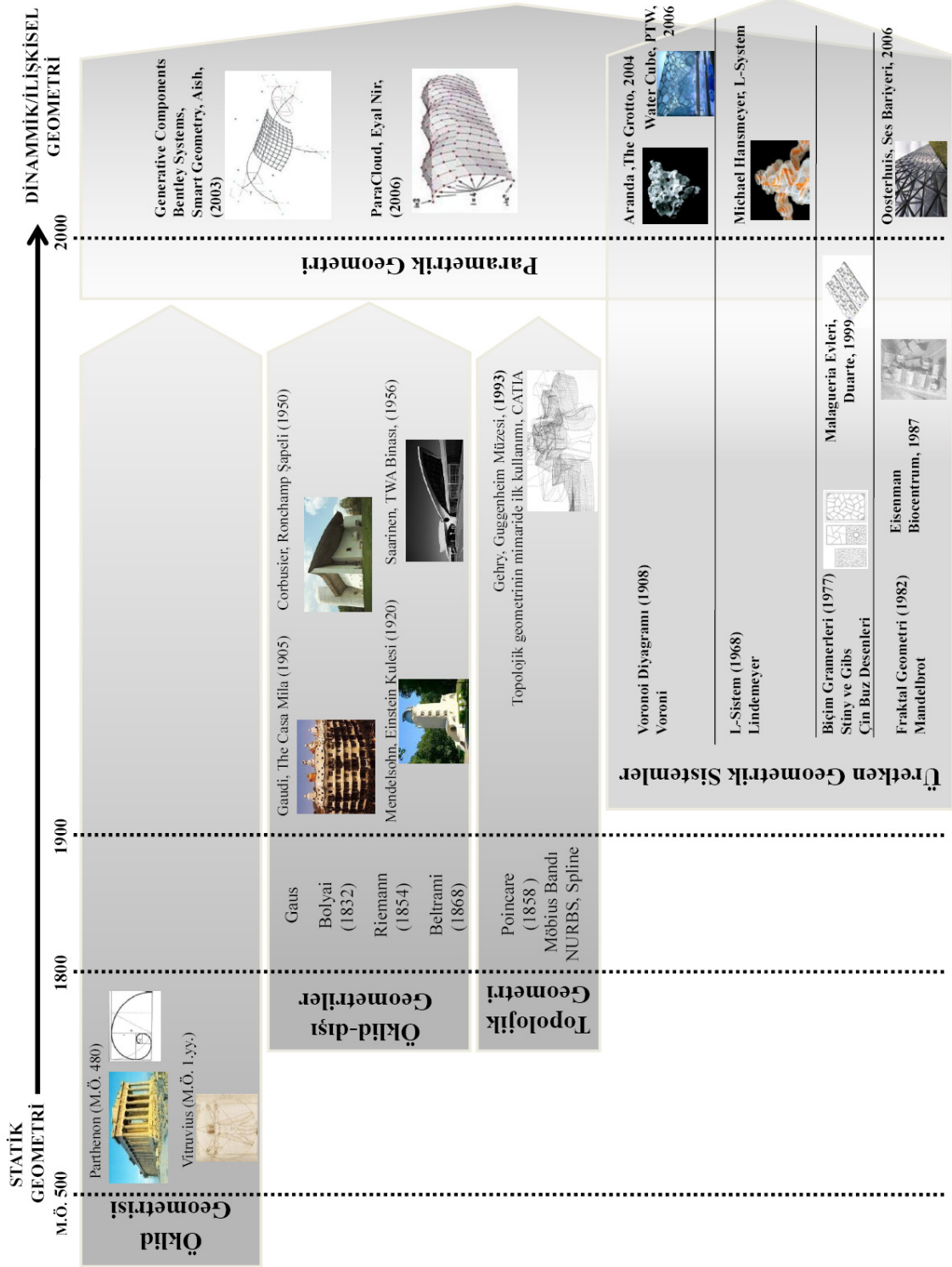
Tez kapsamında proje konseptlerinde ve mekan yaklaşımlarında özellikle mimari geometriyle ilişkili olan doğadaki oluşumlar, bitkilerin büyümesi, canlıların gelişimi gibi doğayla ilgili olgulara eğilim gösteren üretken geometrik sistemler ele alınmıştır. Ancak tez kapsamında sistemlere ait genetik kodlar, melezleme, mutasyon, doğal seleksiyon, etkilere tepki verme gibi biyolojik olguları tasarım konsepti olarak belirleyen L-sistem, “Öz Örgütlenme (*Self-Organization*)”, “Beliren/Ortaya Çıkan (*Emergent*)” mimari gibi evrimsel sistemler, geometrinin ötesinde algoritmalarla hesaplamaya dayandığı için detaylı olarak işlenmemiştir. Evrimsel sistemlerden genetik algoritmalar ve hücresel otomata gibi hesaplama teknikleri ise tez kapsamına dahil edilmemiştir. Doğadan esinlenerek tasarlanan projelerde, mevcut çevre verilerini güç alanları olarak tanımlayan, tasarımcının ölçütlerine, iklimsel özelliklere ve zamana bağlı mekan biçimlendiren dinamik bir çevre etkisi gözlenmiştir.

Doğadaki biçimlerden uyarlanarak tasarlanan formlar temel bir başlangıç formunun belirli geometrik kurallarla türetilerek karmaşık bir yapıya dönüşmektedirler. Tezde “üretken geometrik sistemler” adı verilen Fraktal ve Voronoi gibi doğadaki formların analiz edilmesiyle üretilen geometrik kurallar, ya Hecker’in Galinski Okulu gibi bir araya gelen biçimleri karmaşıklaştıran tümevarımsal bir yapıya dönüştürmekte, ya da *Water Cube* örneğindeki gibi yapının bütününe yansıtılarak strüktürü ve kabuğu tek bir moleküler yapı haline getirmektedir. Parametrik tasarıma dayanan ve gittikçe karmaşıklaştıran üretken geometrik sistemler, “BIM” gibi bina bilgi modelleme sistemlerini içeren ağ ortamları üzerinden, ilgili olan tüm disiplinlerin iş birliğiyle gerçekleştirileceği bir çalışma ortamının oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, yapı sadece geometrik açıdan değil, diğer disiplinlerin hesaplarına dayanan ısı, ışık, ses, performans taşıyıcı sistem mukavemeti ve statik gibi verilerin de girildiği bir bütün olarak ele alınabilmektedir.

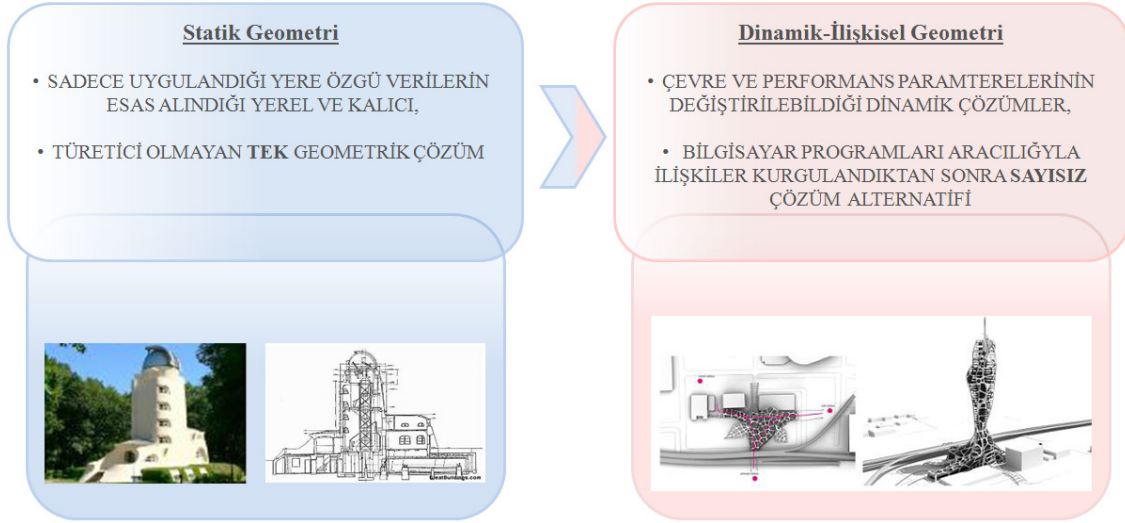
Yapılan araştırmada şu sonuçlara varılmıştır:

- Geometrik sistemler bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile kodlar, betikler (scriptler), parametreler, algoritmik kurallar aracılığıyla üretilmektedir. Parametrik yazılım programları aracılığıyla modellenen yapılar değişen verilerle kolayca yenilenebilir bir tasarım sürecinde ele alınabilmektedir.
- Doğadaki formların tasarımlarda ele alınmasıyla oluşan yeni koşullar çerçevesinde, eski CAD yazılımının koordinat sistemlerine dayalı “Tanımlanmış (*explicit*)” geometrik modelleme araçları yetersiz kalmıştır. Bu yüzden yeniden düşünülen geometrik uzaylarda, nesneye ve forma ait dönüşümsel modelleri tanımlayan parametrik geometriyle çalışılmıştır. Ortaya çıkan Öklid-dışı ve topolojik özellikler, yapı geometrilerinin birbiriyle olan ilişkilerinin ve sisteme dair kurgulanan çevrelerin içerisindeki durumlarının zaman bağlamında değerlendirilmesini gerektirmiştir.
- Greg Lynn (1999) “Canlanan Biçim(*Animate Form*)” makalesinde açıkladığı gibi, form içine yerleştiği yerçekiminden başka birçok itici gücün bağlam olarak algılandığı ve topolojik yüzeylerden oluşan dinamik ortamda, sanal hareket ve kuvvetlerle biçimlendirilebilir. Öklid uzayındaki Kartezyen koordinatlarla tanımlanan mimari formlar hareketi durdurulmuş, belirli sayıda boyutu içeren, kalıcı ve zamansız olarak tariflenen bir mekan içinde düşünülmektedir. Oysa parametrik tasarımda yapı diğer nesnelere, kuvvetlerle, alanlar ve akışlarla ilişkili olduğu bir yörüngeyle çevrilidir. Bu anlamda hareket ve kuvvetlerin aktif mekan içindeki formu tanımladığı bir tasarıma yönelmek gerekir.
- Parametrik yazılımların ve bina bilgi modelleme sistemlerinin sağladığı çevresel verilerle ilişkili olarak tasarlama yöntemi gelecekte “Beliren(*Emergent*)” mimari tasarım anlayışıyla daha da geliştirilebilir. “Beliren” mimaride yapılar birer canlı olarak değerlendirilmekte ve bir yaşam süreci içerisinde temsil edilebilmektedir.

Çizelge 5.1 Mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisine ait zaman çizelgesi (orijinal büyüklükteki tablo için bkz. Ek 2)



Çizelge 5.2 Mimaride statik ve dinamik geometri kullanımlarının karşılaştırılması



Mimarlıkta statik geometri kullanımında daha çok “hedef”e yönelik, dinamik geometri kullanımında ise “üretim”i amaçlayan bir tasarlama anlayışı olduğu söylenebilir (Çizelge 5.2). Hesaplamalı teknolojiler mimarlıkta çeşitli geometrik sistemlerin bilgisayar ortamında dinamik olarak kullanılmasını kolaylaştırmıştır. Tasarımlarda doğadan esinlenmelere yönelen yaklaşımlar, bilgisayar ortamında geliştirilen üretken geometrik sistemlerin mimariye adaptasyonunun araştırılmasını gerektirmiştir. Parametrik modelleme yöntemiyle değişkenler arasındaki ilişkilerin dinamik olarak kontrol edilebilmesi, yapı formlarının üretken geometrik sistemlerle gereksindiği karmaşada üretilebilmesini mümkün kılmaktadır.

Bilgisayar bilimleri ve geometriye dayalı hesaplamalı teknolojilerin etkin kullanımı için disiplinler arası çalışma önemlidir. Günümüzde binaların dijital ortamda malzeme, yapı ve performans gibi diğer bütün verileri içeren bir sistem olarak modellenmesi gündemdedir. Binaların tasarım sürecinde mimarları ve mühendisleri bir araya getirebilen “Bina Bilgi Modellemesi (BIM)” gibi veri tabanları, tasarım sürecinde farklı disiplinlerin bir arada çalışmasını sağlamakta ve kolaylaştırmaktadır. Bu modelleme sistemlerinde de dinamik geometriye dayanan parametrik ve ilişkisel tasarım önemli rol oynamaktadır. Elde edilen değerlendirmeler sonucunda çağdaş tasarım anlayışında, yapılara ait geometrik sistemlerin ilişkili olduğu diğer bütün disiplinlerle etkileşiminin göz önünde bulundurulması ve kapsamlı bir şekilde düşünülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Mimarlıkta kullanılan matematik ve geometri tabanlı hesaplamalı teknolojiler gün geçtikçe gelişmekte ve değişmektedir. Bu yenilikler mimarlıktaki matematik ve geometri eğitiminin de geliştirilmesi gerekliliğini göstermektedir. Üniversitelerde mimarlık öğrencilerinin topolojik ve parametrik geometri temeline dayanan ve dinamikleşen proje üretim anlayışlarına yönlendirilmesiyle, gelecekte bu projelerin uygulanması ve gerçekleştirilmesi yolunda önemli bir adım atılmış olacaktır. Proje sürecinde etkileşimli ve disiplinler arası çalışmalara izin veren yazılımların kullanılması zamanın verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak; geometrinin değişen kullanımıyla mimaride üretkenlik açısından daha çeşitli bir yelpaze ortaya sunulmuş olacaktır.

KAYNAKLAR

Aish, R., (1992), Computer-Aided Design Software To Augment the Creation of Form, Computers in Architecture, Hong Kong: Longman, 97-104.

Akipek, Ö. F., (2004), Bilgisayar Teknolojilerinin Mimarlıkta Tasarım Geliştirme Amaçlı Kullanımları, Doktora Tezi, YTÜ.

Akipek, Ö. F., ve İnceoğlu, N., (2007), “Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları”, Megaron, YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi, 2(4):237-253.

Aldersey, H., (2003), “Zoomorfik Mimarlık”, Arredamento Mimarlık, 162:58-77.

Aranda, B., Bosia, D. Ve Lasch C., (2005), “From Nanostructures to Buildings: Generating an Architecture of Crystal Geometries”, NLSO (Non-Linear Systems Organization), University of Pennsylvania School of Design, 1-8 [Son erişim tarihi: Ağustos 2009, <http://www.design.upenn.edu/new/arch/nlso/NSO%20sponsored%20research.pdf>].

Arroyo, S. P., Atena, R.ve Kebel, I., (2004), “Emerging Technologies and Housing Prototypes”, Berlarge Institute, Postgraduate Laboratory of Architecture, Madrid.

Atılğan, D., (2006), “Mimari Tasarım Araç ve Teknolojilerinde Duyuların Rolü ve Mekansal Deneyim”, DEÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ege Mimarlık, 3-58, [Son Erişim Tarihi: Ağustos 2009, <http://www.izmimod.org.tr/egemim/58/10-13.pdf>].

Atılğan, D., (2006) , “Gelişen tasarım araç ve teknolojilerinin mimari tasarım ürünleri üzerindeki etkileri”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi Anabilim Dalı, İzmir.

Becker, M. ve Tessmann, O., (2004), "ephemeralMATTER - Schnittstellen zwischen digitalen und analogen Entwurfsstrategien in der Architektur", "Kunststoffe und freie Formen. Ein Werkbuch.", Springer, Wien.

Beesley, P. ve Bonnemaïson, S., (2008), “On Growth and Form, Organic Architecture and Beyond”, Tuns Press and Riverside Architectural Press, [Son Erişim Tarihi: Ağustos 2009, http://www.riversidearchitecturalpress.com/current_publications/ogf/ogf_sample.pdf].

Bovill, C., (1996), Fractal Geometry in Architecture and Design, Birkhauser, Boston.

Bridges, Alan H., (1992), "Computer Aided Design or Computers and Design", Computers in Architecture, Ed. Francois Penz, Hong Kong: Longman, 41-48.

Burry, M. ve Murray Z., (1997), “Computer-Aided Architectural Design Using Parametric Variation And Associative Geometry”, 15th ECAADE-Conference Proceedings, Vienna.

Cache, B., (1998), “Extended Play”, [Son Erişim Tarihi: Ağustos 2009, http://architettura.supereva.com/extended/19990501/ep07en_01.htm]

Cap, C., (2005), Bilgisayar Ortamında Mimari Temsilin Evrimsel Süreci, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ

Claflen, G. L., (1991), “"Borrowing Architectural Theory: Fissures in the Simulation of Coherence," in Architecture: Back ...to...Life”, ACSA Press, Temple University, Washington, [Son Erişim Tarihi: Ağustos 2009, <http://www.claflenassociates.com/Borrowing%20Architectural%20Theory.pdf>]

Çağdaş, G., (1994), “Fraktal Geometri ve Bilgisayar Destekli Mimari Tasarımdaki Rolü”, CAD+ Bilgisayar Destekli Tasarım ve Ötesi, 23:28-31.

- Çakır, M., (2006), Bilgisayar Teknolojilerinin Gelişimi ile Ortaya Çıkan Form Üretim Teknikleri , Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
- Çıtlık, A., (2008), Sayısal Tasarım Kavramları Ve Algoritmik Düşüncenin Mimari Tasarıma Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ.
- Çolakoğlu, B., (2005), “Kural Tabanlı Tasarım Yöntemi-Biçim Grameri”, [Son erişim tarihi: Ağustos 2009, <http://www.metropolistanbul.com/public/temamakale.aspx?tmid=16&mid=21>
- Deleuze, G., (1993), “The Fold- Leibniz and The Baroque: The Pleats of Matter”, Architectural Design, 63(3-4): 96-108.
- Dönmez, A., (2002), Matematiğin Öyküsü ve Serüveni, Toplumsal Dönüşüm Yayınları, İstanbul.
- Ediz, Ö., (2003), Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ.
- Ediz, Ö., (2007), “Değişen Geometrik Kurgunun Mimarlık üzerindeki Yansımaları”, Dosya: Boyut ve Oran, Mimarlıkta Malzeme dergisi, 4.
- Fauvel, J. ve Gray, J., (1987), “The History of Mathematics”, Palgrave Macmillan, 534(37).
- Gibs, J., ve Stiny G., (1992), “Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture,” , Informaation Processing, 71:1460-1465, Hollanda.
- Halkacı, H. S. ve Yiğit, O., (2004) “Parametrik Tasarım ve Solidworks Cad Programı İle Bir Uygulama”, Mühendis ve Makine, 45, 537(45), [Son erişim tarihi 11.07.09: http://www.mmo.org.tr/resimler/ekler/8913e1d6a7b94cb_ek.pdf?dergi=67].
- Hensel, M., Menges, A. ve Weinstock, M., (2006), “Techniques and Technologies in Morphogenetic Design”, 76(2) : 1-127.
- Hensel, M. ve Menges, A. (2006), “Material and Digital Design Synthesis”, 76(2),88-95.
- Hensel, M., (2006), “Computing Self-Organisation: Environmentally Sensitive Growth Modelling”, Architectural Design, 76(2),12-17.
- Hensel, M. ve Menges, A., (2008), Morpho-Ecologies, “Towards an Inclusive Discourse in Heterogenous Architectures, Architectural Association, AA Agendas, No.4, Londra.
- Hirsinger ,Q. ve Ternaux, E., (2006), Material World 2- Innovative Matrials for Architecture and Design, MateriO, Frame Publishers, Amsterdam, Birkhäuser-Publishers for Architecture, Basel-Boston-Berlin.
- Hwang, I. ve Sakamoto, T., (2006), “Verb: Natures”, Architecture Boogazine, Actar, Barcelona.
- Isaacs, A. J., (2008), “Self-Organizational Architecture: Design Through Form-Finding Methods”, Georgia Institute of Technology.
- İnceköse, Ü.,(2008), “Çağdaş Mimarlık Söylemleri ve Doğa bilimsel Bilgi: “Yeni” Mimarlık için “Yeni”den Bilimsel Kavramlar”, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, 341, [Son erişim tarihi: Temmuz 2009, http://old.mo.org.tr/mimarlikdergisi/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=291&RecID=1723#_edn15].
- Jencks, C., (2002), The Architecture of Jumping Universe, discussion with Cathcart, M., Architecture profile: Charles Jencks, Arts Today [Son erişim tarihi: Temmuz 2009, <http://www.abc.net.au/rn/arts/atoday/stories/s248345.htm>].
- Jodidio, P. ve Calatrava S., (1998), Santiago Calatrava, TASCHEN America Llc.
- Kolarevic, B., (2000), “Digital Morphogenesis and Computational Architectures”,

- Constructing The Digital Space, Rio De Jenerio, [Son erişim tarihi: 13.07.09, <http://cumincaades.scix.net /data /works/att/fbc9.content.pdf>].
- Kolarevic, B., (2003), "Architecture In The Digital Age, Design and Manufacturing", Spoon Pres, NewYork.
- Kwang Young, J., (2007a), ETET 1- Emerging Talents, Emerging Technologies, Students, Archiworld Co., Ltd., Korea.
- Kwang Young, J., (2007b), ETET 2- Emerging Talents, Emerging Technologies, Architects, Archiworld Co., Ltd., Korea.
- Kwon, D. Y., (2003), "ArchiDNA: A Generative System for Shape", Master Tezi, University of Washington, [Son erişim Tarihi: Ağustos 2009, http://depts.washington.edu /archidna/pdf/archidna_thesis.pdf]
- Lynn, G.,(1993), "Arhitectural Curvilinearity: the Folded, the Pliant and the Supple", Architectural Design Profile, 102:8-15.
- Lynn, G., (1999), Animate Form, Princeton, Architectural Press, New York.
- Mandelbrot, B., (1982), The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman And Company, New York.
- Masso, J, (1999), Gaudi, The Man and His Work, Little, Brown and Company.
- Mennan, Z., (2008), "The Question of Non Standard Form", METU JFA, (25:2), 171-183
- Mitchell, W. J., (1986), "Formal Representations: A Foundation For Computer-Aided Design", Environment and Planning B: Planning and Design, 13:133-162.
- Monedero, J., (2000), "Parametric Design: a Review and Some Experiences", Automation in Construction, 9: 369-377.
- Özer, B., (1993), "Yorumlar", İstanbul
- Özkanlar, G., (2008), "Organik Mimarlık Süreçleri", Mimar.ist Dergisi, 27, [Son erişim tarihi: Ağustos 2009, <http://www.generativeart.com/on/cic/papersGA2007/22.pdf>].
- Özsarıyıldız, S., (1991), "Conceptual Design by Means of Islamic-Geometric - Patterns within a CAAD-Environment", PhD Thesis, TU, Delft.
- Pektaş, Ş.T., (2009), "Teknoloji: Mimarlıkta Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamaları", Mimarlık Dergisi, 346.
- Pérez-Gómez, A. ve Pelletier, L., (1997), "Architectural Representation and The Perspectival Hinge", Cambridge, MA: MIT Press.
- Piegl, L. ve Tiller W., (1997), The NURBS Book, New York, Springer.
- Portoghesi, P., (2000), "Nature and Architecture", Skira Editore, Milan.
- Pottman, H., Asperl A., Hofer M. ve Kilian A., (2007), Architectural Geometry, Bentley Institute Pres, Exton Pennsylvania USA.
- Rocker, I. M., (2008), "Architectures of the Digital Realm: Experimentations by Peter Eisenman | Frank O. Gehry", Die Realität des Imaginären - Architektur und das digitale Bild/ 10, Internationales Bauhaus Kolloquium, Bauhaus University: Weimar, [Son erişim tarihi: Ağustos 2009, <http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2008/1406/pdf/rocker.pdf>].
- Rosa, J., R., (2003), "Next Generation Architecture: Folds, Blobs and Boxes", Rizzoli International Publications, New York.
- Schmal, P., (2001), Digital-Real, Blobmeister: First Built Projects, Birkhauser, Berlin.

- Schmitt, G., (1988), "Microcomputer aided design for architects and designers", A. Interscience Publication, USA.
- Selçuk, S. A. ve Sorguç, A. G., (2007), "Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22(2):451-459, [Son erişim tarihi: Temmuz 2009, http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2007_2/DERGI%202007%20V22%20NO2%20_sayfa%20451-459_.pdf]
- Stathopoulos, N. ve Weinstock, M (2006) ,"Advanced Simulation in Design", Architectural Design, 76 Issue 2 March/April, 54-59.
- Stiny, G., (1977), "Ice-ray: A Note on Chinese Lattice Designs", Environment and Planning, B/4: 89-98.
- Stiny, G., (1980), "Kindergarten Grammars: Designing with Froebel's Building Gifts", Environment and Planning, B/3: 449-460
- Stiny, G. ve Mitchell W. J., (1978), "The Palladian Grammar", Environment and Planning, B/5(1):5-18.
- Şanlı, S., (1993), Mimari Dil Bağlamında Bir Parametrik Biçim Grameri, Y. Lisans Tezi, İTÜ.
- Terzidis, K., (1989), "Transformational Design", ACADIA'89 Proceedings, The Association for Computer-Aided Design in Arcitecture, 87-101.
- Terzidis, K., (2006), "Algorithmic Architecture", Princeton Architectural Press, Harvard University, New York.
- Thompson, D., (1961), "On Growth and Form", Cambridge University Press, Cambridge.
- Tzonis, A., (1999), Santiago Calatrava, The poetics of Movement", Universe Publishing, New York.
- Tzonis, A., (2004), Santiago Calatrava Complete Works, Rizzoli, New York.
- Uğur, A., (2006), "Bezier Eğrileri ve Yüzeyleri", Ege Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ders Notları [Son erişim tarihi: http://yzgrafik.ege.edu.tr/~ugur/07_08_Spring/BG/Curves.ppt].
- Unwin, S., (1997), Analysing Architecture, UK: Routledge, London.
- Yanalak, M., (2001), "Yüzey Modellemede Üçgenleme Yöntemleri (Triangulation Methods In Surface Modelling)", Harita Dergisi, 126, [Son erişim tarihi: Nisan 2009, http://www.mat.itu.edu.tr/yazokulu/mustafa_yanalak_b.pdf].
- Weinstock, M., (2004), "Morphogenesis and the Mathematics of Emergence", Emergence: Morphogenetic Design Strategies, Architectural Design, 74(3):10-17.
- Whitelaw, M., (2008), "Links, Tangents, Grids and Foam (Olympic Arrays II)", [Son erişim tarihi: http://teemingvoid.blogspot.com/2008_08_01_archive.html].
- Yessios, C. I., (1987), "A Fractal Studio", ACADIA '87 Workshop Proceedings.
- Zardini, M., (1996), Santiago Calatrava Secret Sketchbook, Monacelli Press, New York.
- Zevi, B.; (1950a), "Mimariyi Öğrenmek", Birsen yayınevi, İstanbul.
- Zevi, B.; (1950b), "Towards an Organic Architecture", Faber and Faber, London.
- Zirek, S., (2007), "Teknik ve Mimarlık Üzerinden Sciarc'ta Proje Okumaları Esin ya da Teknik", Arredamento Mimarlık, Boyut yayın Grubu, YTÜ ve Columbia Üniversitesi, [Son Erişim Tarihi: Ağustos 2009, <http://www.boyutpedia.com>].

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] <http://yayim.meb.gov.tr/dergiler/157/develi.htm>
- [2] <http://tr.wikipedia.org/>
- [3] <http://sozluk.turkcebilgi.com/nedir/Uzam>
- [4] <http://www.matematikgeometri.com/altsayfalar/geohakkinda.html>
- [5] <http://www.stangrist.com/fibonacci.htm>
- [6] http://math.cu.edu.tr/ddonmez/Geometri_3.pdf
- [7] <http://www.arcsinx.com/m7.htm>
- [8] www.andrews.edu/~calkins/math/biograph/bioriema.htm
- [9] <http://topsoid.com/successes/report/objectile.asp>
- [10] <http://www.yenifrm.com/20-yuzyilin-modern-mimarlik-akimlari-t120797.html>
- [11] <http://sci.ege.edu.tr/~mat/yazi/mobius.html>
- [12] http://www.gaudiclub.com/esp/e_partici/mariana /0Spain-Barcelone-Gaudi-ston.jpg
- [13] www.smartgeometry.org
- [14] <http://www.soundsapes.be/blog/2007/08/26/eero-saarinen/>
- [15] <http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Grundlagen:3D-Grafik/module/13218?step=3>
- [16] <http://bnbtravel.files.wordpress.com/2008/10/nha-nguye1bb87n-notre-dame-du-haut-phap.jpg>
- [17] <http://blog.lib.umn.edu/yuanx072/architecture/>
- [18] http://www.itudergi.itu.edu.tr/tammetin/itu-a_2005_4_1_O_Ediz.pdf
- [19] http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbcdrawing.cgi/Einstein_Tower.html/ Einstein_Section_A.jpg
- [20] http://www.boyutpedia.com/default~ID~1620~aID~64801~link~tokyoberlin_ve_geri_donus_1945_oncesinde_karsilikli_mimari_iliskiler.html
- [21] <http://designrelated.com/inspiration/view/miesfrenchcafe/entry/2192/norman-foster-beijing-airport-terminal-3--exterior>
- [22] <http://news.architecture.sk/2009/04/foster-partners-design-of-capital-airport-in-beijing.php>
- [23] http://justgopherit.files.wordpress.com/2009/03/beijing_airport.jpg
- [25] <http://www.history.hacettepe.edu.tr/bilimtarihi/bilimadamlari/oklid.htm>
- [26] <http://www.glform.com/>
- [27] <http://architourist.pbworks.com/BCE-Place-Galleria>
- [28] <http://wvs.topleftpixel.com/08/05/19/>
- [29] <http://www.math.vt.edu/people/hoggard/FracGeom/node2.html>
- [30] <http://www.sutuven.com/showthread.php?p=1112>

- [31] http://media.wiley.com/product_data/excerpt/79/04705168/0470516879.pdf
- [32] http://www3.itu.edu.tr/~kkocak/fraktal_yazi.htm
- [33] www.genbilim.com
- [34] <http://www.travelblog.org/Photos/690812.html>
- [35] <http://architettura.supereva.com/files/20040218/index.htm>
- [36] <http://www.pi6.fernuni-hagen.de/publ/tr198.pdf>
- [37] <http://object-e-research.blogspot.com/2007/10/voronoi-diagrams.html>
- [38] <http://old.mo.org.tr/mimarlikdergisi/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=360&RecID=2024>
- [39] <http://www.core.form-ula.com/2008/08/07/who-is-going-to-pop-lord-kelvins-bubble-arup/>
- [40] <http://media.photobucket.com/image/the%20watercube/voyatzer/JULY%2007/watercube5.jpg>
- [41] <http://images.beijing2008.cn/20080130/Img214242533.jpg>
- [42] <http://old.mo.org.tr/mimarlikdergisi/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=354&RecID=1940>
- [43] <http://technikseiten.hsr.ch/fileadmin/technikseiten/Bibliotheken/Materialberichte/kunststoffe/ETFE.PDF>
- [44] <http://www.arkiblog.org/2008/08/pekinde-artc-yeil-olimpiyat-yaplar.html>
- [45] <http://www.arkitera.com/g136-pekin-2008-olimpiyat-oyunlari.html?year=&aID=2561&o=2556>
- [46] <http://www.archdaily.com/1339/beijing-airport-foster-partners/1235-fp259785-indesign/>
- [47] <http://soa.syr.edu/faculty/bcoleman/ARC603/603.Fa2001.projects.html>
- [48] <http://constructionblog.org/tag/contemporary>
- [49] http://www.diploma-unit-9.net/EDN_Newsletter_01_010106.pdf
- [50] www.art.bilkent.edu.tr/iaed/cb/Tekin
- [51] <http://scriptedbypurpose.wordpress.com/participants/arandalasch/>
- [52] <http://search.fbe.itu.edu.tr/drskont/goster.asp?did=4878>
- [53] <http://www.bentley.com/tr-TR/Solutions/Buildings/>
- [54] http://www.yapi.com.tr/UrunHaberleri/bim-yapi-bilgi-sistemi-ile-yapi-tasariminda-buyuk-yenilik_68593.html
- [55] www.steelpillow.com/polyhedra/wp/wp.htm
- [56] www.seedwiki.com/wiki/mel_scripting/general_information_about_geometries?wpid=700515
- [57] <http://www.f-u-r.de/>
- [58] <http://www.matematikgeometri.com/altsayfalar/geomakaleler.html>
- [59] http://www.iemar.tuwien.ac.at/fractal_architecture/subpages/31Mathematical.html

- [60] http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Glossary/differential_geometry.html
- [61] <http://mathworld.wolfram.com/DifferentialGeometry.html>
- [62] <http://www.gaudidesigner.com/uk/casa-mila.html>
- [63] <http://www.smartgeometry.org/FAQ>
- [64] <http://paraclouding.com/home/about/>
- [65] <http://www.deskeng.com/articles/aaagjk.htm>
- [66] www.futurefeeder.com/?m=200604
- [67] http://www.gnome-netlab.com/index_01.html
- [68] http://matsysdesign.com/category/projects/p_wall2006/
- [69] <http://www.izmimod.org.tr/egemimarlik/51/51.pdf>
- [70] <http://betonart2009.blogspot.com/feeds/posts/default>
- [71] <http://tx.technion.ac.il/~arrguedi/nir.htm>
- [72] <http://erdine-baskin.com/?tag=news>

EKLER

Ek 1 Öklid (Euclides) Geometrisi

Ek 2 Mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisine ait zaman çizelgesi

Ek 1 Öklid (Euclides) Geometrisi

Öklid, M.Ö. 300 sıralarında yazdığı 13 ciltlik yapıtıyla ünlüdür. Bu yapıt, geometriyi (dolayısıyla matematiği) ispat bağlamında aksiyomatik bir dizge olarak işleyen, ilk kapsamlı çalışmadır. 19. yüzyıl sonlarına gelinceye kadar alanında tek ders kitabı olarak akademik çevrelerde okunan, okutulan *Elementler*'in, kimi yetersizliklerine karşın, değerini bugün de sürdürdüğü söylenebilir [25]. Öklid geometrisinin aksiyomları şunlardır:

- 1- Aynı şeye eşit olan şeyler birbirlerine de eşittirler.
- 2- Eğer eşit miktarlara eşit miktarlar eklenirse, elde edilenler de eşit olur.
- 3- Eğer eşit miktarlardan eşit miktarlar çıkartılırsa, eşitlik bozulmaz.
- 4- Birbirine çakışan şeyler birbirine eşittir.
- 5- Bütün, parçadan büyüktür.

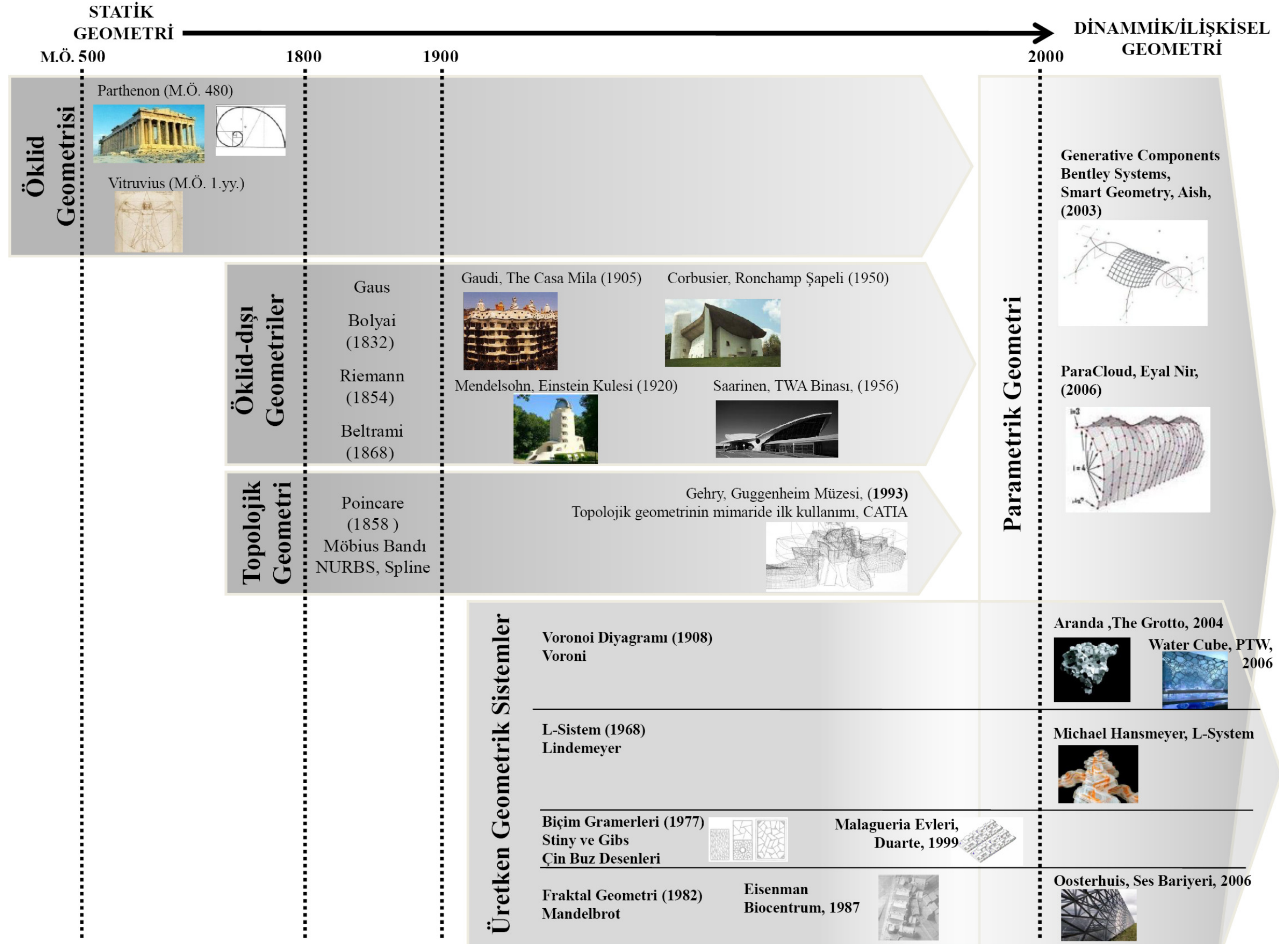
Öklid geometrisinin postulatları(ön doğruları) şunlardır:

- İki yol arasını birleştiren en kısa yol, doğrudur
- Doğru, doğru olarak sonsuza kadar uzatılabilir.
- Bir noktaya eşit uzaklıkta bulunan noktaların geometrik yeri çemberdir.
- Bütün dik açılar birbirine eşittir.
- İki doğru bir üçüncü doğru tarafından kesilirse, içte meydana gelen açılarının toplamının 180 dereceden küçük olduğu tarafta bu iki doğru kesişir.
- Bir üçgenin iç açıları toplamı 180 derecedir.
- Bir doğruya dışındaki bir noktadan yalnızca bir tek paralel çizilebilir.

Öklid'in üç tane de uzay kabulü vardır:

- Uzay üç boyutludur.
- Uzay sonsuzdur.
- Uzay homojendir [25].

Ek 2 Mimarlıkta hesaplamalı teknolojiler ve geometri ilişkisine ait zaman çizelgesi



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 22.06.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-2000 Bahçelievler Anadolu Lisesi (Y.Dil Alm.)

Lisans 2000-2006 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı,
Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2006-2007 Biskon İnşaat

Mimar

2007-(Devam) Schüco İstanbul Uluslararası İnşaat. Tic. Ltd. Şti
Teknik Danışmanlık