

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK BİLİM DALI

**STRÜKTÜR TASARIMINDA  
YENİLİKÇİ MATEMATİKSEL MODELLER  
ÜZERİNE BİR İNCELEME**  
(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan: **Özgür KAVURMACIOĞLU**

İSTANBUL, 2013

T.C.  
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK BİLİM DALI

**STRÜKTÜR TASARIMINDA  
YENİLİKÇİ MATEMATİKSEL MODELLER  
ÜZERİNE BİR İNCELEME**  
(Yüksek Lisans Tezi)

Tezi Hazırlayan:

**Özgür KAVURMACIOĞLU**

Öğrenci No:

110807007

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Levent ARIDAĞ

İSTANBUL, 2013

## YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Strüktür Tasarımında Yenilikçi Matematiksel Modeller Üzerine Bir İnceleme “ başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiği ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. ....../.../2013

Özgür KAVURMACIOĞLU

# STRÜKTÜR TASARIMINDA YENİLİKÇİ MATEMATİKSEL MODELLER ÜZERİNE BİR İNCELEME

Tezi Hazırlayan: ÖZGÜR KAVURMACIOĞLU

## Özet

Matematiğin mimarlık dahil olmak üzere farklı disiplinlerle girdiği sıkı ilişki ve teknolojinin gün geçtikçe gelişmesiyle kullanım alanı artan bilgisayar destekli tasarım teknolojisi sayesinde tasarım sürecinde farklı matematiksel modellerin kullanılması mümkün olmuştur. Matematiksel modellerle strüktür tasarımı, geometri ve malzeme parametrelerini ön plana çıkarmıştır.

Karmaşıklık kuramının sistemdeki dinamiklerin modellenmesi açısından strüktür tasarımındaki rolü önemlidir. Birbirinden farklı birçok parametrenin olması ve bunlar arasındaki ilişkilerin keşif süreci taşıyıcı sistemi tasarlanabilir bir sistem yapmıştır. Geometri, bu sistemin formunu oluşturur ve ilk dikkat çeken parametredir. Yaratılan her form bir geometri içerir ve formun ayakta durabilmesi için de strüktür tasarımına ihtiyaç vardır. Mimarlıkta geometriyle birlikte malzeme, tasarımın dokusunun, biçiminin ve binanın görünümünün oluşmasında temel bileşenlerdendir.

Strüktür tasarımında en temel yöntem olan sonlu elemanlar analizi ışığında, arup optimizeri, dinamik rahatlama, evrimsel şekil optimizeri ve evrimsel strüktür optimizeri incelenmiştir. Bu analizler sonucu ortaya çıkan zincir eğrisi, bükülme, minimal yüzey ve nurbs modelleri araştırılmıştır. Arup optimizeri, tüm sistemde kendi kendini organize etmesini sağlayacak en uygun tekrar elemanlarını seçer ve bu elemanları tek tek analiz eder. Dinamik rahatlama, malzemenin yerçekimi ile kendiliğinden şekil almasını sağlayan topolojik şeklindeki kemer yapının optimizasyonunu sağlar. Evrimsel şekil optimizeri ise serbest forma en uygun alanı seçmek için en az deplasman yaptıracak strüktürel eleman yerleşmesini analiz eder.

Evrimsel strüktür optimizasyonu ise sistemde vektörel gerilimi azaltmaya yönelik analizler yapar.

Strüktür modellerinden zincir eğrisi modelinde zincir, yerçekimine karşı oluşan eğrinin formunu alır. Bükülme, malzemenin kırılma noktasının gelişen teknoloji ve yeni malzemelerle eşik değerinin artması sonucunda, eski kırılma noktasının bükülmesiyle oluşan formdur. Minimal yüzeyler, minimum yüzey-gerilim potansiyel enerjisine sahip ve alan olarak da minimum olan formlardır. Nurbis ise üniform olmayan çizgiler eğrisidir ve bu eğriler, bir strüktür modelinde geometrinin haritalamasını yaparak serbest form yapıların strüktüre referans olabilecek olası çizgi ve yüzey ilişkilerinin hesaplanmasında kullanılırlar.

Matematiğin bir model oluşturduğu bu strüktür sistemlerinde, bilgisayar ortamında oluşan simülasyon, geçmişin sıkıcı ve anlaması zor olan hesaplamalarını geride bırakıp mimar ve mühendislere ortak olarak kullanabilecekleri bir ara yüz oluşturmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Strüktür Tasarımı, Karmaşıklık Kuramı, Optimizasyon, Geometri, Kendi kendini Organize Etme, Topoloji

# **A RESEARCH ON THE NEW MATHEMATICAL MODELS IN STRUCTURAL DESIGN**

Presented by: **ÖZGÜR KAVURMACIOĞLU**

## **Abstract**

Thanks to the close relationship that the mathematics have established with various disciplines including architecture and the computer-aided design technology which has an expanding area of use with ever-growing development of the technology, it has become likely to use different mathematical models in the design process. Structure design through mathematical models has brought the geometry and material parameters forward.

The theory of complexity plays an important role in the structure design with respect to the modeling of the dynamics in the system. It makes the load-bearing system a designable system that there are many parameters which are different from each other and the process of exploring the relationships between them. Geometry constitutes the form of this system and the first parameter that catches the attention. Each created form consists of geometry, and the structure design is required for the form to be able to remain standing. In architecture, the material along with geometry constitutes the main components in formation of the design texture, form and the appearance of the building.

In the light of the finite element analysis as the major method in structure design, Arup optimizer, dynamic relaxation, evolutionary shape optimizer and evolutionary structural optimizer have been examined. Catenary, curvature, minimal surface and nurbs models resulting from these analyses have been studied. Arup optimizer chooses the most suitable repetition elements that will help it self-organize itself in the whole system and individually analyzes these elements. Dynamic relaxation enables the optimization of the topological form arch structure that helps self-

formation of the material by gravity. Evolutionary shape optimizer analyzes the structural element layout that causes minimum displacement to choose the most suitable area for the freeform. Evolutionary structure optimizer carries out the analyses to decrease the vector tension in the system.

The chain in the catenary model among the structure models takes the form of the curve emerging against the gravity. Curvature is the form that occurs through the older breaking point's bending as a result of that the threshold value of the breaking point of the material has increased with the developing technology and new materials. Minimal surfaces are the forms that have a minimum surface-tension potential energy and the minimum area. Nurbs is a curve of non-uniform lines, and these curves are used in calculation of the possible line and surface connections that may be taken as reference for the structure of freeform structures by mapping the geometry.

In those structure systems where mathematics create a model for, the simulation created electronically has constituted an interface which the architects and engineers can be used jointly by leaving the bothering and complicated calculation of the past.

Key Words: Structural Design, Complexity Theory, Optimization, Geometry, Self-organization, Topology

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ.....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Araştırmanın Amacı.....	1
1.2. Araştırmanın Kapsamı.....	2
1.3. Araştırmanın Yöntemi.....	2
<b>2. KARMAŞIKLIK KURAMI VE TASARIM.....</b>	<b>3</b>
2.1. Karmaşıklık Kuramı.....	3
2.1.1. Sistemdeki Dinamikler- Kaos Kuramı.....	5
2.1.2. Hesaplanabilirlik Kuramı.....	8
2.2. Strüktür Tasarımı Kavramı.....	10
2.2.1. Geometri.....	14
2.2.1.1.Öklid Geometri.....	15
2.2.1.2. Öklid Olmayan Geometri.....	17
2.2.1.3.Kendi Kendini Organize Etme.....	21
2.2.1.4.Topolojik Geometri.....	22
2.2.2. Malzeme.....	24
2.2.2.1. Ahşap.....	28
2.2.2.2. Çelik, Alüminyum ve Diğer Metaller.....	29
2.2.2.3. Beton.....	31
2.2.2.4. Plastik.....	32



2.2.2.5. Cam.....	33
2.2.2.6. Membran.....	34
<b>3. YENİLİKÇİ MATEMATİKSEL MODELLER.....</b>	<b>36</b>
3.1. Optimizasyon Yöntemleri.....	36
3.1.1. Arup Optimizeri.....	36
3.1.2. Dinamik Rahatlama.....	45
3.1.3. Evrimsel Şekil Optimizeri.....	48
3.1.4. Evrimsel Strüktür Optimizeri.....	52
3.2. Strüktürel Modeller.....	54
3.2.1. Zincir Eğrisi .....	54
3.2.2. Bükülme.....	58
3.2.3. Minimal Yüzeyler.....	61
3.2.4. Nurbs.....	68
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>70</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>75</b>
<b>6. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>

## TABLÖLAR LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
<b>Tablo.1.</b> Modellerin Geometri ve Malzeme ile İlişkisi .....	71
<b>Tablo.2.</b> Model – Analiz Yöntemleri İlişkisi .....	72

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
<b>Şekil.1.</b> Toyo Ito'nun Tasarladığı Güneş Enerjisi Kullanan Stadyumu .....	4
<b>Şekil.2.</b> Kaos Kuramı ve Lorenz Çekicisi İlişkisi.....	6
<b>Şekil.3.</b> Strüktürde Yük Aktarımı .....	12
<b>Şekil.4.</b> Tomas Saraceno's Cloud City Çalışması .....	13
<b>Şekil.5.</b> Öklid Geometri Örnekleri.....	16
<b>Şekil.6.</b> Poincare Hiperbolik Disk Modeli.....	18
<b>Şekil.7.</b> Öklidyen Olmayan Geometri Örnekleri.....	18
<b>Şekil.8.</b> Fraktal Geometri.....	19
<b>Şekil.9.</b> Antonio Gaudi'nin İspanya'da ki Eseri Sagrada Familia .....	20
<b>Şekil.10.</b> Donuttan Kupaya Topolojik Dönüşüm .....	22
<b>Şekil.11.</b> Toyohama Terminali ve Topolojisi .....	23
<b>Şekil.12.</b> Şekil Değiştirme Zaman İlişkisi .....	26
<b>Şekil.13.</b> Niels Torp'un Olimpik Stadyumu .....	28
<b>Şekil.14.</b> Metropol Parasol, Sevilla .....	29
<b>Şekil.15.</b> Waagner Biro'nun Kubbe Çelik Binası .....	30
<b>Şekil.16.</b> Pier Luigi Nervi Eseri.....	31
<b>Şekil.17.</b> Arquitecto , Felix Candela .....	32
<b>Şekil.18.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu ve ETFE Kullanımı .....	33
<b>Şekil.19.</b> Lido Sirk Okulu, Toulouse/Fransa .....	35

<b>Şekil.20.</b> Arup Optimizeri Şematik Gösterim .....	37
<b>Şekil.21.</b> Watercube Binası, Ptw Architects ve Arup .....	38
<b>Şekil.22.</b> Pleateau'nun Sabun Köpüğü Geometrisi Ve Weaire Phelan Modeli.....	38
<b>Şekil.23.</b> Geometrik Köpük Formun Etf ile Kaplanması .....	39
<b>Şekil.24.</b> Arup Optimizeri Kullanımı .....	39
<b>Şekil.25.</b> Pekin Olimpiyat Stadyumu .....	40
<b>Şekil.26.</b> Kafes Kolon Örneği .....	41
<b>Şekil.27.</b> Stadyumun Cad Çizimi.....	41
<b>Şekil.28.</b> Simetriklik.....	42
<b>Şekil.29.</b> Taşıyıcı Sistem .....	43
<b>Şekil.30.</b> Stadyum İçinden Strüktür Detayı .....	44
<b>Şekil.31.</b> Bükülme Modeli .....	44
<b>Şekil.32.</b> Bükülme Modeli Detayı .....	45
<b>Şekil.33.</b> Arup Optimizeri ile Stadyum Modeli .....	45
<b>Şekil.34.</b> Dinamik Rahatlama Şematik Gösterimi .....	46
<b>Şekil.35.</b> Weald and Downland Gridshell Müzesi.....	47
<b>Şekil.36.</b> Dinamik Rahatlama Simülasyonu .....	47
<b>Şekil.37.</b> Yapım Aşaması .....	48
<b>Şekil.38.</b> Membran yapılarda Dinamik Rahatlama.....	48
<b>Şekil.39.</b> Evrimsel Şekil Optimizeri Şematik Gösterimi.....	49
<b>Şekil.40.</b> Meiso no Mori Crematorium, Toyo Ito.....	50
<b>Şekil.41.</b> Binanın Evrimsel Şekil Optimizeri Grafikleri.....	51
<b>Şekil.42.</b> Evrimsel Şekil Optimizeri Şematik Gösterimi .....	52

<b>Şekil.43.</b> Floransa Tren İstasyonu Tasarımı .....	53
<b>Şekil.44.</b> Evrimsel Strüktür Optimizasyonu .....	53
<b>Şekil.45.</b> Zincir Eğrisi Modelleri Şematik Gösterimi .....	54
<b>Şekil.46.</b> Zincir Eğrisi Ve Üçgen Kuvveti .....	55
<b>Şekil.47.</b> Zincir Eğrisi Modeli Örneği .....	55
<b>Şekil.48.</b> Zincir Eğrisi Modelleri Şematik Gösterimi .....	56
<b>Şekil.49.</b> İç İç Zincirlerin Asılması .....	56
<b>Şekil.50.</b> Matematiksel Eğriler .....	57
<b>Şekil.51.</b> Tuğladan İnşa Edilmiş Zincir Eğrisi Modeli .....	57
<b>Şekil.52.</b> Bükülme Şematik Gösterimi .....	58
<b>Şekil.53.</b> Eyer Yüzey Şematik Gösterimi .....	59
<b>Şekil.54.</b> Düz Eğim Grafikleri .....	59
<b>Şekil.55.</b> New Taipei City Museum of Art – OODA .....	60
<b>Şekil.56.</b> Strüktürel Eleman Diyagramı .....	60
<b>Şekil.57.</b> Yapının Su taşıma, Güneş Işığı ve Hava Akımı Diyagramları .....	61
<b>Şekil.58.</b> Catenoid, Helicoid, Enneper Yüzeyi, Costa- Hoffmann Yüzeyi .....	62
<b>Şekil.59.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu .....	63
<b>Şekil.60.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu Geometrisi .....	64
<b>Şekil.61.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu Topolojik Görüntüsü .....	64
<b>Şekil.62.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu Geometrisi Detayı .....	65
<b>Şekil.63.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu Çelik Halat Birleşim Detayı.....	65
<b>Şekil.64.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu Akrilik Panelleri .....	66
<b>Şekil.65.</b> Münih Olimpiyat Stadyumunun Topolojik Diyagramı .....	66

<b>Şekil.66.</b> Münih Olimpiyat Stadyumunun Membran Detayı .....	67
<b>Şekil.67.</b> Münih Olimpiyat Stadyumu Membranın Dinamik Rahatlama Diyagramı.	67
<b>Şekil.68.</b> Nurbs şematik gösterimi .....	68
<b>Şekil.69.</b> Kunsthaus Graz .....	69
<b>Şekil.70.</b> Nurbs Eğrileri ile Tasarım .....	69

## **KISALTMALAR**

**NURBS** : Non-Uniform Rational B-Splines

**ETFE** : Ethylene Tetra Fluoro Ethylene

**HSS** : High Speed Steel

*“Apaçıktır ki, mühendislik ve mühendislik eğitiminin verisi olan zihni yapıcılık mimarlığı yaratmaya yeterli değildir. Fakat yine aynı derecede açıktır ki mühendislik tekniği olmaksızın mimari bir kavram, bir şairin zihninde tasarlayıp, yazmadığı bir şiir gibi, mevcut değildir.”*

*Pier Luigi Nervi*

## **1. GİRİŞ**

### **1.1. Araştırmanın Amacı**

Mimarlık ve matematik arasındaki ilişki, genellikle tek yönlü bir ilişki olarak algılanmış ve matematiğin mimarlıktaki rolü mimarlık tarihi boyunca pek çok farklı örnek ve uygulama biçimleri ile karşımıza çıkmıştır. Günümüzde ise, bilgisayarlı teknolojiler ile birlikte matematik ve mimarlık ilişkisi çok daha kompleks biçimde evrilmiştir. Bu evrim, topolojiler ya da karmaşık geometrilerle sınırlı olmayıp, tüm bunlarında ötesinde, bilgisayarlı düşünme sonucunda bilgisayarlı tasarım anlayışını da gündeme getirmiş, mimarlık matematiği, salt geometri, parametrik hacim ve yüzey ilişkilerini elde etmek için değil, bilgisayarlı tasarım anlayışı ile, formal mantık ve aksiyomatik yöntemleri de tasarım süreçleri ile bütünleştirmeye başlamıştır. Son yıllarda ise matematik mimarlık için sadece oran ya form arayışlarının aracı olmaktan çıkmış, farklı bilgi alanlarının bilgilerinin bütünleştirildiği, çok sayıda verinin bir tasarım parametresi olarak kullanıldığı karmaşık tasarım süreçlerinin ve bu süreçlerin gereği olan temel düşünce biçimine dönüşmüştür (Sorguç, 2012).

Strüktürün oluşmasını sağlayan modeller ve yapıda kullanılan strüktürel elemanları optimize eden yöntemler, bu araştırmanın temel inceleme alanıdır. Bu doğrultuda araştırmanın amacı strüktür tasarımının bilgisini son yüzyılda olan değişimler doğrultusunda yenilikçi bir yaklaşımla gözden geçirmektir. Mimari tasarım boşluğun tasarlanmasıyla oluşurken, strüktür tasarımı ve optimizasyon modelleri bu boşluğu kuracak ilişkiler ağını verebilir. Strüktür tasarımında matematiksel modelleri inceleyerek mimari tasarım için yenilikçi yaklaşımları ortaya çıkarmak bu araştırmanın temel amacıdır.



## **1.2. Araştırmanın Kapsamı**

Bu araştırmada incelenen konu strüktür tasarımındaki matematiksel modellerdir. Bu nedenle strüktür tasarımı temel inceleme alanı olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda matematiksel modellerin strüktür tasarımında getirdiği yeni yaklaşımlar, strüktürel modeller ve optimizasyon yöntemleri incelenmektedir.

Mimarlıkta geleneksel düşünme parametre ve ölçütleri çerçevesinde düşünmek yerine bilgisayar, çok daha fazla sayıda parametreyi ve en optimum çözümün ne olacağını işaret ederek tanımlar. Matematiksel bir gösterim olan modelin simülasyonu, mimarlıkta matematiğin kullanılma alanlarından biridir. Bu araştırmada buna bağlı olarak strüktür tasarımında strüktürel modeller ve strüktür elemanlarının optimizasyonu ele alınmıştır. Bunlara bağlı kalarak araştırmanın kapsamı, strüktür tasarımındaki modelleri ve optimizasyon yöntemlerini irdelemektedir.

## **1.3. Araştırmanın Yöntemi**

Araştırma kapsamında, strüktür tasarımındaki matematiksel modellerin, karmaşıklık kuramı ve malzeme, geometri parametreleriyle olan ilişkisi irdelenerek, incelenmiştir.

Bu incelemede;

- Literatür araştırmasının yapılması (tezler, araştırma raporları, kitaplar, dergiler, internet kaynakları, yayınlanmış proje/yapı, sergi ve mimari gruplar)
- Belirlenen başlıklar altında örneklerin incelenmesine gidilerek verilerin toplanması
- Verilen karşılaştırılması, ilişkilendirilmesi ve yorumlanması
- Sonuçların değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir.

## 2. KARMAŞIKLIK KURAMI VE TASARIM

### 2.1. Karmaşıklık Kuramı

21. yüzyılda ortamı karakterize eden küreselleşme, iletişim ve bilgi işleme teknolojilerindeki gelişmeler, insana verilen değerın etkisiyle kıyaslanamayacak ölçüde artması ve her şeyin her şeyle ilişkisi olduğu varsayımındaki bütüncül sistemsel anlayışın gelişmesi sonucu karmaşıklık yaklaşımının, işletme ve organizasyonların, bunların işleyiş özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına imkan vereceği yönündeki düşünce yayılarak gelişmektedir (Çınar, 2009). Bu gelişmeler üzerine karmaşıklık kuramı mimarlıktan biyolojiye birçok alanda araştırılmaya başlanmış ve kuramdan sonra çıkan bilgiler ile araştırılan daldaki oluşumlara bakış açısı genişlemiştir.

İlk defa 1995 yılında Stuart Kauffman tarafından ileri sürülen karmaşıklık kuramına göre, birçok küçük parçaya sahip organizmalar, aniden kendilerini düzenli bir hayata sokarlar ve sistemin içindeki itici güçler, bu yapıların birinden diğerine geçmesini sağlar. Kauffman'a göre "kimyasal çorba" olarak adlandırılan karışım, zaman içinde karmaşık metabolizma faaliyetlerine dönüşürler (Bozkurt, 2010). Karmaşıklığın incelendiği sistemler, hem değişkenlerin başlangıç değerleri, hem birbirleriyle ve dış çevrelerindeki unsurlarla karşılıklı etkileşimli ve doğrusal olmayan ilişkilerini ifade eden kavramdır (Çınar, 2009). Bu durumda sistemi meydana getiren parçaları ve onların eylemlerini kapsayan matematiksel veya mantıksal bir model oluşturulabilmektedir. Karmaşıklık kuramı da sistemin bu yapısını dikkate alarak iki temel varsayımdan beslenir. Bunlardan birincisine göre ne nesnel bir yöntem, ne de önceden kesitirilebilir bir gerçek yoktur. Sistemler açık, akışkan ve karmaşıktır. Her sistem çevresiyle madde, enerji ve bilgi alışverişinde bulunur; ancak sebepler de sonuçlar da belirsizdir. Bunun yerine daimi geri ve ileri bildirimlerden bahsedilebilir ve bu etkileşimlerin anlamı alıcıya göre değişiklik gösterir. Daha önemlisi, sistemler kendi kendilerini organize eder. Buna göre, her sistem kendi bünyesindeki bilgi akışını yorumlar; kendisini oluşturan tek tek parçalardan yola çıkarak kestirilemeyecek, beklenmedik bütünsel özellikler gösterir. Bu özellikler tekrar sisteme giriş yaparak sistemin davranışını etkiler. Bu da

bizi karmaşıklık kuramının ikinci varsayımına götürür: Bir sistemin bütünü parçaların toplamından fazladır (Wang, 2010). Karmaşıklık kuramında anahtar fikir; tekrarlanan, kombine edilen ve değişen küçük ve sade parçaların basit kuralları izlemesidir. İterasyonlardan sonra, sonuç olarak önceden ileride ne olacağı kolay tahmin edilemeyen farklı sistemler meydana gelir (Burry, 2010).

Günümüz mimari tasarım ortamında biçimin kendisini strüktür olduğu tasarımlar gerçekleşmektedir. Örnek olarak Toyo Ito mimarisi verilebilir (Şekil.1.). Planlama sırasındaki strüktür, malzeme, biçim hiyerarşisini yıkan çalışmaları ile modern mimaride farklı bir ara yüz oluşturmuştur (Sönmez, 2008).



**Şekil.1.** Toyo Ito'nun Tasarladığı Güneş Enerjisi Kullanan Stadyumu

**Kaynak:** <http://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-world-games-stadium-in-kaohsiung-taiwan-opens/> 'den (11 Ocak 2013) tarihinde alındı.

Mimari tasarımın bittiği noktada, strüktür ve tesisat projelerinin başlaması şeklinde sürdürülen geleneksel yaklaşımın başarısızlığı içinde yaşadığımız binalardan takip edilebilir. Teknolojik gelişmelerin gidişatı, disiplinlerin birbirinden bağımsız tasarım ve yapım sürecine girmelerinin bugün olduğu gibi gelecekteki bina

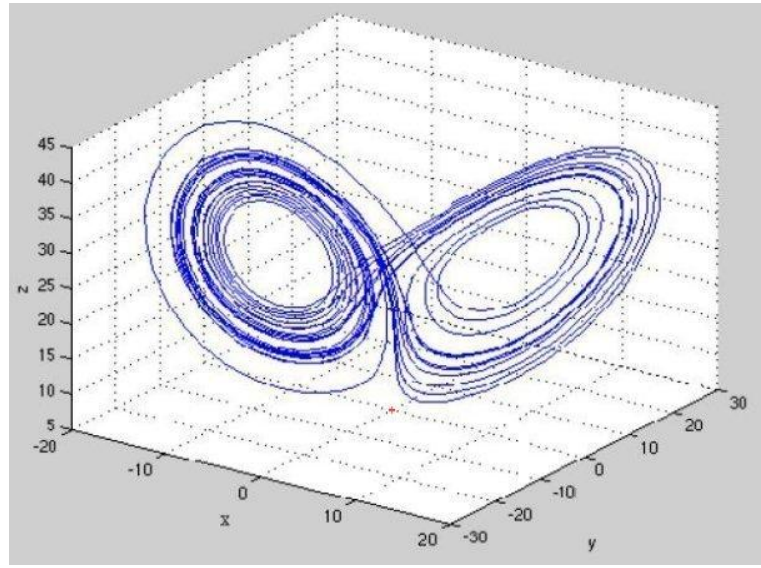
üretimi için de yetersiz kalacağı yönündedir. İçinde yaşanan tek sanat ögesi olan bina, estetik alanda yerini korurken, teknolojik gelişmeler ile paralel biçimde artan ve değişen konfor taleplerine uygun mekan yaratmak, mühendislik disiplinleri ile olan işbirliğiyle iç içe bir biçimde sürdürmektedir. Eskiden barınmak, korunmak ile sınırlı mekan arayışı, teknolojiyle gelişen çevreyi kontrol etme yeteneğimiz ve bireysel anlamdaki özgürlüklerimiz ile değişmektedir (Bilgin, b.t.).Mimarlık, Vitruvius'un tanımladığı üç mimari öge; kullanışlılık, sağlamlık ve hoşluk kavramlarını içerdiği andan itibaren karmaşık ve çelişkili hale gelmektedir. Bugün ise programın, strüktürün, mekanik donatının ve anlatımın zorunlu istekleri, basit bağlamdaki konumlarıyla tek yapılar için bile, daha önce akla gelemeyecek ölçüde çok çeşitli ve çelişkilidir.

### **2.1.1. Sistemdeki Dinamikler- Kaos Kuramı**

Kaos kuramı; yapısal olarak bir fizik kuramı ya da matematiksel bir tümevarım değil, fiziksel gerçeklik parçalarının bir bütün olarak eğilimini açıklamaya yarayan bir yöntemdir. Sayısal bilgisayarların ve onların çıktılarını çok kolay görülebilir hale getiren ekranların ortaya çıkmasıyla gelişir ve son on yıl içinde popülerlik kazanır. Ancak kaotik davranış gösteren sistemlerde tahmin etmenin imkansızlığı bu popüler görüntüyle birleşince, bilim adamları bu konuya kuşkucu bir gözle bakmaya başlarlar. Fakat son yıllarda kaos kuramının ve onun bir uzantısı olan fraktal geometrinin, borsadan meteorolojiye, iletişimden tıba, kimyadan mekaniğe kadar uzanan çok farklı dallarda önemli kullanım alanları bulması ile bu kuşkular giderek yok olmaktadır (Gleick, 2005).

Kaos, bazı bilim adamlarına göre düzensizlik ve zeminini bulamamışlık kavramının karşılığı olarak tanımlanmaktadır. Oysa kaos içinde tesadüf denilen olay rastgele olmadığı gibi, önceden kestirilebilirlik de geleceğin tam anlamıyla bilinmemesidir. Kaosa dışarıdan bakıldığında karışıklık ve düzensizliği ifade etse de, bilim adamları için önceden kestirilmeyen, içerisinde kuralsız ama benzer şekillerin olduğu düzenli bir düzensizliği, yani amacı olan bir karışıklığı ifade etmektedir (Töremen, 2000). Burada sistem ve kaos arakesitinde kaotik gibi görülen düzene evirilebilecek parametreler ile keşfetmek, yorum yapmak önemlidir.

Kaos davranışı, yaşarken gözlemlediğimiz ve birbirleri ile ilişkisi yokmuş gibi görünen, düzensiz, tesadüf eseriymiş izlenimi veren durum ve olayların, farklı bir bakış açısıyla bakıldığında aslında bir düzenin parçası olduğu gerçeğini gösterir. Kaos kavramının bilimsel tanımı “düzensizlik içindeki düzen” olarak ifade edilir. Kaos davranışında ki düzensizlik, basit bir dağınıklık veya karmaşıklık değildir ve düzensizliği bu şekilde tanımlamak hem kaosu hem de düzeni anlaşılabilir hale sokar (Şekil.2.)



**Şekil.2.** Kaos Kuramı ve Lorenz Çekicisi\* İlişkisi

**Kaynak:** <http://universe-review.ca/I01-18-LorenzEq2.jpg> ‘den (12 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

\*Bir iklim bilimci olan Edward Lorenz atmosferde oluşan rüzgâr, fırtına, tayfun gibi dinamik hava akımlarını kurgulayan bir model geliştirmişti. Lorenz’in denklemleri kendi üzerlerine dönerek oluştuklarından süresiz adımlar içermekteydi. Ortaya çıkan sonuçlar sürekli bir fonksiyon olarak çizildiğinde bir kelebeğin kanatlarına benzeyen Şekil.2.’deki görüntü ortaya çıkar. Bu şekil “Lorenz çekicisi” olarak adlandırılmış ve kaos kuramının başlangıcını oluşturmuştur. Kayalardan akan suyun türbülansı, yükselen sigara dumanının hareketi, fırtınalı rüzgârlar, tayfunlar, borsa hareketleri, zarlardan yuvarlanması, kalbin fibrilasyona girmesi gibi çok farklı olaylar kaos kuramı ile açıklanabilir hale gelmiştir.

Bir sigara dumanının havada yaptığı şekiller tamamen düzensiz ve bağımsız rastlantıların ürünü olarak görülebilir. Ancak bir teorik fizikçi dumanın bu dinamiğinin aslında ortamdaki birçok parametre ve etken ile belirlendiği görüşündedir. Bu girdiler o kadar çoktur ve o kadar değişkendir ki incelemek ve net bir kanıya varmak imkansızdır. Parametrelerin bu denli değişken olması aslında o parametrelerin de bir çıktı olmasından kaynaklanır. Dumanın hareketine neden olan hafif bir hava akımı aslında odanın başka yerindeki bir sıcaklık değişikliği ve basınç farkının neden olduğu bir harekettir. Ayrıca dumanın dinamiğini etkileyen girdiler birbirlerine bağlı olabilirler ki bu durumu tam anlamıyla içinden çıkılmaz hale sokar. Sigara dumanı örneğinde, hava akımının yalnızca sıcaklık değişiminden kaynaklandığı düşünüldüğünde, sıcaklık değişiminin ortamda basınç farkı yaratması hava akımını etkiler. Ancak oluşan hava akımı sıcaklıkta tekrar değişimlere neden olacağından farklı girdilerle tekrar bir fonksiyon oluşturur ve bu değişim sonsuza kadar devam eder. Birçok farklı girdinin sürekli değişerek fiziksel değişimler ve farklı düzenler yaratması ve bu düzenlerin yine kendisini etkilemesi insan zekasının ve günümüzdeki gözlem ve bilimsel tahmin yeteneklerinin çok üstünde olmasından dolayı kaos olarak nitelendirilir. Oysa tüm bu değişimlere neden olan fiziksel yasalara ve matematiksel açıklamalara hakim durumdayız. İşte bu noktada karşımıza düzen ve kaosun aslında birbirine ne kadar bağlı olduğu ortaya çıkar (Gleick, 2005).

Kaosun getirdiği önemli değişikliklerden biri kestirilemez determinizmdir. Sistemin yapısı ne kadar iyi modellenirse bile, bir hata bile, yapacağımız tahminde tamamen yanlış sonuçlara yol açacaktır. Bu başlangıç koşullarına duyarlılık olarak tanımlanır ve bundan dolayı sistem tamamen nedensel olarak çalıştığı halde uzun vadeli doğru bir tahmin mümkün değildir. Bugünkü değerler ne kadar iyi ölçülürse ölçülsün, 30 gün sonra saat 12'de hava sıcaklığı ne olacak tahmin edilemez. Bu görüş ile ortaya çıkan en ünlü örnek ise kelebek etkisi denen modellemedir. Bu modelleme, en basit haliyle şu iddiayı taşır: "Çin de kanat çırpın bir kelebek ABD de bir fırtınaya neden olabilir". Kaos kuramını geliştiren Fransız matematikçi Jules Henri Poincare kaosu "Bilim ve Yöntemler" (1914, 67-68) adlı eserinde şöyle ifade etmiştir: "Dikkatlerimizden kaçan küçük noktalardan biri, öylesine büyük ve önemli sonuçlara neden olur ki, bizde kalkıp bu sonucun rastlantı sonucu ortaya çıktığını söyleriz. Tabiatın yasalarını ve evrenin başlangıç anındaki durumunu izleyen daha

sonraki anlardan birinde hangi durumda olacağını da tam olarak öngörmemiz mümkün olabilirdi. Tabiat yasalarının artık bizden kaçacak hiçbir sırrı kalmamış olsa bile, gerçek durum konusunda yaklaşık olarak bilgi sahibi olabilirdik. Bu sayede, başlangıç durumunu izleyen durum aynı şekilde yaklaşık değerler olarak öngörmemiz olanak dahilinde olsa, tüm istediğimizi gerçekleştirmiş olur ve bizde bu fenomenin öngörülmüş olduğunu, yasalara uygun olarak cereyan ettiğini söyleriz. Ne var ki, her zaman böyle olmamaktadır, başlangıç şartlarında ki küçük farkların nihai olgularda çok büyük farklar oluşturduğu da görülmektedir. Başlangıç koşullarındaki küçük bir hata nihai olguda muazzam bir hataya neden olacaktır. Bu durumda, olacağı öngörmek olanaklı değildir.”

### **2.1.2. Hesaplanabilirlik Kuramı**

Geleneksel matematiğin ve statik sistemlerin doğanın karmaşık kurgusunu açıklamakta yetersiz kalmasıyla birlikte, birçok disiplin doğal ve yapay oluşumları hesaplamalı kuram ve algoritmik düşünceyle tanımlamaya yönelmiştir. Bu arayışta hesaplamalı kuram, sunduğu düşünme biçimiyle teorik çerçeveye ve sunduğu yöntemlerle üretici araca dönüşmektedir. Böylece hesaplamalı düşünmenin getirdiği algı, doğayı ve sistemlerini yeni modeller ile anlamamızı sağlayabilmektedir. (Erdoğan, 2011)

Hücrel otomasyon ve L-sistemler doğada ki karmaşık kurguyu algoritmik işlemlerle modelleme ve bu modeli yapay sistemlere uygulama arayışındaki ilk girişimler olarak ele alınabilir. Hücrel otomasyon modelinde sistem, başlangıç öğelerinden ve temel kurallardan meydana gelmektedir. Birimlerin kendi kendini organize etmesiyle ve kuralların kendi kendini tekrarlamasıyla sistem, belirli bir zaman boyunca işletilir. Böylece bölgesel etkileşimler ve kurallar bütüncül sonucu tanımlayarak meydana getirir. Ayrıca rakamsal matematiğin açıklamakta zorlandığı karmaşık sistemler bile hücrel otomasyon ile basit başlangıç öğelerden ve kurallardan türetilmektedir (Erdoğan, 2011).

Hesaplanabilirlik kuramının ara yüz olmasıyla mimarlığın biyoloji, genetik, bilişim teknolojileri, matematik ve daha birçok disiplinle ortak çalışması güçlenmiştir. Bu yaklaşım, önce bilgi akışı kurgusunun hesaplanabilirlik düşüncesinin evrensel yapısıyla analiz edilmesini sağlamış, sonra da analiz edilen bilginin söz konusu alanda uygun, gerekli ve doğru bir biçimde yeniden kurgulanmasına yol gösterici olmuştur. Bununla beraber hesaplanabilirlik kuramı, evrensel yapısı sayesinde bilgi akışının herhangi bir çalışma alanıyla sınırlı kalmadan disiplinler arası gerçekleşmesini desteklemektedir.

Örneğin imalat boyunca sözü edilen teknolojilerin kullanımı ile erişilen isabet ve kontrol, daha önce mimarlık alanında görülmemiş düzeylere ulaşmaktadır. Dijital üretimde iki ilgi alanı vardır: Prototip üretimi ve imalat. Prototip üretimi tasarımdaki gelişmelerin bir tasarım nesnesinin görsel temsilinden performans simülasyonu sürecine (malzeme özellikleri, mimari ayrıntılar, imalat ve montaj süreci) doğru geçişini tartışmaktadır. Bina yapımında prefabrikasyon kavramını esnek imalat veya kitlesel özelleştirme bağlamında tekrar düşünülebilmektedir. Bu ise dengeyi, prefabrikasyonun ilham aldığı endüstriyel standartlaşma kavramlarından almakta, mimarların çalışma alanı olan üretimde ısmarlama tasarımın alanına doğru değiştirmektedir (Dritsas, 2012).

Biçim-dönüşümü kavramı kapsamında ise doğal sistemleri tanımlayacak çeşitli algoritmik modelleme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, bu yöntemler mimarlık disiplinine dijital araçların kullanımı, biçim üretimi gibi yeni tasarım anlayışlarını tanıtmaktadır. Bu bakış açısıyla mimarlığa kazandırılan sayısal üretim yöntemleri olarak kilit-şekil animasyonları, genetik algoritmalar ve topolojik mimarlık sayılabilir. Bu konuda Branko Kolarevic (2003, 58-59), dijital üretken sistemleri; “Dijital ve üretken sistemler sayesinde mimarlığın kavramsal, biçimsel ve yapısal arayışları da gelişen/değişen ve uyarlanabilir bir mimarlık üretme amacıyla gerçekleşir oldu. Buna bağlı olarak dijital üretim teknikleri biçim yapılışından çok biçim arayışına önem veren mimari süreçleri doğurdu. Böylece biçim kavramı da anlayış değiştirdi; tekil ve sabit olmasının yerini çoklu ve değişken olma özellikleri aldı.” şeklinde tanımlamıştır.



Analitik süreçleri hesaplanabilir modellere dönüştürme konusunda oldukça ilerleme kaydedilmiştir. Bu tür analitik süreçler tasarım tanımlarının değerlendirilmesi ve simülasyonu açısından çok önemlidir. Bilgisayar donanımı ve algoritmalarındaki gelişmeler bu hesaplamaların boyut ve karmaşıklığının artmasına izin vererek birkaç yıl öncesinde hayal bile edilemeyen birçok tasarımı bugün mümkün kılmaktadır (Kilian, 2012). Doğal ve yapay oluşum süreçleri; oluşturulan sayısal modellerle, ileri/geri besleme, etkileşimli öğrenme, farkındalık ve adaptasyon, öz-düzen gibi temalarla ve hesaplamalı ilkelerle açıklanabilmektedir. Buna bağlı olarak mimarlık; çevre koşullarına uyumlu, kendini düzenleyen ve sürdürülebilir yapılar için doğadan öğrenme sürecini tanımlayabilir hale gelebilmektedir (Erdoğan, 2011). Ara yüz olarak hesaplanabilirlik düşüncesi, mimarlığın disiplinler arası iş birliğinde bulunduğu ve bütüncül bilgi akışı yapısında yer edindiği bir çalışma alanına dönüştürmektedir. Tasarımda değişkenlerin tanımlanması ve değişkenlerin tekrar değerlendirilmesi veya ilişkilerinin yeniden belirlenmesi, bütüncül tasarımın gelişimine ve değişimine neden olabilmektedir. Böylece parametrik tasarım süreçlerinin tanımlanmasında, performansa dayalı mimari tasarım anlayışının gelişimi ve sürecin daha kontrol edilebilir mümkün olmaktadır. Tüm bu gelişmeler yapıların strüktür tasarımlarında farklı değişkenleri hesaba katabilen yenilikçi yaklaşımları beraber getirmiştir.

## **2.2. Strüktür Tasarımı Kavramı**

Strüktür, yapının iskeletini oluşturan taşıyıcı sisteminin ve taşıyıcı elemanların genel adıdır. Strüktür, insanlığın varoluşuyla ortaya çıkıp, evrimiyle de gelişmiştir. Geçmişte tasarımın çıkış noktası strüktürken endüstri çağıyla birlikte eski önemini yeniden kazanmıştır. Genellikle mimarlar, binanın temel çerçevesi olan taşıyıcı sistemi yapının nihai halinde görünür kılmaya çalışırlar. Endüstri devriminden itibaren, mühendislik ürünü yapıların (örneğin köprüler) strüktürleri açıkça görünecek şekilde tasarlanmaya başlanmış, bu sayede taşıyıcı sistemleri tanımlanabilir hale gelmiştir. Strüktür tanımlanmaya başladığında, strüktür yalnızca düzen kurmaya ve yükleri taşımaya değil, çoğu durumda tasarımın ana ögesi olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır ve strüktürün bir mimari yapının hem estetik niteliğine

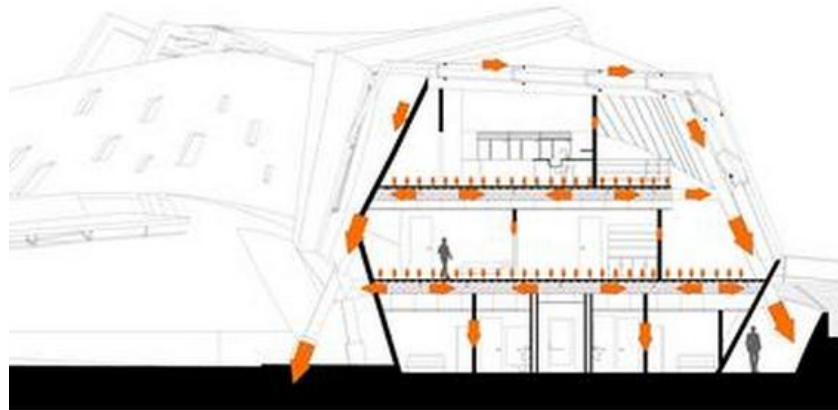
hem de yapısal özelliklerine önemli ölçüde etki ettiğini söyleyebiliriz (Bielefeld ve El Khouli, 2010). İnşaat tekniklerinde 20. yüzyıl içinde;

1. Strüktür teorilerinin doğması ve evrimleşmesi. Bu sayede yeterli güvenlik ve duyarlılık ile strüktürlerin birçok çeşitlerini tasarlamak imkanı,
2. Çelik ve beton gibi yüksek mukavemetli malzemelerin bolluğu ve malzemeler alanında esaslı evrimler,
3. Endüstriyel gelişmenin, yeni ve hızlı taşıtların ve toplumsal ilerlemenin getirdiği yeni mimarî konuların ihtişamı ve değişikliği,
4. Ekonominin artan önemi dolayısıyla köklü değişiklikler yaşanmıştır. Belki de, söz konusu maddeler arasında en önemlisi birincisidir. Çünkü strüktür kuram bilgisinin yayılması, strüktürel problemlerin esaslarını tüm alana yaymış ve mimarı, sadece yavaş bir evrim ile başarıya ulaştırabilen şema ve çözümlerden kurtarmıştır (Nervi, 1967). Strüktür yalnızca sistemin ayakta durmasını sağlayan bir eleman iken günümüzde tasarımın çıkış noktası haline gelmiştir.

Bir yapının şekli ne olursa olsun başta yerçekimi olmak üzere bir çok farklı dış yük etkisindedir. Bu dış yük etkilerini ve kendi ağırlığından oluşan yükleri güvenlik sınırı altında taşıyan ve elemanlar aracılığıyla zemine aktaran sistemlere taşıyıcı sistemler denir. Taşıyıcı sistem kavramı, belirli açıklıkları geçme işlevini yerine getirerek, yapının geometrisi, malzemesi ve yapı bir bütün olarak gösterip, ayakta durmasını sağlayan sistemler arasındaki ilişkileri içerir. Bir taşıyıcı sistem, hayatta varoluşu boyunca üstüne etkimesi beklenen yüklere karşı güvenli biçimde boyutlandırılmalıdır. Bunun için taşıyıcı sisteme etkileyen yükleri keşfetmek gerekir. Taşıyıcı sisteme etkileyen yükler ise, düşey yükler ve yatay yükler olarak ikiye ayrılır. Düşey yükler, yerçekiminin etkisiyle oluşan sabit ve hareketli yüklerdir. Kolon, kiriş, çatı ve döşeme gibi yapıyı oluşturan elemanlar ve üzerlerindeki kapmaların, mekanik sistemler ve sabit elemanların oluşturduğu yapının öz ağırlığı sabit düşey yüklerdir. Kar, buz gibi doğal yükler ve kullanıcının oluşturduğu dinamik yükler ise hareketli yüklerdir. Yatay yükler ise rüzgar ve depremin oluşturduğu dinamik yüklerdir.

Mimarlık ve mühendislik tarihi boyunca yapı ağırlıkları sürekli azalan bir grafik sergilemişlerdir. Yapının hesaplanmasında önemli bir parametre olan ölü yükün, günümüzde hareketli yük ile aynı seviyelere gelmesi geniş açıklıkların maksimum genişlikte tasarlanmasını sağlamıştır. Yapılar sadece kendi öz ağırlığını

kontrol etmezler, aynı zamanda ek kuvvetlerin yüklenme amacına da hizmet ederler. Bu mekanik eylem taşıma ve dayanma olarak tanımlanır. Dayanma sürecinin özü yine de görünürdeki yük alma eyleminin dışında onu iç işlem sürecine aktarmasıdır. Yükü aktarmak ve ondan kurtulmak becerisi olmadan katı nesne ne kendi ağırlığına ne de az olsa bile ek yüke dayanabilir. Yük alma, yükü aktarma, yükü boşaltma işlemlerinin tümüne kuvvetlerin akımı denir. Yapı tasarımının temel fikri ve kavramsal görünümüdür. Kuvvetlerin izlediği yol aynı zamanda yapının ekonomik göstergesidir. Nesne formu devinen kuvvetler yönünü takip ederse kuvvetler akımı herhangi bir sorun çıkarmaz. Yerçekimi yüklerinin olduğu durum, nesne eğer yükü boşaltma noktasıyla en doğrudan ve en kısa yolla toprağa bağlı ise oluşur. Eğer kuvvetlerin akımı bu doğrudan yol yerine karmaşık yolları tercih ederse o zaman sorun çıkar. Ancak teknikte bu çok normal bir olaydır; başlangıç kuvvetlerin doğal akımından bağımsız olarak bazen onlara karşıt olan form belirli bir işlevi yapmak üzere tanımlanır. Bu nedenle, böylece üretilen işlevsel formlar, gelişmedeki kuvvetlerin kontrol edilip, edilemeyeceğini göstermez. Böylece tekniğin dünyasında yapı tasarımları bir sonraki iş olarak, tanımlanmış bir işlev görüntüsüyle çakışan veya ona yaklaşan kuvvetler akım sistemini geliştirmeyi üstlenmiştir. Görev, devinen kuvvetlerin resminin; işlevsel formun kendisindeki değişikliklerle, form varlığın pekiştirilmesiyle veya eklenecek yapıyla eşit güçte kuvvetlerin yer alacağı yeni bir resme dönüşür (Şekil.3.). Sonuç olarak kuvvetlerin yönlendirilmesinde bilinen mekanizmalar kuvvetlerin yeni resminin oluşmasında temel gereksinimdir (Engel, 2004).



**Şekil.3. Strüktürde Yük Aktarımı**

**Kaynak:**

<http://dillonphillips6327.wikispaces.com/Bracing.Lifting.Spanning+Diagrams> 'den  
(22 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

Vitruvius, mimarlığı; sağlık, kullanışlılık, güzellik olarak üç temel anlayışa dayandırmaktadır (Vitruvius, 2005). Günümüzde ise mimarlık için benimsenen bu üç temel anlayış, strüktür sistemlerinin gelişmesiyle strüktür tasarımında da kullanılan anlayış olmuştur. Strüktürün gelişimi sağlık anlayışındaki bakış açılarını genişletmiş, hafif ve dayanımı yüksek strüktürel yöntemlerle kullanışlılığı anlayışını geliştirmiş ve strüktürün estetik öge olarak kullanılmasıyla güzellik anlayışında da farklı düşünceleri geliştirmiştir.

Mimari uygulamanın hızla genişleyen alanı ve karmaşıklığı karşısında, mimarlık bugün tarihi boyunca hiç karşılaşmadığı ölçüde bilimsel ve teknolojik gelişmelerin çoğunun bir potada eritilerek mimarlığa adapte edilmesi sorunuyla karşı karşıyadır. Bu karmaşık sorunun temelinde tasarım sürecinde yaratıcılığın, hayal gücünün ve ekonomik oluşun birlikte yer alacağı inşaatın entegrasyonu yatmaktadır. Strüktürün ön planda olduğu yapılarla mimari formun ve mekanın yaratılmasıdır. H. Engel (2004, 11) bu duruma: “Strüktür tasarımında strüktür, model ve mekan üreten birincil ve yegane araçtır. Yapı strüktür modeli içinde saklanabilir; aynı zamanda mimari olarak strüktür modelin kendisi olabilir. Yani strüktürler, binaların kaynağını, oluşumlarını, sonuçlarını temel yollarla belirler. Böylece, temel strüktür modeli gibi yapı kavramlarını geliştirirken özgün mimari tasarımın bir parçası olarak yer alır. Bu nedenle nesnelere, yöntemlerine, önceliklerine ve uygulayıcılarına göre mimarinin tasarım ve ideali yanı sıra inşaat modeli ile mimari tasarım arasında çok farklılık görülmez.”



**Şekil.4.** Tomas Saraceno’s Cloud City Çalışması

**Kaynak:** <http://sites.williams.edu/Morgan/2012/05/29/soap-bubbles-on-the-roof-of-the-met/> ‘den (1 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

Strüktür elemanları bir yapıda tamamen gizlenir ve ya tamamen sergilenir. Strüktür gizlenmişken okunması sezgisel bir yetenek gerektirmektedir. Görünmemesi estetik değerlendirmenin dışında tutulmasını sağlamaz. Sonuçta sistem olarak dışa vurulmadığı zaman bile yapının estetiğini ve biçimsel özelliğini strüktür karşılar. Tamamen sergilendiği durumlarda (Şekil.4.) ise strüktür sistemini ön plana çıkaran bir değerlendirme yapılır.

Strüktür sistemin seçiminde etken mimari anlatımdır. Bu sadece genel mimari ideolojileri içermemekte aynı zamanda mimarın kendi parametrelerinden oluşan bir dizi problemin çözümünü de içermektedir. Strüktürün içe dönük öz ile ilgili olan kısmı önemsenmektedir. Bu öz zamanla değişebilen parametreleri de bünyesinde barındırır. Strüktürün öz ile ilgili olan kısmı ve strüktür sisteminin seçimindeki nedenler göz önüne alınarak, strüktür ve mimarlığı dört farklı şekilde ilişkilendirilebilir (Mc Donalds, 1994):

1. Biçim üretmekte kullanılan strüktürler binaların biçimini özellikle strüktürel gereklilikler belirlemektedir.
2. Simge olarak kullanılan strüktürler özellikler modern hareketle ortaya çıkan bir 20. yüzyıl fenomenidir. Mimarının görsel dili strüktür elemanları ile birleşmektedir.
3. Sınırları zorlayan strüktür, strüktürel ileri teknoloji geniş açıklıklar, yüksek ve hafif binalardır.
4. Biçim üretme kaygısında ve estetik programın bir parçası olmayan strüktürler gizlenerek sadece taşıyıcılığı ile mimari anlatıma katılmaktadır.

Bu araştırma kapsamında ilk üç madde üzerinde durulacaktır.

### **2.2.1. Geometri**

Yunanca yer anlamında olan “geo” ve ölçüm anlamındaki “metria” kelimelerinden oluşan geometri, yerin ölçülmesi anlamına gelir. Uzayı ve uzayda tasarlanabilen şekilleri ve cisimleri inceleyen bir daldır. Geometri, bir yapının mimari olarak formunu oluşturan ve dikkatleri üzerine çeken ilk özelliğidir. B. Pekol “Mimaride Oran ve Geometri Kullanımının Mimarlık Tarihi İçindeki Aktarımları ve Kentsel Bağlamda Etkileri” yazısında şöyle dile getirmiştir: “Matematik asırlar

boyunca görsel bir düzen yaratma elemanı ve estetik güzelliğe ulaşmak için bir araç olarak kullanılmıştır. Bunu yaparken de, matematikteki geometri ve oranlardan yararlanılmıştır. Mimarlık, belirli formlar yaratmak veya yaratılan formları sınırlamak için oransal sistemleri ve geometriyi tarih boyunca kullanmıştır. Bu tür bir sistemi kullanmaktaki amaç, yapının elemanları arasında bir armoni olması ve bu ‘güzeli güzel kılan ilke’ ile yapı genelinde bir bütünlük hissi yaratmaktır. Güzeli sağlayacak ya da güvence altında tutacak olan ölçüdür, ölçünün getirdiği biçimselliklerdir.” Mimari tasarımda ve hatta strüktür tasarımında süreç, önce yapının geometrisinin belirlenmesiyle başlar. Örneğin, Eski Yunan mimarisinde güzel olanı elde etmek için altın oran, Mısır mimarisinde yapıların formları ve plan düzenleri astronomi etkisinde geliştirilen çeşitli geometrik oranlar ve hesaplamalar, rönesans mimarisinde simetri etkisindeki geometri ve perspektif, modern mimari de ise çizgisel, kübik, dikdörtgen formlar öklid geometrisinin etkisinde kullanılmıştır. Doğadan ilham alan mimari akımlar ise, doğada bulunan nesnelere oluşum biçimlerinden ve yapılarındaki oranların etkisinde, doğanın geometrisi olarak bilinen fraktal geometrinin bazı karakteristik özelliklerini göstermektedirler. Bilgisayar destekli tasarım ve kaos kuramının etkisiyle karmaşık formlardan oluşan günümüz mimarisinde de fraktal etkisi görülmektedir.

Geometrinin tarihsel sürecindeki gelişmeler mimari tasarım anlayışını etkilemiştir. Geometri tarihinde uzun yıllar kesinliği tartışılmayan öklid geometrisi bir devrime yol açarken, öklid olmayan geometriler ise teknoloji ile birçok bilgisayar yazılımının temelini oluşturmuştur. Mimari tasarımın ve formun temelini geometri oluşturmaktadır. Mimari tasarımda, geometrik kuralların kullanıldığı hesaplama teknikleri bilgisayar teknolojisi öncesinde başlamıştır ama 20. yüzyıldan sonra dijital tasarım teknolojilerinin gelişmesiyle mimarlıkta yeni olanaklarla karşılaşmaktadır.

### **2.2.1.1. Öklid Geometrisi**

İlk insanlardan beri üretilen nesnelere biçimsel özellikleri öklid geometrisinin basit formlarını temel almaktadır. Nesnelere; çizgi, düzlem, küp, küre, prizma gibi formlardan veya bu formların birleşmesinden oluşmaktadır. Öklid geometrisinin etkisi 20. yüzyılın başında ortaya çıkan modern mimari ile iyice artmıştır. Mimaride basit formların seçilmesi, gereksiz detaylardan ve süsten

kaçınma, formun fonksiyonu izlediği düşüncesi bu etkinin artmasına neden olan önemli faktörlerdir.

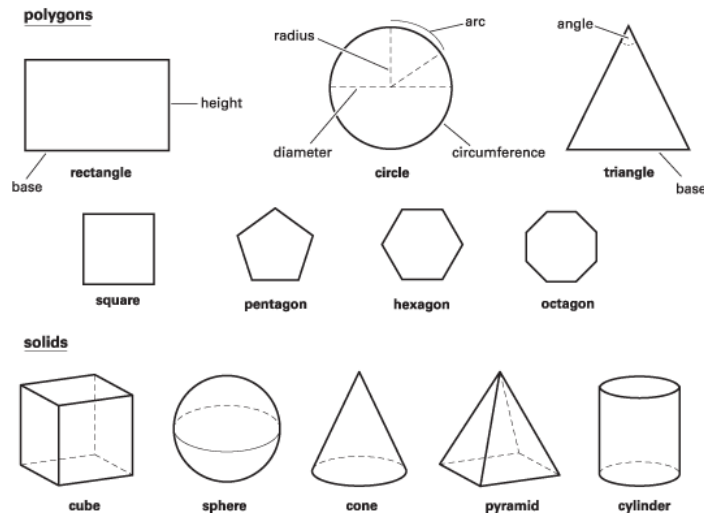
“İspatlanamayan gerçeklere aksiyom ismi verilir. Açıkça görülen fakat ispatlanamayan gerçeklere de postulat denir. Öklid’in geometrisi tanım, aksiyom ve postulatlar üzerine kurulmuştur. Zaten matematik aksiyomatik bir düşüncedir. Belli şeyleri kabul ederseniz: onun üzerine matematiği kurarsınız.” (Kaya, 2004)

Öklid’in aksiyomları;

1. Aynı şeye eşit olan şeyler eşittir,
2. Eşit şeylere eşit çokluklar eklenirse sonuç yine eşittir,
3. Eşit şeylerden eşit çokluklar çıkarılırsa sonuç yine eşittir,
4. Birbirleriyle çakışan şeyler birbirine eşittir,
5. Bütün, parçalarından büyüktür.

Öklid’in postulatları;

1. iki noktadan bir doğru geçer,
2. iki nokta arasındaki sürekli doğru sonludur,
3. Bir noktadan eşit uzaklıktaki noktaların geometrik yeri bir çemberdir,
4. Tüm dik açılar birbirine eşittir,
5. İki doğru bir doğru ile kesildiğinde kesenin bir tarafında oluşan iki iç açının toplamı 180 dereceden küçükse, bu iki doğru bu 180 dereceden küçük açılardan bulunduğu tarafta kesişirler.



Şekil.5. Öklid Geometri Örnekleri

**Kaynak:** <http://www.learnersdictionary.com/search/geometry> ‘den (3 Şubat 2013) tarihinde alındı.

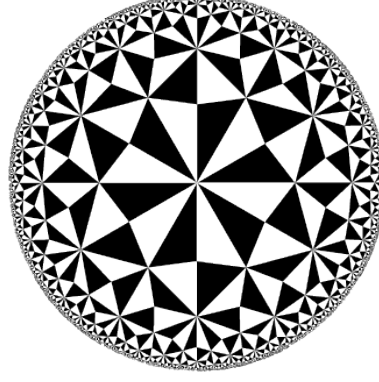
“Öklid’in ortaya koyduğu aksiyomlar ve onlardan hareketle geliştirilen kuramlardan yararlanarak tasarıma temel oluşturacak biçimler türetebiliriz. Örneğin iki boyutlu biçimler üçgen, kare, dikdörtgen, daire ve eşkenar dörtgen; üç boyutlu biçimler ise küp, dikdörtgenler prizma, küre ve koni gibi biçimleri içerir (Şekil.5.). Bu temel matematiksel şekiller çeşitli biçimler, kat ve vaziyet plan şemaları geliştirmek için kullanılabilir, dönüştürülebilir, onlara ekleme yapılır veya onlardan parça eksiltilebilir.” (Bielefeld ve El Khouli, 2010)

### 2.2.1.2. Öklid Olmayan Geometri

Modern geometrinin gelişimini sağlayan öklid olmayan geometriler, uzaysal uzaysal mekanın eğrisel ve çok boyutlu oluşları ana fikirleri üzerinde gelişen geometrilerdir (Kolarevic, 2003). Öklidyen olmayan geometrilere hiperbolik geometri ve küresel geometri örnek gösterilebilir. Küresel geometri, küre üzerindeki noktalardan geçen doğruların hepsi birbiriyle kesişir.

Hiperbolik geometri ise aynı anda Nikolai Lobachevsky ve Janos Bolyai tarafından bağımsız olarak keşfedilen öklidyen olmayan geometridir. Onların buluşları, Öklid’in 5. aksiyomu, paralelliği yada önermeleri kanıtlama denemelerinin başarısızlığından oluşan uzun hikayeleri içererek meydana gelmiştir. Gauss üçgenin iç açılarının ortalamasının 180den küçük olduğu zannederken, Lobachevsky paralel çizgilerin tek bir noktadan geçtiği fiziksel durum varsayımı üzerine çalışıyordu. Bu varsayımlar, iki adamında hiperbolik ekseni keşfetmesine neden olmuştur. Dört tane n-boyutlu hiperbolik alan vardır. En bilinen hiperbolik model Poincare disk modelidir (Şekil.6.) (Burry, 2010).



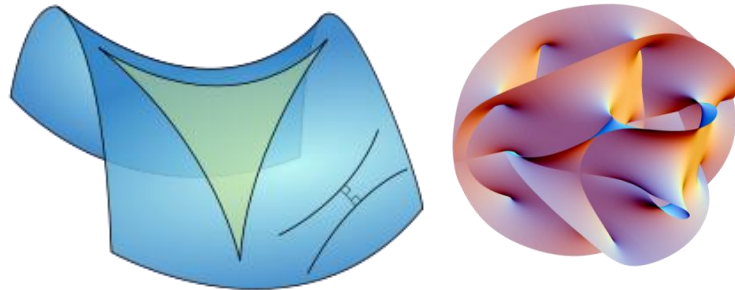


**Şekil.6.** Poincare Hiperbolik Disk Modeli

**Kaynak:** <http://mathworld.wolfram.com/PoincareHyperbolicDisk.html> 'den (15 Haziran 2013) tarihinde alındı.

“Zaman içinde Öklid'in postulatı, playfair aksiyomu adıyla daha kısa ve özlü olarak; düzlemde bir doğruya dışında verilen bir noktadan geçen bir tek paralel doğru çizilebilir biçiminde ifade edilmiştir. Öklid dönemi ve öncesinde, bu ifadeye "kesin olarak geçerli" denilemediği, yani şüphe edildiği, içindir ki aksiyom olarak değil, postulat olarak ifade edilmiştir. Gerçekten de Gauss da dahil bir çok büyük matematikçiler bu ifadeyi ispatlamaya çalışmışlardır. Ancak 1820'lerin sonunda Bolyai ve Lobacevski V. Postulatın diğer aksiyomların sonucu olmadığını; bu postulat dışındaki bazı öklid aksiyomlarıyla birlikte;

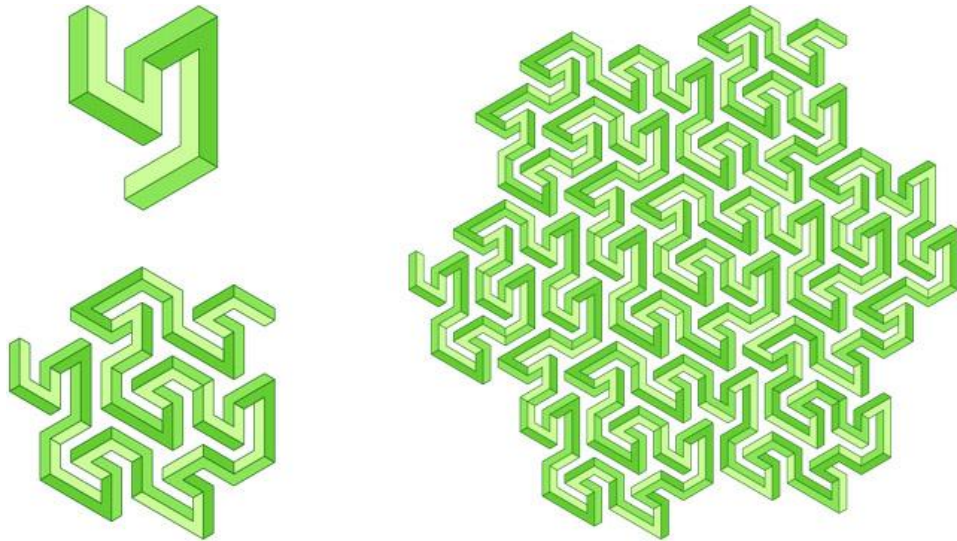
H: Bir doğruya dışında verilen bir noktadan geçen iki (yada daha çok sayıda) paralel doğru çizilebilir ve ifadesi alınarak yeni bir geometri oluşturulabileceğini gösterdiler. Böylece hiperbolik geometri, dolayısıyla öklid dışı geometri kavramı ortaya çıktı. (Şekil.7.) Öklid aksiyomlarını sağlayan bir tek düzlem varken Bolyai-Lobacevski aksiyomlarını gerçekleştiren bir çok reel model geliştirilmiştir.” (Kaya, 2004)



**Şekil.7.** Öklidyen Olmayan Geometri Örnekleri

**Kaynak:** [http://en.wikipedia.org/wiki/Hyperbolic\\_geometry](http://en.wikipedia.org/wiki/Hyperbolic_geometry) 'den (10 Şubat 2013) tarihinde alındı.

“Doğada ancak fraktal geometrik yapılar gözlemlenebilir. Fraktal geometri, kendi kendini tekrar eden ama sonsuza kadar küçülen şekilleri, kendine benzer bir cisimde cismi oluşturan parçaları ya da bileşenler cisminin bütününcü inceler. Düzensiz ayrıntılar ya da desenler giderek küçülen ölçeklerde yinelenir ve tümüyle soyut nesnelere sonsuza kadar sürebilir; tam tersi de her parçanın her bir parçası büyütüldüğünde, gene cismin bütününe benzemesi olayıdır.” (Özbek, 2009). Tanımlanabilir ve belirlenebilir kaos, fraktal geometrinin hizmetine sunulabilir. Fraktal geometri dinamik, hareketle ilgili, sabit akımlı bir matematiğe saygı gösterir. Hiperbolik geometri tarafından incelenen fraktal nesnelere ortak özelliği oto-benzeyiştir (Şekil.8.). Yani farklı büyüklük ölçeklerinde farklı gruplardan her biri toplam bütünlüğe benzerdir. Ölçekte sonsuz derecede küçüğe veya sonsuz derecede büyüğe gidildikçe nesne bölümlerde kendi kendini tekrarlar, çoğaltır. Fraktal geometri bölümleri her zaman toplam bütünlüğe benzer nesnelere oluşturur. Bu geometrinin kullanılması doğal sistemlerin dinamik ve kaotik biçimlerinin çoğaltılması ve biçimlendirilmesine olanak tanır. Kaosa düzen getirmeye, rastlantısallığın nedenlerini bulmaya, belirlenemez olanı belirlemeye imkan verir.



**Şekil.8.** Fraktal Geometri

**Kaynak:** <http://catherinephilosophie.wordpress.com/tag/fractals/> 'den (12 Şubat 2013) tarihinde alındı.

“Dağlar koni, bulutlar küre değildir, yıldırım düz bir çizgi halinde ilerleme, dinamik ritimler tam olarak düzgün değildir. Doğal gerçekliğin soyutlamaları olarak bu geometrik şemalar zihinsel bir dünyaya aittirler ama fiziksel doğadakilere yansıtılmazlar; doğal dinamik olguları ne anlamaya ne de tanımlamaya yararlar. Kavramsal bir güzelliği ifade ederler ama doğadaki kaosu karmaşıklığını anlamakta yetersiz kalırlar. İşte bu yüzden bugün kaosu içindeki düzenden bahsedilse de doğadaki kaostan bahsedilir. Rastlantı yerini gerçekliğe bırakmıştır. Bulutların biçimleri, nehirlerin akışı, gökyüzündeki yıldırımların izledikleri yol, galaksilerin dağılımı, Ay veya Mars’ın üzerindeki kraterler artık beklenmedik sonuçlar olmayıp, bilinen kurallara, fraktal geometrinin kurallarına uyar.” (Planas, b.t.) Hiperbolik geometri ve fraktallerin en belirgin örneklerinden biri Antonio Gaudi’nin İspanya’da yapmaya başladığı ama vefatı nedeniyle yarım kalan eseri Sagrada Familia binasıdır (Şekil.9.).



**Şekil.9.** Antonio Gaudi’nin İspanya’da ki Eseri Sagrada Familia

**Kaynak:** <http://www.gaudidesigner.com/uk/sagrada-familia.html> ’ dan (15 Mart 2013) tarihinde alındı.

### 2.2.1.3. Kendi Kendini Organize Etme (Self Organization)

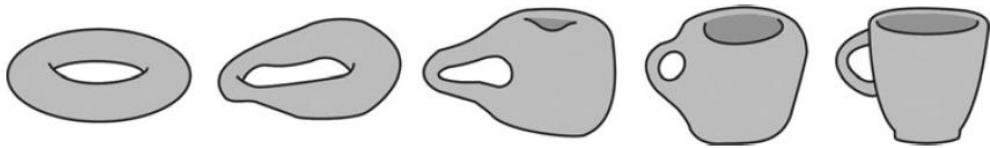
Kendi kendini organize etme, içsel bir işlemdir. Sistemin kendini, çevre etmenlerine karşı dışarıdan yönlendirme ve yönetme olmadan özel bir fonksiyon için düzenleme işlemidir. Termit, sayıları milyonları bulan koloniler halinde yaşayan eklembacaklı canlılardır. Ağzlarındaki salgıyı toprakla karıştırarak sert ve dayanıklı bir malzeme elde etmektedirler. Yuvalarını 6 metre yüksekliğinde, 12 metre genişliğinde yapabilmektedirler . Yuvalarının içine hava çevrimini sağlamak için özel koridorlar yapıp oluşturdukları gözeneklerle havayı filtre edebilmektedirler. Her termit türü bulunduğu ortamın koşullarına uygun yuvalar yapmaktadırlar. Yağmurlu bölgelerde yaşayan bazı termitler, özel çıkıntılı çatısı olan mantar benzeri tepeciklerden oluşan yuvalar inşa ederler. Kimi türleri yuvalarını dünyanın manyetik alanına göre şekillendirirler. Büyük Sahra'da yaşayan türleri ise zeminin 40 m. kadar aşağısına kadar inerek, yukarıdaki yuvaya suyun buharlaşarak ulaşmasını sağlarlar. Yuvaların kalın duvarları ise içerideki nemin korunmasını sağlamaktadır. Bu canlılar bu kompleks sistemi basit adımlarla kendilerini tekrar ederek ve doğal parametreleri (nem, ısı, manyetizma gibi) değerlendirerek hareket ederler. Bu sosyal sistemi birçok açıdan değerlendirebiliriz. Sistemin her bir biriminin algoritmik olarak basit kurgularla hareket etmektedirler. Sistem incelendiğinde, birim otomatların (bir termitin) basit yönergelerle, var olan sistemin devamını sağladığı görülmektedir. Açık uçlu, üretken ve “olagelen” bir sistem gözlenmektedir (Çıltık, 2008).

Kompleks uyarlanabilir sistemler, kendini organize etme ve oluşum sürecini zorunlu kılmaktadır. Kendini organize etme, dış kontrol olmadan dinamik ve uyarlanabilir süreçten başarıyla geçen ve yapı oluşturan sistemler diye tanımlanabilmektedir. Tüm fiziksel sistemler, fizik kuralları içinde var olana kadar sonradan gelen dış kuvvetlerce engellenememektedir. Kendi kendini organize eden sistemler bazen gelişen özellikleri gösterir ya da aralarında uyumlu kesişen düşük dereceli varlıkların davranışları meydana çıkmakta ve amacı faydalı hale getirmektedir. Araçsallaştırılan davranış, performans-yönlendirilmiş tasarımlara karşı uyarıcı olmakta ve bu da tasarım yöntemlerinin; üretkenliğe, analitik araçların kullanılmasına, evrimsel tasarımda yüksek performanslı farklılaşmış malzeme sistemlerinin ölçümüne olanak veren ve araçlandıran teknolojilerde kullanılmasını sağlamaktadır (Hensel, 2006).

Sonuç olarak kompleks sistemler, kendi kendini organize eden sistemler ve kolektif zeka kavramları birbirlerinin içine girmiş kavramlardır. Bu kavramların üzerinden geçerken asıl amaçlanan bu sistemlerin altında yatan ana fikirlerin —açık uçlu, kendini tekrarlayan, parametrik, üretken ve olagelen-- olduğunu söyleyebiliriz. Bahsedilen sistemlerin üzerine yapılan çalışmalarda, bu sistemlerin çözümleri için algoritmalar kullanılmaktadırlar. Algoritmalar termit canlısında olduğu gibi basit yönergeler kullanarak kompleks sistemler üretebilmektedir. Kompleks bir sistem üretebilen algoritmalar, var olan kompleks sistemlerin çözümü içinde kullanılabilir (Çıltık, 2008) .

#### 2.2.1.4. Topolojik Geometri

Eski Yunancada yüzey veya uzay anlamına gelen topos ve bilim anlamına gelen logos kelimelerinden türetilen topoloji, matematikte ki geometrik şekillerin veya objelerin sündürme ve döndürme gibi dönüştürme işlemiyle değişime uğramamış özelliklerini inceler. Örneğin bir daire ile elips, ya da kare ile dikdörtgen topolojik olarak aynıdır (Şekil.10.). Topoloji bize geometrik biçimlerin niteliksel özelliklerini verir. Bu geometrik biçimlerin kendine has karakteristikleri değişimler geçirir ama topolojik kimliklerini kaybetmezler. Topoloji, bilginin kesinliği yerine göreceliği içinde tanımlanması yöntemidir. Mimaride kullanılan diyagramlar ve eskizler, direkt veya dolaylı olarak nesnelerin topolojik özelliklerini ortaya çıkarır.



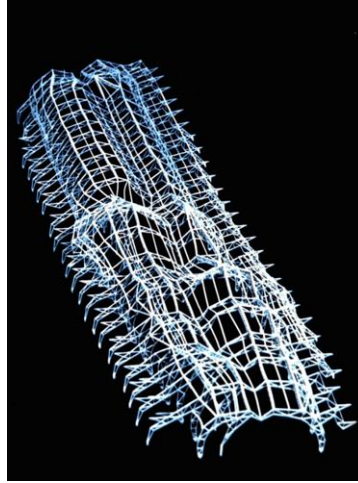
Şekil.10. Donuttan Kupaya Topolojik Dönüşüm

**Kaynak:** <http://rioranchomathcamp.com/Topology.asp> 'den (10 Haziaran 2013) tarihinde alındı.

“Tanımlanmış geometride bir objenin öncelikle geometrik biçimi tanımlanırken, Topolojik geometride objenin kenar, köşe ve nokta sayısı gibi değerlerine bağlı olarak ilişkisel strüktürler tanımlanmaktadır. Topolojiye dayalı

tasarımlarda, biçimsel kompozisyonlara ait biçimlerin arasındaki ilişkisel mantığı kurmak esastır. Mantık kurulduktan sonra çeşitli dönüşümlere açık, aynı ilişkisel sistem üzerine kurulu birçok biçimsel alternatifin üretilebilmesi dinamik bir tasarımı mümkün kılmaktadır.” (Kolarevic, 2003)

Mimari tasarımda dijital medya formların gelişimi ve dönüşümünü sağlayan bir araç olarak kullanılırken, tasarım üzerindeki çalışmalar “form yapmaktan”, “form bulmaya” doğru gitmiştir. Bu çalışmalar sürecinde sayısal parametrelere ve algoritmik olarak tanımlanmış ilişkilere dayalı işlemler yapılmaktadır. Yapay zeka, parametrik tasarım, üretici tasarım, animasyon teknikleriyle tasarım gibi tasarım yöntemleri dijital tabanlı form üretme çalışmalarıyla mimariye karmaşık geometrilere sahip, eğrisel biçimsel kompozisyonlardan oluşan farklı biçimlenmeleri getirmektedirler. Mimaride topolojik yaklaşım bilgisayarın tasarıma girmesiyle birlikte yeni bir kavram olarak açığa çıkmış olsa bile aslında var olan topoloji kavramı gelişen tasarım anlayışıyla birlikte daha geniş açılımlara ulaşılmasını sağlamaktadır (Şekil.11.) (Tarım, 2006).



**Şekil.11.** Toyohama Terminali ve Topolojisi

**Kaynak:** [http://www.inst.at/trans/16Nr/01\\_2/rewers16.htm](http://www.inst.at/trans/16Nr/01_2/rewers16.htm) 'den (27 Mart 2013) tarihinde alındı.

Mimari tasarım ile topolojiyi birleştirmek çeşitli yollardan olabilmektedir. Topoloji, formların durağan yapıları yerine formların dönüşümlerine de izin verir. Bununla birlikte topolojideki soyut formların açıklanması diferansiyel denklemlerle olmaktadır. Bu yüzden müzeler, alışveriş merkezleri, metro durakları, spor salonları gibi büyük açıklıkların geçildiği kamusal yapılarda topolojik eğriselliklere sahip formlar görebiliriz.

### 2.2.2. Malzeme

Malzeme, maddeler topluluğudur. Mimari de malzeme, tasarımın dokusunun, biçiminin ve binanın görünüşünün oluşmasındaki temel bileşenlerden birisidir. Mühendislik bakış açısıyla malzeme ise, tasarlanan yapının çeşitli yüklere karşı (rüzgar, su, deprem vb.) dayanım sağlayıp, pratik ve ekonomik yönden inşa edilmesindeki temel bileşendir. Malzemenin tarihsel süreçte yapılarda kullanımına bakarsak; tarih öncesi çağlarda malzeme şekillendirilmeden, olduğu gibi kullanılmıştır. Mağara, ağaç kovuğu gibi yapılar örnek teşkil eder. 19. yüzyıl öncesinde ise malzeme şekillendirilerek çeşitli formlar oluşturulmuştur. Örnek olarak kemer, kubbe, kesme taş yapılar gösterilebilir. 19. ve 20. yüzyıllarda malzeme gelişen teknoloji ile tasarımda istenilen şekle ve kullanıma sokulabilir hale geldi. Ama o dönemde hesaplamalı teknoloji inşaat sektöründe çok az kullanılmıştır. Araştırmanın 2.1.1. bölümünde değinilen kaotik yapıların bilgisayar ile hesaplanabilmesi, farklı kategorilerde çeşitli parametreler hesap edilebilir hale gelmiştir. 20. yüzyıldan günümüze kadar, teknolojik olanakların gelişmesi tasarımda malzemenin çok ve farklı parametrelere göre hesaplanıp, sisteme en uygun şekilde (optimizasyon) kullanılmasını sağlamıştır.

Malzeme olduğu ortamın koşul farklılıklarından ve çevreyi mikro veya makro ölçekte bünyesine katması sonucunda yapısındaki özelliklerin çeşitlenmesiyle özelleşmektedir. Malzeme üzerinde oluşan bu ayrıcalıklı durum malzeme için net bir tanımlama yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu oluşum çeşitliliği, malzemenin özelliklerini standartlaştırmak ve performanslarında kararlılık isteyen malzeme mimar ve tasarımcılara gizemli, derinliği, yüksek enerjisi ve zengin seçeneği olan bir veri alanı kazandırmaktadır. Böylece doğal yada yapay olsun malzeme, farkına varılan yeni durumlarıyla ve tüm potansiyelleriyle, mimaride kavramların oluşum sürecinden, nano ölçeğe kadar tasarımın her seviyesinde ve farklı topolojilerde yer almaya başlamıştır (Gezer, 2012).

“Her malzemenin kendisine ait, değişmeyen ve koşullardan bağımsız bir ‘doğası’ olduğu ve tasarımın bunun ‘dürüst’ bir dışavurumu olması gerektiği düşüncesi, on yedinci yüzyıl Avrupa mimarlık yazını öncesinde hiç yazılmamış, duyulmamış bir kavramdır. Mimarlık konusunu her yönüyle ele aldıkları onar



kitabın birer tanesini “malzeme” konusuna ayırmış olsalar da, ne antik dönemde Romalı mimar Vitruvius, ne de on beşinci yüzyılda Floransalı mimar Alberti, malzemenin doğasından ve onun dürüst ifadesinden hiç bahsetmemişlerdir. Bu açıdan ‘malzemenin doğası’, dünya mimarlık tarihi için oldukça yeni bir kavramdır.” (Şahin, 2011, s:1)

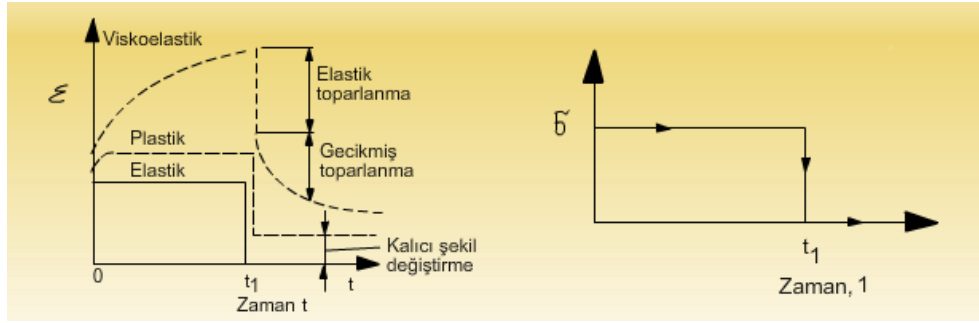
Malzemenin doğası kavramıyla malzeme, mimari ifadenin değişmeyen bir unsuru olmuştur. Başka bir deyişle yapılar kaplandıkları malzemelerle şekillenmeye başlayıp, ifadenin fiziksel karşılığını oluşturmuştur. Tarihsel süreçte baktığımızda teknolojinin gelişmesiyle malzemenin yapıda kullanımı gelişmiş ve çeşitlenmiştir. Bunun nedeni insanların devamlı “yeni” olanı bulmak isteyerek, yeni yaşam tarzları ve bu yaşam tarzlarını destekleyen yeni mekan, malzeme ve sistemlerin arayışında olmasıdır. İnsanların yeni olanı arayışının nedeni ise insanların isteklerine ve ihtiyaçlarına teknolojik gelişimin cevap vermesidir. Bu da endüstri devrimiyle beraber insanların arayışını daha yoğun olarak etkilemiştir. Bu etkiler ile daha önce yapı malzemesi olarak kullanılmayan demir ve çelik gibi bazı malzemeler inşaatlarda kullanılmaya başlamıştır. Günümüze kadar da teknoloji geliştikçe malzeme ve üretim süreçlerinin çeşitleri gitgide artıp, uygulamaların kontrol edildiği, malzeme teknolojisinin arttığı bir ortam oluşmuştur.

“Malzeme tasarımı da araştırma ve tasarımlara konu olmaya devam etmesini bekleyebileceğimiz alanlar arasındadır. Bu durum dijital üretimin gelişimine paralel olarak ele alındığında daha net görülecektir. Dijital üretim, fiziksel ve sanal olan arasında bilgi teknolojileri yüzünden zayıflamış olan bağı tekrar kurma ve biçim, malzeme ve yapım süreçlerini tamamen yeni yollardan araştırarak dijital bir duyarlılık geliştirme imkanı sunmaktadır.” (Dritsas, 2012, s:44)

“Günümüzde mühendislik yapılarında, malzeme, hesaplamalar sırasında sağladığı kolaylıklar nedeniyle elastik kabul edilmiştir. Fakat kullanılan malzemeler gerçekte viskoelastik davranış göstermektedir. İlerleyen teknoloji sayesinde yapıların önemi artmış (nükleer santraller, uzay yapıları...), bu nedenle davranışların daha hassas değerlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunun için hesapların, malzemelerin gerçeğe daha yakın özellikleri göz önünde bulundurularak yapılması gereği doğmuştur.” (Erol, 1999, s:1)



Zorlamaya maruz kalan cisimlerin davranışı Şekil.12.'da gösterilmiştir.



Şekil.12. Şekil Değişirme Zaman İlişkisi

**Kaynak:** <http://okul.selyam.net/docs/index-106082.html?page=36>' den (15 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

En basit davranış elastiktir, karakteristik özelliği geri dönüştürülebilir olmasıdır. İkinci tip davranış ise gerilme belirli bir sınırı aşınca önce şekil değiştirmeler meydana gelir, kısa süre sonra sabit kalır; yük kaldırılınca geriye dönüş tam olmaz, bir miktar kalıcı şekil değiştirme gözlemlenir. Buna plastik davranış denir. Üçüncü davranış ise Şekil.14.'de görülen yükleme uygulandığında önce ani bir şekil değiştirme olur sonra da azalan devamlı şekil değiştirme gözlemlenir. Yük kaldırılınca ani bir geri dönüşü zamanla yavaş azalan bir geri dönüş takip eder. Bu tip davranışa da viskoelastik davranış denir. Yüksek sıcaklıkta metaller, beton, plastikler ve ahşap bu tip davranışa sahiptir. Viskoelastik malzemelerin kullanımıyla strüktürün önde olduğu yapıların davranışları gerçeğe daha yakın olarak belirlenebilmektedir. Kırılmanın hangi yükleme ile olabileceğinin, hassas olarak yapılan hesaplar sonucu bilinmesi strüktürün bükülüp, şekil değiştirilerek strüktürel tasarımında önemli gelişmelerin olmasını sağlamıştır. Kısacası strüktür artık tasarlanabilir hale gelmiştir.

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

çözümüne olan doğanın kurguları ve malzemenin kodları, bilgisayar teknolojilerinin ve yazılımın programlarının yardımıyla mimarın tasarım kavramlarının içinde değerlendirilmektedir.” (Gezer, 2012)

Günümüzde çevresel kaygılar, teknolojiye ileri adımlar ve doğadaki oluşumların daha iyi takip edilmesi ve gözlemlenmesine olanak sağlayan araçlardaki gelişmeler disiplinler arası ortak çalışmaya teşvik etmiştir. Sürdürülebilirliğin yeni bir bakış açısı olmaktan çıkıp yönetmeliklerde zorunlu hale getirilen 21. yüzyılda form, yapı, malzeme ilişkilerinin ortak irdelenip mimari tasarıma yansıtılmak, mimarların içinde buldukları çevreyle daha uyumlu, daha bütüncül tasarımlar yapmasını sağlamaktadır.

Mimarlık ile teknoloji arasındaki ilişkinin başka bir getirisi ise yapı malzemelerindeki gelişmelerdir. Önceden taşıyıcı olarak çalışan ve getirdiği zorunluluklarla tasarımı şekillendiren malzemenin mimarlıkla olan ilişkisi, gelişen teknoloji ile dönüşmüş, günümüzde malzeme ona ifadesini yükleyen tasarımcı ile şekillenen ve yapıya estetikliğini veren bir araç haline gelmiştir. Tekrar kullanılabilir, dönüştürülebilir ve doğada ayrıştırılabilen malzeme arayışları sonucunda yeni malzemeler ve yapı sistemleri üretilmektedir. Bu anlamda günümüzde bir çok yapı kimyasal, kaplama malzemesi ya da yapısal malzemeler geliştirilmektedir. Ahşap, çelik, beton gibi geleneksel yapı malzemelerinin yanı sıra cam, plastik, membran, akıllı malzemeler gibi birçok yenilikçi malzeme kullanılarak hafif, esnek, saydam vb. özelliklere sahip sistemler inşa edilmeye başlanmıştır. Taşın ağır olması, seramiğin kırılabilirliği gibi malzemelerin bilinen özellikleri fizik ve kimya alanlarındaki gelişmelerle değişime uğramış ve seramik kırılabilirliğini kaybedecek şekilde tasarlanmış, camın ışık geçirgenliği istenilene göre değişebilir hale gelmiş, plastik yanıcı özelliğini kaybederek tasarımcının istediği hale gelmiştir. Mimarın bu yeni arayışları, yeni eğilimleri getirmekte, formlar güncel olan organik, ekolojik, yaşayan, dinamik, esnek, uyum sağlayabilen, değişebilir, taşınabilir, portatif, gezici, akıllı mimari, dijital mimari gibi çeşitli kavramlarda karşılığını bulmakta, tüm bu eğilimlere doğanın ve doğadaki malzemenin gelişimi, geometrisi, malzeme ve doğanın birbiriyle uyumluluğu, oluşum süreçlerindeki doğal yaşam kaynak oluşturmaktadır. Doğadan referansla birlikte kendini organize etme süreciyle gelişmiş hücresel malzemelerin üretilmesiyle doğal ve üretilmiş arasındaki sınırların yok edilmeye başladığı yerde materyal tasarımındaki gözle görülür değişimlerinin göstergeleri olmaktadır.

### 2.2.2.1. Ahşap

Ahşap, canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli ve heterojen bir dokuya sahip en eski yapı malzemesidir. İnsanlar ahşabı eski çağlardan beri barınma ve korunma amaçlı kullanmaktadır. Gelişen teknoloji ile yerine plastik, metal, alüminyum, beton gibi malzemeler kullanmasına rağmen çatı elemanları, doğrama ve kaplama malzemesi, kalıp ve iskelelerde taşıyıcı ve dekoratif malzeme olarak kullanılmaktadır. Yapılarda kullanılan ahşapların üretildiği ağaç türleri iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlardır. Ahşap heterojen bir malzeme olduğu için mekanik olarak incelemek zordur. Lifleri yönündeki tüm özellikler, basınç, çekme dayanımları, enine yöndeki dayanımlar yüksektir.

Günümüzde tutkalın ve lamine ahşap teknolojinin gelişimi ahşap kullanımı arttırmıştır. Bu gelişim sayesinde tutkallı tabaklı ahşap ortaya çıkmıştır. Bu da bir çok strüktür sistemine göre hafiftir ve 40m'nin üstünde çok büyük açıklıkları geçebilmektedir. Ahşaptan yapılmış en geniş açıklıklı yapılardan biri; mimar Niels Torp tarafından Norveç'te yapılmış olan Olimpik Stadyumdur (Şekil.13.).



**Şekil.13.** Niels Torp'un Olimpik Stadyumu

**Kaynak:** <http://www.nielstorp.no/?gallery=olympic-hall-vikingskipet> 'den (10 Şubat 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.14.** Metropol Parasol, Sevilla

**Kaynak:** [http://www.jmayerh.de/index.php?article\\_id=19](http://www.jmayerh.de/index.php?article_id=19) ‘ den (25 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

Sevilla’da ki Metropol Parasol, bugün dünya üzerinde inşa edilmiş en büyük ahşap strüktüre sahip yapıdır. 2004 yılında Sevilla, Encarnacion Meydanı’nın yeniden düzenlenmesi adına yapılan yarışmada birincilik ödülüne layık görülen proje, 90 milyon euro bir bütçeyle, uzun yıllara yayılmış bir çalışmanın ardından, 2011 yılında J.Mayer H. Mimarlık tarafından hayata geçirilmiştir. Tasarlanan dev ahşap şemsiyeler, sadece bu proje için geliştirilen bir inşaat teknolojisiyle birleştirilmiş, hiçbir parçanın birbiriyle aynı boyut ve kesime sahip olmamasına rağmen yapı devamlılığı olan, organik bir formda kendini tamamlamaktadır (Şekil.14.).

#### **2.2.2.2. Çelik, Alüminyum ve Diğer Metaller**

Yapılarda kullanılan ilk metaller, demir (döküm yapılmış veya işlenmiş), bakır, bronz (bakır ve kalay karışımı), pirinç, çinko ve kurşundur. Günümüzde ise gelişen teknoloji ile çelik, alüminyum ve titanyumun değişik alaşımları bulunmuştur. %10’den daha fazla krom içeren çelik, paslanmaz çelik olarak adlandırılmıştır. Bugün kullanılan çelik önceden kullanılan çelikten farklılaşmaktadır. Tüm çelik ürünlerinde kullanılan temel madde olan karbon, miktarının artmasıyla çeliğin sertliğini ve gerilim direncini artırır. (Kolarevic, 2003).

Endüstri devriminden sonra hızla gelişen çelik, büyük açıklıklı köprüler, asma sistemler, büyük açıklıklı endüstri yapıları, kuleler ve çok katlı yapılarda ilk tercih edilen yapı malzemesi olmuştur. Çelik malzeme ve elemanlar; elastiklik, çekme ve basınç dayanımı, duktilite\*, kalite-kontrol avantajları, yapım sırasında sağladıkları standartlaşma ve prefabrikasyon olanakları ile ön plana çıkmıştır. Çelik, bu özelliklerinin yanında, deprem gibi yatay yüklere karşı kısmen elastoplastik davranarak az malzeme ile daha etkin bir strüktür ortaya koymaktadır ve yapıların daha hafif olmasını sağlamaktadır (Şekil.15.).



**Şekil.15.** Waagner Büro'nun Kubbe Çelik Binası

**Kaynak:** <http://www.waagner-biro.com/de/referenz/reichstagsgebaeude-kuppel> 'dan (25Haziran 2013) tarihinde alındı.

Karakterleri nedeniyle yapılarda karmaşık formlarda cephe çözümleri sunan metallerin ise en önemli özelliği hafif olmalarıdır. Dezavantajı ise ısı iletkenlik değerinin yüksek olmasıdır. Panel şeklinde üretilen metallerde yalıtım ve dış cephe elemanı olarak karmaşık bir şekilde kullanılmaktadır. Yapı malzemesindeki gelişmeler ve yeni sistemler sayesinde istenilen dokularda (şeffaf, farklı ışık geçirgenliği vb.) üretilebilmektedir.

\*Dış kuvvetler etkisinde, yük taşıma kapasitesinde azalma olmadan, yaptığı şekil değiştirme esnasında, kırılacağı veya kopacağını önceden belli eden cisimlerin davranış şeklidir.



### 2.2.2.3.Beton

İçeriğini çimento, agrega, su ve gereken katkı maddelerinin oluşturduğu, bu malzemelerin ham maddelerinin doğada bulunması, ucuz olarak sağlanması ve kolay şekil verilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Teknolojinin gelişmesiyle kullanım yerlerine göre farklı beklentileri karşılamak için özel beton üretimi başlamıştır. Ağır beton, taşıyıcı hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton, yalıtım özellikli beton gibi özel betonlar üretilmeye başlanmıştır.

Betonun tüm mekanik özellikleri arasında en önemli olanı basınç dayanımıdır. Çekme dayanımı ise oldukça zayıftır. Beton malzemesinin bu özellikleri göz önüne alınarak tasarımlar yapılmıştır. Yüksek performans, dayanım, dayanıklılık ve hacimsel stabilite olmak üzere betonun en önemli karakteristikleridir. Bu özellikleri yüksek olarak sağlayabilmesi içinde beton teknolojisinin getirdiği olan katkı maddelerinin kullanımı gereklidir (Şekil.16.).



**Şekil.16.** Pier Luigi Nervi Eseri

**Kaynak:** <http://tectonicablog.com/?p=9461> ' den (25 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

Betonun gelişimiyle, minimum malzeme ile büyük açıklıkların geçilmesini kabuk sistemler sağlamıştır. Kesitinin genelde daire, elips, parabol gibi şekillerde olduğu kabuk sistemler, teknolojinin olanakları ile kabuk kalınlığının 5-6 cm olarak tasarlayıp, hafiflik, estetik ve kolay yapım özellikleri, taşıyan taşıyıcı bir yapı sistemi oluşturabilir hale gelmiştir (Şekil.17.).



**Şekil.17.** Arqitecto , Felix Candela

**Kaynak:** <http://www.arqhys.com/construccion/fotos/construccion/Arqitecto-Felix-Candela..jpg> ‘den (10 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

#### **2.2.2.4. Plastik**

Plastik, yapısı polimerden oluşan malzemelerin ismidir. Monomer adı verilen küçük moleküllerin zincir gibi dizilmesiyle oluşan yapılara polimer denir. Zinciri oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbiriyle olan etkileşimleri malzemenin özelliğini verir. Polimerlerden oluşan plastikler sağlam, paslanmaz, istenilen şekle kolayca girebilen (örneğin fiberglas) yüksek dayanıma sahip, ısı ve ses yalıtımı sağlayan malzemelerdir. Yaygın kullanımlarının sebebi ise uygulanmasının kolay olması, hafif olması ve bu nedenle kolay taşınma depolanma özelliğine olmasıdır. Bu özelliklere rağmen hava şartlarına ve çevre koşullarına dayanımları az olup, çevreye zararlı bileşenler içerirler ve basınç altında deformasyona uğrarlar (Baktır, 2006).

Malzeme teknolojilerinin gelişimiyle plastikler, yanıcı, kalıcı özelliklerini kaybederek farklı performans gösteren malzemeler haline almıştır. Günümüzde bu malzemeler pnömatik yapılar ve asma germe sistemlerde, hafiflik ve saydamlık özellikleri nedeniyle panel veya film tabaka olarak kullanılmaktadır. Filmler, gelişen üretim teknolojisiyle sentetikten üretilen malzemelerdir ve cephe tasarımında yenilikçi olanaklar sağlamıştır. En sık kullanılanı ise etfe (Ethylene Tetra Fluoro Ethylene) malzemesidir. Bunun örneğini Münih Olimpiyat Stadyumu’nda görebiliriz (Şekil.18.)



**Şekil.18.** Münih Olimpiyat Stadyumu ve ETFE Kullanımı

**Kaynak:** <http://standbyme4ever.blogspot.com/2010/04/munih-olimpiyat-park.html>  
'den (17 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

#### 2.2.2.5. Cam

Cam geçmişten günümüze sürekli gelişim içinde olan bir malzemedir. İlk çağlarda yapılarda ışık ve hava gereksinimiyle kullanılmış, üretimindeki gelişmeyle birlikte pencerelerde, tamamen şeffaf cephelerde, çift cam olarak, giydirme cephede, strüktürel cam sistemlerinde ve kabuk sistemlerde kullanılmıştır. Bu süreçte camın olumsuz özellikleri (kırılabilirlik, geçirgenlik vb.) gelişen üretim teknikleri ile giderilmeye çalışılmıştır.

“Fotokromik camlar, elektrokromik camlar, termokromik camlar, holografik camlar ve sıvı kristallerin kullanıldığı camlar “akıllı cam” grubu içinde tanımlanmaktadır. Cam artık stabil olarak kullanımın ötesinde çevresel etkilere tepki verecek dış ortam koşullarına karşı kendini uyum sağlayacak şekilde değiştirmektedir. Bu anlamda akıllı camların kullanımı söz konusudur. Bu camlar dış ortamdan gelen ışık, elektrik akımı, sıcaklık, elektrik alanı gibi uyarılar karşısında; geri dönüşümü olacak şekilde renk değişimi, saydamlık değiştirirler, ışık geçirgenlikleri değişir.” (Baktır, 2006, s:14).



Cam, optik olarak pencereden geçen ışığı kontrol edilebilen bir malzemedir. Bunun içinde cam yüzeyine üzerine ince bir film gibi organik ve inorganik maddelerin uygulanması veya camın bileşimine katkı malzemesi katılmasıyla olur. Bu da günümüzde enerji sorununu çözmeye yardımcı olabilecek bir malzeme olan akıllı camın oluşmasını sağlar.

#### **2.2.2.6. Membran**

Büyük açıklık gerektiren tasarımlarda ağır yapı elemanlarının yerine yeni hafif membran malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Çekmeye çalışan membran sistemlerin ilk uygulamaları göçebe toplumların kullandıkları kolay sökülüp takılabilen çadırlardır. Hafif taşıyıcı gergili yapılar üzerine çalışan Frei Otto, 1960'ların başında Stuttgart Üniversitesi'nde membran yapılarının gelişimi için bir enstitü kurmuştur. Bu enstitüde Frei Otto tarafından Münih Olimpiyat Stadyumu tasarlanmıştır. Günümüz teknolojisi ile de çok daha karmaşık yapıların tasarım ve analizi yapılmaya başlamıştır.

Çekmeye çalışan membran yapılar özellikle gerdirilmiş esnek örtü yüzeylerinden oluşmaktadır. Membran malzemelerin geliştirilmesiyle dayanım ve ömürlerinin artması, model statığı, foto elastisite, fotogrametri gibi yöntemlerle bu taşıyıcı sistemlerin statığını ve geometrisini belirleyerek büyük açıklıklar örtülebilir hale gelmiştir. Çadırlar günümüzde geleneksel kullanımında olduğu gibi küçük ve geçici mekanların ve çağdaş teknolojiye uygun olarak sürekli hizmet verebilecek çok büyük alanların üzerini örtmekte kullanılmaktadır (Türkçü, 1997)

Membran sistemlerde çekmeye çalışan elemanlar dış yük etkisinde, imalatı mümkün olan en ince kesitte üretilebilir. Çünkü bu elemanlar basınca ve eğilmeye çalışmazlar. Ancak çekmeye çalıştırılırsa taşıyıcı özelliğe sahiptirler. Bu yüzden membran yapılar hafiftir ve burkulma sorunu olmadığından, iskelet sistemlerle büyük açıklıklar geçilebilmektedir. Büyük açıklık geçmek için ise kablolar kullanılır. Kablolar esnek ve bükülebilir olduğundan sadece çekmeye çalışır. Her iki taşıyıcı arasındaki fark, kabloların tek doğrultuda çizgisel, membranların iki doğrultuda, yüzeysel eleman olmalarıdır.

Membran örtüsü malzemelerinin yapay veya mineral liflerden üretilmesi, doğal ipliklerden örülen örtülerin yapay malzemelerle kaplanarak daha dirençli duruma getirilmesi, yüksek dayanımlı, kaliteli çelik ile paslanmaz kabloların üretilmesi, bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak hesaplama, biçimlendirme, membran kesimi yaklaşımlarında teknolojik ve kuramsal alt yapının gelişmesi, membran yapı sistemlerin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Membran örtüsünün malzemesi ise plastik folyolar veya örgü membranları (organik lifli, sentetik lifli, mineral lifli) oluşturur (Şekil.19.)



**Şekil.19.** Lido Sirk Okulu, Toulouse/Fransa

**Kaynak:** Özgür Kavurmacıoğlu 01.08.2013 tarihinde çekmiştir.

### **3. YENİLİKÇİ MATEMATİKSEL MODELLER**

#### **3.1. Optimizasyon Yöntemleri**

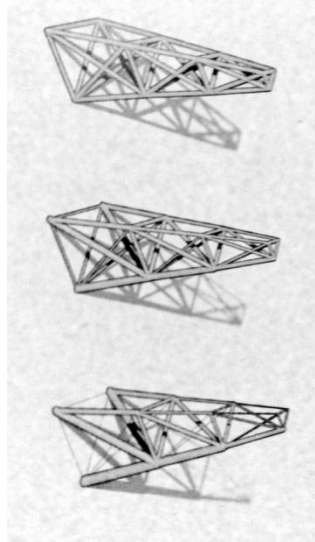
Optimizasyon, azaltarak veya çoğaltarak en iyiye ulaşma anlamına gelmektedir. Günümüzde tasarımlar geleneksel tasarım yöntemleri dışında bilgisayarlar ile algoritmik süreçlere bağlı olarak da yapılmaktadır. Bilgisayar ortamında devam eden bu süreç 'dijital süreç' olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon yöntemlerinin çözümlerinde kullanılan en temel analiz yöntemi sonlu elemanlar yöntemidir. Sonlu elemanlar, bir elemanı sonsuz diferansiyel küpler şeklinde ayırır ve bu küplerin belirli matematiksel işlemlerle analizidir. Sonlu elemanlar metodundaki temel düşünce, karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmekte, ancak bu sonucun çözüm için daha fazla çaba harçayarak iyileştirilmesi ve kesin sonuca çok yaklaşılması mümkün olmaktadır. Bu bölümde sonlu elemanlar metodundan yola çıkılarak geliştirilmiş optimizasyon yöntemleri tanıtılacaktır.

##### **3.1.1. Arup Optimizeri (Arup Optimizer)**

Arup ortakları farklı disiplinlerin karışımından oluşan gruplara bölünmüştür. Bu grupların her biri değişik bir proje üzerinde çalışır. Projenin içeriğine göre çalışan kişi sayısı ve mimar/mühendis oranı değişebilir. Şirkette mimardan maliyet analizcisine kadar herkes "tasarımcı" olarak tanımlanır, çünkü sunulan kolektif bir üründür. Tasarımın başından itibaren mimari ve mühendislik kararları projeyi birlikte şekillendirir. Genellikle mimar ve mühendisler arasında yaşanan rekabetin yerini meslekler arası işbirliğine bıraktığını görürüz. Arup ortaklarında meslekler arası entegrasyon farklı meslek gruplarının aynı mekanda çalışmalarının yanı sıra bilgisayarlar ile kolaylaştırılmıştır. Bilgisayar sistemi, bir çizimin farklı katmanları üzerinde hem mühendis hem de mimarların ayrı terminallerde aynı anda çalışmalarını sağlamaktadır. Bu sistem sayesinde her mühendis veya mimarın yaptığı değişiklik anında diğer çalışanların çizimlerine yansımaktadır. Arup'un amacı değişik projelerde mal sahibinin gereksinimlerini en verimli şekilde karşılayacak

binalar üretmektir. Mekanik mühendislerinin, enerji tasarrufu ve maliyet analizcilerinin net kullanılabilir alan oranı hesaplarının binayı mimarların önerileri kadar şekillendirmesi şirketin bu rasyonel yaklaşımının sonucudur (Aksoy, 1996).

Genel olarak çelik strüktürlerde ayrı ayrı ölçülerdeki elemanların boyutları bulunurken Arup optimizeri kullanılır. Tablo ve çizelgelerdeki gerilimli elementler için geleneksel mühendislik metodu olan eleman ölçülerinin türemesinin aksine ayrı ayrı her strüktür elementinin için en uygun ölçüde elemana tekrarlayan değer atamaya izin verir. Optimizerin en basit çalışma prensibi kısıtlama tahminidir ki bu sistemdeki her ayrı eleman için tasarımdaki dayanıklılık kontrolünü uygular. Sistem çok girdi hassasiyetlidir. Eleman ölçümüne bölgesel bir sonuç bulmaktan kaçınmak için uygun bir başlangıç değeri seçmek önemlidir (Şekil.20.) (Burry, 2010).



**Şekil.20.** Arup Optimizeri Şematik Gösterim

**Kaynak:** Burry J. (2010). The New Mathematics of Architecture ‘dan alındı.

2008 Pekin olimpiyatları için yapılan Watercube yüzme havuzu binasını, PTW Mimarlar ve Arup ortaklarıyla tasarlanıp yapılmıştır (Şekil.21.). Tasarımcılar bu binanın duvarlarının ve çatısının bir deri gibi aynı ve devam eden bir düşünceden çıkmışlar ve hangi strüktürel topolojinin üç boyutlu homojen olarak tasarlanılabileceği düşünülmüştür. Bunun için tasarımcılar yaşayan hücrelerden mineral kristallerine kadar bir çok doğa örneklerini inceleyerek 18. yüzyılda sabun köpüğünü referans alan Plateu ve Weaire Phelan'nun çalışmalarından yola

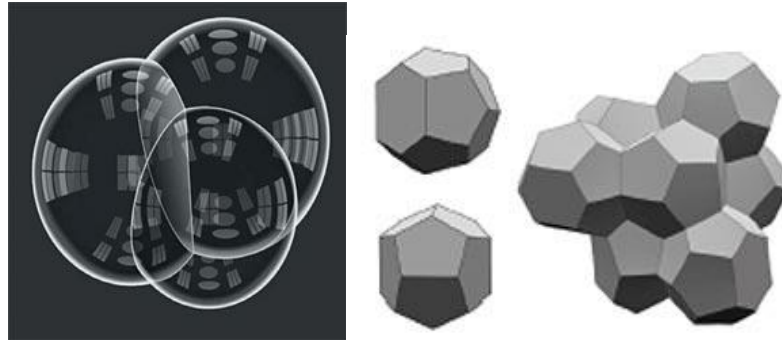
çıkılmışlardır. Sonuç olarak tamamen düzenli olmasına rağmen köpük formunun organik ve rastgele dizilmiş olduğu görülür (Şekil.22.).



**Şekil.21.** Watercube Binası, Ptw Architects ve Arup

**Kaynak:**

[http://www.arup.com/Projects/Chinese\\_National\\_Aquatics\\_Center/WaterCube\\_over\\_view\\_1.aspx](http://www.arup.com/Projects/Chinese_National_Aquatics_Center/WaterCube_over_view_1.aspx) 'den (10 Temmuz 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.22.** Plateau'nun Sabun Köpüğü Geometrisi Ve Weaire Phelan Modeli

**Kaynak:** <http://architectureau.com/articles/practice-23/> 'den (10 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

Strüktür geometrisini tasarlarken, sonsuz köpük sırasıyla başlayıp sonra bina büyüklüğünde 177x177x31 metreküpten oluşan bir küp yapılmıştır. Bu küp blokta sonsuz köpük sırası içinden çıkarılarak geometrik şekil oluşturularak etfe yastıklar ile organik bir hal alması sağlanmıştır (Şekil.23.).

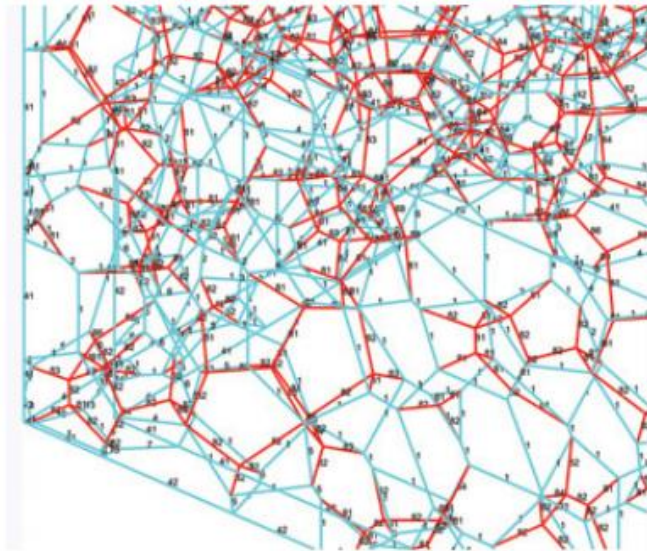


**Şekil.23.** Geometrik Köpük Formun Etfе ile Kaplanması

**Kaynak:**

[http://www.arup.com/Projects/Chinese\\_National\\_Aquatics\\_Center/WaterCube\\_overview\\_1.aspx](http://www.arup.com/Projects/Chinese_National_Aquatics_Center/WaterCube_overview_1.aspx) 'den (25 Nisan 2013) tarihinde alındı.

22000 strüktür elemanı ve 4000 farklı kaplama paneli ile hassas fiziksel modelin yapılmasına karar verilir. Bu elemanların manuel olarak seçilmesi ve hesaplanması mümkün olmadığından arup optimizeri yapının ayakta durmasını sağlayacak eleman boyutları belirler. Bu arup optimizeri tekrarlayan optimizasyon süreci ile otomatik olarak eleman boyutlarını seçmiştir (Şekil.24.).



**Şekil.24.** Arup Optimizeri Kullanımı

**Kaynak:** [http://continuingeducation.construction.com/article\\_print.php?L=5&C=418](http://continuingeducation.construction.com/article_print.php?L=5&C=418) 'dan (27 Nisan 2013) tarihinde alındı.



Çin'deki olimpiyatlarda Watercube strüktür hesabında kullanılan arup optimizeri Pekin olimpiyat stadyumunda da kullanılmıştır, kuş yuvası olarak da adlandırılır (Şekil.25.). Herzog & de Meuron Mimarlar tarafından tasarlanan proje, Çin'deki ucuz işçilik ve ucuz hammadde nedeniyle, herhangi bir Avrupa ülkesinde yapılabilecek maliyetin yüzde onu oranında bir maliyetle imal edilmiştir. Strüktür aynı zamanda dış cepheyi oluşturmaktadır. Stadyumu oluşturan strüktürler birbirini tamamlamakta ve birbirlerini destekleyip kaynaşmaktadır. Aynı zamanda kuş yuvası gibi birbirini örmektedir. Taşıyıcı kolonlar ağacın dalları gibi yapının yüzeyini kaplamaktadır. Stadyumun çatısı şeffaf etfe ve membran ile kaplanmıştır. Yapının içeriye bakan çatı kısmını ayakta tutabilmek için her biri 1000 ton ağırlığında 24 adet dev kolon kullanılmıştır (Aksoy, 2009).



**Şekil.25.** Pekin Olimpiyat Stadyumu

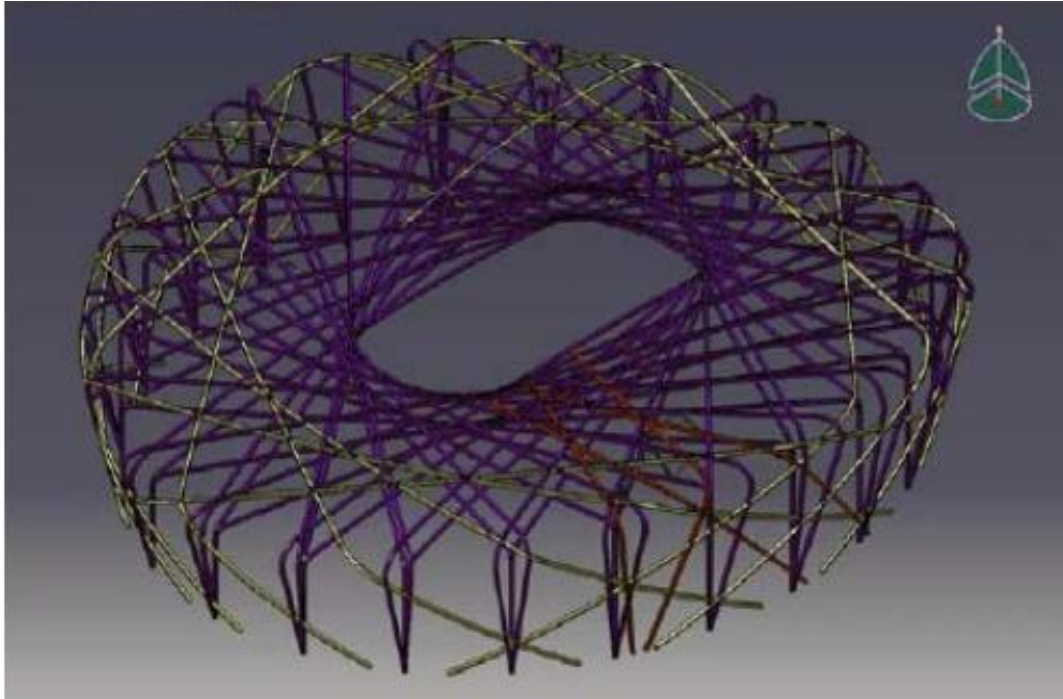
**Kaynak:** <http://beijingbirdsnest.wordpress.com/architecture/architechural-influence/>  
'den (12 Nisan 2013) alındı.

Yapının geometrisi tanımlanırken, çizgiler karakterlerini değiştirmeden spor alanının öngörülen planından, çatı ve duvar yüzeylerinden yer boyunca dışa doğru genişleyen elemanları temsil eder (Şekil.27. Mavi Çizgiler). Çizgiler zeminde 24 noktada kesişip, eşit aralıklarla elipsel yapının kapsadığı alanı oluşturmuştur ve buradaki çizgilerin açıları planlanmıştır. Bu dikey yapısal eleman unsurlarının, prefabrike olarak yaklaşık piramit şeklinde kafes-kolon olmasına izin verir (Şekil.26.) Tam tersine, diyagonal çizgiler ise çatı ve karşı tarafın altı boyunca yere kadar uzanan çevre etrafında konumlanmış merdivenler tarafından oluşmuştur (Şekil.27. Sarı Çizgiler). Kalan dolgu elemanları ise cephenin estetiğini dengeler (Şekil.27. Kırmızı Çizgiler).



**Şekil.26.** Kafes Kolon Örneği

**Kaynak:** <http://en.beijing2008.cn/bocog/sponsors/headlines/n214221207.shtml> 'den (30 Temmuz 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.27.** Stadyumun Cad Çizimi

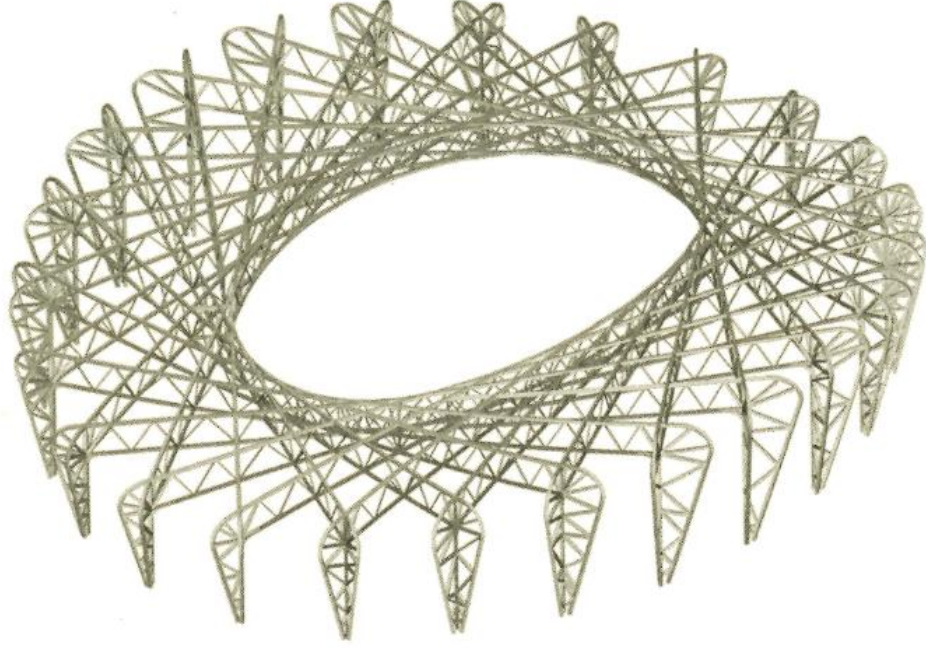
**Kaynak:** <http://beijingbirdsneest.wordpress.com/structural-systems/structural-design/> 'den (30 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

Çatı serbest form alanına sahip değildir ama onun yerine torus şeklini alır ve bu matematiksel olarak tanımlanabilir. Stadyumun merkezi akslarında iki hayali dikey kesme düzleminin alanı simetrikdir (Şekil.28.). Taşıyıcı sistem, hiyerarşik





için de parametrik olarak bu mantığı kodlayıp, son derece ayrıntılı proje modeli üzerinde genel olarak değişiklikler yapılmıştır (Şekil.29.) (Beijing Olympic Stadium Project Details, Anonim, b.t.).



**Şekil.29.** Taşıyıcı Sistem

**Kaynak:** <http://moreaedesign.wordpress.com/2012/01/26/national-stadium-in-beijing-beijing-china/> 'den (12 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

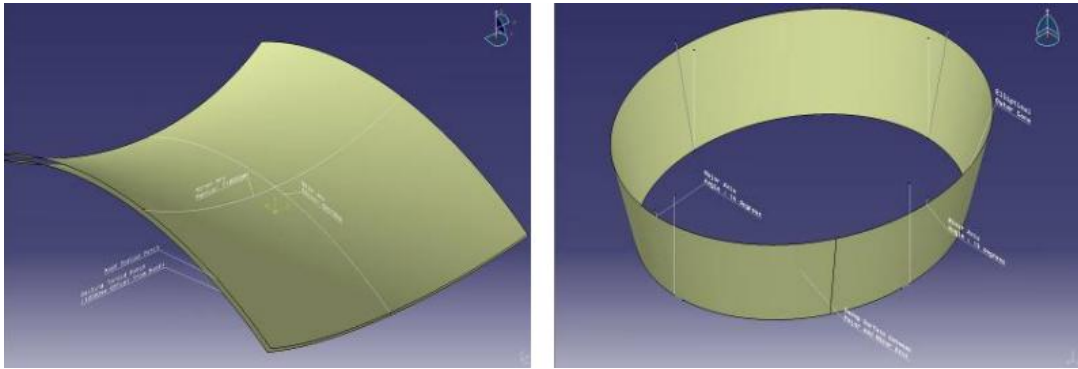
Jacques Herzog 12 metre derinliğindeki kafesi, kirişleri, merdivenleri ve diğer çelik elemanları ağaçlar ve dallarına gönderme yaparak, arenanın oluşturduğu iç ve Olimpik Park'ın oluşturduğu dış mekan arasında huzur veren bir tür "mimari orman"a benzetir (Glancey, 2008). Mimarlar tarafından istenen estetik zeminden gelen elemanların sürekliliği çatının yüzeyinden geçerek oluşur. Çelik HSS bölümleri, cepheye paralel dış kenarı korumak için duvar ve çatının kesişimin üstünde dönerek bükülmeye izin verir. İçi boş boru strüktürel bölümler burulmada güçlüdür, duvar ve çatının yuvarlak kesişimlerinde uygulanan eksantrik yüklemeler için gerekli özelliklere sahiptir. Çeliğin yüksek güç-ağırlık oranı geniş açıklıkta birçok avantaj sağlar. Spor alanı yapımının doğasında seyircilerin alanı engel olmadan görmesi amaçlanır. Bunun içinde iç kolonları kullanmaktan kaçınılarak, dış duvarlar çatı strüktürüne destek olarak iç kolonların kullanılması engellenir. Yaklaşık 40000 ton çelik kullanılmıştır (Şekil.30.) (Rogers, 2007).



**Şekil.30.** Stadyum İçinden Strüktür Detayı

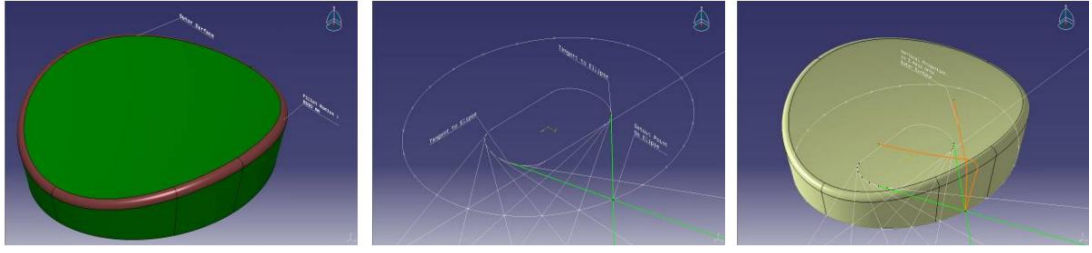
**Kaynak:** <http://www.gehrytechnologies.com/sites/default/files/webform/application-docs/Beijing-Olympic-Stadium.pdf> ‘dan (13 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

Stadyum, bükülme modeli kullanılarak bükülmüş çelik kafeslerden oluşmuş ve analizinde arup optimizeri kullanılmıştır (Şekil.31.) (Şekil.32.). Bu yapının belirgin cephesi, çatının desteklenmesi için gerekli büyük paralel çelik kirişleri gizlemek için tasarlanmıştır. Görünürdeki rastgele elemanların geometrisi, strüktürün kullanımı ve kapasitesi ile ilgili geometrik kısıtlamalar kullanılarak tanımlanmıştır. Arup optimizeriyle, birbirine geçmiş çoklu prefabrike HSS strüktür bölümleri birleştirilmiştir (Şekil.33.) (Rogers, 2007).



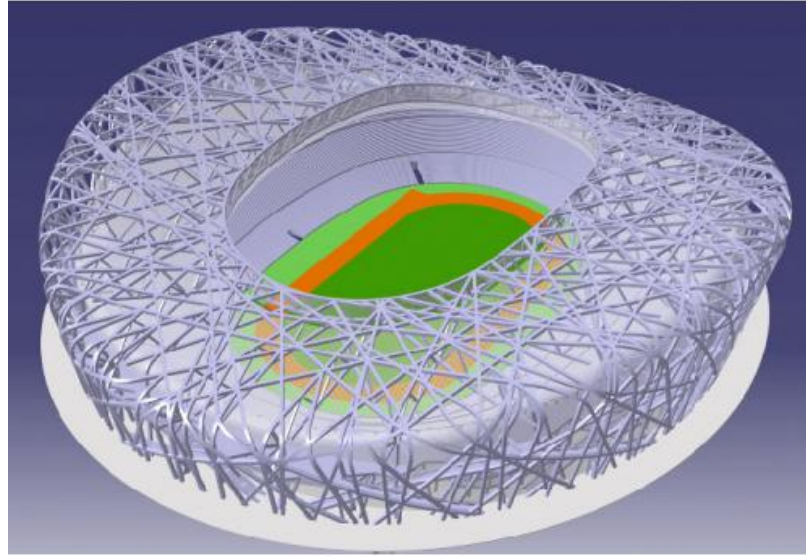
**Şekil.31.** Bükülme modeli

**Kaynak:** <http://www.gehrytechnologies.com/sites/default/files/webform/application-docs/Beijing-Olympic-Stadium.pdf> ‘dan (13 Mayıs 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.32.** Bükülme modeli detayı

**Kaynak:** <http://www.gehrytechnologies.com/sites/default/files/webform/application-docs/Beijing-Olympic-Stadium.pdf> 'dan (13 Mayıs 2013) tarihinde alındı.



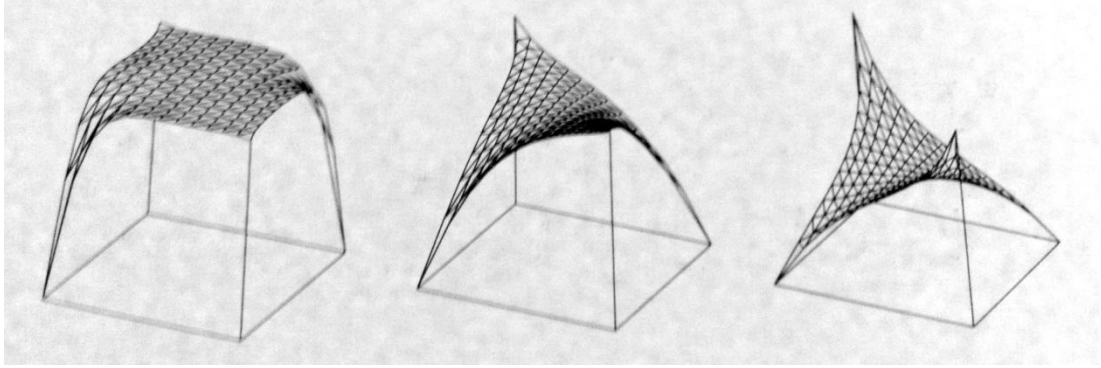
**Şekil.33.** Arup Optimizeri ile Stadyum Modeli

**Kaynak:** <http://www.gehrytechnologies.com/sites/default/files/webform/application-docs/Beijing-Olympic-Stadium.pdf> 'dan (13 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

### 3.1.2. Dinamik Rahatlama (Dynamic Relaxation)

Kablolu ve kumaşlı strüktürlerin formunu bulmasındaki bilgisayarlı modellemenin bir metodudur. Sistem yük etkisi altında dengelenmiş pozisyonda salınım yapar. Sahte-dinamik süreç zamanında simule edilirse tekrarlayan süreç elde edilir. Her tekrarlamada, kuvvetin kütle ve ivmeye eşit olduğu Newton'un ikinci

yasasını\* kullanarak geometri (düğüm pozisyonları) yenilenir. Bunun iki kere integralini almak, hız ve geometri arasında ilişki yaratmaktır. Her bireysel düğüm üzerinde gitgide kuvvetler dengeli hareket etmeye başlar. Sonuç olarak, sürtünme elemanı, dört komşu noktadan sıfır noktasında toplanmak üzere hayali ipler aracılığıyla her strüktürel düğümü kullanarak yüzeyden teğet geçer (Şekil.34.) (Burry, 2010).



**Şekil.34.** Dinamik rahatlama şematik gösterimi

**Kaynak:** Burry J. (2010). The New Mathematics of Architecture ‘dan alındı.

İngiltere’nin Sussex kentinde yapılmış olan Weald and Downland Gridshell müzesinin tasarımcıları Buro Happold ve Edward Cullinan’dır. Tasarım dinamik rahatlama baz alınarak yapılmıştır. Ahşaptan yapısıyla kırsal alanlardaki modern binalara örnek bir bina olmuştur (Şekil.35.)

\*Eylemsiz bir referans sisteminde, bir parçacık üzerindeki net kuvvet onun çizgisel momentumunun zaman ile değişimi ile orantılıdır:  $F = d(mv) / dt$ . Momentum(mv), kütle ile hızın çarpımına eşittir. Kuvvet ve momentum vektörel nicelikler olduğundan, net kuvvet cisim üzerine etki eden tüm kuvvetlerin vektörel toplamı ile bulunur. Bu yasa sıklıkla şu şekilde ifade edilir: “ $F=ma$ : Bir cisim üzerindeki net kuvvet, cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir. (Rızaoğlu ve Sünel, 2008)





**Şekil.35.** Weald and Downland Gridshell Müzesi

**Kaynak:**

<http://research.ttlchiltern.co.uk/pif294/tdk/case%20studies/structural%20engineering%20of%20the%20downland%20gridshell/01%20small.htm> ‘dan (11 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

Müzenin boyutları öncelikle seçilip, en ekonomik ve güvenli olacak şekilde dinamik rahatlama yöntemi ile optimize edilerek, ahşabın boyutları ve ahşaplar arası aralıklar belirlenmiş ve dikmelerin geleceği yerler işaretlenmiştir (Şekil.36.). Yapım aşamasında ise bilgisayarda hesaplanan değerlere göre yerleştirilerek son şeklin alması sağlanmıştır. (Şekil.37.)



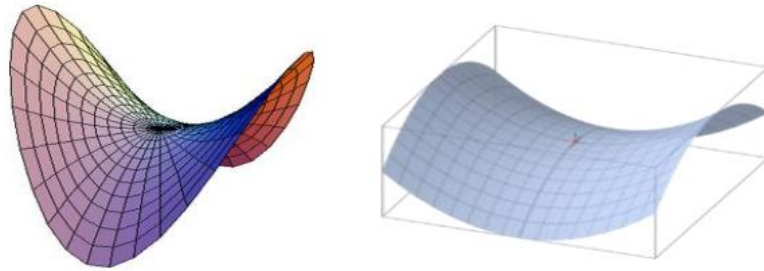
**Şekil.36.** Dinamik Rahatlama Simülasyonu

**Kaynak:** <http://www.ingenia.org.uk/ingenia/issues/issue18/dickson.pdf> ‘den (11 Temmuz 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.37.** Yapım Aşaması

**Kaynak:** [http://gridshell.blogspot.com/2007\\_04\\_08\\_archive.html](http://gridshell.blogspot.com/2007_04_08_archive.html) 'dan (11 Temmuz 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.38.** Membran yapılarında Dinamik Rahatlama

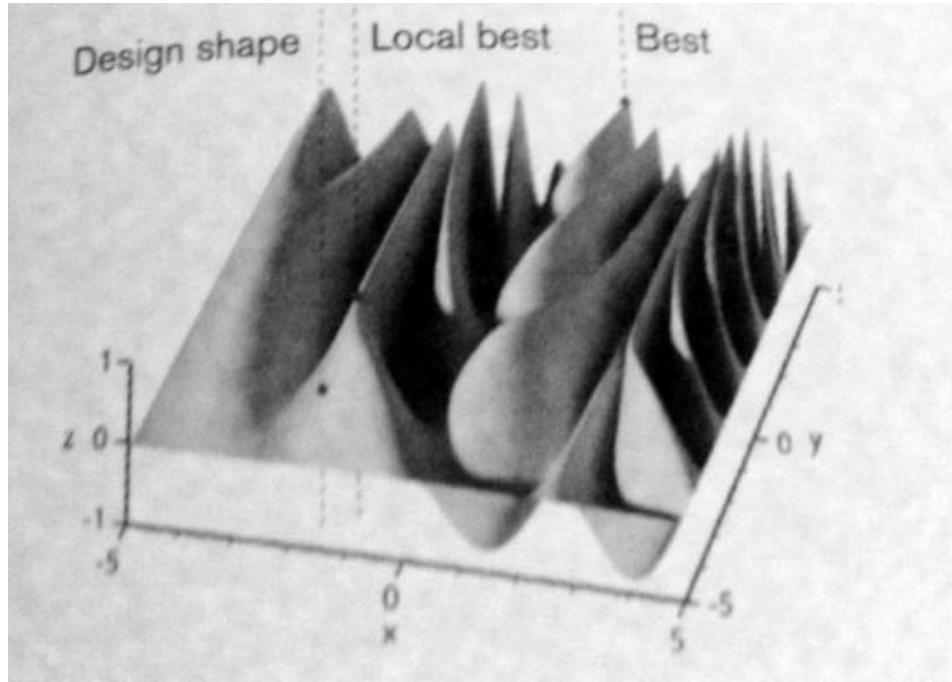
**Kaynak:** [http://wiryanto.files.wordpress.com/2011/07/makalah\\_15.pdf](http://wiryanto.files.wordpress.com/2011/07/makalah_15.pdf) 'den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

Dinamik rahatlama, sonlu elemanlar analizini içeren, membranın elastiklik ve malzeme özelliklerini, sınırlayıcı noktalarını ve olağan yüklerini baz alarak tekrarlı hesaplamalar ile denge durumunda yerleşen dijital ağ yöntemidir (Şekil.38.).

### 3.1.3. Evrimsel Şekil Optimizeri (Evolutionary Shape Optimizer)

Şekil optimizasyonu, günümüzde artık tasarımın en uygun biçiminin araştırılmasıyla ilgilenen strüktür optimizasyonu olarak bilinmektedir. Bu genellikle ilk denenen biçimin sınırların taşınmasıyla, uygun tasarım kısıtlamaları içinde en küçük (ya da en büyük) bir amaç fonksiyonu olarak davranmasıdır. Tipik optimizasyon parametreleri ise minimal ağırlık, minimal uyum (ya da maksimal sertlik), en uygun öz frekans ve maksimal strüktür yumuşaklığıdır. En uygun tasarım kısıtlamaları da genelde malzeme değerleri, deplasman, sertlik, gerilim ve burulma yükleridir.

Evrimsel Őekil tasarımı hassasiyet analizleri aracılıđıyla, bölgesel ve daha evrensel biąim deđiŐikliklerinin yapının mekanik performansını, dayanıklılıđı ve dűŐük gerinim gűcű bakımından nasıl etkilediđini anlama ąalıŐmasıdır. Genellikle yűkűn bűyűk bir bűlűmű akssal olarak strűktűrel őgelere aktarıldıđında ve ąok az eđilme olduđunda, gerinim gűcű en aza iner. Evrensel bir minimum, strűktűrel bakımdan en etkili biąimi sunabilir, ama őteki yerel minimaller tasarım biąimine ve őteki tasarım kriterleri ile uyuma ąok daha yakın olan daha iyi ąözűmler sunabilirler. Hassasiyet analizi, matematiksel bir modelin űretim aŐamasında farklılıđın (belirsizliđin) nitel veya nicel olarak, model uygulamasındaki ąeŐitli kaynaklara nasıl dađıtılabileceđinin ąalıŐmasıdır. Amaą belirsizlik kaynaklarının gűreceli ađırlıklandırmasını tanımlamaktır. Girdilerde deđiŐikliđe verilen tepkinin bu anlayıŐı genellikle matematiksel modellerde muđlaktır, ama dođru ve anlamlı bir model kullanımı iąin űnemlidir (Őekil.39.) (Burry, 2010).



**Őekil.39.** Evrimsel Őekil Optimizeri Őematik Gűsterimi

**Kaynak:** Burry J. (2010). The New Mathematics of Architecture ‘dan tarihinde alındı.

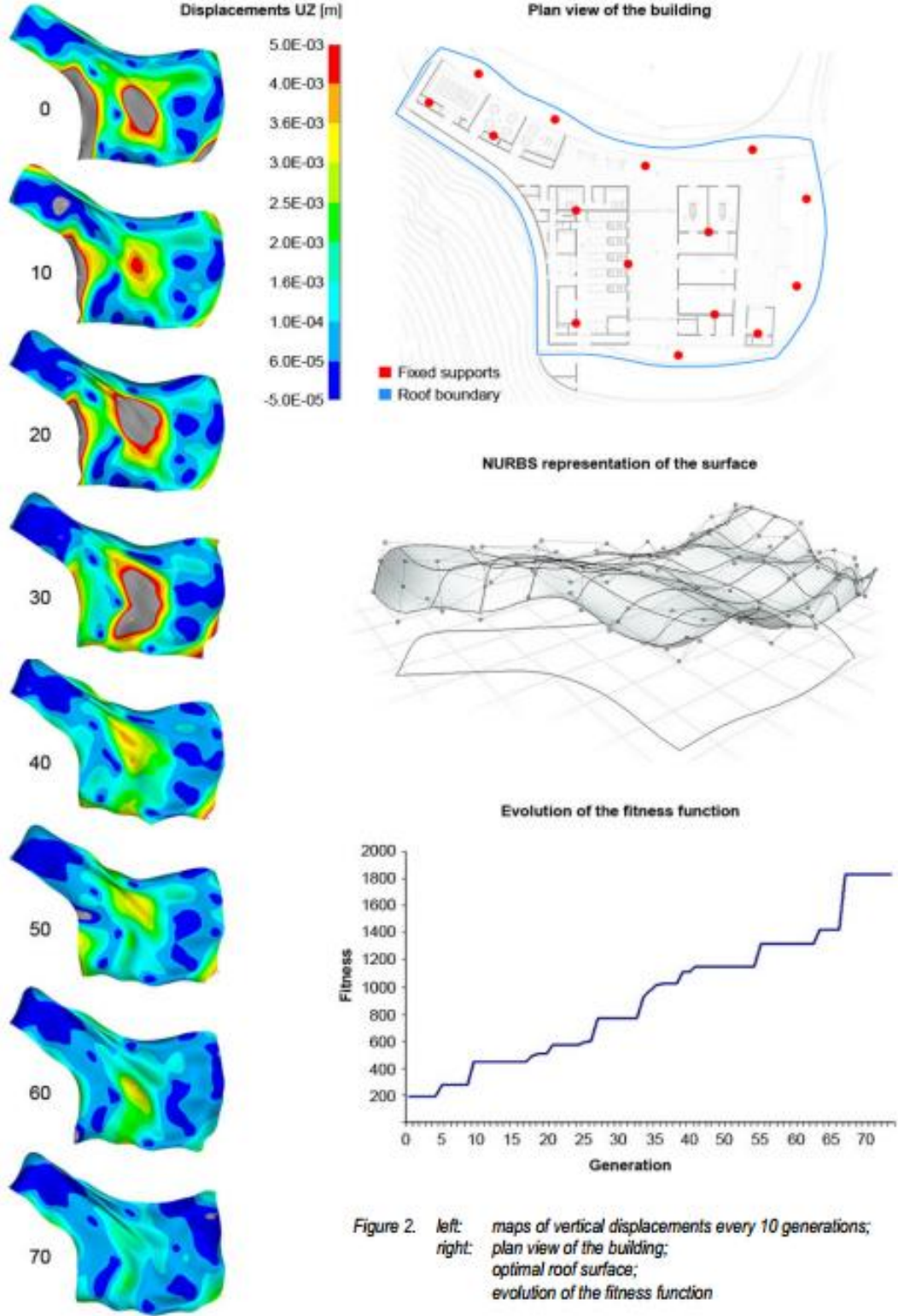


Evrimsel şekil optimizasyonunun kullanıldığı bir örnek, Toyo Ito'nun Japonya'da ki Meiso no Mori Crematorium binasıdır (Şekil.40.). Sütunlarla desteklenen geniş beton çatı, iç blokları saklar. Şekil.41. 'de görüldüğü gibi plandan bakılınca çatı serbest form biçimindedir. Kabuk strüktürünün tasarımı, etkili strüktür biçimi bulmak amacıyla optimizasyon yapılması gerekmektedir. Bu analizden sonra tekrarlayan hesaplamaların en uygun değeri ile toplam gerilme enerjisi minimum olacak şekilde strüktür düğüm noktaları belirlenmektedir. Şekil.41.'de sol tarafta olan grafiklerde çatının bilgisayarda simülasyonu çıkarılmış, strüktür düğüm noktalarının yerleşimi sonucu oluşan deplasmanlar gözlenmiş ve yetmiş tekrardan sonra yaratılan geometride en optimal şekil bulunmuştur. Sağ üstte düğüm noktaları, altında düğüm noktalarından geçen eğriler, en alt grafikte ise her değişiklikte ortaya çıkan şeklin elverişliliği gösterilmektedir.



**Şekil.40.** Meiso no Mori Crematorium, Toyo Ito

**Kaynak:** <http://www.ccaa.com.au/sub/cplusa/articles/issue/10/meiso-no-mori-crematorium/> 'dan (13 Temmuz 2013) tarihinde alındı.



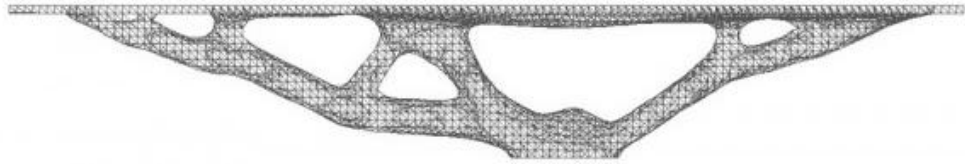
Şekil.41. Binanın Evrimsel Şekil Optimizeri Grafikleri

**Kaynak:**

<http://vbn.aau.dk/files/38938688/Morphogenesis%20and%20Structural%20Optimization%20of%20Shell%20Structures%20with%20the%20Aid%20of%20a%20Genetic%20Algorithm.pdf> 'dan (13 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

### 3.1.4. Evrimsel Strüktür Optimizeri (Evolutionary Structure Optimizer)

Mike Xie ve Grant Steven tarafından önerilen optimizasyon yöntemi bir yapıdaki her öğedeki gerinim gücünü bulmak için sonlu eleman analizini kullanan tekrarlı bir rutindir. Sanal sonlu elemanları hazırlamak için kullanılan bir başlangıç “küpüne” diyelim ki taş, çelik, veya beton gibi bazı gerçek malzeme özellikleri verildi, bazı yükler ve sabitler uygulandı: Yerçekimi, destek noktaları, vb. analizden sonra belli bir eşiğin altında, örneğin yüzde birin altında kalan gerilim alan öğeler kaldırılır. O zaman en az gerilim alan öğelerin analizi ve kaldırılışı artık biçim üzerinde pek çok kez tekrar edilir (bu örnekte 50 ila 100 kadar). Bu yöntem en az malzeme kullanımı için strüktürel bir biçim optimize eder. Yazılım Xie ve araştırmacıları tarafından çelik kablo strüktürler gibi yalnızca gerilim strüktürleri veya duvarcılık gibi yalnız basınç strüktürleri ve ikisinin bir kombinasyonunu geliştirmek üzere tasarlan. Ayrıca öğelerin biçimin evrimi esnasında hem çıkartıldığı hem de eklendiği çift yönlü evrimsel strüktür optimizerini de geliştirdiler. Bu doğada kemik büyümesi benzeri süreçlerde gözlemlenen süreçlere şiiresel bir biçimde yakındır (Şekil.42.) (Burry, 2010).

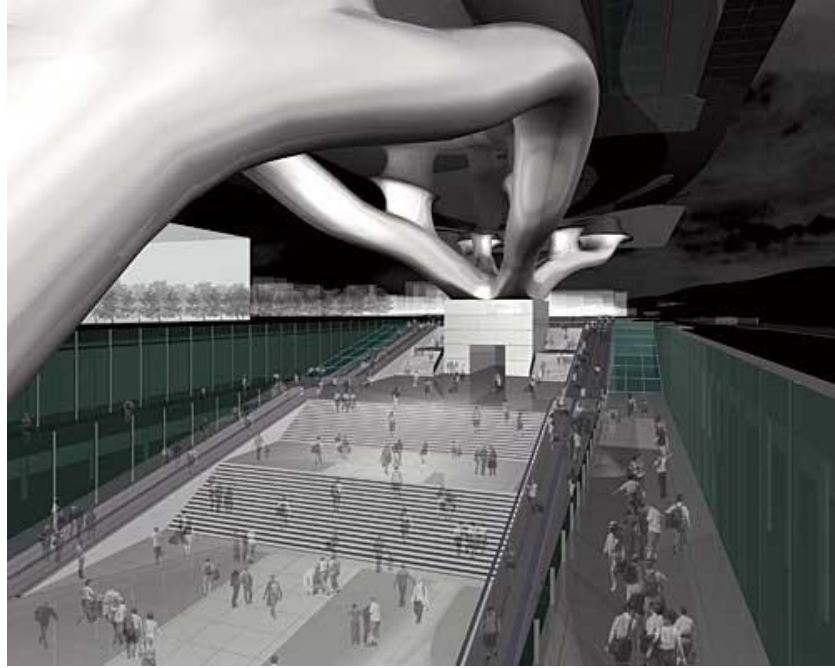


**Şekil.42.** Evrimsel Şekil Optimizeri Şematik Gösterimi

**Kaynak:** <http://obleo.net/tag/education-city-convention-center/> 'dan (7 Haziran 2013) tarihinde alındı.

Eğilme momenti olmadan tüm strüktür elemanlar arasında aktarımın gerçekleştiği yapı, en yüksek aktarma verimliğine sahiptir ve minimum malzeme değerlerinin imalatına izin verir. Bu da strüktür optimizasyonun uygulandığı uzaysal yapılarda ideal şekil mukavemetinin amacıdır. Strüktürün biçimi mekanik bir davranış sergiler. Strüktürün mekanik davranışının değişimi ise şeklin o an değişime uğramasına neden olur. Evrimsel strüktür optimizasyonu, tüm strüktür şeklinin ve üstüne uyguladıkları yükleri organik bir biçimde karşılık vererek en uygun strüktür biçimini türetir.

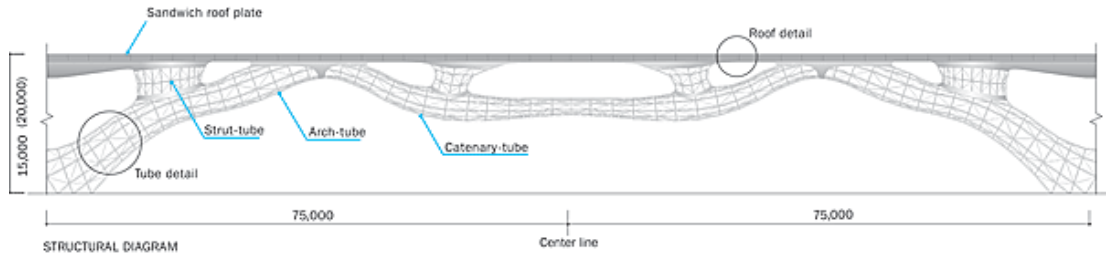
İtalya'nın Floransa kentinde bir tren istasyonu tasarımı yarışmasındaki tasarımcılardan biri olan Mutsora Sasaki, tasarımında evrimsel strüktür optimizerini kullanmıştır. Akan bir strüktür yaratan mimar, 400 metre uzunluğunda, 40 metre genişliğinde ve 20 metre yüksekliğinde bir istasyon tasarlamıştır (Şekil.43.). Strüktür elamanları, üç boyutlu alanda tasarım koşullarını sağlayarak minimum malzeme kullanılıp maksimum mekanik verim elde ederek en uygun şeklini almıştır. Tasarım evriminde üst çatının düz olması ve alt yüzeyinin ise merkezden çatıya 12 metre olması mimari kısıtlamalar olarak kullanılmıştır (Şekil.44.)



Şekil.43. Floransa Tren İstasyonu Tasarımı

**Kaynak:** <http://archrecord.construction.com/tech/techFeatures/0803feature/1.asp>

'den (7 Haziran 2013) tarihinde alındı.



Şekil.44. Evrimsel Strüktür Optimizasyonu

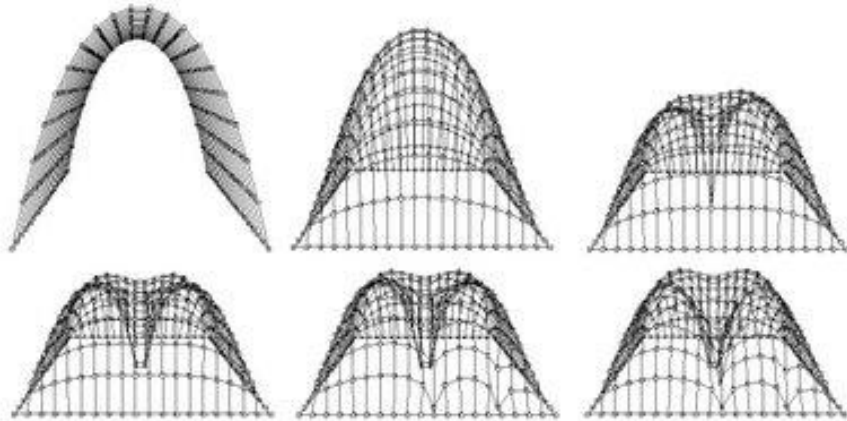
**Kaynak:** <http://archrecord.construction.com/tech/techFeatures/0803feature-1.asp>

'den (7 Haziran 2013) tarihinde alındı.

## 3.2. Strüktürel Modeller

### 3.2.1. Zincir Eğrisi (Catenary)

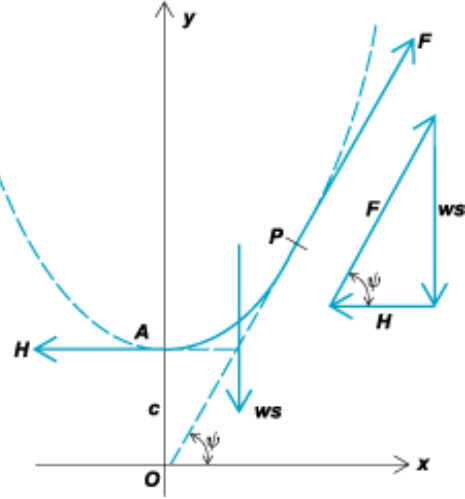
Zincir eğrisi matematiksel bir eğridir. Eğri ne zaman x eksenini etrafında dönerse zincir yüzeyini veya minimal yüzeyi verir. Eğri, kendi ağırlığı altında asılan ve iki sonu sabitlenmiş şekilden meydana gelir. X eksenine göre yansıtılırsa mükemmel bir şekilde kagir kemerde kendi ağırlığını gösteren yükü tanımlar. Bu şekil içinde oluşan yay saf sıkışma rolündedir, zincir de saf gerilmeyi sağlar. Robert Hook'un 1670'lerde araştırdığı bu olay birçok tasarımcıya ilham verir. Başta Gaudi olmak üzere, 1912'de Casa Mila'da kagir kemer strüktürlerini belirler. Parabol, zincir eğrisinin yakın bir yaklaşımıdır. (Galileo bunun asılan zincir şekli olduğuna inanır). Bir nokta ve bir çizgiden eşit uzaklıktaki noktaların bulunmasıyla basit bir formüle ve kolayca inşa edilme özelliklerine sahiptir. Nicolas Fuss 1796'da zincir eğrisi modelinin son halini oluşturmuştur (Şekil.45.) (Burry, 2010).



Şekil.45. Zincir Eğrisi Modelleri Şematik Gösterimi

**Kaynak:** <http://andjelkobt.blogspot.com/2009/02/catenaries.html> 'den (3 Ocak 2013) tarihinde alındı.

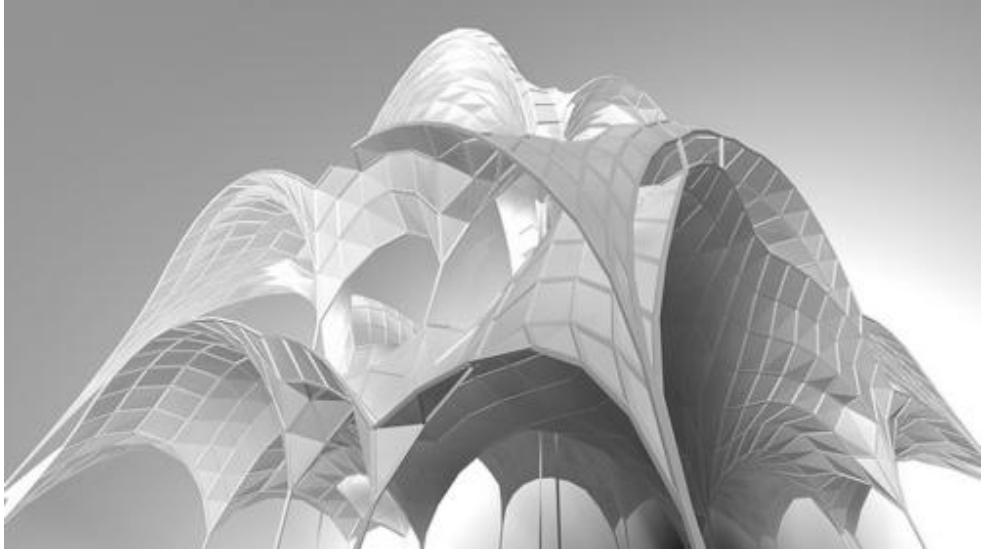
Zincir eğrisinin hesap yönteminde form zincirin ideal ağırlıktaki homojen bir ipin iki uç noktasından asılarak serbest bırakılmasıyla oluşur. (Şekil.46.) En alt noktası A tepe noktasıdır. AP kısmı, A'da ki H yatay gerilmesi altında dengedir, F gerilmesi, P tanjantı boyunca yönelmiştir ve AP'nin ağırlığı W'dır.



**Şekil.46.** Zincir Eğrisi Ve Üçgen Kuvveti

**Kaynak:** <http://www.answers.com/topic/catenary> 'den (3 Ocak 2013) tarihinde alındı.

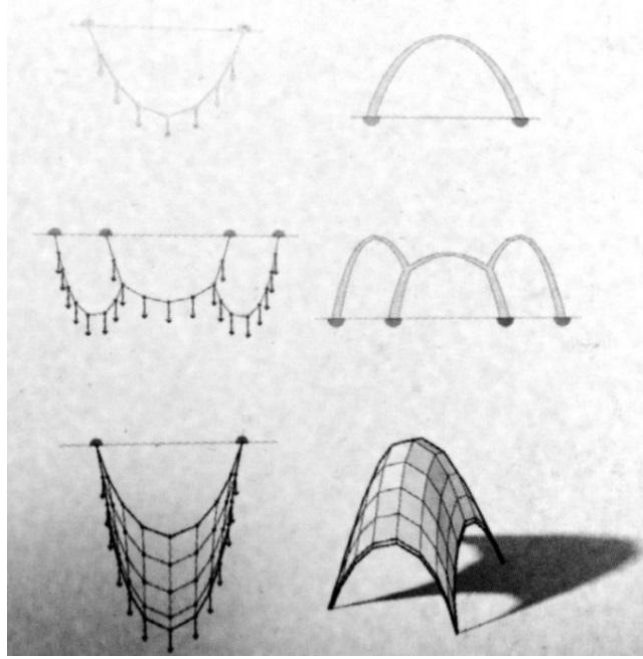
Zincir eğrisi modelinde iki ucundan sabitlenmiş zincirin oluşturduğu serbest form, ters çevrildiğinde bağımsız bir yay oluşturur. Bu yay kullanılarak serbest yüzeyler oluşturulabilir (Şekil.47.). Bu yay, enerji kabloları, örümcek ağı gibi bir çok yerde gözlemlenebilir.



**Şekil.47.** Zincir Eğrisi Modeli Örneği

**Kaynak:** <http://www.flickr.com/photos/56239767@N04/5201514218/> 'den (15 Ocak 2013) tarihinde alındı.

Zincir eğrisi modelinde, strüktür geometrisinin nasıl olacağı, iki ucundan asılı ipin, sadece kendi ağırlığında serbest bırakılmasıyla dış etkiler olmadan kendi kendini organize etmesi ve topolojik olarak bir süreklilik içermesi önem taşır (Şekil.48.). İki halka arasında oluşturulmuş sabun köpüğünün de kesiti alınırsa bu şekilde olur. Başka bir deyişle asma köprüyü paralel giden eksen etrafında döndürürseniz sabun köpüğü şekli çıkar. Zincir eğrisi strüktürel modellerin temelini oluşturur. Günümüzde artık çok sık kullanılsa bile yeni geliştirilen modellere ilham kaynağı olmuştur.



**Şekil.48.** Zincir Eğrisi Modelleri Şematik Gösterimi

**Kaynak:** Burry J. (2010). The New Mathematics of Architecture ‘dan alındı.

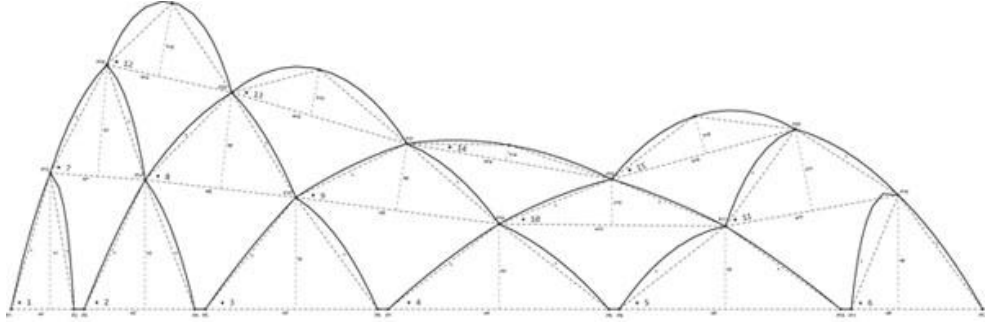


**Şekil.49.** İç İç Zincirlerin Asılması

**Kaynak:** <http://www.ocean-designresearch.net/index.php/design-mainmenu-39/architecture-mainmenu-40/nested-catenaries> ‘den (25 Haziran 2013) tarihinde alındı.



Ocean Design Research grubunda yapılan zincir eğrisi araştırmasında bilgisayarda ortamında birbirine bağlanmış iç içe zincirlerin asılması gözlemlenmiştir (Şekil.49.). Asılan zincirlerin kendi ağırlıklarıyla ve asılma noktalarıyla aldıkları şekilden sonra ters çevrilip matematiksel bir eğri oluşturulmuştur (Şekil.50.) Bu matematiksel eğriler, tasarlanacak yapının serbest formunu oluşturur.



**Şekil.50.** Matematiksel Eğriler

**Kaynak:** <http://www.ocean-designresearch.net/index.php/design-mainmenu-39/architecture-mainmenu-40/nested-catenaries> 'den (25 Haziran 2013) tarihinde alındı.

Bu geometri ile bilgisayar ortamında tasarlanan yapı, araştırma merkezinde inşa edilmiştir. Herkesin bildiği tuğlayı, çimento ile birleştirerek inşa edilen yapının, üstüne hiçbir statik veya dinamik yük konulmamıştır ve sadece kendi ağırlığını taşıyan bir yapı oluşturulmuştur (Şekil.51.)



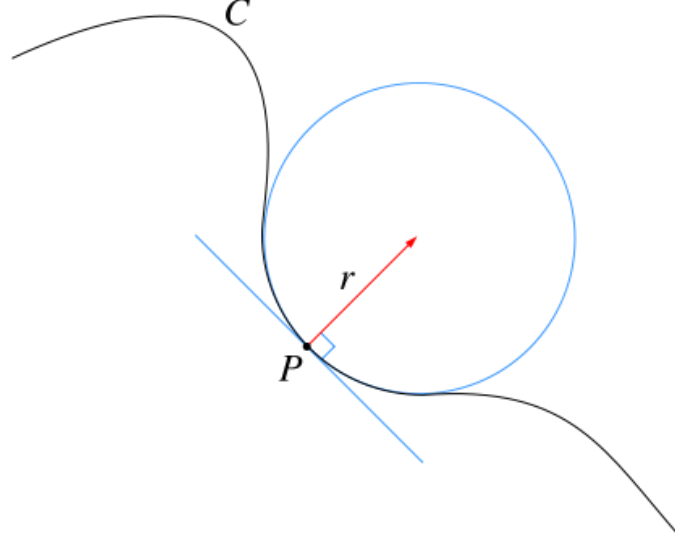
**Şekil.51.** Tuğladan İnşa Edilmiş Zincir Eğrisi Modeli

**Kaynak:** <http://www.ocean-designresearch.net/index.php/design-mainmenu-39/architecture-mainmenu-40/nested-catenaries> 'den (25 Haziran 2013) tarihinde alındı.



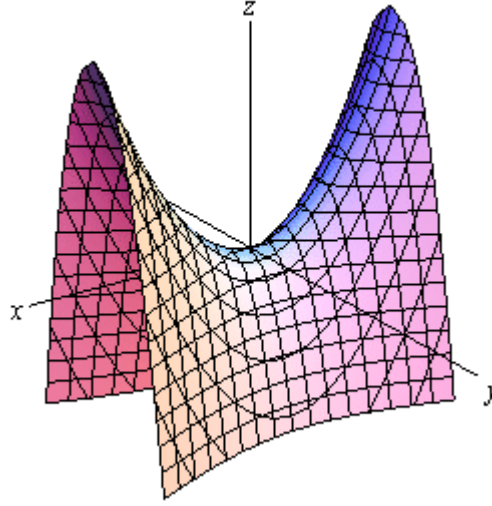
### 3.2.2. Bükülme (Curvature)

Bükülme, Christiaan Huygens, Gottfried Leibniz, Sir Isaac Newton, Carl Friedrich Gauss, Nikolai Lobachevsky, Janos Bolyai, Henri Poincare ve David Hilbert gibi birçok matematikçiyi meşgul eden bir konudur. Bu aslında düz veya doğru olmasından gelen ayrı ayrı bükülme veya yüzey sapması miktarıdır. En basit durum, eksende bükülmedir. Bu bükülme, büküm boyunca her noktada çeşitlenebilir ama her noktada, nokta üzerindeki bükülmeye en yakından uyan yuvarlak yarıçapı tersten ölçülebilir (P noktası, Şekil.52.). Yuvarlak değişmez bükülme figürüdür; küçük yuvarlak büyük büküme ve büyük olanda en az büküme sahiptir, bu yüzden yarıçapla ilişki terstendir. Gaussian Bükülme, yüzey bükülmesinin asıl ölçüsüdür, noktadaki iki esas bükülme yüzeyi ürünüdür. Dışbükey yüzeyler küre gibidirler, pozitif bükülmeye sahiptirler. Eyer yüzeyler (saddle surfaces) ise hiperboloid gibidirler, negatif bükülme yaparlar. Eksenler sıfır bölgesine ve genel bükülmeye sahiptir (Şekil.53.) Bükümler sadece dıştan gelen bükülmelerdir; doğal olarak onlar doğrusaldır ve sadece öklidyen eksene yerleştirildiklerinde bükülmeye sahip olurlar (Burry, 2010).



Şekil.52. Bükülme Şematik Gösterimi

**Kaynak:** <http://en.wikipedia.org/wiki/Curvature> 'den (5 Ocak 2013) tarihinde alındı.

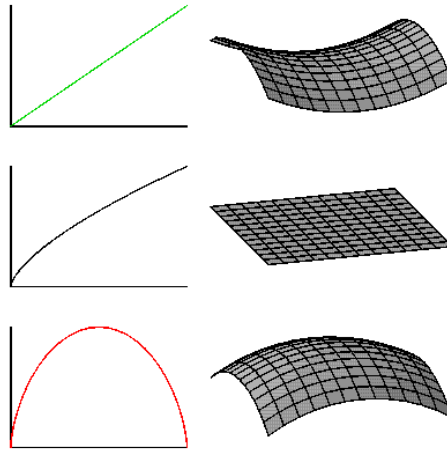


**Şekil.53.** Eyer Yüzey Şematik Gösterimi

**Kaynak:** <http://tutorial.math.lamar.edu/Classes/CalcIII/QuadricSurfaces.aspx> ‘

dan (24 Temmuz 2013) tarihinde alındı.

Bükülmede en basit form olarak ilk hesaplamalar dış bükülmede yapılmıştır. İki boyut içinde, kartezyen parametrik denklemler düz eğimi verir. (Şekil.54.) Düz eğim en basit bükülmedir.



**Şekil.54.** Düz Eğim Grafikleri

**Kaynak:** [http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmo\\_03.htm](http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmo_03.htm) ‘den (5 Ocak 2013)

tarihinde alındı.

Tayvan Taipei şehir sanat müzesi uluslararası tasarım yarışmasında ödül alan OODA'nın tasarımında bükülme modeli kullanılmıştır. Bu yapı 90 derece açılı bir küp ile daha çok bükülmüş hacimsel kutudan oluşur (Şekil.55.)



**Şekil.55.** New Taipei City Museum of Art – OODA

**Kaynak:** <http://www.designboom.com/architecture/ooda-new-taipei-city-museum-of-art/> 'dan (30 Haziran 2013) tarihinde alındı.

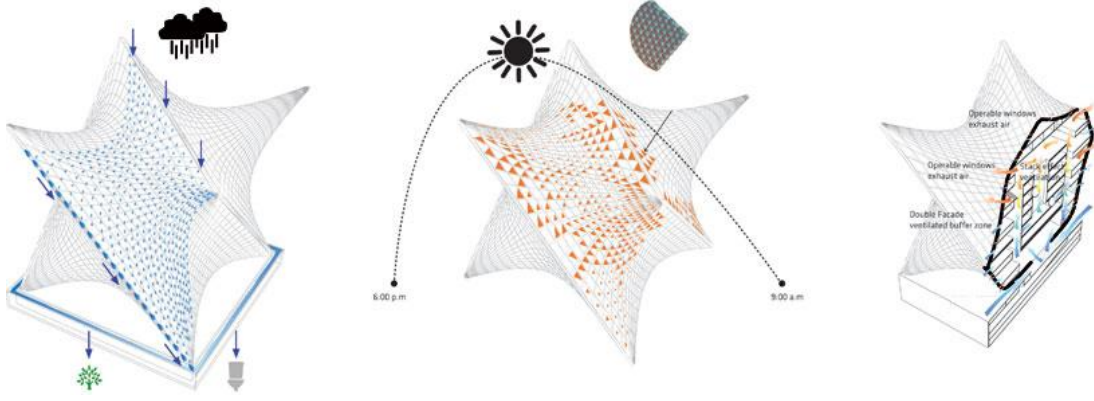
İç formun kesitinden ayrılmış, bir köşeden bir köşeye eğilerek giden sürekli çelik elemanlar bütün dış strüktüre destek olur (Şekil.56.)



**Şekil.56.** Strüktürel Eleman Diyagramı

**Kaynak:** <http://www.designboom.com/architecture/ooda-new-taipei-city-museum-of-art/> 'den (30 Haziran 2013) tarihinde alındı.

Yapının yüzeyindeki bükülme ile yağmur sularının toplanıp tek bir noktaya aktarılması, güneş ışınlarının enerji için toplanması ve boşluklar yardımıyla içerideki hava akımının verimli kullanılması sağlanmıştır (Şekil.57.)

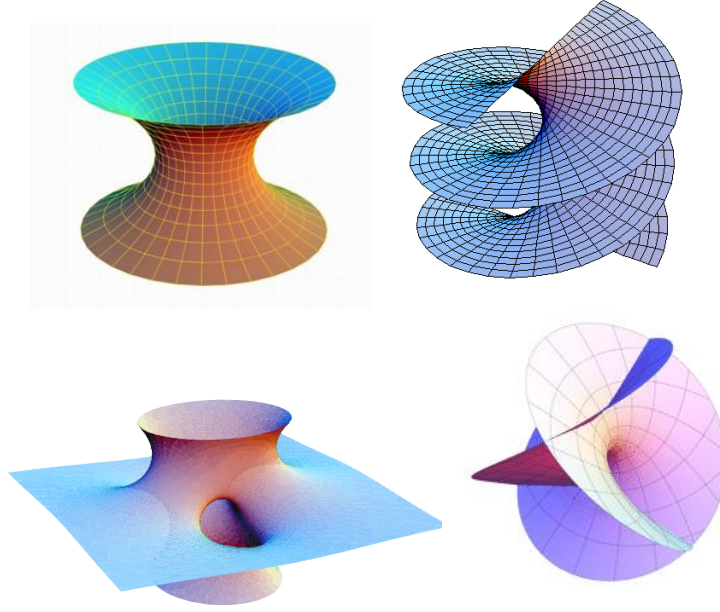


**Şekil.57.** Yapının Su taşıma, Güneş Işığı ve Hava Akımı Diyagramları

**Kaynak:** <http://www.designboom.com/architecture/ooda-new-taipei-city-museum-of-art/> 'den (30 Haziran 2013) tarihinde alındı.

### 3.2.3. Minimal Yüzeyle (Minimal Surfaces)

Minimal yüzeylerin teknik açıklaması sıfır yüzeyinin bükülme anlamına gelmesidir. Minimal yüzeylere; karşılıklı eşit tüm bükülmeye sahip, zincir eğrisi bükülmesinin eksenler etrafında salınımı ile oluşan catenoid (Şekil.58.), çizginin aynı anda dönmesi, çevrilmesi ve salınmasıyla oluşan Helicoid (Şekil.58.), enneper yüzeyi (Şekil.58.), son zamanlarda keşfedilen Costa-Hoffmann-Meeks yüzeyi (Şekil.58.), örnek olarak verilebilir.



**Şekil.58.** Catenoid, Helicoid, Enneper Yüzeyi, Costa- Hoffmann Yüzeyi

**Kaynak:** <http://www.indiana.edu/~minimal/maze/catenoid.html>,

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Helicoid.PNG>,

[http://en.wikipedia.org/wiki/Enneper\\_surface](http://en.wikipedia.org/wiki/Enneper_surface),

<http://mathworld.wolfram.com/CostaMinimalSurface.html> ‘den (25 Mart 2013)

tarihinde alındı.

En az alanlı bir yüzeyde gelişigüzel karmaşık sınır eğrisinin varlığının olup olmadığı sorusunu ortaya çıkaran Joseph-Louis-Lagrange (1736-1813), minimal yüzeyler araştırmasını başlatmıştır. Sabun köpüğünün deforme olabilen tel çerçeve üzerindeki, telin deforme edilmesiyle minimal yüzeyler oluşur. Minimal yüzeyler içerir, ama minimal yüzey alanları sınırlı değildir. Küre, hacim vermesine rağmen minimum yüzey alanı olarak tanıtılır, matematiksel tanıma göre minimal yüzey değildir (Burry, 2010).

Sabun köpükleri ile oluşturulan yüzeylerin çok önemli bir özelliği vardır. Minimum yüzey-gerilim potansiyel enerjisine sahip olan bu yüzeyler, alan olarak da minimumdur. Bu yüzden sabun köpüklerinden oluşan alanlara “minimal yüzeyler” denir. Kapalı bir çerçeve içerisindeki böyle bir alan, diğer oluşturulabilecek olanlardan her zaman daha az bir alanı işgal eder (Polatöz, 2008).

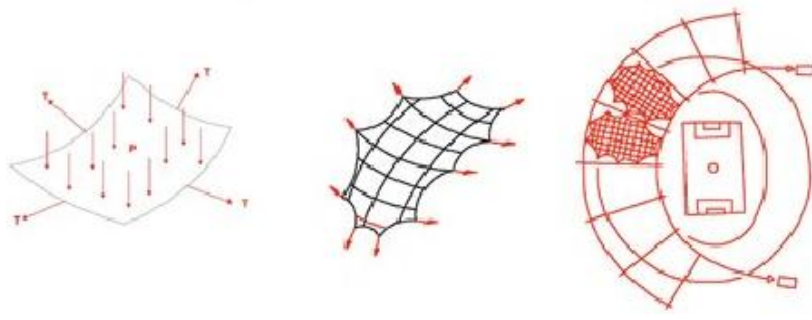


Minimal yüzeylerin ilk örneklerinden olan Münih Olimpiyat Stadyumu, ekolojik yaklaşımı, görselliği, kullanılabilirliği ve ulaşım planlaması ile Otto ve Behnisch ortaklığının bir tasarımıdır (Şekil.59.). Geleneksel yapıların aksine asma germe yapılar daha az sert ve ağırdır. Yumuşak yapılar, sertliğin olmaması sebebiyle, eğri çizgisel geometriyle ve gergin olarak yapılırlar. İki karşı bükülmeyi dengeleyen yüzeyin geometrisi öklidyen değildir (Şekil.60.). Uzay geometrisinde uyarılmış gerilim öngerilme ile birlikte oluşan formun dengesiyle birlikte dayanıklılığı ve sertliği sağlar. Asma germe strüktürünün yüzeyi üç boyutlu hiperbolik geometriye sahiptir.



**Şekil.59.** Münih Olimpiyat Stadyumu

**Kaynak:** [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Olympiastadion\\_Muenchen.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Olympiastadion_Muenchen.jpg) ‘den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.



**Şekil.60.** Münih Olimpiyat Stadyumu Geometrisi

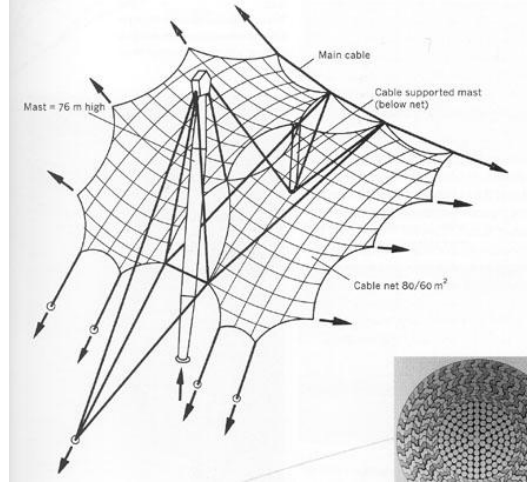
**Kaynak:** <http://mayoralhernandezarchitect.jimdo.com/portfolio/structural-analysis/>  
'den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

Yapı sürekli akan bir konsept olarak tasarlanmıştır (Şekil.61.). Sürekliliğe sahip asma germe sisteminin yüzeyleri tüm olimpiyat oyun binaları arasında bir köprü gibidir. Çok sayıda askıda ki dikey dikmeler ile oluşan saçakların membran formu, ölçeği, kesit özellikleri değişen alan ve dinamik akış içerisinde sürekli örtü eğrilerine izin verir (Şekil.62.).



**Şekil.61.** Münih Olimpiyat Stadyumu Topolojik Görüntüsü

**Kaynak:** <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3779> 'den (17 Mart 2013)  
tarihinde alındı.



**Şekil.62.** Münih Olimpiyat Stadyumu Geometrisi Detayı

**Kaynak:** <http://mayoralhernandezarchitect.jimdo.com/portfolio/structural-analysis/>  
'den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

Yüzey örtüsünde çelik kablolar ve akrilik paneller kullanılmıştır (Şekil.63.). 74.000 metrekarelik çatı alanının yüzeyi eyer biçimli akrilik panellerle kaplıdır ve direklere birkaç noktadan asılıdır. Farklı açılardan bakıldığında bile bütünsel bir yapısı vardır (Minhniok, 2012). Akrilik paneller, gün ışığında parlar, ışığı yansıtır, gökyüzünün rengini gösterir ve peyzaj oluşturur (Şekil.64.) (Kroll, 2011).



**Şekil.63.** Münih Olimpiyat Stadyumu Çelik Halat Birleşim Detayı

**Kaynak:** <http://www.flickr.com/photos/archiryan/4140909294/> 'den (17 Mart 2013)  
tarihinde alındı.

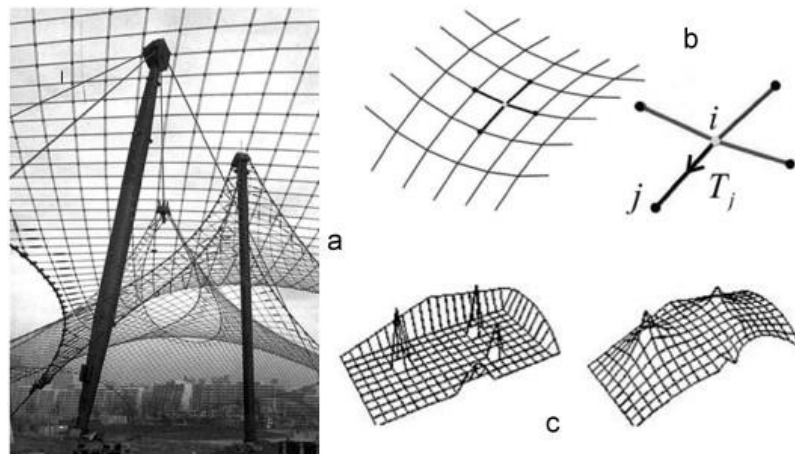




**Şekil.64.** Münih Olimpiyat Stadyumu Akrilik Panelleri

**Kaynak:** <http://archinect.com/forum/thread/95497/looking-for-a-structural-system-for-my-freeform-canopy> ‘den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

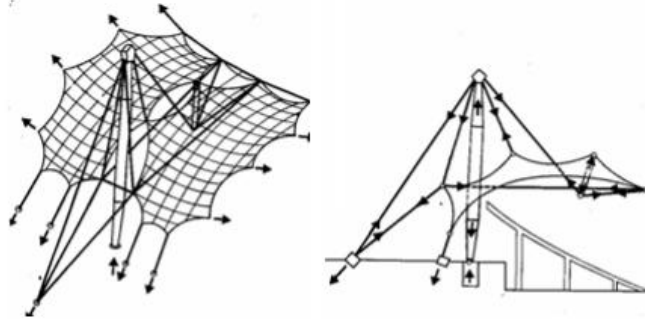
Minimal yüzeyler, çatı üzerindeki her dengeli noktanın içinde dengelenmiş yüzey gerilmesine sahiptir ki bu da tüm konstrüksiyonu dengeler. Minimal yüzeylerde çukur oluşmaz ve bundan dolayı su birikmez (Şekil.65.) (Pan ve Xu, 2010). Böyle geniş bir alan için, minimal düzeydeki yapı elemanları, dalgalı ağ ile sonuçlanan çeşitli çekme bağlantıları ile dinamik geniş yüzeyler oluşturulmuştur (Kroll,2011) Form, gerili sistemlerin kendine benzeme manipülasyonlarının birleşmesi, yüzey geçirgenlik derecesinin değerlendirilmesiyle minimal yüzeyin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.



**Şekil.65.** Münih Olimpiyat Stadyumunun Topolojik Diyagramı

**Kaynak:** <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3779> ‘den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

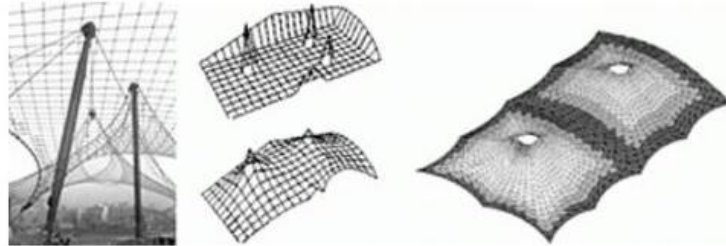
Özellikle membran sistemleri, form oluştururken membranın kısıtlanmasıyla uygulanan dış etkiler altında membranın gerilme kuvvetleri ve özel olarak seçilmiş kontrol noktaları kendini organize eden bir davranış içinde olmaktadır. Bu noktalarda gerilme kuvvetleri toplanıp iletilmektedir. Membranların malzeme olarak forma şeklini vermesi nedeniyle belirli sınır noktalarında yer değiştirmeler ve ön germe kuvvetleriyle tanımlanmaktadır. Membranın formu, iç dirençlerin ve dış kuvvetlerin dengesiyle bulunmaktadır (Şekil.66.) (Hensel, 2006).



**Şekil.66.** Münih Olimpiyat Stadyumunun Mebran Detayı

**Kaynak:** R. Fang (2009), The Design and Construction of Fabric Structures‘dan (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

Mimarlıkta en iyi bilinen sonlu elemanlar analizi örneklerinden biri olan Münih Olimpiyat Stadyumu’nda Frei Otto çatılarının optimum şekillerini çalışırken, sabun baloncuklarının açıklık aralıklarının nasıl oluştuğunu inceleyerek, farklı tel kafes modellerini test etmiştir (Helmut ve Raisch, 2012). İlk nümerik yaklaşım, stadyum tasarlanırken geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, kuvvet yoğunluğu yöntemi olarak adlandırılan gerginlik durumundaki asma germe kablo sistemlerini temel alır. Bu teknik, yüksek kesinliğe sahiptir ve dinamik rahatlama modelinin bulunmasını sağlamıştır (Şekil.67.). (Mouton, 2011).

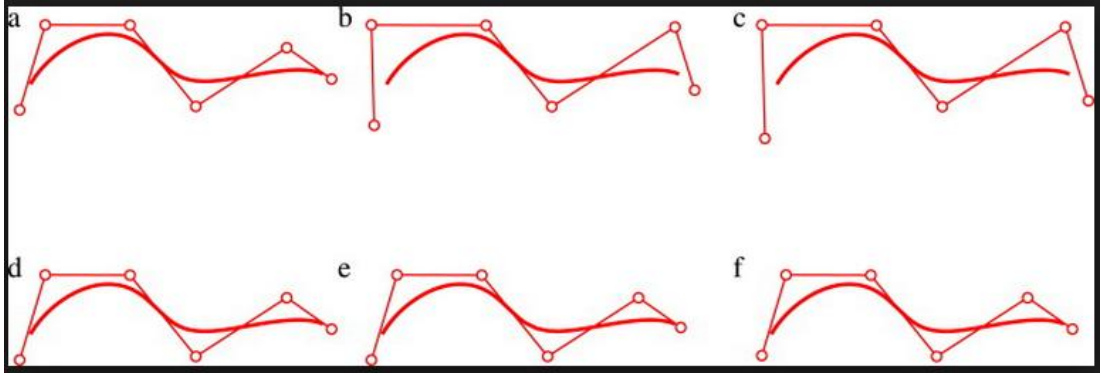


**Şekil.67.** Münih Olimpiyat Stadyumu Membranının Dinamik Rahatlama Diyagramı

**Kaynak:** <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3779> ‘den (17 Mart 2013) tarihinde alındı.

### 3.2.4. Ünitorm Olmayan Rasyonel Çizgiler - Nurbs (Non-Uniform Rational B-Splines)

Ünitorm olmayan akılcı prensipli çizgiler eğrisidir. Gemilerin teknesi veya bir kerelik model olarak başvuru olan araç gövdeleri gibi serbest biçimli yüzeylerin hassas tanımıdır. Renault mühendisi Pierre Bezier ve Citroen'den Paul de Casteljaou eş zamanlı olarak bu problem üzerine çalışırlar. Bilgisayar grafiklerinde, eğrilerin başlangıç noktalarıyla çizgiler, günümüzde Bezier çizgileri olarak tanınır. Nurb eğrileri, birçok ağırlıklı kontrol noktaları ve düğüm vektörleridir. Nurbs genellikle kendine özgü, tek bir matematik form sağlar. Matematiksel tanımlamada, serbest form yapılarında ve birçok endüstriyel standart formatlarında, ekonomik depolanmada kullanılır. Mimari estetikte kayda değer etkiye sahiplerdir (Şekil.68.) (Burry, 2010).



Şekil.68. Nurbs şematik gösterimi

**Kaynak:** <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448512001844> 'den (29 Ocak 2013) tarihinde alındı.

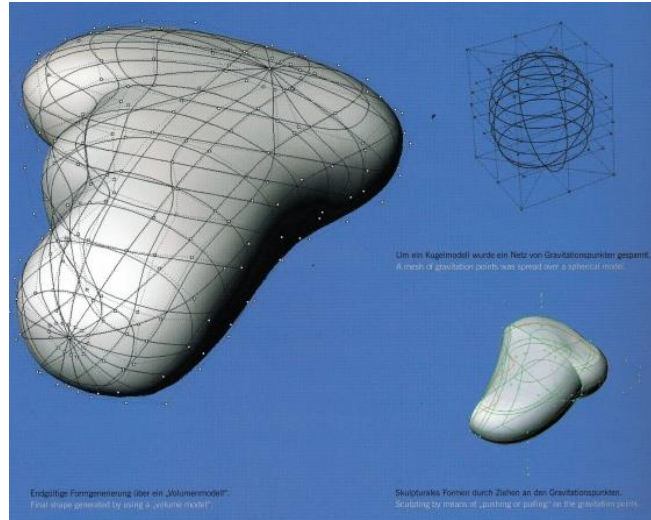
Bir nurbs eğrisinin şekli, etki alanına ve düğümlerine bağlı kalınarak kontrol noktalarından değiştirilebilir. Her kontrol noktası eğri üzerinde ne kadar etkiye sahipse o ölçüde eğriyi değişime uğratabilir. Her kontrol noktası ana fonksiyona referans veren bir polinom denkleminde sahiptir. Rasyonel bir B eğrisi matematiksel olarak iki polinomial denklemin oranı olarak ifade edilir. Her ana fonksiyon kontrol noktasının civarındaki eğri bölümünü etkiler ve bu bölümler düğümler (knots) ile sınırlandırılır (Tarım, 2006).



**Şekil.69.** Kunsthaus Graz

**Kaynak:** <http://www.crab-studio.com/graz-kunsthau/> 'dan (19 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

Avusturya'nın Graz kentinde bulunan, Peter Cook ve Colin Fournier'in tasarladığı biyomorfik yapı kabuğuyla bilinen Kültür ve Sanat Merkezi gelişmiş modelleme, simülasyon ve otomatik üretim teknolojileri kullanılarak üretilmiştir. Bu projenin kabuğu akrilik cam, düşük çözünürlüklü bir medya duvarı, fiber ve çelik konstrüksiyon katmanlardan oluşmaktadır (Şekil.69.).



**Şekil.70.** Nurbs Eğrileri ile Tasarım

**Kaynak:** <http://discovery.ucl.ac.uk/13132/1/13132.pdf> 'dan (19 Mayıs 2013) tarihinde alındı.

Bu binanın kabuğunda kullanılan akrilik panelleri Nurbs eğrileri kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil.70.) Bu akrilik paneller, su geçirmeyen, strüktürel stabiliteye sahip, doğal ve yapay ışık sağlayan, güneş enerjisini depolayan, ısıtma, soğutma ve hava sirkülasyonunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada incelenen dört model de kendine has denklemi olan parabolik eğrilerden oluşmaktadır. Bu eğriler aynı zamanda olası strüktürel oluşumlara işaret ederler. Strüktür tasarlanırken, tasarımda oluşma potansiyeli olan tekrar eden geometrik yapıyı veya örüntüyü görmek önemlidir. Örüntü görmede sistemi oluşturacak parametrelerin bilgisinin yanısıra bu bilginin nasıl birbiriyle ilişkiye gireceğine dair sezgiye de ihtiyacımız vardır. Bu süreçte sistemin parametrelere göre değişen yapısını veya hareketini bilgisayar ortamında geometrik bir model olarak gözlemleyebildiğimiz için tasarımcının olası örüntü durumunu keşfetmesi mümkün hale gelmiştir. Böylelikle bilgisayar ortaya çıkan son ürünün yalnızca çizilmesine yarayan bir araç değil aynı zamanda sezgilerimizi ortaya çıkaran bir araç olarak çalışmaktadır.

Matematiksel modeller, strüktürel örüntünün ayakta kalmasını sağlayan kuvvetlerle, malzeme ve hava akımı, güneş ışığı, yağmur, kar gibi fiziksel çevre parametreleri arasında fiziksel dengeyi sağlamaya çalışır. Bilgisayar ortamında oluşan geometrik yapı kendi karakterini koruyarak veya yeni bir örüntüye ulaşarak yani kendi kendini yeniden organize ederek performansa dayalı bir model oluşturur. Bu performansta malzeme seçimi önemlidir.

Beton ve ahşap gibi elastisite modülü düşük malzemeler bu modellerde birleşmeye dayalı yöntemle sahip olan zincir eğrisi modelinde kullanılmaktadır. Ayrıca diğer çelik, plastik gibi malzemeler de zincir eğrisi modellerinde kullanılabilir. Ama membranlar gerilme sistemleriyle tasarlandıkları, salınımla oluşmadıkları için burada zincir eğrisi modeli referans alınmaz. Gelişen teknoloji ile istenildiği gibi eğilip, bükülebilen ve dayanımı yüksek olan çelik, plastik, alüminyum, cam, membran malzemeler bükülme, minimal yüzey ve nurbs modellerinde kullanılmaktadır. Beton ve ahşap bu üç modelde fazla tercih edilmemektedir. Betonun kalıbını şekillendirerek veya yapay ahşaptan tasarımlar yapılabilmesine rağmen istenilen asıl tasarım, malzemenin esnemesine dayalı olmalıdır.

**Tablo.1.** Modellerin Geometri ve Malzeme ile İlişkisi

	<b>Geometri</b>	<b>Malzeme</b>
<b>Zincir Eğrisi</b>	Öklidyen Olmayan, Kendi Kendini Organize Eden, Topolojik	Beton, Ahşap, Çelik, Alüminyum, Plastik, Cam
<b>Bükülme</b>	Öklidyen Olmayan, Kendi Kendini Organize Eden, Topolojik	Çelik, Alüminyum, Cam, Plastik, Mebran
<b>Minimal Yüzey</b>	Öklidyen Olmayan, Kendi Kendini Organize Eden, Topolojik	Çelik, Alüminyum, Cam, Plastik, Mebran
<b>Nurbs</b>	Öklidyen Olmayan , Kendi Kendini Organize Eden, Topolojik	Çelik, Alüminyum, Cam, Plastik, Mebran

Zincir eğrisi modelleri, dinamik rahatlama analizini ve evrimsel strüktür optimizelerini kullanır. Kendi ağırlığınca yerçekimine göre şekil alan bir yapısı vardır. Dinamik rahatlama ve evrimsel strüktür optimizeleri tüm yapının en uygun formu bulma prensibiyle analiz yapar. Bu iki yöntem de zincir eğrisinde de bulunan kendini bırakma ve salınma davranışları üzerine çalışır. Ama arup optimizeleri ve evrimsel şekil optimizeleri kendini tekrar eden yapılardan zeminden yukarıya doğru oluştuğu için zincir eğrisinden bir model yaratması daha zordur.

Bükülme modellerinde, evrimsel strüktür optimizeleri dışında kullanılan yöntemler malzemenin elastisite modülü katsayısını kullanarak eğilmesi için en uygun değeri bulan yöntemlerdir. Arup optimizeleri kendi kendini organize etmesini sağlayacak en uygun tekrar elemanını seçer. Dinamik rahatlama, malzemenin yerçekimi ile kendiliğinden eğilmesini sağlayan topolojik şeklindeki kemer yapının optimizasyonunu yapar. Evrimsel şekil optimizeleri ise serbest forma en uygun eğilmeyi seçmek için en az deplasman yaptıracak strüktürel elemanın konumlandırma analizini yapar. Evrimsel strüktür optimizeleri malzemeyi bükmeye değil, strüktürü en uygun şekilde yerleştirmeyi seçtiğinden bu analiz kullanılmaz.

Minimal yüzey modelinin kendini organize eden matematiksel yaklaşım sürecinde dinamik rahatlama, arup optimizere ve evrimsel şekil optimizere kullanılmaktadır. Evrimsel strüktür optimizere ise, minimal yüzey oluşturmak yerine sistemde vektörel gerilimi azaltmaya odaklanmaktadır.

Nurbs modellerinde kullanılan eğriler, sistemi anlamak ve modellemek için dijital ortamda yaratılan eğriler olduklarından tüm optimizasyon yöntemlerinin haritalama kısmında kullanılmaktadır.

**Tablo.2.** Model – Analiz Yöntemleri İlişkisi

	<b>Arup Optimizere</b>	<b>Dinamik Rahatlama</b>	<b>Evrimsel Şekil Optimizere</b>	<b>Evrimsel Strüktür Optimizere</b>
<b>Zincir Eğrisi</b>	-	+	-	+
<b>Bükülme</b>	+	+	+	-
<b>Minimal Yüzey</b>	+	+	+	-
<b>Nurbs</b>	+	+	+	+

Mimari tasarıma parametre oluşturabilecek strüktür temelli yeni olanakların keşfedilmesiyle, matematik mimarlıkta oran ya da form yaratmak dışında, disiplinler arası bilgilerin mühendis ve mimarın birlikte anlayabileceği, düşünebileceği bilgisayar simülasyonları vasıtasıyla birçok verinin tasarım parametresi olarak işlenebildiği tasarım süreçlerine ve bu süreçlerin işaret ettiği yapılara dönüşmüştür. Strüktür tasarımı yani taşıyıcı sistemin estetik bir değer taşıyarak alışılagelmişin dışında bir yapı olarak tasarlanması, birlikte çalışılan mühendisin mimarlaşıp, mimarın da mühendisleşmesine olanak verir. P.L. Nervi, F. Candela, F. Otto gibi mühendis tasarımcılar günümüzdeki tasarımcılara ilham veren eserler ortaya çıkarmışlardır. Buradan gelen deneyim ve teknolojik ilerlemeyle gözle görülmeyen parametrelerin keşfedilip bilgisayarlar aracılığıyla işlevsel hale getirilmesi, matematiksel modellerin gelişimini sağlamıştır.

Kaotik bir yapı olarak gözlemlenen strüktürü etkileyen deprem, rüzgar, su gibi çeşitli vektörel kuvvetler dinamik parametreler olarak bilgisayar ortamında simüle edilebilmeleriyle daha iyi anlaşılır hale gelmiştir. Bu da geometrinin gelişmesini, öklidyen olmayan geometrik formların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Strüktürel tasarımlarda bu formlar, dinamik parametrelere göre kendi kendini organize ederek örüntü oluştururlar. Ortaya çıkan örüntünün topolojik sürekliliği yapının ayakta kalmasını sağlar. Bu süreklilik dinamik parametrelerin zaman ve harekete bağlı yapılarının ortaya çıkarılıp optimize edilmesiyle oluşur. Ayrıca sürdürülebilirlik, minimum malzeme kullanımı, kolay üretilebilirlik, sökölüp takılma gibi tasarım düşünceleri ve polimerler, membranlar vb. yeni malzemelerin gelişimi de strüktür tasarımında bu yeni olanakların oluşmasını desteklemiştir.

Bilgisayarın mühendis ve mimarın ortak çalışabilmesini sağlayan görsel model oluşturma kapasitesinin artmış olması, insanın zihinsel ve entelektüel eylemlerini tasarım alanına yöneltmesine yardımcı olmuştur. Sayısal analiz metodlarının soğuk nesneliliği yerine bilgisayar simülasyon modellerinin sıcak gerçekliğinin anlamı ve farklı disiplinlerin algılayabileceği ve yorum yapabileceği görselliği oluşmuştur. Bilgisayar teknolojisi olmadan önce bu hesaplamaların arkasında yalnızca mühendisin anlayabileceği sayılar varken Bilgisayarlarla birlikte bu sayılar simülasyonlara dönüşerek herkesin anlayabileceği bir dil yaratılmıştır. Bu simülasyon teknolojisi, mimarların ve mühendislerin ortak çalışmasını sağlayan bir ara yüz oluşturmuştur. Bu arayüzün daha sağlıklı kullanılabilmesi için üniversitelerde mimarlık öğrencilerinin hem mimari tasarım stüdyo süreçlerinde hem de ayrı olarak strüktür tasarımı başlığında eğitimi önem kazanmaktadır. Nervi'ninde (1967, s:183) belirttiği gibi "Karmaşık bir strüktür, strüktürler teorisinin formüllerinden ve matematiksel gelişmeden başlayarak tasarlanamaz. Bu formüller ve gelişmeler tasarımın ikinci safhasında strüktür elemanlarının boyutlandırılmasında gerekli olacaklardır. Bir strüktürü sezgi yoluyla hissetmek, birisinin hacimler oranını veya renk ilişkilerini hissetmesi gibi bir kapasite meselesidir ve strüktürel tasarımı ayrılmaz temelini teşkil eder. Yarının mimarlığının gelişmesi için yeni mimarın ciddi bir strüktür eğitimi görmesi esastır."



Dolayısıyla mimarın, fizik terimleri, matematik teorileri ve deneyimin bilgisine dayanan strüktür anlayışı olmalı ve onları sezgisel olarak birleştirebilmelidir. Üniversitelerde mimarlık ve mühendislik öğrencilerinin birlikte çalışabilecekleri ortamlar yaratılarak ortak çalışmanın olanakları eğitim sürecinde artırılabilir. Öğrencilerin bilgisayar simülasyon teknolojileri konusundaki temel bilgiler eğitim sürecinde verilerek teknolojinin sürekli ilerleyen ve hızlı değişen yapısına adapte olmaları sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, A. (2009). Spor yapıları: Olimpiyat Stadyumları. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi
- Baktır, S. (2006). Yapı Malzemelerindeki Teknolojik Gelişmelerin Mimari Biçimlenmeye Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi
- Bielefeld, B. ve El Khouli, S. (2010). *Adım Adım Tasarım Fikirleri*. İstanbul: Yem Yayınevi
- Beijing Olympic Stadium Project Details. (b.t.). Gehry Technologies
- Bilgin, E. ve Utkutuğ, G.S., *Tasarım ve Üretim Sürecinde Mimar-Mühendis İş Birliğini Yansıtan Üç Örnek Bina*. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisinde sunulan Bildiri, s. 39-58
- Bozkurt, C.(03.05.2010). Karmaşıklık Teorisi. 13.02.2013, <http://yaratilisedir.blogspot.com/2010/05/karmasklk-teorisi.html>
- Burry, J. ve Burry, Mark. (2010). *The New Mathematics of Architecture*. United Kingdom: Thames and Hudson Yayınları

Çıltık, A.(2008). *Sayısal Tasarım Kavramları ve Algoritmik Düşüncenin Mimari Tasarıma Etkileri*. Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi

Çınar, F. (19.9.2011). 21. Yüzyılda Organizasyonel Formlar Ve Karmaşıklık (Complexity) Paradigması. 14.01.2013,  
<http://www.riskonomi.com/wp/?p=1919>

Dritsas, S. (2012). Dijital ve Fiziksel Duyarlılık. Dosya 29- Hesaplamalı Tasarım, *Tmmob Mimarlık Odası Ankara Şubesi Dergisi*, Kasım, syf 41-43

Engel, H. (2004). *Strüktür Sistemleri*. İstanbul: Tasarım Yayın Grubu

Erdoğan, E. ve Gönenç Sorguç, A. (2011). Hesaplamalı Modeller Aracılığıyla Mimari ve Doğal Biçim Türetim İlkeleri ilişkilendirmek. *Metu JFA*,28 (2), s. 269-281.

Erol, H. (1999). *Viskoelastik Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çözümü*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi

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

Glancey, J.(14.02.2008). Kuş Yuvasının Sırları. (9.05. 2013).  
[v3.arkitera.com/h24999-kus-yuvasinin-sirlari.html](http://v3.arkitera.com/h24999-kus-yuvasinin-sirlari.html)

Gleick, J. (2005). *Kaos*. Ankara: Tübitak Yayınları

Helmut, A. ve Raisch, W.(2012). Finite Element Methods for Geometric Problems.  
Doktora Tezi. Bonn Üniversitesi

Hensel, M. (2006). Towards Self-Organizational and Multiple-Performance Capacity  
in Architecture. *Architectural Design Dergisi, Techniques and Technologies  
in Morphogenetic Design*

Mc Donald, A. J (1994). *Strüktür ve Mimarlık*. Butterworth Arch.

Michniok, D. (2012). *Transformative Architecture, the Iconic and the Modern  
Stadium- Munich Olympic Stadium*

Mouton, Y. (2011). *Organic Material for Sustainable Construction*

National Stadium in Beijing. (2008).

<http://moreaedesign.wordpress.com/2012/01/26/national-stadium-in-beijing-beijing-china/>

Kaos Teorisi. (b.t.). 5 Ocak 2013, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Kaos\\_teorisi](http://tr.wikipedia.org/wiki/Kaos_teorisi)

Kaya, R. (06.11.2004). Geçmişten Günümüze Geometri Öğretimi ve Öklid Dışı  
Geometrilerin Öğretimdeki Yeri ve Önemi. (12.02.2013),  
[http://www.matder.org.tr/index.php?option=com\\_content&catid=8:matematik  
-kosesi-makaleleri&id=79:gecmisten-gunumuze-geometri-geometri-ogretimi-  
ve-oklid-disi-geometrilerin-ogretimdeki-yeri-ve-onemi-&Itemid=38](http://www.matder.org.tr/index.php?option=com_content&catid=8:matematik-kosesi-makaleleri&id=79:gecmisten-gunumuze-geometri-geometri-ogretimi-ve-oklid-disi-geometrilerin-ogretimdeki-yeri-ve-onemi-&Itemid=38)

- Kilian, A. (2012). Tasarımın Onayı Yerine Tasarım Araştırmasına Yönelik Bir Süreç Olarak Kompütasyonel Tasarım. Dosya 29- Hesaplamalı Tasarım, *Tmmob Mimarlık Odası Ankara Şubesi Dergisi*, Kasım, syf 46
- Kroll, A.(2011). AD Classics: Munich Olympic Stadium/ Frei Otto and Gunther Behnisch. .830.05.2013). [archdaily.com/109136/ad-classics-munich-olympic-stadium-frei-otto-gunther-behnisch](http://archdaily.com/109136/ad-classics-munich-olympic-stadium-frei-otto-gunther-behnisch), 2011
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in The Digital Age: Digital Production*. New York And London: Spoon Press
- Nervi, P. L. (1967). Mimarlıkta Strüktürün Yeri. (Çev. Enis Kortan), *Mimarlar Odası Dergisi*, 4-328, syf. 184-185
- Özbek, B. (13.10.2009). Marksizm ve Modern Bilim 3: Kaos Teorisi ve Kelebek Etkisi ve Fraktaller.(25.02.2013), <http://www.sendika.org/2009/10/marksizm-ve-modern-bilim-3-kaos-teorisi-kelebek-etkisi-ve-fraktallar-berkay-ozbek/>
- Pan, Q. ve Xu, G. (2010). Construction of Minimal Catmull-Clark's Subdivision Surfaces with Given Boundaries. *Advances in Geometric Modelling and Processing*, syf 207
- Planas, J.A. Kaosun Estetiği Fraktal Geometri.(24.03.2013), [bakirkoy.aktiffelsefe.org/?q=content/kaosun-estetigi-fraktal-geometri](http://bakirkoy.aktiffelsefe.org/?q=content/kaosun-estetigi-fraktal-geometri)
- Polatöz, M.S. (2008). Sabun Köpüğünden Teknolojiye. *Sızıntı Dergisi*, Sayı:350

Poincare, J. H. (1994). *Science and Method*. İngiltere ve Amerika: Thomas Nelson and Sons

Rızaoğlu, E. ve Sünel, N. (2008). *Klasik Mekanik*. Okutman Yayıncılık

Rogers A.(2007). *Beijing Olympic Stadium 2008 as Biomimicry of a Bird's Nest*

Şahin Burat E.(2012). Taşı Taş Gibi, Ahşabı Ahşap Gibi Göstermek: Frank Lloyd Wright'ın Malzeme Teorisi. *Metu Jfa* , 29:1, sf. 321-338

Sorguç, G. A.(2012). Mimarlığın Matematiği, Matematiğin Mimarlığı, *Arredamento Dergisi*, 4

Sönmez, F. (14.10.2008). *Strüktür – Malzeme – Biçim Üzerine Gelişen Mimari Tasarım*. 4.Ulusal Çatı Ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme Ve Teknolojiler Sempozyumu'nda sunulan Bildiri, İtü Mimarlık Fakültesi Taşkışla- İstanbul

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

Töremen, F. (2000). Kaos Teorisi ve Eğitim Yöneticisinin Rolü. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, Sayı 22, s.203

Türkçü, H. Ç. (1997), *Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemler*, İzmir: Dokuz Eylül Yayınları

Venturi, R. (2005), *Mimarlıkta Karmaşıklık ve Çelişki*, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı

Vitruvius (2005). *Mimarlık Üzerine On Kitap*. (Çev. S. Güven). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı

Wang, T. (2010). A New Paradigm for Design Studio Education, *Journal of Art and Design Education*, sayı:29 (2), ss. 173-183.

## ÖZGEÇMİŞ

**Cep Tel No:** +90 535 652 14 90  
**E-mail:** ozgur.kavurmacioglu@gmail.com  
**Doğum Tarihi :** 01.06.1988  
**Doğum Yeri :** Kocaeli, Türkiye  
**Sürücü Ehliyeti :** B Sınıfı

**Eğitim :** 2011 – 2013 Beykent Üniversitesi  
Mimarlık – Yüksek Lisans

2005 – 2009 Celal Bayar Üniversitesi  
İnşaat Mühendisliği - Lisans

2002 – 2005 Cahit Elginkan Anadolu Lisesi – Kocaeli

**Yabancı Dil :** İngilizce ( İleri düzey)

### **Bilgisayar Bilgisi :**

- \*Microsoft Windows 98/XP/Vista/win7/win8
- \* Microsoft Office (Word, Excel, Powerpoint)
- \* AutoCAD
- \* SAP2000
- \* Sta4CAD
- \* Abaqus

### **İş Deneyimleri :**

- 2007 – Yaz , Aksa Yapı Denetim – Stajer ve Saha mühendisi
- 2008 – Yaz , Yapı Denetim – Saha Mühendisi
- 2009 - Ağustos, Eylül - İzkon Mühendislik - Proje mühendisi
- 2009 Ekim - 2010 Mayıs , MetroPlan Müşavirlik - İnşaat Mühendisi

**Hobiler ve İlgi alanları :** Jonglörük, Dans, Müzik, Tenis, Basketbol, Gitar, Bateria, Dağ Yürüyüşü, Kitap, Satranç, Oyunculuk