

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİJİTAL MİMARLIKTA TASARIM ve ÜRETİM  
SÜRECİ**

**Mimar Hande KÖKSAL**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Birgül ÇOLAKOĞLU**

**İSTANBUL, 2005**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ .....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Araştırmanın Amacı.....	2
1.2 Araştırmanın Kapsamı .....	3
1.3 Araştırmanın Yöntemi .....	3
2. DİJİTAL MİMARLIKTA PRATİK ve SÜRECİN GELİŞİMİ.....	4
2.1 Dijital süreç öncesi yapım endüstrisinin gelişimi .....	4
2.2 Mimarlıkta dijital sürecin evrimi .....	7
3. DİJİTAL TASARIM TEKNOLOJİLERİ .....	10
3.1 Parametrik Tasarım.....	10
3.2 Türetici Tasarım; Biçim Gramerleri .....	15
3.3 Evrimsel Sistemler; Genetik Algoritmalar.....	16
3.4 Animasyon Teknikleriyle Tasarım.....	17
3.5 Performansa Dayalı Tasarım.....	19
4. DİJİTAL ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ VE MİMARİ UYGULAMA STRATEJİLERİ.....	22
4.1 Uygulama Stratejileri.....	27
4.2 Yüzey Stratejileri .....	27
4.3 Üretim Stratejileri .....	28
4.4 Yeni Malzemeler.....	33
4.5 Kitleli Bireyselleştirme.....	36
5. DİJİTAL MİMARLIKTA TASARIM VE ÜRETİM SÜRECİNİN ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ .....	38
5.1 GLA (Great London Assembly) Merkezi - City Hall.....	39
5.2 Chesa Futura Apartmanı .....	47
5.3 MIT Stata Merkezi .....	54
6. SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR .....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	69

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Rönesans öncesi uzman ustabaşı ile taş ustaları ve marangozlar gibi zanaatkarların ilişkilerini gösteren diyagram.....	5
Şekil 2.2	Frank Gehry'nin tasarladığı "Fish Sculpture", Barselona .....	9
Şekil 3.1	Grimshaw and Partners tarafından tasarlanan "Waterloo Tren İstasyonu" .....	11
Şekil 3.2	Parametrik çeşitlenmeyle oluşturulan destek çerçeve sistemi .....	12
Şekil 3.3	Sagrada Familia Kilisesi'nin gül penceresinin dışardan görünümü .....	12
Şekil 3.4	Gül penceresinin tamamlanması için oluşturulan parametrik hesap çizelgesi..	13
Şekil 3.5	Parametreler değiştirilerek en tutarlı uyum bulunmaya çalışılmıştır .....	14
Şekil 3.6	Prototip modelin oluşturulabilmesi için hazırlanan dijital model.....	14
Şekil 3.7	Froebel'in yapı blokları ve biçim grameri metoduyla türetilen tasarımlar .....	16
Şekil 3.8	Greg Lynn'in "Authority Otobüs Terminali" tasarımına etki eden çevresel güçlerin animasyon kareleri .....	18
Şekil 3.9	Greg Lynn'in tasarladığı Authority Otobüs Terminali akış modelleri .....	19
Şekil 3.10	Authority Otobüs terminali yaya yoğunluğu modellerinin animasyon kareleri	19
Şekil 3.11	Future Systems mimari ofisi'nin tasarladığı "ZED" projesi ve kullanılan akışkan dinamiği programı (CFD).....	20
Şekil 3.12	Foster ve Ortaklarının tasarladığı "GLA" projesi akustik inceleme ve solar çalışma modelleri .....	21
Şekil 4.1	Ters mühendislik süreci .....	22
Şekil 4.2	Frank Gehry tarafından tasarlanan "Nationale Nederlanden", Prag, 1996.....	23
Şekil 4.3	F. Gehry tasarımı "Esperience Music Project" (EMP) binasının dış kabuğu....	23
Şekil 4.4	Berhard Franken tasarımı "Bubble"ın dış kabuğunu oluşturan çift eğrili cam yüzeyler.....	25
Şekil 4.5	Berhard Franken tasarımı "Bubble"ın dış kabuğu .....	25
Şekil 4.6	Greg Lynn tasarımı olan Ev Prototipi projesinin sterolitografi tekniğiyle çıkartılmış modeli .....	26
Şekil 4.7	Hızlı prototipleme yöntemiyle imal edilmiş mafsal elemanları .....	26
Şekil 4.8	EMP Projesinde Global Konumlandırma Sistemi (GPS) kullanılarak yapısal bileşenler yerlerine konumlandırılmışlardır.....	27
Şekil 4.9	NatWest Medya Merkezi'nin 26 adet alüminyum panelden kurulan kabuk strüktür modeli .....	28
Şekil 4.10	Jakop ve MacFarlane'nin tasarladığı Georges Restoranı.....	29
Şekil 4.11	Frank Gehry tasarımı EMP projesinin strüktürel çerçevesi .....	29
Şekil 4.12	Bernhard Franken'in BMW pavyonu için tasarladığı "Bubble"ın strüktür çerçevesi.....	30
Şekil 4.13	Bernhard Franken'in BMW için tasarladığı "Brandscape" pavyonu, yüzey çözümlenmeleri ve radyal geometrilere oturtulmuş yapısal parçalar .....	30
Şekil 4.14	Çift eğrili yüzeyin üçgen yaratma yöntemiyle ifadesi ve şeklin iki boyutlu düzlemde açılımı.....	31
Şekil 4.15	Kurallı yüzey ve iki boyutlu düzlemde açılımı .....	31
Şekil 4.16	Foster and Partners'ın tasarladığı British Müzesi'ndeki Great Court'un üçgen yüzeylerle yaratılmış cam çatı örtüsü .....	32
Şekil 4.17	Gelişmiş kurallı yüzeyler: paraboloid ve hiperboloid.....	32
Şekil 4.18	Eladio Dieste'nin tasarladığı Atlantida Kilisesi, Uruguay .....	33
Şekil 4.19	F. Gehry tasarımı olan Walt Disney Konser Salonu'nda kurallı yüzeylerin kullanımı .....	33
Şekil 4.20	Van Egeraat Mimarlık ofisinin tasarladığı Crowth Kentsel Sanat Galerisi, Cork, İrlanda .....	34
Şekil 4.21	Kolatan ve Mac Donald'ın tasarımı olan Ost/Kuttner Apartmanları, N Y. ....	35

Şekil 4.22	Bernard Cache'ın tasarladığı "Objectile" .....	37
Şekil 5.1	Torus-patch.....	38
Şekil 5.2	'Parametrik Çakıl' ın bilgisayar ortamında tasarlanmış modeli.....	39
Şekil 5.3	City hall'un güneş aydınlatma diyagramı.. ..	39
Şekil 5.4	City hall binasına düşen güneş eğrileri için yapılan çalışma ve bir yığın kesilmiş koniye dayanan cam giydirme çözümü.. ..	42
Şekil 5.5	Cam yüzeyler için oluşturulan bilgisayar tabanlı çizelge ve üretilen panel prototipi.....	42
Şekil 5.6	City Hall müzakere odası için yapılan akustik analiz alternatifleri.. ..	43
Şekil 5.7	City Hall için yapılan inşaat sıralaması.....	44
Şekil 5.8	'Lens' ve Ofis Bölümü cam giydirmesi için yapılan üretim şemaları.. ..	45
Şekil 5.9	İnşaat alanında giydirme cam panellerin uygulanması.. ..	46
Şekil 5.10	Atriyumun cam giydirme panelleri için hazırlanan strüktürün uygulanması....	46
Şekil 5.11	Tamamlanmış City Hall.. ..	47
Şekil 5.12	Chesa Futura'nın dijital modeli.....	47
Şekil 5.13	Chesa Futura kesitinin parametrik tanımlaması.. ..	48
Şekil 5.14	Bina biçiminin dijital gelişim modelleri.. ..	48
Şekil 5.15	Parametrik olarak kenetlenmiş plan ve kesit.....	49
Şekil 5.16	Duvar kesiti için hazırlanan parametre dizisi.....	49
Şekil 5.17	Yay-tabanlı parametrelerin ışınsal düzlemde gösterimi.....	50
Şekil 5.18	Bina modelinin uygulama evrelerinin tasarımlarını gösteren modeller.. ..	52
Şekil 5.19	Kereste yerleşimleri için sayısal ortamda hazırlanmış diyagram ve kereste kiremitleri gösteren dijital ve fiziksel modeller.. ..	52
Şekil 5.20	Detaylandırılmış dijital model ve modelden alınmış kesit perspektifi.....	53
Şekil 5.21	Kereste kiremitlerle kaplanmış yuvaya oturan pencere prototipi.....	54
Şekil 5.22	Chesa Futura.....	54
Şekil 5.23	Stata Merkezi'nin kuzeyden görünümü.. ..	55
Şekil 5.24	Tasarım süreci.. ..	55
Şekil 5.25	Stata için yapılan kentsel çalışma ve programlama çalışmaları modelleri.....	56
Şekil 5.26	Dış yüzey tasarımının evrimi. ....	57
Şekil 5.27	İç mekan tasarımı için üretilen maketler.. ..	57
Şekil 5.28	Fiziksel modelin sayısal ortama aktarılması ve yapısal çerçevenin oluşumu.. ..	59
Şekil 5.29	Uygulama çizimleri.. ..	59
Şekil 5.30	Çelik strüktürün yerleştirilmesi.....	60
Şekil 5.31	Çelik strüktürün yerine oturtularak kaynaklanması.. ..	60
Şekil 5.32	Beton döşemelerin uygulanması.. ..	61
Şekil 5.33	Beton döşemelerin uygulanması.. ..	61
Şekil 5.34	Metal kabuğun ve pencere kutularının yerinde uygulanması.....	62
Şekil 5.35	Kabuk tasarımı ve koordinasyon çizimleri.....	62
Şekil 5.36	Metal levhaların kaplama strüktür karkasına uygulanması.....	63
Şekil 5.37	Metal pencere kutuları yerleştirildikten sonra izolasyon kaplama ve kabuğun uygulanmış hali.....	63
Şekil 5.38	Stata Merkezi'nin tamamlanmış hali.....	64

## ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlarken desteğini esirgemeyen, fikirlerimi pekiştiren tez danışmanım Dr. Birgül Çolakoğlu'na, tez ile ilgili fikirlerimin gelişmekte olduğu lisansüstü dönemi boyunca eğitimimde emeği geçmiş tüm Bilgisayar Ortamında Tasarım Bilim Dalı hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Tezimi hazırlarken benden hiçbir yardımı ve anlayışı esirgemeyen sevgili patronlarım Mehmet Kütükçüođlu ve Ertuđ Uçar'a ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sevgili ağabeyim, annem ve babama her zaman yanımda olduklarını hissettirdikleri için teşekkür ederim.

Eylül 05

Hande Köksal

## ÖZET

Çağdaş mimaride dijital medya araçları, temsile yönelik bir araç olmaktan çok, tasarım amaçlı kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım alanında 1960'lı yıllardan bu yana akademik çalışmalar yapılmaktadır. Fakat bu teknolojileri mimari pratikteki kullanımları 1990'lı yıllara dayanır. Bilgisayar destekli teknolojilerin mimarlıkta tasarım ve üretim süreçlerinde kolaylık sağladığı bir gerçektir. Önemli olan mimarların bu teknolojileri nasıl biçimler üretmek için hangi aşamalarda kullandıklarıdır. Bilgisayar teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları tez kapsamında dijital tasarım ve üretim teknolojileri başlıklarında incelenmiştir.

Bilgisayar destekli tasarım teknolojileri, biçim ve biçimin dönüşümleri üzerine alternatifler üretir. Dijital tasarım yöntemlerini proje süreçlerine dahil eden mimarların deneysel ve pratikteki uygulamaları, mimarın yapım endüstrisindeki yerinin tanımının yeniden yapılması gerektiğini göstermiştir.

Uygulanan örnekler dahilinde dijital teknolojilerin kullanımında tasarım ve üretim süreçlerinin iç içe geçtiği görülmektedir. Alan çalışmasında dijital teknolojileri kullanan ofislerin projelerinden örnekler verilerek kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Dijital tasarım teknikleri, kavramsal biçimsel ve tektonik keşifler için bilinmedik alanlar açarak yeni bir mimari morfoloji yaratmaktadırlar. Dijital tasarım ve üretim süreçleri disiplinler arası işbirlikçi bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu süreçte mimar, farklı disiplinler arasında bilgi organizasyonunu yöneten bilgi ustası olarak anılmaya başlamıştır.

**Anahtar kelimeler:** dijital tasarım ve üretim teknolojileri, dijital mimarlık, tasarım yöntemleri

## **ABSTRACT**

In contemporary architecture, digital media tools are not only used for representation but also for the purpose of design. Academic research studies are being made in the field of computer aided design since 1960s. However, the application of these technologies in architecture could only be performed in 1990s. It is a fact that computer aided technologies opened the way for new opportunities in architectural design and manufacturing process. The most important issue is the way an architect uses these tools in the process of form creating. The use of computer technologies in digital architecture has been investigated under the name of digital design and manufacturing technologies.

Computer aided design technologies provides the architect with new alternatives in form and its transformations. The experimental and practical applications in the digital age show that the role of the architect should be redefined in the building process.

It is important to see that the design and manufacturing processes are very relevant with each other. In case studies the projects which involve the use of digital technologies are investigated.

A new architectural morphology is being created by the use of digital technologies by means of conceptual, formal, and tectonic explorations. Digital design and manufacturing processes require a cooperative work with an interdisciplinary approach. Consequently, architect has become an information master, directing and organizing this cooperative process.

**Keywords:** digital design and manufacturing technologies, digital architecture, design methodologies

## 1. GİRİŞ

Çağdaş mimari tasarımda dijital medya, gün geçtikçe artan bir oranla, canlandırmaya yönelik bir temsil aracı olmaktan çok, biçim ve biçimin dönüşümleri tarafından yönlendirilen üretici bir araç olarak kullanılmaktadır. Yüzyıllardır süregelen tasarım yöntemlerinin aksine, dijital olarak adlandırılan bilgisayar ortamında üretilen biçimler, dış bir biçimin modellenmesiyle oluşmanın tam tersine seçilen bir üretim metodu tarafından hesaplanmaktadır. Bu üretim metodu ise, tasarımcının yönetime dahil ettiği üretici bir mantıkla tasarlanmaktadır. Bu sayede tasarımcı, gelecekte geliştirebileceği uygun bir biçimi, otomatik usulle yaratılan bir dizi olasılığın arasından seçebilmektedir. Tasarım ve temsil arasındaki tahmin edilebilir ilişkiler, bilgisayar destekli tekniklerle yok olmakta ve yerlerini sezgisel olarak öngörülemez karmaşık biçimlerin oluşturduğu tasarımlara bırakmaktadır.

Eğrilerden meydana gelen bu karmaşık geometriler, geleneksel yöntemlerle tasarlanan, düzlemsel şekiller, silindirik, küresel, konik biçimlerden oluşan Euclid geometrileriyle aynı rahatlık ve doğallıkla üretilebilmektedirler. Euclid'in M.Ö.300'de nokta, çizgi ve temel biçimlerle ilgili olarak belirlediği açı, ölçü, alan, uzunluk, oran ilişkileri ve tasarı geometrinin keşfiyle katı objelerin düzlem üzerindeki izdüşümlerinin hesaplanabilmesi, yüzyıllardır, mimarlar için mekan biçim ve organizasyonlarıyla ilgili temel kaynaklar olmuştur. Descartes'ın evrendeki her şeyin konumunun birbirine dik kesişen üçlü doğrultuya göre tanımlanabileceği önermesi günümüzde tüm çizim ve modelleme programlarında kullanılan üçlü koordinat sisteminin temelini oluşturur.

Dijital ortamda yaratılan Euclid-dışı geometrileri mimarlık açısından ilginç kılan nedenler, nesnelere arasındaki eşlemelerin gelenekselden tamamen farklı uzaysal kavramalara ulaşabilmesinde yatmaktadır. Dijital tasarım teknikleri, kavramsal, biçimsel ve tektonik keşifler için bilinmedik alanlar açarak yeni bir mimari morfoloji yaratırlar. Bu anlamda vurgunun, biçim üretmekten çok biçim bulmak üzerine kaydığı söylenebilir.

Bilgisayar teknolojilerinin tasarım geliştirme amaçlı kullanımları üzerine, özellikle son 10 yıldır, kuramsal ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım alanında parametrik tasarım, üretici tasarım, evrimsel tasarım gibi alt inceleme alanları özellikle akademik ortamda araştırılmıştır. Akademik çalışmalardan elde edilen bilgiler üniversite-sanayi işbirliği sonucunda mimarlık pratiğine yansımaktadır.

Bazı tasarımcılar, yeni olanakları kullanarak ve tasarım ile üretim sürecini sıfırdan organize ederek tüm yapım sürecinin kontrolünü ellerinde tutmak istemektedirler. Dijital üretim

teknolojileri mimarlara, dijital tasarım yöntemleriyle tasarladıkları karmaşık biçimli binaları gerçeğe dönüştürebilme imkanı tanımaktadırlar. Bu yönde çalışmalar yapan mimari ofislerin, farklı endüstriler ve disiplinlerdeki ekiplerle ortak bir çalışma sürecine girmeleri şarttır. Tasarım sürecinde ortaya çıkan prensip kararlar sonucu tasarım yöntemi seçilmekte, daha sonra tasarım dijital ortamda geliştirilerek sonuç modeller elde edilmektedir. Üretim aşamasında da bu modeller, dijital üretim teknikleri vasıtasıyla imal edilerek uygulanmaktadırlar. Böyle bir proje süreci mimarın yerini tekrar sorgulamamıza neden olmaktadır. Dijital ortamda tasarlayan mimar, üretim ve uygulama aşaması çerçevesinde sorumluluk alan ekiplerin organizasyonunda merkez noktada bulunmaktadır.

Bilgisayar desteğiyle tasarım hala tartışmaya açık bir konudur. Bu belirsizliğe rağmen bilgisayar tabanlı tasarım teknolojileriyle çalışan ve mekansal araştırmalar yapan mimarların tasarıma yaklaşımları ve üretim sürecindeki yerleri incelenebilir.

### **1.1 Araştırmanın Amacı**

Dijital teknolojilerdeki ilerlemeler, bilgisayar destekli tasarıma ve bu tasarımların hayata geçirilmesine yönelik ilerleyen üretim aşamasında yeni olanaklar sunmuştur. Uçak, roket, gemi ve otomotiv endüstrisi gibi farklı alanlara çok önceleri ulaşmış olan bilgisayar tabanlı tasarım teknolojileri son birkaç senedir mimarlığı da etkisi altına almıştır.

Bilgisayarın tasarım ve üretim sürecine entegrasyonu sonucu, daha önceleri geleneksel teknolojilerle çizilmesi çok zor, hatta imkansız gibi gözükken, tasarlanabilseler bile üretim aşamasında çok yüksek maliyetlerle inşa edilebilecek eğrisel formlar hayata geçirilmeye başlanmıştır.

Tasarım ve üretimde geleneksel yapım sistemlerinden bu denli bir kopuş proje sürecinde de gelenekselden oldukça farklı yöntemler kullanmayı öngörmektedir. Farklı disiplinlerin ortak çalışmalarını öngören bu tasarımlar mimarın da tanımını ve üretimdeki rolünü değiştirmektedir.

Bu araştırmanın üst hedefi, tasarım ortamının ve sonuç ürün ortaya çıkarma sürecinin değiştiği bu eşik dönemde, mekan anlayışında yaşanan değişimlerle ilgili ipuçlarına ulaşmaktır. Dijital teknolojileri kullanarak tasarlayan ve üreten tasarımcıların faydalandıkları yöntem ve teknikler inceleyerek, “tasarımcı” ve “ürün”ün nasıl değiştiği ve ne kadar gelişebileceğine dair bir gelecek öngörüsünde bulunmak esas problem olarak belirlenmiştir.

## 1.2 Araştırmanın Kapsamı

Araştırma kapsamında ağırlıklı olarak incelenecek konu dijital tasarım ve üretim teknolojilerinin mimaride kullanımları ve ortaya çıkan sonuç üründe yaratıkları değişimdir. Bilgisayar teknolojisini taban olarak kullanan tasarım yöntemleri üzerinde durulmuş ve bu tekniklerden üretim sürecinde de faydalanabilmek üzere dijital üretim teknolojileri açıklanmıştır.

Tezde ele alınan hedef doğrultusunda tasarım ve üretim sürecini kapsayan mimari süreçte mimarın değişken rolü tarihsel bir çerçevede incelenmiştir. Bu tarihsel çerçeve içinde dijital mimarlığın evrim sürecine de değinilerek gelecek öngörüler için ipuçları aranmıştır.

Üçüncü bölüm dijital tasarım yöntemlerinin incelenmesini içerir. Bu kapsamda “Parametrik tasarım”, “Türetici tasarım”, “Evrimsel tasarım”, “Animasyon teknikleriyle tasarım” ve “Performansa dayalı tasarım” olarak belirlenen alt başlıklar incelenmiştir.

Dördüncü bölüm, bir önceki bölümde incelenen tasarım yöntemleri başlığının bir devamıdır. Dijital tasarım yöntemlerini kullanılarak tasarlanan binaların gerçeğe dönüşebilmesi için faydalanılan dijital üretim teknolojileri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde ise tez geneli içerisinde daha önceki bölümlerde açıklanan dijital tasarım yöntemleri ve üretim teknolojilerini kullanarak çalışan Frank Gehry ve Norman Foster mimari ofislerinde projelendirilen üç örnek alan çalışması kapsamında incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda tasarım ve üretim amaçlı kullanılan teknolojilerin mimarlık ürünlerini ne ölçüde değiştirebildiği incelenmiş ve bu teknikleri etkin bir şekilde kullanabilen mimarların kendilerini hangi aşamaya taşıyabileceğiyle ilgili kavramsal bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır.

## 1.3 Araştırmanın Yöntemi

İlk aşamada araştırmanın hangi kavramlar üzerinden inceleneceği araştırılmış ve araştırmanın kavram haritası oluşturulmuştur. Mimari pratik sürecinde evrim geçiren sistemler ve ortaya çıkan sonuç ürünler incelenerek geleneksel yöntemlerden farklılaşan mimari incelenmiştir.. Tez kapsamında bilgisayar teknolojilerinin mimarlık alanlarında kullanımları araştırılmış, bu kapsamda tasarım yöntemleri ve üretim teknolojileri incelenmiştir. Bu sistemleri kullanan mimarlık ofisleri üzerinden bir araştırma yapılarak üç proje seçilmiştir. Bu üç örnek üçüncü ve dördüncü bölümlerde incelenen alt başlıkların mimaride kullanımlarına birer örnek teşkil etmektedirler.

## 2. DİJİTAL MİMARLIKTA PRATİK ve SÜRECİN EVRİMİ

Bilgisayar destekli sistemlerin mimarlık alanında kullanımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte mimari pratiğin gelişim süreci evrim geçirmiş, mimarın rolü değişmiştir. Gelişmiş teknolojilerin mimarlık pratiğinde uygulanmaya başlanmadan önce mimarın rolü, günümüzdeki anlamından çok daha farklıdır.

Bu bölümde mimarın ortaçağdan itibaren tasarım ve üretim sürecinde yüklendiği sorumluluklardan ve bu sorumlulukların günümüz mimarisine ulaşana kadar ne gibi evrimlerden geçtiği anlatılacaktır. Dijital mimarlık başlığı altında değinilen, gelişen teknolojik sistemlerin mimari pratikteki kullanımlarının ortaya çıkışı ve gelişimi bölümde değinilen başka bir konudur.

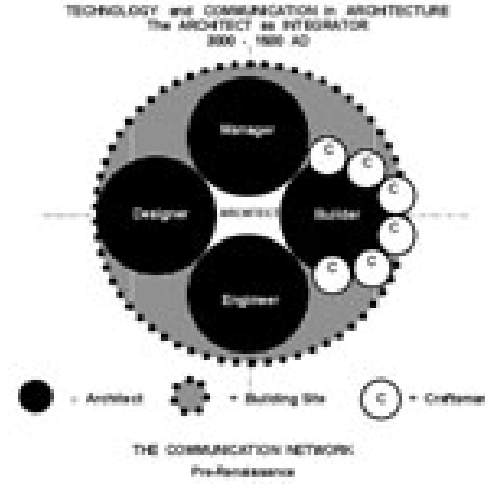
### 2.1 Dijital süreç öncesi yapım endüstrisinin gelişimi

Yüzyıllar boyunca “mimar” olmak, “inşa eden” ile eş anlamlı olarak düşünülmüştür. Mimarlar, binalara yaratıcı çözümler üretmek bir yana binaların yapım aşamasıyla da yakından ilgilenmişlerdir. Rönesans Çağı öncesi mimarlığında tasarım süreci ile inşaat bir tutuluyordu. Mimar, tasarıma olduğu kadar yapı bilgisine de hakimdi, bina süreci bu iki bilginin birbirine aktarımıyla yürüyordu.

*Tekton* adı verilen Yunan yapı ustalarından Ortaçağdaki usta taşçıya kadar bütün yapı ustaları binanın formundan yapım tekniğine kadar her aşamadan sorumlulardı. Bina yapımında en merkezi ve en güçlü pozisyona sahiptiler. Yapım sürecinde yer alan bütün ustabaşlarını ve yapı işçilerini (taşçılar, marangozlar vb.) organize eden ve yöneten tek kişi gene mimardı.

Bu çağda inşaat, yoğun olarak işgücünü dayalı, dönem mimarisinin kısıtlı yerel malzemelerini kullanan ve tasarımcı ile zanaatkar arasındaki işbirliği ilişkilerine dayanan bir süreç olarak tanımlanabilir.

Rönesans-öncesi ortaçağ mimarı, işverenine, tasarım ve yapım hizmetlerini birlikte sunan tamamlayıcı birey olarak hizmet veriyordu.



Şekil 2.1 Rönesans öncesi uzman ustabaşı ile taş ustaları ve marangozlar gibi zanaatkarların ilişkilerini gösteren diyagram. [1]

Ortaçağ mimarı, nispeten az sayıda maket ve çizim kullanırdı ve ağırlıklı olarak söze dayanan ilişkilere, alan çalışmasında birebir ölçek üzerinden okumaya önem veriyordu. Bu doğrudan süreç, projenin bütün aşamalarında, mimar ve zanaatkar arasındaki nispeten yazılı olmayan fakat iki tarafın da aşına olduğu bilgi tarafından destekleniyordu. Tasarım aşamasından sonra kendini tümüyle alan çalışmasına veren mimar, doğal olarak, belirli bir zaman için sadece tek bir projeye ilgilenebiliyordu.

15.yy da ise tasarım süreci değişmeye başladı. Leon Battista Alberti, mimarlığın inşaattan tamamen ayrı olduğunu yazdı;

“...Mimarlar ve sanatçılar, üstün akılcı yönleriyle/ eğitimleriyle ustabaşı ve yapı ustalarından ayrılırlar... Esas amaç pratik yapım bilgisini öğrenmek değil, mimarlığın özünü geliştirmektir...”

Alberti, akli antrenmanın ve gezmenin, en tipik olarak Roma’daki antik eserleri görmenin, yeni doğan “sanatçı-tasarımcı-mimar”a, geleneksel yapı ustaları üzerinde üstünlük sağladığını iddia ediyordu.

Rönesans’ın kültürel, sosyal ve ekonomik değişimleriyle ortaya çıkan bu yeni görüşler sonucu yapı ustaları geleneği yavaş yavaş son bulmaya başladı (1450-1650). Erken Rönesans Dönemi, pratikteki teknik bilgi ya da inşaattaki ustalık ve deneyim yerine, mimarlığın özünü bulmaya yönelik kavramsal teorileri doğurdu.

Dönemin çoğu bina işverenleri genellikle, üçlü gruplara ayrılmış bir ekibi, tasarım ve yapım hizmetleri için işe alıyordu. Bu üçlü takım, yaratıcılık için; inşaat bilgisi genellikle yetersiz bir sanatçı (heykeltıraş, ressam, kuyumcu), teknoloji için; alanda denetleme yapacak ve teknik

bilgisini sunacak bir mimar ve yapım aşaması için de; zanaatkarlar locası tarafından eğitilmiş bir yapı ustasını içeriyordu.

Alberti'nin, "mimar"ı, "yapı ustası" kavramından terfi ettirmesi, "bina bilgisi"ni mal sahipleri ve yatırımcılara açmasıyla belirdi. Bu bilgi açılımı, plan, kesit, görünüş gibi ortografik soyutlamalarla gerçekleşti.

Geç Rönesans'ta, perspektif temsildeki gelişmeler ve olgunlaşmış ortografik çizimler, mimarlara bina tasarımlarını uzaktan açıklayabilme imkanı sundu. Artık mimarlar, uzun süreli şantiye denetleme görevlerinden uzaklaşarak eşzamanda birden fazla proje tasarlama fırsatı buldular.

Mimarlık ve inşaat arasındaki çatlak 19.yy.ın ortalarında, daha önceleri "çizim" olarak nitelendirilen soyutlamaların, "kontrat dokümanları" haline gelmeleriyle beraber iyice genişledi. İlk olarak İngiltere'de ortaya çıkan "müteahhit" ve "profesyonel mühendis" kavramları yapı üretimindeki yeni bir kritik gelişme olarak belirdi.

Mimar ve inşaat sürecinde yer alan diğer gruplar arasındaki ilişkiler, sorumluluklar, yapılan kontratlarla açık bir şekilde belirtilmeye başlandı. Mimar (binanın tasarımcısı olarak) ve müteahhit (icra eden olarak) arasındaki ilişki, sadece finansal olan meşru bir ilişki haline geldi ve dokümentasyona dayalı bu keskin anlayış günümüze kadar yerleşti.

Howard Davis'in yazdığı gibi 19. yüzyılın sonlarında New York'lu firma McKim, Mead and White, tasarladıkları binaların inşasındaki her aşamanın kontrolünü ellerinde tutuyorlardı (Davis, 1999). Yüzlerce çizim üretmenin yanında, her detay, malzeme, işçilik ile müteahhit ve taşeronlara verilecek ödemelere kadar son sözün sahibiydiler. Tabi ki bu yüksek dereceli kontrol mekanizmasının da sonuçları keskindi. Mimarlar inşaat sürecine yeni katmanlar ekledikçe, inşaat alanı ile aralarındaki mesafe de artmaya başladı. Davis'in de gözlemlediği gibi "Sistem ileriye evrildikçe -mimarın işçilerle bağlarının açılmasına bağlı olarak- mimarın sorumlulukları arttı.

Mimarın, inşaat alanındaki rolü, binayı şekillendirmekten çok (bir zamanlar yapı ustalarının yaptığı gibi), kontrat idaresi pozisyonuna geldi. Tasarım, inşaattan kavramsal ve kanunsal olarak ayrıldı. Mimarlar yapım sürecinden uzaklaştılar.

20. yüzyılda sayısız yeni malzemenin, teknolojinin ve süreçlerin keşfi ile bina tasarım ve inşası giderek karmaşıklaştı. Bu karmaşıklık beraberinde iç mekan, aydınlatma, yangından korunum, akustik gibi konularda uzmanlaşmayı getirdi. (Tasarım ve mühendislik danışmanları, farklı yapım sistemi teknisyenleri vb.) Aynı zamanda tasarım ve inşaat için

verilen süre de kısalmaya başladı. Bina sistemlerinin karmaşıklıkları artıp, süre kısaldıkça, mimarlar aldıkları sorumluluk sınırlarını daraltma ihtiyacı duydular. Sorumluluklarının yasal tanımları giderek daha tanımlı hale gelirken, mimarlar ellerindeki kontrolü, inşaat sürecinde karar verme yetkilerini kaybediyorlardı. Böylelikle, mimarlar kendilerini yapım endüstrisinin dışında tutmuş oldular.

20.yy mimarlığının önemli teorisyenlerinden Walter Gropius, toplum içinde hızla yaygınlaşan teknolojik ilerlemelerin getirdiği karmaşıklık ve uzmanlaşma içinde mimarın rolünü, işbirlikçi çalışmalar içinde ekibin tasarım lideri olarak tasavvur etmiştir. Le Corbusier de mimarlıktaki işbirliği ve ittifaktan bahsetmiştir; ancak gerekli olan dijital ortamdaki örgütsel ilişkiler ağı ile iletişim ağları, bu yüzyılda varolmadığından mimarlar, mal sahipleri ve müteahhitler arasındaki çelişik ilişkiler devam etmiştir.

AIA'nın (Amerikalı mimarlar enstitüsü) mimari pratiği tanımlayan bildirisinde şöyle yazıyor; "Mimar, inşaat metotları, teknikleri, süreci veya prosedürleri konularında kontrol sahibi, yetkili ya da sorumlu olmayacaktır." Branko Kolarevic'e göre, mimarlığı geri kalan yapım endüstrisinden ayıran bu anlayış, çağdaş toplum ve ekonomisindeki yerinden emin olmayan ve bilgi çağının getirdiği engellere ve fırsatlara cevap veremeyen bir meslek oluşturmaktadır.

"Mimarlar, ilgisizlik ya da uyumsuzluk iddialarını ancak yapım endüstrisinin kaçınılmazı olan "dijital ortam tabanlı yeniden yapılandırma" işleminde lider rol oynayarak reddedebilirler." (Kolarevic, 2003)

## 2.2 Mimarlıkta dijital sürecin evrimi

Yapım endüstrisinde, çizimlerin belirmesinin ayrılma ihtiyacından mı ortaya çıktığı yoksa çizimlerin belirmesinin mi bir ayrılığa yol açtığı tartışılabilir. Asıl olan orta büyüklük ve karmaşıklıkta bir proje için, bina yapım endüstrisinin on binlerce çizime ihtiyaç duymasındır. Kolarevic'e göre sorumlulukların bölünmesi bu çizimlerin üretilmesi ihtiyacını doğurmuştur. (Kolarevic, 2003)

Gemi yapım endüstrisi gibi diğer endüstrilerde tasarımcı ve uygulayıcı genellikle tek bir kimliktir, bu sayede tasarım bilgisini maddeleştirmek için çok sayıda çizimin üretilmesi gerekmez. Birçok tersane, doğrudan üç boyutlu dijital modellerle çalışarak çizim üretim sürecini elemişlerdir. Ortaya çıkan dijital modelden çıkan verileri de doğrudan üretim sürecine yönelik geliştirirler.

Gemi yapımı ve diğer endüstrilerdeki bu dijital evrimi fark eden bazı mimarlar, bu

teknolojinin olanaklarını kullanarak, imalatçılara ve müteahhitlere sağlayacakları üretim bilgisini, aynı zamanda gerçek malzeme ve maliyet hakkında fikir edinmek için de kullanabileceklerini anladılar. (Timberlake, 2004) Böylelikle dijital tasarım bilgisi aynı zamanda dijital üretim bilgisini de içerecekti ve çizim üretiminin zaman alan ve hata üretmeye müsait adımları elenmiş olacaktı.

Tasarım bilgisini, dijital ortamda oluşturma ve geliştirme daha sonra da bu bilgiyi doğrudan bina inşasında kullanma olanağı kavram ve üretim ilişkisini yeniden tanımlar. Dijital teknolojilerin değişik meslek gruplarınınca kullanımı, mimarlık, mühendislik ve yapı üretiminin birlikte çalışarak, birbirlerini kuvvetlendirme ihtiyacını da beraberinde getirir. Tasarım temsilini maddileştirme ihtiyacı (çizim üretme) üretim ve metotlandırmada kullanılan yeni olanakların doğrudan sonucu olarak azalacaktır. Çizimlerin üretimindeki azalma, mimardan mühendise ya da imalatçıya ulaşan dijital verilerin artmasıyla sonuçlanmaktadır, böylece bina tasarım ve üretim süreci daha verimli bir hale gelir. Yapılan bazı araştırmalara göre dijital verilerle yürütülen bir bina yapımının 28-40% daha verimli gerçekleşme potansiyeli vardır. Başka bir deyişle 19. yüzyıl bina pratikleri, mimarların müteahhit ve imalathaneye doğrudan ilişkisi düşünüldüğünde, değişmelidir.

Dijital modele dayanan bu senaryoya göre, dijital model tasarımcı tarafından oluşturulan, kontrol edilen ve düzenlenen tasarım ve üretim bilgisinin tek kaynağıdır. Binanın imalat ve inşaatında gerekli olabilecek bütün bilgiyi barındırır. Mimarlar, mühendisler, müteahhitler ve üreticilerin tasarımın en erken dönemlerinden başlamak üzere tek bir dijital model üzerinden işbirliği içinde (collaborative) yürüttükleri çalışmalar sonucu, üretim ve tasarım aşamalarında duyulan ihtiyaç kapsamında farklı bilgi katmanları eklenir, çıkartılır veya soyutlanır. Tüm bu süreç içerisindeki beklentileri sağlamakla yükümlü bu dijital model, tasarımın, analizin, simülasyonun, üretim ve inşaatın tüm araçlarının tek bir dijital ortamda birbirlerini tamamlayacak şekilde bir araya gelmesiyle oluşur. Asıl problem, bina sürecine katılan tüm ekipler arasındaki dijital işbirlikçi ortamı yaratacak bu bilişim modelinin nasıl geliştirileceğidir.

Dijital tasarım yöntemlerinin mimarlıktaki kullanımının öncüsü olan Frank Gehry'nin ofisi için CATIA programı ile üretilmiş bir model, tasarım ve inşaat bilgisinde kullanılan tek kaynaktır. Ana prensip, tipik bir yapım aşamasına katılan yüzlerce farklı ekibin bilgilerini, tek bir dijital ortamda birleştirmektir. Gehry'nin ofisi, ilk olarak 1980'lerin sonlarında tasarlamaya başladıkları ve 1992 yılında inşası tamamlanan Barselona'da kıyı kenarında inşa edilmiş balık şeklindeki pavyon için "kağıtsız" (paperless) süreci denemişlerdir. Daha

sonraları Gehry'nin bütün projeleri için temel oluşturan süreç, fiziksel bir modelin, dijital tarama teknolojilerinin yardımıyla dijital bir modele dönüştürülmesiyle başlamıştır. Oluşturulan dijital model, mühendisler tarafından bir strüktür oluşturmak için kullanılmıştır. Böylece ilk defa, sayısız çizimden arınmış bir üretim süreci gerçekleşmiştir.

Frank Gehry'e göre, 20. yüzyılın başlarında Bauhaus'ta ortaya çıkan, zanaatkar ile sanatçının birleşimini öngören temel düşünce, 20. yüzyılın sonlarında anlamını bulmuştur. (Friedman, 1999)



Şekil 2.2 Frank Gehry'nin tasarladığı *Fish Sculpture*, Barselona, 1992. [2]

20.yy.ın sonlarında ortaya çıkan teknolojik gelişimler mimari projelerin pratikteki süreçlerini de değiştirmektedir.

### 3. DİJİTAL TASARIM YÖNTEMLERİ

Bilgisayar destekli sistemlerin mimarlık alanında kullanımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte bilgisayar sadece tasarım sürecini pratikleştiren bir araç olmaktan çıkmış bilgisayar destekli tasarım sistemleri yaygınlaşmıştır. “Tasarım sistemleri” başlığı altında “tasarım yöntemleri” kavramı yer almaktadır.

Bir projenin tasarım sürecinde hangi tasarım yönteminin uygulanacağı, proje tasarım sürecinde belirlenecek ana prensiplerle ilgilidir. Proje verilerine, kısıtlarına ve potansiyellerine göre o proje için hangi tasarım yönteminin uygun olduğu saptandıktan sonra tasarım süreci başlar. Tasarım sürecinde etkin rol oynayan dijital tasarım yöntemleri kullanıcının deneyimli ellerinde gelişir. Bu durumda doğru yöntem üzerinden ilerlemek önem kazanır. Bir tasarım yönteminin uygunluğu tasarım sürecinin herhangi bir yerinde yeniden tartışılabilir. Amaç teknolojiyi kullanarak en ideal çözüme ulaşmak olduğundan, mimari pratikte sadece tasarım değil uygulama aşamasının da verimli bir şekilde çözümlenebilmesi önemlidir. Uygulama programlamasının tasarım süreciyle beraber yürüdüğü projelerde, bir grup mimari elemanın imalatı ve montajı için en uyumlu tasarım yöntemi seçilmelidir.

Dijital Tasarım Yöntemleri dört başlıkta incelenmiştir;

- Parametrik Tasarım
- Türetici Tasarım / Biçim Gramerleri
- Evrimsel Sistemler / Genetik Algoritmalar
- Animasyon Teknikleriyle Tasarım
- Performansa Dayalı Tasarım

#### 3.1 Parametrik Tasarım

Türk Dil Kurumu Sözlük’ünde parametre, Cebirde bir denklemin kat sayılarına giren değişken nicelik olarak tanımlanmaktadır [3]. Bilgisayar dilinde ise özel bir program için verilmiş değeri gösteren değişkeni ifade eder.

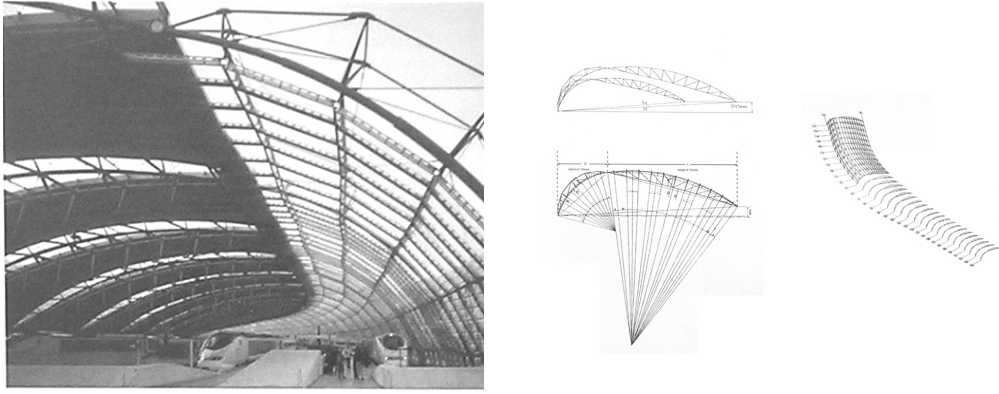
Parametrik tasarım arayüzü, tasarımcıya tasarımın gelişimindeki her aşamayı hafızasında tutarak sonuç ürüne ulaşmayı sağlayan, çok geniş ölçekli bir veri tabanı sunar. Tasarımın her aşamasındaki kararlar geri alınabilir, değiştirilebilir ve yeniden gözden geçirilebilir.

Parametrik tasarım, çok genel anlamıyla, bir dizi parametrenin tasarımın herhangi bir gelişim aşamasında değiştirilerek, tasarımın yenilenmesine imkan veren tüm tasarlama hareketlerini

kapsar. Parametrik tasarımda değişen biçimin kendisi değil kendisini oluşturan parametrelerdir. (Burry, 1999)

Parametreler sadece Kartezyen geometrisine bağlı sayılardan oluşmazlar. Işık katmanları, yapısal mukavemet yükleri ve hatta bir dizi estetik prensibe bağlı değerlere bağlı olarak da geliştirilebilirler.

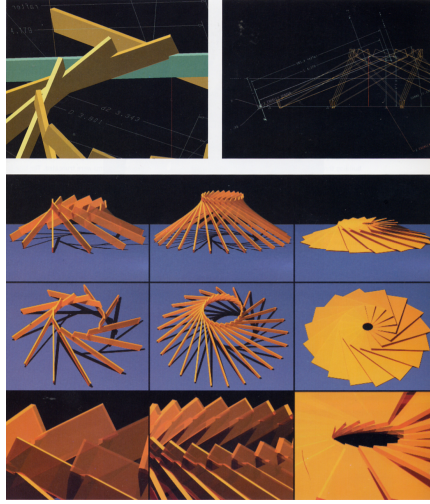
Genel anlamda, bütün parametrik işlemler birbirlerine kesin bir şekilde tanımlanmış bir ilişkiler ağı ile bağlıdır. Tasarımın ilk aşamalarında tanımlanan bu ilişki içerisinde geliştirilmesi amaçlanan model eğer çok sınırlandırılmışsa, sonuç olarak izlenen tasarım kararları da hükümsüz kalabilir. Arayüz ise bu kısıtlamaya neden olan ilişkinin hangi aşamada belirdeğini çözmeye yardımcı olan bir araç vazifesini görür. Parametrik tasarım sürecinde, gelişim aşamasından önceki en önemli aşama ilişkilerin belirlenmesidir, yani tasarımı tasarlamaktır.



Şekil 3.1 Grimshaw and Partners tarafından tasarlanan Waterloo Tren İstasyonu.  
(Kolarevic, 2003)

Nicholas Grimshaw ve Ortakları, 1993'te tasarladıkları ve inşa ettikleri Waterloo İstasyonu'nda tasarıma parametrik yaklaşımın kavramsal ve gelişimsel avantajlarını kullanmışlardır. Çatı strüktürü 36 adet boyutları birbirinden farklı fakat aynı niteliksel özelliklere sahip yapısal yaydan oluşur. Bu yayları teker teker modellemek yerine bir parametric model oluşturularak bütün yay-tabanlı kirişler bir ilk biçimden türetilmişlerdir.

Parametrik tasarım yöntemi kullanılarak çeşitlenen nesnelerin kendi aralarındaki karşılıklı etkileşimlerine dayanan destek çerçeve sistemi tüm dünyadaki folklorik bina tiplerinde sıklıkla kullanılmış bir sistemdir. Sistemde önceden belirlenmiş bir ilişki ağı etrafında dizilmiş olan bir düzine kiriş çubuktan her biri, bir önündekine yaslanırken aynı zamanda kendisinden bir sonra geleni desteklemektedir. Çubukların sayısı, eğim açısı ve yükseklikleri gibi parametreleri değiştirildikçe birbirinden çok farklı biçimlere ulaşılmaktadır.



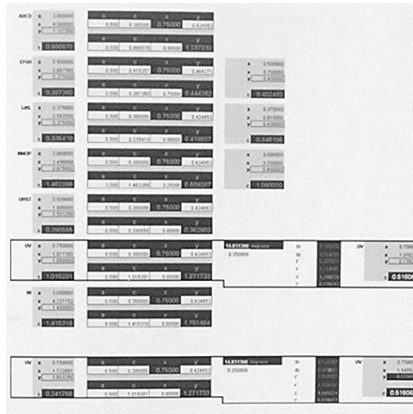
Şekil 3.2 . Parametrik çeşitlenmeyle oluşturulan destek çerçeve sistemi. (Kolarevic, 2003)

Mark Burry, 1979 yılından bu yana tamamlama çalışmalarında danışman olarak görev yaptığı Gaudi'nin Barselona'daki Sagrada Familia Kilisesi'ndeki eksik parçaların geometrisini çıkarmak için gemi yapımında kullanılan parametrik imalat yazılımından yararlanmıştır. (Burry, 2004) Burry, Gaudi'nin tekrarlara dayanmayan zengin mimari dilinin çözümlemesinde ilk olarak biçimi oluşturan geometriler arasındaki ilişki örüntüsünü tasarlamıştır. Kilisenin batı tarafındaki duvarın tasarlanma aşamasında, duvarı oluşturan bileşenlerin uzunluk, açı, denklem sabitleri vb. parametreleri değiştirildiğinde bütün diğer elemanların değişen geometrilerini güncelleyebilecek ve tüm bileşen hareketlerini inceleyecek bir ilişkiler hiyerarşisi kurulmuştur. Parametrik tasarım teknolojisi, yeni bilgilerin en az emek tekrarıyla kolayca algılanarak hafızada tutulmasına izin vermiştir.



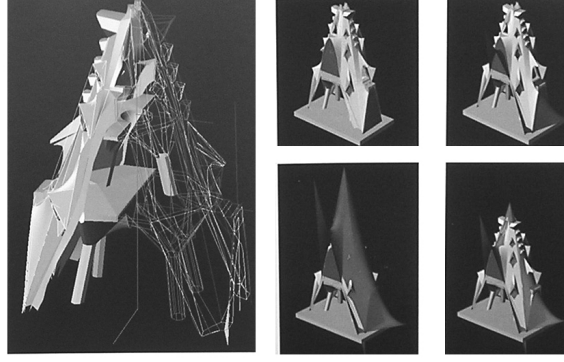
Şekil 3.3 Sagrada Familia Kilisesi'nin gül penceresinin dışardan görünümü. (Kolarevic, 2003)

Sagrada Familia Kilisesi'nin, II. Dünya Savaşı'nda zarar görmeden kurtulan bileşenleri kullanılarak temel tasarım prensipleri için baz oluşturacak bir prototip çıkartılmaya çalışılmıştır. Hızlı prototip oluşturma (*rapid prototyping*) aşamasında üç boyutlu balmumu baskı modeli bir araç olarak kullanılmıştır. Sagrada Familia'nın batısında yer alan 35m yükseklik ve 8m genişliğe sahip gül penceresi oluşturulurken parametrik modelleme yönteminin seçilmesini Burry üç maddede açıklar; Birinci neden, tasarım ekibinin sık ve ani olarak almak durumunda kalacağı kararların en etkin biçimde sonuçlandırılabilmesi için, tüm geometrilerin defalarca şekillenebileceği bir modele ihtiyaç duymasındır. Böylece elde edilecek parametrik bir model ile tüm olasılıklar tasarım ekibi tarafından, inşaata geçmeden görülmüş olacaktır. İkinci neden, modelin dört kulesinden mevcutta varolan iki kulesinin kilisenin ızgara sistemine uymamasından kaynaklanan simetri sorununun bir model yardımıyla daha kolay çözülebileceğinin düşünülmesidir. Üçüncü neden olarak Burry, parametrik modelleme yöntemleriyle hazırlanmış, yeniden şekillenebilme özelliğine sahip dijital modelin, şantiyedeki son dakika gelişmelerine tutarlı bir şekilde ayak uydurabilmesini gösterir.

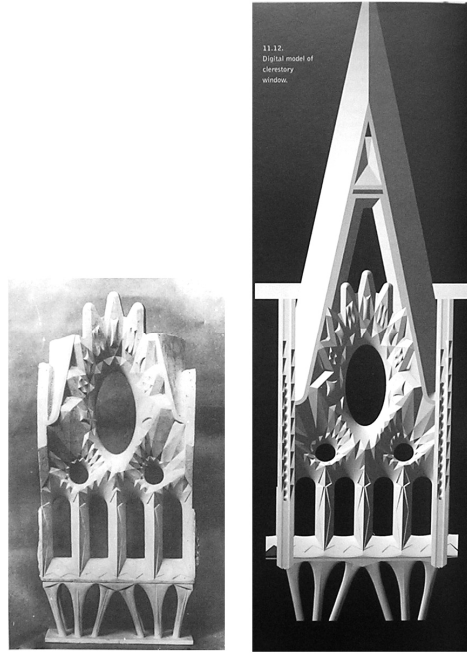


Şekil 3.4 Gül penceresinin tamamlanması için oluşturulan parametrik hesap çizelgesi. (Kolarevic, 2003)

Sonuç olarak da parametrik modelleme metotlarının projenin her aşamasındaki beklentileri karşıladığını ifade eder. Birleşik geometriyi kullanma, hızlı ve esnek tasarım gelişimini sağlamış ve üretim aşamasındaki değişikliklere ayak uydurmayı başarmıştır.



Şekil 3.5 Parametrelerin değiştirilerek en tutarlı uyum bulunmaya çalışılmıştır. (Kolarevic, 2003)



Şekil 3.6 Prototip modelin oluşturulabilmesi için hazırlanan dijital model (Burry, 2004)

Bu proje, Gaudi'nin kurallı bir dille tasarlamış olduğu yüzeyleri, aralarındaki mesafeler Internet erişimi sayesinde kapanmış olan çalışma ekiplerine Burry'nin değimiyle eşsiz bir "kitabe" oluşturmuştur.

**Hızlı Prototipleme**, bilgisayar destekli tasarım (CAD) dosyalarından direkt olarak fiziksel model üretmeye yarayan teknolojilere verilen genel isimdir. Bu üretim tekniğinde modeller saatlerle ifade edilebilecek kadar kısa sürelerde, kalıp kullanma gereksinimi duymadan, kendisini oluşturan malzemenin katmanlar halinde sırayla birbirleri üzerine eklenmeleri ve birleştirilmeleriyle oluşur.

Hızlı prototiplemede çok karmaşık biçimlerin modelleri kısa zamanda ve hatasız olarak üretilebilir.

Yenilikçi tasarım, prototip üzerinden uyarlamaya dayanır ve prototip kombinasyonları, oluşturulmuş bir prototipin tatmin edici bir çözüm yaratamaması üzerine yalınlaştırılıp arıtılmasında kullanılır. (Gero, 1993) Tasarımcının, arzu edilen nesne hakkında genel bir fikri vardır ve tasarım süreci sonuca yönelik bir aktivitedir. İstenilen etkiyi verebilecek özellikteki iki ya da daha fazla prototipin birleşiminden faydalanılır. Bazı durumlarda, yenilikçi tasarım, prototip değişikliğine de ihtiyaç duyabilir. (Schmitt, 1990)

### 3.2 Türetici Tasarım; Biçim Gramerleri

Türetme kelime anlamı olarak, bilinen bazı şeylerden yararlanılarak düşünce gücüyle yeni bir şey bulmak olarak tanımlanmaktadır. [3] Bilgisayar ortamında kurulan türetici tasarım sistemlerinde, belirli bir biçim grubundaki elemanların çeşitli kombinasyonlarının belirlenmesine dayalı alternatif çözümler, sistematik olarak araştırılır.

Mimari pratikte kullanımları tanımlanan nesnelere arasında belirlenecek bir dizi kurala bağlıdır. Kolarevic'in (2003) *digital metamorphosis* başlığında incelediği gibi, belirli bir biçimin çeşitli tekniklerle dönüştürülerek yeni biçimler elde edilmesine dayalı, biçim türetme çalışmaları türetici tasarım teknikleriyle ilişkilendirilebilir.

**Biçim Gramerleri**, biçimlerle aritmetik hesaplamalar yapan algoritmalarıdır (March ve Stiny, 1984). Biçim gramerlerinden oluşan dilin evrensel temellerini ilk olarak Noam Chomsky ileri sürmüştür (Chomsky, 1968). Chomsky'nin dönüşümsel grameri<sup>1</sup> (transformational Grammar) sonsuz sayıda gramere ait tanımlama oluşturabilen kurallar sistemine dayanır. Dilbilimsel türetici gramer uzmanlarına göre, bir gramer bir dildeki yapısal ilişkiler sisteminin bütününe başvurur. Bu sistem alınan kararların gelişimi için tanımlanan bir dizi kuraldan oluşur. Dönüşümlere dayanan türetici gramer fikri, biçimsel yaklaşımda bilgisayarların doğal dilin analizi için kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır.

Terry Knight'a göre gramerlerin tasarımda kullanımları iki türdür; Mevcut tasarım setlerini analiz etme ve bu mevcut tasarımları aynı tarzda yeni tasarımlar üretebilmek üzere gramerleri geliştirenler ile yeni, kendine özgü, tutarlı tasarım dilleri üretmek için gramerleri

---

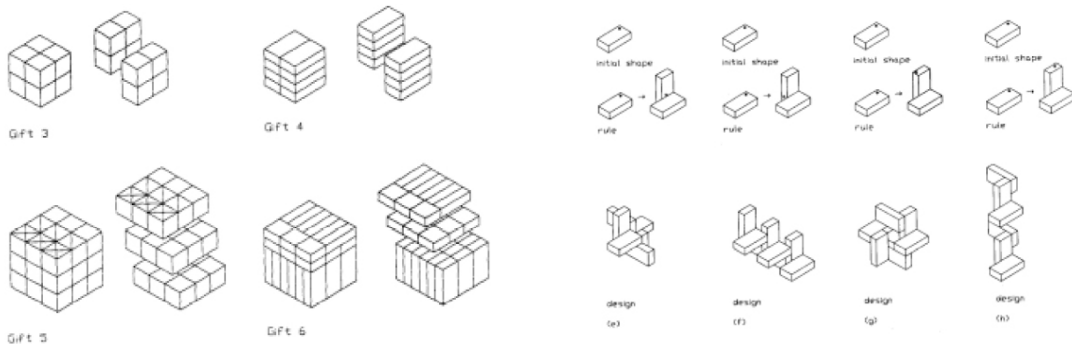
<sup>1</sup> Çeşitli elemanlardan oluşan bir dili oluşturan mevcut ve olası ifadeler ve hüküm arasındaki ilişkiyi tanıyan ve bu ilişkileri tanımlamak için bazı durumlarda dönüşüm (transformation) adlandırılan kurallar işlemlerini kullanan dil analizi sistemidir. [3]

kullanılanlar. Gramerler ayrıca mevcut tarzların yeni tasarım dilleri kullanılarak dönüştürülmesinde de kullanılmıştır. (Knight, 1994) Gramer tabanlı tasarım sistemleri, tasarım sürecini sayısallaştırırken çok daha fazla sayıda tasarım alternatifinin keşfedilmesine imkan verir.

Stiny biçim gramerlerini dört bileşenle çözümlenmiştir;

- bir dizi biçim
- biçimlerin etiketlenmesi için bir dizi sembol
- biçim A'nın biçim B'ye dönüşünü belirleyen dönüşüm-biçim kuralları
- İşlemi başlatıcı bir biçim, başlangıç elemanı gereklidir.

Stiny ve Mitchellin Palladio Villaları üzerine kurdukları biçim grameri sayesinde Palladio stilinde yeni villalar üretmişlerdir. Ya da Çin'de ki ice-ray lattice'lerin biçim gramerlerini çıkarıp yenilerini bilgisayar aracılığıyla üretmişlerdir.



Şekil 3.7 Froebel'in yapı blokları ve biçim grameri metoduyla türetilen tasarımlar. (Knight, 1992)

### 3.3 Evrimsel Sistemler; Genetik Algoritmalar

Mimari pratikte yaratılan dijital modeller, doğadaki evrim prensiplerinden ilham alınarak oluşturulmakta ve geliştirilmektedir. Bu dijital modeller doğadaki evrimsel sürecin birer temsilcisi olmaktan çok, bilgisayar destekli ortamda üretilen modelleri geliştirici metaforlar olarak hizmet verirler.

MIT'nin yayınladığı "Kavramsal Bilimler" Ansiklopedisi'nin tanımına göre bir algoritmanın esas özelliği, açık bir şekilde tanımlanmış ve takip edilmesi kolay olan sınırlı sayıdaki kurallar

ya da operasyonlar dizisinden meydana gelmesidir. Genelde algoritmalar bilgisayarlara çeşitli işlemler yaptırabilmek için kullanılan metotlar ya da teknikler olarak kabul edilirler.

Evrimsel algoritmalar, tasarım ortamındaki araştırmanın alanının ve yönünün saptanması için, karmaşık modeller rehberliğinde araştırmalar yapan düzeneklerdir. Tasarım ortamında, problemin tasarım parametrelerinden oluşan bütün olası kombinasyonları gözden geçirilerek bir sonuca varmak hedeflenir. [4]

Mimari tasarımda genetik algoritmalarla yararlanabilmek için öncelikle bir genetik dil yaratılması gerekir. Mimari kavramlar, türetici kurallarla ifade edilmektedir. Böylelikle, sayısal ortamda oluşturulan modeller kullanılarak, evrim süreci ve gelişimleri hızlandırılabilir ve test edilebilmektedir. Kavramlar biçim üretmek üzere bir şifreleme sistemi oluşturan genetik bir dil vasıtasıyla tanımlanırlar. Oluşturulan modeller, simüle edilmiş bir ortamdaki performanslarına göre değerlendirilerek prototip biçimin gelişimi bilgisayar ortamında canlandırılır. Bu yöntemle çok fazla sayıda evrimsel adım oldukça kısa bir sürede gerçekleştirilir, türetilen sonuç biçim genellikle beklenmedik olandır. Mimari tasarımda genetik algoritmalarla yararlanabilmek için, açıkça tanımlanamamış ya da çelişen ölçütler açıklanmalı, bu ölçütlerin seçim (doğal seleksiyon) üzerinde nasıl işleneceği ve morfolojik ve metabolik süreçlerin inşa edilen biçimin çevresiyle olan etkileşime göre nasıl programlanacağı açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu konular çözüldükten sonra, bilgisayar tasarım için yardımcı bir araç olmaktan çok evrimsel sürece ivme kazandıran bir türetici güç olarak kullanılabilir. Bu genetik teknik, tasarımın dış biçimini değil iç mantığını geliştirmeye ve çözmeye yönelik davranır. (Kolarevic, 2003)

### **3.4 Animasyon teknikleriyle tasarım**

Animasyon kelime anlamı olarak, “canlandırma” demektir. [3] Hareketli görüntü oluşturmak için kullanılır. Birbirleriyle ilişkili iki boyutlu görüntüler, ardı ardına eklenerek bir hareket ifade ederler.

Teknolojinin gelişimi ile ortaya çıkan animasyon teknikleri ilk başta mimarlar tarafından bir temsil aracı olarak kullanılmışlardır. Yaratılan mekanları animasyon teknikleriyle daha gerçekçi kılmak için kullanılan animasyon teknikleri daha sonra Greg Lynn’in öncülüğünde tasarım amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Greg Lynn’e göre animasyon bir biçimi ve onu şekillendiren güçlerin evrimini içerir. Hareket eden kareler değil binalar ve binayı etkileyen güçlerdir. Bu güçler, zaman, evrim ve yaşam tarafından kontrol edilirler. (Lynn, 1999)

Lynn’e göre bilgisayar ortamında tasarım, temsil ortamında tasarımdan üç önemli faktör

açısından farklılaşmaktadır: topoloji, parametre ve zaman. Zaman ve hareket, animasyon teknikleri vasıtasıyla tasarım sürecine katılır.

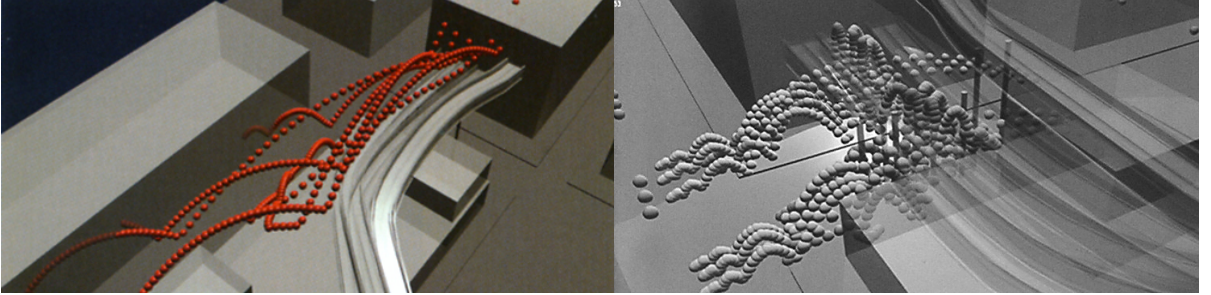
Lynn, hareket tabanlı modelleme tekniklerini dört grupta inceler;

*Keyframe animation*, bir tasarımı oluşturan hareket karelerinin sırayla ardı ardına dizilmesi ve tasarımcının bu diziden bir kareyi tasarımında kullanmak üzere seçmesi prensibine dayanır.

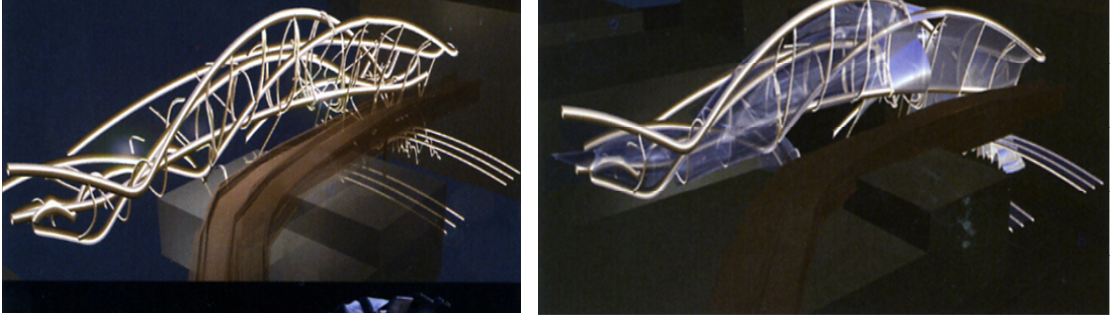
*Forward-inverse kinematics*, mekanik anlamıyla bir nesnenin ya da nesnelerin hiyerarşik sisteminin hareketi üzerinde çalışmak üzere kullanılırlar. Hiyerarşi bir yapım sistemini meydana getiren ana yapısal elemanlar ve onları birleştiren ara parçalar olarak örneklendirilebilir. Bu bileşenleri etkileyen dış etkenler ve hareketler biçimi alt birime ya da üst birime doğru değişime uğratırlar.

*Path animation*, bir tasarım nesnesini oluşturan bileşenler belirlenen bir doğrultu üzerinde ve bu doğrultudan sapmamak üzere hareketlendirilir.

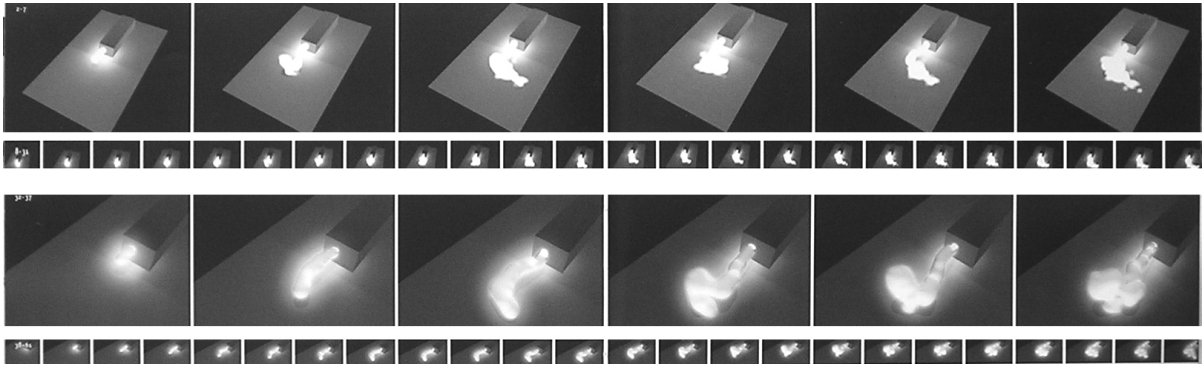
*Particle emmissions* tekniğinde, tasarım çevresindeki artan ve azalan güçler tasarımı etkileyecek güçler olarak algılanırlar. Bu parçaların etkisiyle tasarım hareketlendirilerek biçim kazanır. Greg Lynn'in bu teknikle New York'taki otobüs terminali için koruyucu bir çatı ve aydınlatma projesi tasarlamıştır. Lynn'in tasarımında etki yaratan çevresel güçler, yaya, araba ve otobüs akışlarıdır.



Şekil 3.8 Greg Lynn'in Authority Otobüs terminali tasarımına etki eden çevresel güçlerin animasyon kareleri. (Lynn, 1999)



Şekil 3.9 Greg Lynn'in tasarladığı Authority Otobüs terminali akış modelleri. (Lynn, 1999)



Şekil 3.10 Authority Otobüs terminali yaya yoğunluğu modellerinin animasyon kareleri. (Lynn, 1999)

### 3.5 Performansa dayalı tasarım

Türk Dil Kurumu Sözlük'ünde performans, başarı, verim gücü anlamlarına denk düşmektedir. [3]

Performansa dayalı tasarımın mimari pratikteki kullanımındaki amacı, tasarlanacak binadan en ideal verimi almaktır. Performansa dayalı tasarım yönteminde, şehir, manzara, sirkülasyon akışı gibi bina performansını etkileyen etmenleri kullanarak yeni bir tasarım yöntemi ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem, sayısal teknolojileri kullanarak inşa edilmiş çevreye yeni bir tasarım yaklaşımı getirmektedir.

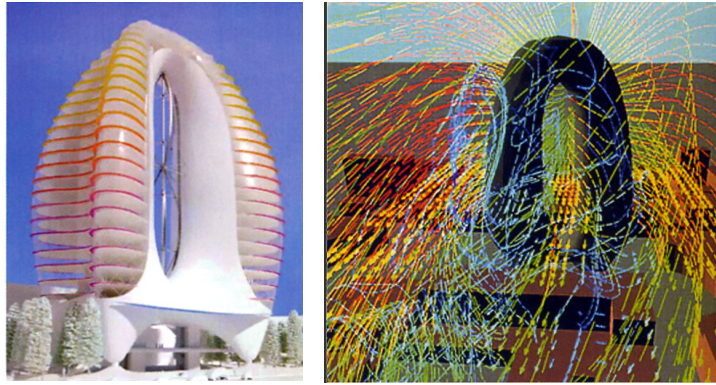
Bilgiye ve simülasyona bağlı bu yöntemde, performansa dayalı tasarım en geniş anlamıyla yer almaktadır ki bu anlam çoklu alanları finansal, mekansal, sosyal, kültürel ve teknik (yapısal, termal, akustik) açıdan incelemektedir. Bina performansı üzerindeki vurgu, bina tasarımını, işlevleri ve pratikleri hakkındaki beklentileri yeniden tanımlar.

Analitik hesaplamalı teknikler, geometrik modelin birbirlerine bağlı, küçük ağ elemanlarına bölünmesi ve bu yolla binalardaki yapısal, enerji ve akışkanlar dinamiği analizlerinin yapılmasına olanak veren sonlu elemanlar yöntemi (finite-element method-FEM) üzerine

kurulmuştur (Kolarevic, 2003). Günümüzde gelişen grafik çıkışı ve görüntüleme teknikleri sayesinde bu nicel değerlendirmeleri nitelik yönünden de inceleyebilmek mümkündür. Bu çok çeşitli analitik değerlendirme sayesinde, tasarım alternatifleri birbirleriyle kolaylıkla karşılaştırılabilir.

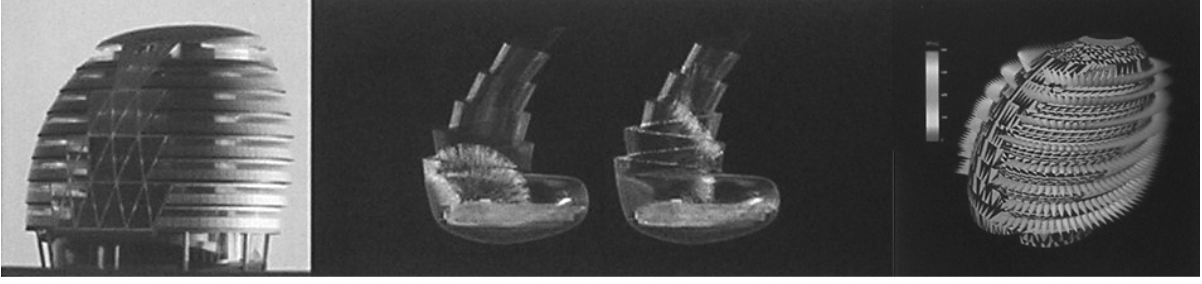
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları (Computational Fluid Dynamics-CFD), genellikle bina etrafındaki hava akışını analiz etmek için kullanılır. Akış fiziğinin binanın dijital modeline uygulanmasıyla havanın dinamik davranış analizinin yanı sıra ısı transferi, faz değişimleri, kimyasal reaksiyonlar ve yapıdaki gerilme ve şekil değiştirmeler de incelenir.

Future Systems firması, CFD analizlerini Project ZED adlı proje kapsamında bir bina tasarımı için kullanmıştır. Bina sahip olduğu foto-voltaik hücreleri ve rüzgar tribünü sayesinde enerji açısından kendine yetebilmektedir. Bunu sağlayabilmek için binanın yapısı bu rüzgar türbinine hava akımının gitmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. CFD analizi, bina gövdesindeki optimum performansı belirlemek için gereklidir.



Şekil 3.11 Future Systems mimari ofisi'nin tasarladığı ZED projesi ve kullanılan akışkan dinamiği programı (CFD), 1995. (Kolarevic, 2003)

Peter Cook ve Colin Fournier'in Kunsthaus (Graz, Avusturya) için 2003 yılında yaptığı ödüllü giriş bölümü dijital yapısal analizlerden sonra değişikliğe uğratmıştır. Bu değişiklik, proje mühendisleri tarafından orijinal biçim üzerinde küçük ayarlamalarla yapısal performansı yükseltmek için önerilmiştir. Benzer şekilde, Foster ve Partners'ın "Greater London Academy Headquarters"ın müzakere odası için yaptıkları tasarım yapılan akustik incelemeler sonucunda bir takım değişikliklere maruz kalmıştır. Alan çalışmaları kapsamında daha sonra değinileceği üzere bina, gün ışığına maruz kalan yüzey alanının minimize edilerek enerji performansının optimize edilmesi sonucunda bir çakıl taşı formuna kavuşmuştur. Bu biçim sayesinde bina yüzeyinde solar enerji kazancı artmış ve ısı kaybı azalmıştır. Bu konfigürasyon tüm bir yıl boyunca gün ışığı örneklerinin incelenmesinin bir sonucudur.



Şekil 3.12 Foster ve Ortaklarının tasarladığı GLA projesi akustik inceleme ve solar çalışma modelleri, 2002. (Kolarevic, 2003)

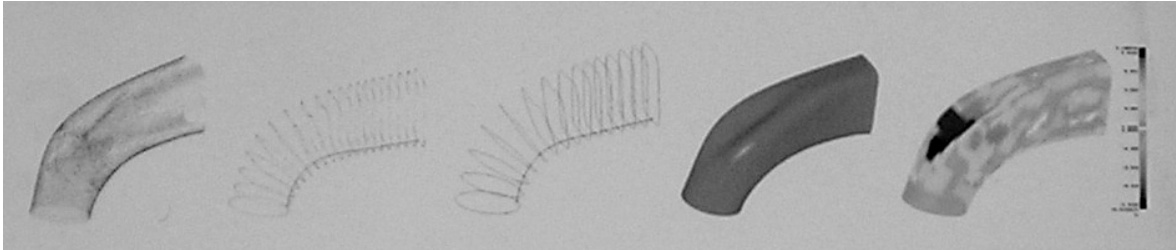
Dijital teknolojilerin bazı belli performansa dayalı simülasyonlarda, performansa dayalı tasarımı olası kılmasına rağmen, bu teknolojilerin kavramlaştırılması ve kullanılması konusunda kısıtlar ve fırsatlar vardır. Analitik hesaplamalar, pasif olarak, yani yapım tamamlandıktan sonra kullanılmak yerine, binanın genel biçimi oluşturulduktan sonra aktif ve dinamik bir şekilde bina yapımına katkıda bulunabilirler. Çağdaş mimaride canlandırma yazılımlarında olduğu gibi aktif bir rol alabilirler.

Böyle bir yeni tür analitik yazılım, önerilmiş şematik tasarımın topolojisini korurken, belirli bir performans kriterine (akustik, termal, v.b.) göre geometrik şekilde değişiklikler yapılabilir. Örneğin, poligonal yüzeylerden oluşan bir geometrik konfigürasyonda yüzey, kenar ve nokta sayısı ve dolayısıyla topoloji değişmezken, şekiller (geometri) belirli kısıtlar dahilinde ayarlanabilir. Tasarımcının ara koşullardan birinin üzerine gitmeye karar vermesi durumunda değişim süreci başlangıç koşulundan optimum koşula doğru geliştirilebilir.

#### 4. DİJİTAL ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ ve MİMARİ UYGULAMA STRATEJİLERİ

Teknolojinin getirdiği olanaklar mimarlık disiplininde ilk olarak uzun çizim sürecini azaltmak ve olası çizim hatalarından kurtulmak için tasarımcılar ve mühendisler tarafından kullanılmaya başlandı. Fakat esas devrim bu aracı programların geliştirilmesi ile beraber projelerin sayısal ortamda üretilmeye başlanmasıyla gerçekleşti. Yaşanan bütün bu gelişmeler ve teknolojinin verdiği sınırsız olanaklara rağmen birçok tasarımcı, düz bir bilgisayar ekranında proje modelinin dijital gösterimi ile çalışmaktansa, doğrudan dokunabileceği fiziksel bir maket ile tasarımını geliştirmeyi tercih etmektedir. Söz konusu maketi sayısal verilerle oluşturmak ya da klasik tekniklerle oluşturulmuş bir maketi geliştirerek ve üretim aşamasına kadar taşıyabilmek üzere sayısal ortama aktarmak için değişik makinelerden faydalanmak gerekir.

Bir maketi, dijital bir modele dönüştürmek, bilgisayar tabanlı üretimin tam zıddıdır. Üç boyutlu tarama teknikleriyle fiziksel bir modelin geometrisinin dijital bir gösterimine ulaşılabilir. Bu tarama işlemi sonucunda, maketin geometrik verileri ‘nokta bulutu’ adı verilen noktalar örüntüsü şeklinde belirir. Taranmış noktaların oluşturduğu örüntüler, NURBS (Non-uniform Rational B-Splines) eğrilerinin, daha sonraki aşamada *nurbs* yüzeylerini oluşturmak için kullanılacak, genel profilini üretmek için kullanılırlar.

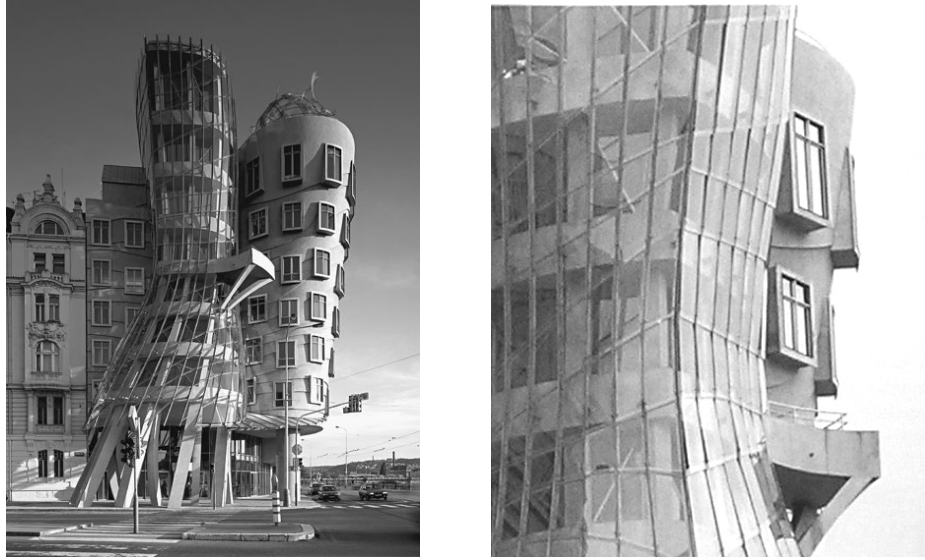


Şekil 4.1 Ters mühendislik süreci; (a) nokta bulutundan üç boyutlu tarama; (b) ve (c) kesitsel eğri oluşumu; (d) yüzeyin oluşturulması ve (e) nokta bulutu ile kıyaslanması.  
(Kolarevic, 2003)

Üç boyutlu tarama, ‘*Microscribe digitizer*’ adı verilen makineyle manüel olarak ya da daha pahalı aygıtlara ihtiyaç duyan fakat bununla beraber lazer ışınlarını kullanarak küçük boyutlu objelerin bile taramasını hatasız olarak yapabilen ‘*laser scanner*’ makinesiyle yapılabilir.

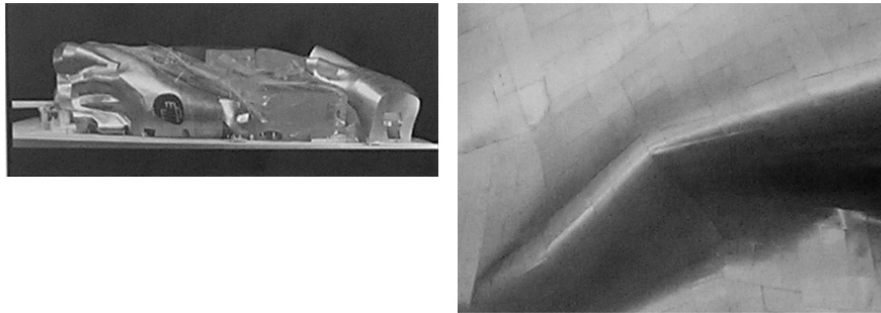
Yapı taslağını çıkarmak için yüzyıllardır kullanılan Euclid Geometrisi geleneği, kağıt üzerinde düz çizgiler ve daireler elde etmek için çizim tahtası, terazi gibi araçları kullanmayı zorunlu kılar. William Mitchell’in da değindiği gibi mimarlar neyi inşa edebiliyorlarsa onları

çizmişler ve neyi çizebiliyorlarsa onları inşa etmişlerdir. (Mitchell, 2001) Temsil ve üretim arasındaki bu karşıt durum dijital çağa rağmen varlığını sürdürmektedir. Bahsedilen tarama makinelerini kullanılmaya başlanmasıyla bu makinelerin elverdiği biçimler yaratılmaya başlanmıştır. Örnek olarak Frank Gehry'in, Prag'daki Nationale Nederlanden binasında düzensizce şekillendirilmiş cam paneller, hazırlanan dijital modelin geometrik bilgileri kullanılarak, dijital ortamda çalışan kesim makineleri ile kesilmişlerdir. Aynı yöntem Gehry'nin diğer bir projesi olan Seattle'daki Experience Music Project (EMP, 2000)'in dış cephesinde kullanılan 21,000 adet farklı biçimlendirilmiş metal parçanın hazırlanmasında da kullanılmıştır.



Şekil 4.2 Frank Gehry tarafından tasarlanan Nationale Nederlanden, Prag, 1996. [2]

Yeni dijital ortamda üretim sürecini Gehry'nin öncülüğünde daha birçok mimari ofis tarafından tasarım geliştirmede kullanılan *Nurbs* eğri ve yüzeyleri gibi karmaşık biçimlerin, bilgisayar kullanımı ile tasarlanabilir ve üretilebilir hale gelmeleri, aslında CNC makineleriyle imalatın sağladığı olanakların bir sonucudur.



Şekil 4.3 F. Gehry tasarımı Experience Music Project (EMP) binasının dış kabuğu 21,000 adet farklı biçimde metal levhalardan oluşturulmuştur, Seattle, ABD, 2000. (Kolarevic, 2003)

Kolarevic (2003) dijital üretim teknolojilerini dört grupta inceler:

- İki boyutlu üretim (CNC kesimi)
- Çıkarma işlemine dayalı üretim
- Ekleme işlemine dayalı üretim
- Biçimlendirmeye dayalı üretim

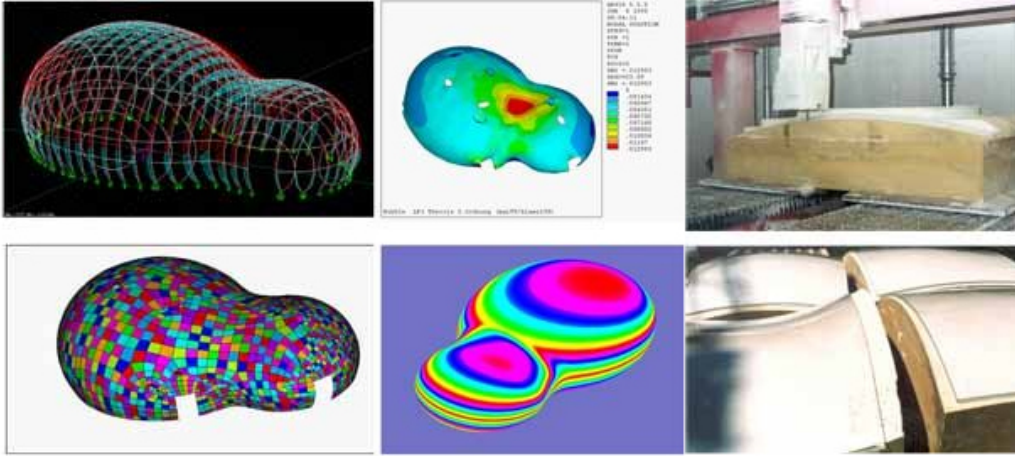
**İki boyutlu üretim** (CNC kesimi) en sık kullanılan üretim tekniğidir. Lazer ışını, su-jeti ya da *plasma-arc* teknikleriyle iki eksen üzerinden hareketle kesim işlemi gerçekleşir. Plasma-arc kesiminde, sıkıştırılmış gaz veren bir ağızlık yardımıyla çok yüksek ısıdaki gaz kesilecek bölgeye geçirilir ve kesim işlemi gerçekleşir. Su-jetiyle kesim işleminde çok yüksek basınçlı su, kesilecek malzemeyi aşındıracak parçalar ile karıştırılarak küçük bir ağızlıktan kesilecek bölgeye akıtılır. Bu teknik ile malzeme üzerinde oldukça keskin ve hatasız kesimler yapılabilir. Lazer kesiciler, yüksek basınçlı karbondioksit gazıyla kızıl ötesi ışığın birleşimi sonucu malzemenin erimesi veya yanmasıyla kesim işlemini gerçekleştirir. Kesilecek olan ana malzemenin et kalınlığına ve karakteristik özelliklerine göre farklı tekniklerden yararlanır.

**Çıkarma işlemine dayalı üretim**, kesilecek parçaların ana parçadan, elektronik, kimyasal ya da mekanik azaltma yöntemleriyle çıkartılmasına dayanır.

Üç boyutlu katıların öğütülmesi işlemi, iki boyutlu kesimin doğrudan bir uzantısıdır. Matkap ucuna yükselme ya da alçalma özelliği eklenerek 3. boyutta, Z eksenindeki hareketi sağlanmıştır. Üç eksenli öğütme sayesinde katılardan hacimsel parçalar çıkartılabilir. Fakat daha karmaşık biçimlerin çıkartılması için matkap ucunun üç eksenli hareketi yeterli değildir. Üç boyutlu parçaların çıkartılması için dört ya da beş eksenli çalışabilen başlığa sahip makinelerden yararlanır. Değişik boyutlarda bulunabilen başlıkların, geniş çaplı olanları çıkarma işleminde, daha küçük çaplı olanları ise son kat işlemlerinde kullanılır.

CNC Öğütme işleminde kullanılan bilgisayarlara makine hareketini yönlendirecek çeşitli kod komutları girilir. En eski dijital üretim tekniklerinden biri olan CNC çok eksenli öğütme sisteminin mimaride uygulanması, ilk olarak 1970lerin başlarında İngiltere’de ortaya çıkmıştır. Daha sonraları Amerika’daki büyük mimarlık ofislerinden olan Skidmore, Owings ve Merrill’in (SOM) ofislerinde CNC Öğütme makineleri ve lazer-kesiciler mimari modellerin üretiminde ve inşaat montaj çalışmalarında kullanılmıştır. 1980lerin sonları ve 1990ların başlarında ise New York’taki Saint John the Divine Katedrali’nde kullanılan taşlar ve Barselona’daki Sagrada Familia Kilisesi’ndeki kolonlar gibi inşaat elemanlarının üretiminde denenmişlerdir. Bu yöntemle üretilen, çift-yönlü eğrilerden meydana gelmiş karmaşık eğri-

çizgisel yüzeyli lamine cam elemanlardan oluşan Bernhard Franken'in BMW Pavyonu için tasarladığı "Bubble" (1999) inşa edilmiş ilk örneklerdendir.



Şekil 4.4 Bernhard Franken tasarımı "Bubble"ın dış kabuğunu oluşturan çift eğrili cam yüzeyler. [5]



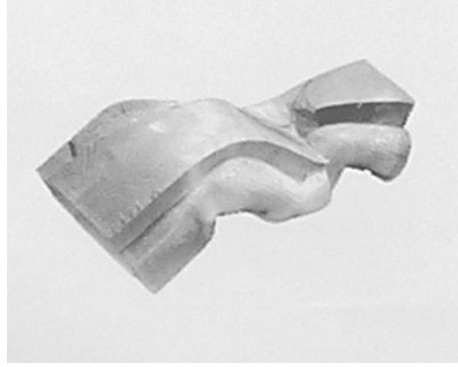
Şekil 4.5 Bernhard Franken tasarımı "Bubble"ın dış kabuğu. [5]

**Ekleme işlemine dayalı üretim**, öğütme ve çıkarma işlemlerinin aksine katman üretmeyi sağlayan bir sistemdir. Sıklıkla, Katmanlı Üretim (layered manufacturing), katmanların serbest formlu üretimi (solid freeform manufacturing), hızlı prototiplendirme (rapid prototyping) ya da masaüstü prototip üretme (desktop prototyping) gibi üretim teknikleriyle bir anılır. Bütün ekleme işlemine dayalı teknolojiler temelde dijital modelin iki boyutlu katmanlarla kesilme prensibini esas olarak alırlar. Bu katmanların sırayla makineye aktarılımları ve üst üste çakıştırılımlarıyla fiziksel ürün oluşturulur.

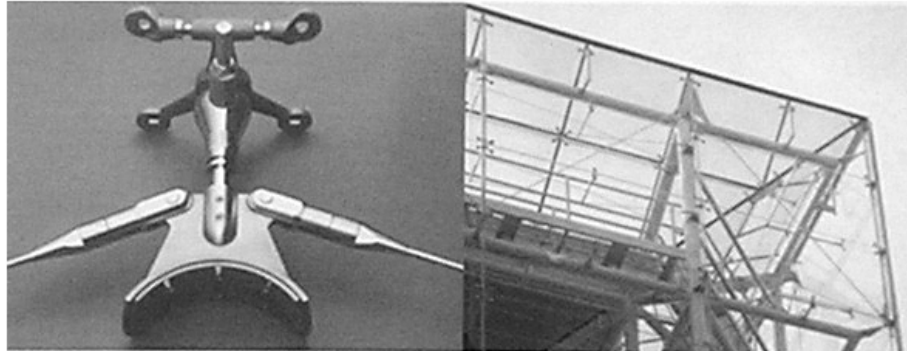
Bu amaçla geliştirilen ilk teknik sterolitografi tekniğidir. Sterolitografi (SLA), sıvı polimerlerin lazer ışığına maruz kaldıklarında katılaşmalarına dayalıdır. Lazer ışık demeti, modelin bir kesitini sıvı polimere işler ve katılan katman üzerine kurulduğu yardımcı platformla aşağı itilir ve diğer katmanların işlenmesine başlanır. Katmanlama işleminden sonra sıvı içindeki cisim katmandan ayrılır ve fazlalıklarından temizlenir. Bu üretimin

dezavantajı uzun zamanda üretilebilecek prototipin boyutunun kısıtlı olması ve işlemin pahalılığıdır. Tasarımda, genel olarak karmaşık, eğri-çizgisel modellerin üretiminde kullanılırlar. İnşaatta ise, seri bir şekilde üretilecek konstrüksiyon elemanlarının üretiminde bu teknikten yararlanır.

Son zamanlarda bu teknik büyük ölçekli bina bileşenlerinin doğrudan sayısal verilere dayalı kullanımlarında denenmiştir. Buna ek başka bir teknoloji kontur işleme (contour crafting) metodudur. Kontur işleme, hızlı katmanlaştırmaya izin veren melez bir üretim metodudur. Nesne çekirdeğini oluşturmak üzere nesnenin yüzey kabuğunu kullanan ve boşaltma ya da enjeksiyon işlemlerine dayanan dökme işlemidir.



Şekil 4.6 Greg Lynn tasarımı olan Ev Prototipi projesinin sterolitografi tekniğiyle çıkartılmış modeli. (Kolarevic, 2003)

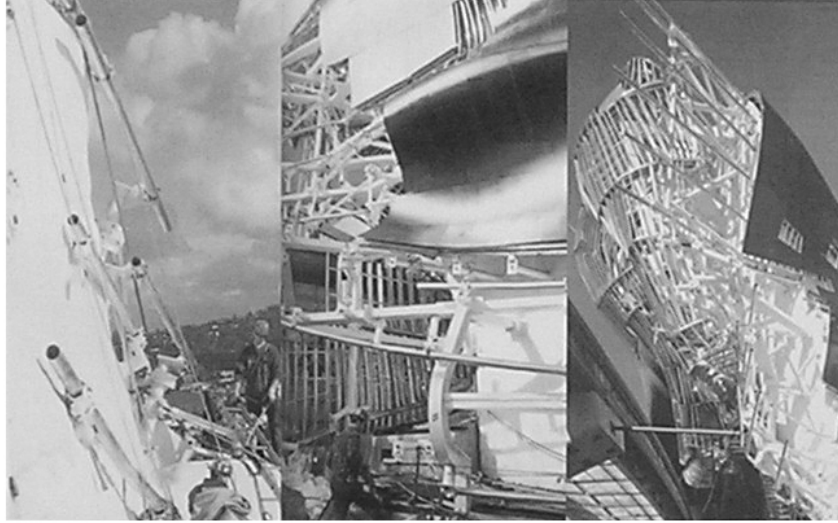


Şekil 4.7 Hızlı prototipleme yöntemiyle imal edilmiş mafsalsal elemanları. (Kolarevic, 2003)

**Biçimlendirmeye dayalı üretimde**, malzemenin biçimini bozarak istenen şekilde yeniden şekillendirebilmek için malzemeye, mekanik güçler, ısı ya da buhar uygulanır. Bu sistem, Çift-eğrili, bileşik yüzeyler ya da düzlemsel eğrilerin şekillendirilmesinde, eğilip bükülerek yeni bir biçim oluşturulmasında kullanılır.

#### 4.1 Uygulama Stratejileri

Bileşenler dijital olarak üretildikten sonra, yerlerine uygulanmaları da gene dijital teknoloji yardımıyla yapılır. Dijital üç boyutlu modeller, bileşenlerin yerlerinin saptanmasında, bileşenlerin yerlerine oynatılmalarında ve son olarak her bileşeni tam yerine oturtulmalarında kullanılırlar. Geleneksel yöntemlerin aksine, dijital modeldeki bileşenlerin uygulama alanındaki yerleri elektronik araştırma ve lazer pozisyon teknikleriyle bulunur, yerlerine taşınır ve birleştirme işlemi başlar. Frank Gehry'nin Bilbao'daki Guggenheim Müzesi'nde uygulama süreci hiçbir ölçüm aleti kullanılmadan sadece dijital tekniklerle gerçekleşmiştir. Üretim aşamasında tüm bileşenler barkodlanmış ve strüktürün bitişik katmanlarıyla kesişen noktalar işaretlenmiştir. Uygulama sırasında barkodlanmış her parça CATIA ile üretilen modelden yararlanılarak koordinatlarına yerleştirilmiştir. Bileşenlerin bilgisayar modelindeki yerlerine oturtulabilmeleri için lazer taramalı ekipman CATIA'ya bağlanmıştır. (LeCruyer, 1997) Buna benzer teknikler Gehry'nin Seattle'daki EMP (Experience Music Project) projesinde de kullanılmıştır.



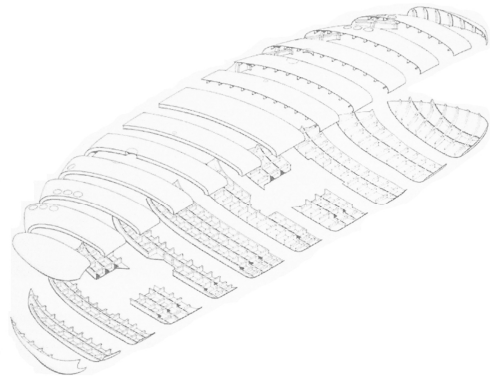
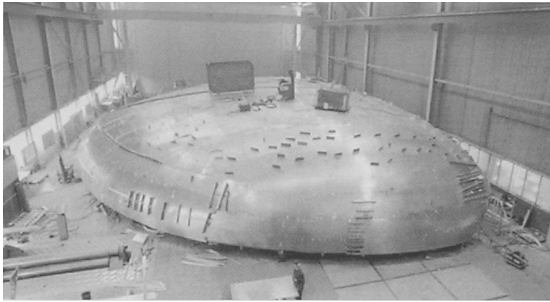
Şekil 4.8 EMP Projesinde Global Konumlandırma Sistemi (GPS) kullanılarak yapısal bileşenler yerlerine konumlandırılmışlardır. (Kolarevic, 2003)

#### 4.2 Yüzey Stratejileri

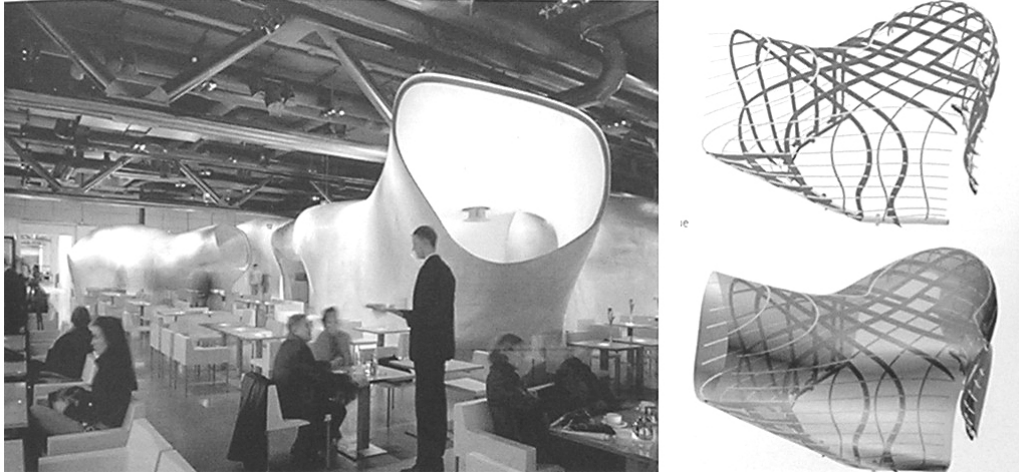
Dijital mimarlıkta teknoloji kullanımı ile beliren karmaşık geometrilere ve tektoniklere sahip biçimler yeni bina kabukları oluşturmaktadır. Binanın kabuğu yani dış yüzeyi NURBS eğrilerinden oluşan yazılımların içerdiği biçimsel kavramları vurgulamaktadır. Bina kabuğu ve çekirdeği bir bütünlük içindedir. Tek bir öğede buluşan strüktür ve kabuk kendini

destekleyen ve ara elemanlara ihtiyaç duymayan biçimler yaratır. Böyle bir biçim ancak yeni malzemelerle (yüksek sıcaklıkta köpük, kauçuk, plastik alaşımları vb.) kendini ifade edebilir. Joseph Giovannini'nin değindiği gibi strüktürel kabuk fikri sadece yeni malzemeleri değil aynı zamanda eğri ve kıvrım gibi devamlı bir yüzey yaratan geometrileri ifade eder. Bu geometriler bağımsız statik bir sistemi engelleyecek ve kabuk tek başına taşıyıcı olarak işleyecektir. (Giovannini, 2000) Strüktür ve kabuğun bu birleşimin tasarıma önemli etkileri vardır. Yeni ince, katmanlı bina örtüleri kendilerini oluşturan paneller sayesinde hem gerekli yapısal desteği sağlar hem de genellikle tavan ve döşemelere yerleştirilen diğer sistemleri barındırırlar. Bu anlamda kullanılan bina giydirmedeki yenilikler otomotiv, roket ve gemi yapımı üretimi gibi farklı endüstrilerde sıklıkla kullanılan teknolojilerden alınmıştır.

Future Systems tarafından tasarlanan Londra Lord's Cricket Ground'daki NatWest Media Merkezi'nin yapımında alüminyum malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin seçimi paslanmazlığıyla ve su geçirmez bir yüzey olarak biçimlendirilebilmesiyle alakalıdır, kabuk aynı zamanda strüktürdür böylelikle başka bir strüktür çerçevesi ve kaplamaya gerek duymaz. Kabuk CNC makineleriyle üretilmiş ve 12mm incelikteki alüminyum plakalar tersaneye kurulmuştur. Daha sonra 26 adet 3m genişliğindeki parçalara bölünmüştür. Jakop ve MacFarlane'nin tasarladığı Georges Restoranı'nda da (2000) benzer teknikler kullanılmıştır.



Şekil 4.9 NatWest Medya Merkezi'nin 26 adet alüminyum panelden kurulan kabuk strüktür modeli, Londra, 1999. (Kolarevic, 2003)



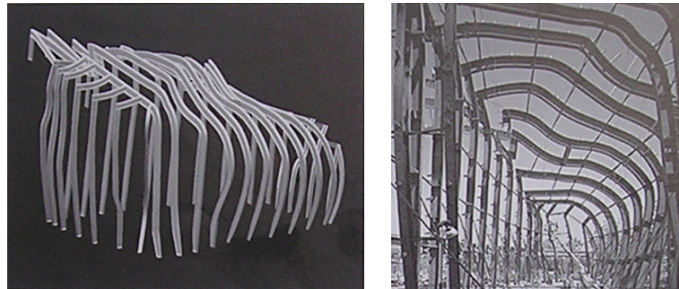
Şekil 4.10 Jakop ve MacFarlane'nin tasarladığı Georges Restoranı. (Kolarevic, 2003)

Eğrisel örtü tekniklerini uygulama stratejileri geometrik karmaşıklıklarına, malzeme seçiminin getirdiği olasılıklar ve dirençlere bağlıdır. Bu “inşa edilebilirlik kuralları” genellikle tektonik biçimlerin geometrilerini rasyonalize etmeyi gerektirir. Kurallar uygulamanın maliyetine, biçimin geometrisinin karmaşıklığına bağlı olarak değişiklik gösterirler. Dijital teknolojiler mimarlara geometri denetimiyle bütçe üzerinde kontrol sağlama imkanı verir.

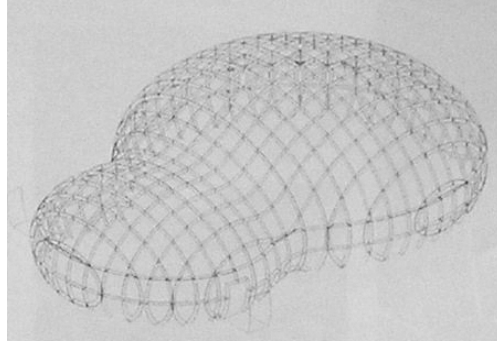
### 4.3 Üretim Stratejileri

Üretim stratejileri genellikle kontur işleme (contouring), üçgen yaratma (triangulation) ve kurallı, geliştirilebilir yüzeyleri içeren iki boyutlu üretim için kullanılırlar.

Kontur işleme tekniğinde, düzlemsel kesitler verilen bir biçimde oluşturulan modelleme yazılımı kullanılarak oluşturulurlar ve doğrudan binanın yapısal bileşenlerinin bir araya getirilmesini sağlarlar. Sıralamaları genellikle birbirlerine paraleldir ve düzenli aralıklarla yerleştirilirler. Gehry'nin tasarladığı EMP projesi ve Bernhard Franken'in “Bubble” isimli BMW için tasarladığı pavyonun strüktürel çerçevesi kontur işleme tekniğiyle oluşturulmuştur.

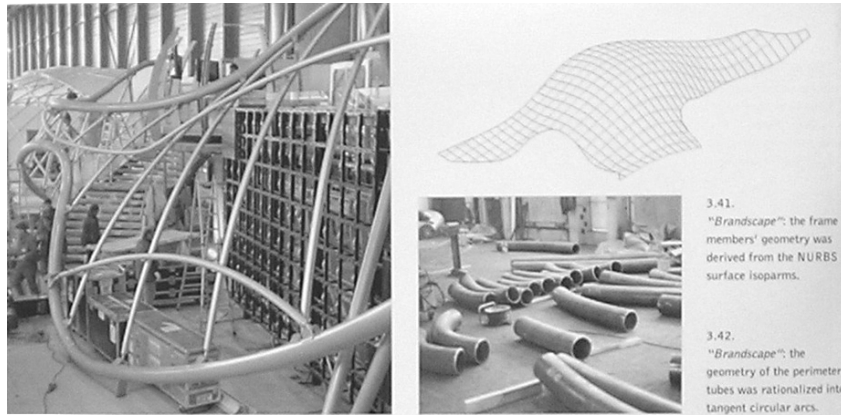


Şekil 4.11 Frank Gehry tasarımı EMP projesinin strüktürel çerçevesi. (Kolarevic, 2003)



Şekil 4.12 Bernhard Franken'in BMW pavyonu için tasarladığı "Bubble"ın strüktür çerçevesi. (Kolarevic, 2003)

Bütçeyle ilgili ya da üretimle ilişkili kısıtlamaların söz konusu olduğu durumlarda, NURBS eğrilerinin yarattığı karmaşık geometriler daha az masraflı olan dairesel, radyal geometrilere yakınlaştırılabilirler. Franken ve ekibinin tasarladığı "Brandscape" isimli BMW pavyonunda radyal geometriler kullanılmıştır. Bu projede NURBS eğrilerinin yapısal analizinden ortaya çıkan izoparametrik eğriler (isoparms) yapısal bileşenlerin geometrilerini tanımlamada kullanılmışlardır.

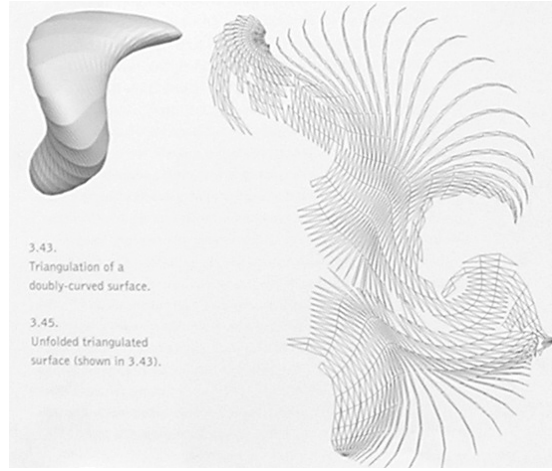


Şekil 4.13 Bernhard Franken'in BMW için tasarladığı "Brandscape" pavyonu, yüzey çözümlenmeleri ve radyal geometrilere oturtulmuş yapısal parçalar. (Kolarevic, 2003)

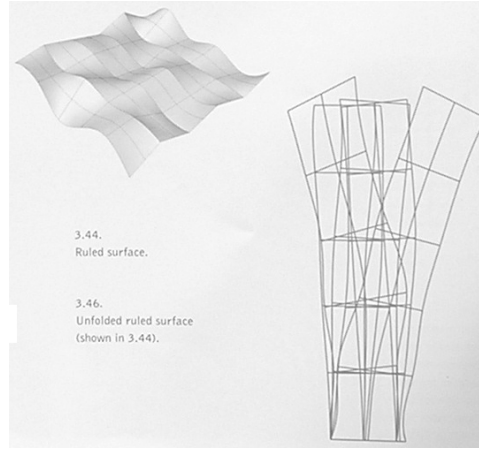
Karmaşık, eğri çizgisel yüzey örtüleri genellikle iki farklı teknik kullanarak oluşturulabilirler; düzlemsel mozaikleştirmenin (planar tessellation) bir yöntemi olan üçgen yaratma (triangulation) metodu ile ya da iki eğrinin içkutuplanmasıyla oluşan çift-eğrili kurallı yüzeylerle (ruled surface).

Üçgen yaratma metoduyla oluşturulan yüzeyler ve kurallı yüzeyler düzlemsel şeritleri ifade edecek şekilde açılırlar. Böylece tasarım iki boyutlu şekiller olarak tabaka üzerine geçirilir ve

CNC kesim teknolojileri kullanılarak bileşenler oluşturulur.

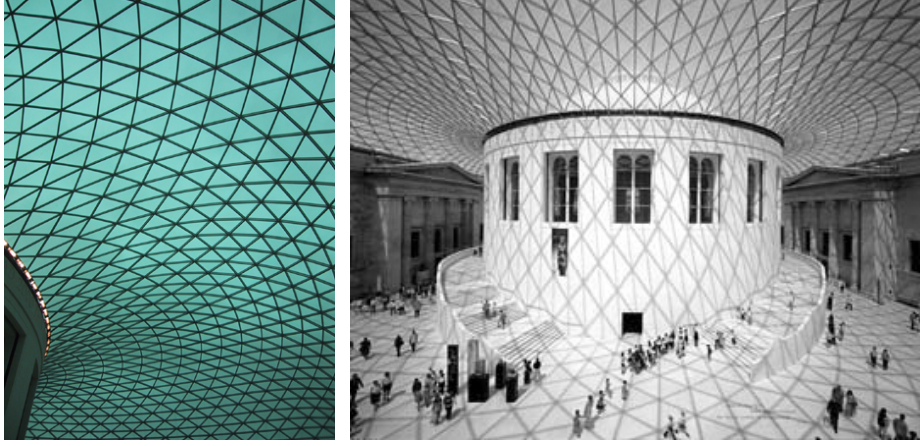


Şekil 4.14 Çift eğrili yüzeyin üçgen yaratma yöntemiyle ifadesi ve şeklinin iki boyutlu düzlemde açılımı (Kolarevic, 2003)



Şekil 4.15 Kurallı yüzey ve iki boyutlu düzlemde açılımı (Kolarevic, 2003)

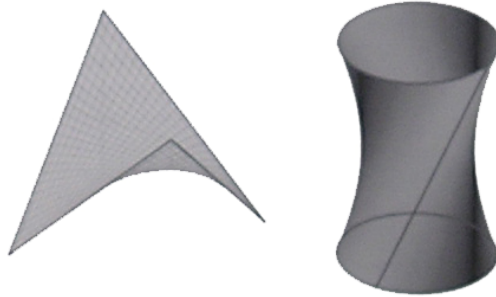
Düzlemsel mozaikleştirmenin en etkin yolu olan üçgen yaratma metodu birçok projede başarıyla uygulanmıştır. Foster and Partners tarafından tasarlanan British Museum'un *Great Court* avlusunun cam çatı örtüsü bu yöntemle iyi bir örnektir.



Şekil 4.16 Foster and Partners'ın tasarladığı British Muzesi'ndeki Great Court'un üçgen yüzeylerle yaratılmış cam çatı örtüsü. [6]

Foster'ın ofisi pek çok projelerinde parametrelere dayanan karmaşık geometrili biçimler tasarlamışlardır. Karmaşık eğrilerin rasyonalize edilmesi küre, koni, silindir, yüzük (torus) biçimlerinin sahip oldukları radyal geometrilerin tasarımdaki karmaşık yüzeylere yerleştirilmeleriyle gerçekleşir.

Çift eğrili yüzeyleri rasyonalize etmekte kullanılan başka bir yöntem de onları “kurallı geliştirilebilir” (rule developable) yüzeylere dönüştürmektir. Kurallı yüzeyler uzaydaki iki eğrinin düzlemsel içkutuplanmasına dayanır. Birbirlerine bağlanan eğriler arasında düz, kural ifade eden çizgiler düzenli aralıklarla yerleştirilir. Bu yöntemle oluşturulan en basit biçimler koniler ve silindirlerdir, hiperbolik paraboloidler ve hiperboloidler ise daha gelişmiş geometrilerdir.



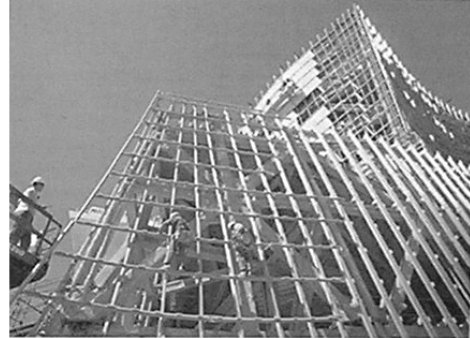
Şekil 4.17 Gelişmiş kurallı yüzeyler: paraboloid ve hiperboloid (Kolarevic, 2003)

Uruguaylı mimar Eladio Dieste'nin tasarladığı Atlantida Kilisesi kurallı yüzeylerle oluşturulmuş tasarımlara iyi bir örnektir.



Şekil 4.18 Eladio Dieste'nin tasarladığı Atlantida Kilisesi, Orogway, 1958 (Kolarevic, 2003)

Çağdaş mimaride kurallı yüzeylerin kullanılmasının önemli bir nedeni geliştirilebilir olmalarıdır. Frank Gehry'nin ofisi tasarladıkları yaratıcı çözümleri rasyonelize etmek ve inşa edilebilirliklerini sağlamak için geliştirilebilir kurallı yüzeylere başvuran başka bir ofistir. Gehry geliştirilebilir metal ya da kağıt şeritlerini fiziksel modeller üzerinde şekillendirerek kavramsal projelerini oluşturmaktadır. Bu biçimler daha sonra sayısal ortama atılır ve sonuç biçimler CATIA yazılımında analiz edilerek geliştirilebilir dijital yüzeylere dönüştürülürler. Bu sayede yüksek maliyetlere sahip çift eğrili yüzey oluşturma ve üretme süreci de aşılmış olur.



Şekil 4.19 F. Gehry tasarımı olan Walt Disney Konser Salonu'nda kurallı yüzeylerin kullanımı. (Kolarevic, 2003)

#### 4.4 Yeni Malzemeler

Mimari ifadedeki yeni biçimler ve malzeme bilimindeki ilerlemeler mimarları bu malzemelerin sınırlarını keşfetmeye itmiştir. 1950 ve 1960larda, serbestçe biçimlenebilen beton, plastik gibi malzemeler “damla benzeri” biçimlere olan ilgiyi arttırmıştır.

Çağdaş yüzeylerin ifadesine gösterilen ilgi, yeni malzeme kompozisyonlarının mukavemet özellikleri ve sağladıkları olasılıklarla yakından ilişkilidir. Mimari kabukları oluşturmakta kullanılan yeni malzemeler, benzeri görülmemiş incelikte, dinamik özellikleri olan, işlevsel olarak değişime uğrayabilen ve çok çeşitli efektler veren yüzeyler sunmaktadırlar. Örnek olarak Gehry'nin tasarladığı Bilbao'daki Guggenheim Müzesi'ni örten kabuk sadece 0.38 mm kalınlığındaki titanyum levhalardır. Yeni malzemelere olan ilgiyi artıran sadece incelikleri değildir, binaların kabukları aynı zamanda kendi strüktürlerini oluşturmaktadırlar. Kolarevic'in değindiği gibi dinamik davranışlara sahip bu yapısal kabuklar, tektonikler ve malzemenin sürekliliğine yönelik yaygın tavrılara meydan okumaktadırlar. (Kolarevic, 2003)

Farklılığı yaratan sadece yeni malzemeler değildir. Tuğla gibi, eski ve tanıdık malzemeler, günümüzde alışlagelmişin dışında yöntemlerle kullanılmaktadırlar. Örnek olarak Erick Van Egeraat Mimarlık ofisinin tasarladığı İrlanda'nın Cork şehrindeki Craword Kentsel Sanat Galerisi gösterilebilir.



Şekil 4.20 Van Egeraat Mimarlık ofisinin tasarladığı Craword Kentsel Sanat Galerisi, Cork, İrlanda, 2000 (Kolarevic, 2003)

Proje yerele sadık kalınarak tasarlanan, yeni bir eki tanımlar. Bu proje Eladio Dieste'in, akıcı biçimlerle tasarladığı, tuğla ve harçtan inşa edilmiş binalarının çağdaş bir versiyonu niteliğini taşır.

Geleneksel malzemelerin, yeni bakışla yorumlanıp kullanılması 20.yy. itibariyle yaygınlaşmıştır. Örnek olarak betonarmede kullanılan geleneksel demir çerçeve sistemi yerine, çürüyüp eskimeyen fiber karbon kafes sistemi kullanılarak daha az yoğun buna karşın yapısal olarak daha güçlü beton strüktürler elde edilebilir. Karbon fiberlerin yapılarda kullanımı gelecek için öngörülmesine karşın henüz yaygınlaşmayan bir sistemdir.



bir süreç tasarlanabilir. Kolatan ve Mac Donald'ın denediği gibi yeni malzemeler keşfedilmeye açıktır; ışık ve hava durumuna göre davranan akıllı camlar, antibakteriyel fiberglas duvar kaplamaları, güçlendirilmiş yapısal malzemeler vb.

*Akıllı, zeki, adapte* gibi terimler günümüzde kompozit malzemelerin yüksek dereceli hissetme, harekete geçme, kontrol ve akıl kabiliyetleri için kullanılmaktadır. Malzemelerin *zekaları* konumlarına, hücre yapılarına ya da değişik derecelerdeki dürtülerine uyum gösterebilme kabiliyetlerine göre programlanabilir. Algılayıcılara (sensor) sahip bir malzeme dışarıdan gelen dürtülere karşı sinyaller vererek karşılık verebilmektedir. Bu sinyaller bir hareket, bir ses ya da renk, şeffaflık gibi malzeme özelliklerinin değişimi şeklinde olabilir.

Akıllı malzemelerin bu karmaşıklıkları, kapasiteleri ve kullanımları özellikle artma göstermiştir. 21.yy.da malzeme ve teknoloji alanındaki bu gelişmeler mimarlık ve malzeme arasındaki ilişkiyi tekrardan tanımlamaktadır.

#### 4.5 Kitlesele bireyselleşme

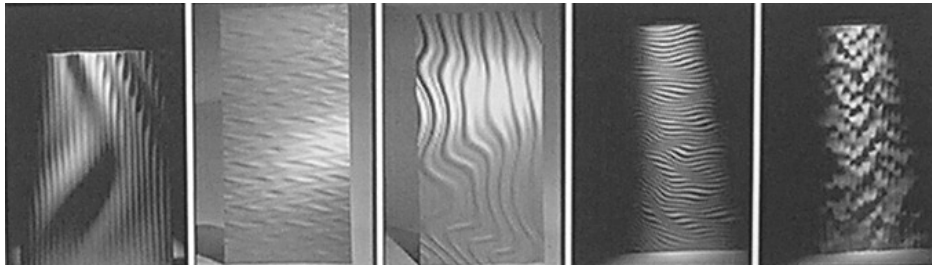
20. yüzyıl Modernizminin seyrek ve dağınık geometrileri, çoğunlukla, standartizasyon, prefabrikasyon ve yerinde kurulumu içeren Fordçu endüstriyel imalat mantığının bina üretimine yaptığı etki ile şekillenmiştir. Endüstriyel imalat mantığı, düşük maliyetli kitle-üretim elemanlarının tekrarlı kullanımını ve geometrik yalınlığı şart koşar. Üretim üzerindeki bu kısıt dijital olarak kontrol edilebilen makinelerin varlığı sayesinde artık geçerli değildir. Bu makineler kendine has, karmaşık şekilli elemanları düşük maliyetle üretebilmektedirler. Başka bir deyişle çeşitlilik, verimlilik ve üretim ekonomisi arasındaki ilişkiden bağımsız bir hale gelir.

Birbirinden farklı özellikler içeren yapı elemanlarının kitle-üretimi yeteneğinin kazanılması, yapı tasarım ve üretiminde “kitle-bireyselleştirme” fikrinin ortaya çıkmasına yol açmıştır (Artık bir CNC makinesi 1000 tane farklı objeyi 1000 tane özdeş obje ile verim ve maliyet açısından aynı kolaylıkta yapabilmektedir). Kitlesele bireyselleştirme fikri ilk olarak Joseph Pine tarafından, bireyselleştirilmiş tüketim maddelerinin ve hizmetlerin kitlesele üretimi ile çeşitlilikte muazzam bir artış olarak tanımlanmıştır. (Kolarevic, 2003) Ekonominin ve özellikle endüstriyel üretimin nerdeyse her parçası kitlesele-bireyselleştirme tarafından etkilenmiştir. Örneğin, Levi's, bir scanner aracılığıyla müşterinin vücut ölçülerini alarak ürettiği kişiselleştirilmiş kotları mevcut fiyatın çok az daha üstüne satmaktadır. Motorola, müşterilerinin kendi arayüzlerini tasarlamalarına imkan tanımaktadır. Yirmi dokuz milyondan fazla frekans, ton, renk, yazılım, klip ve diğer eleman kombinasyonundan

oluşturulabilen bu kişisel ürünleri rafta satılanlarla aynı fiyata sunmaktadır. Japonya’da, Panasonic firması sürücünün ölçüsüne ve istediği renklere göre (11 milyondan fazla olası ürün) bisiklet satmaktadır.

Kitlesel-bireyselleştirme özellikle yapı endüstrisi alanında kendini gösterir, çünkü binalar oldukça kendine has ve kişiselleştirilmiş ürünlerdir. “Kişisel” ev, gelecekte toplumun daha geniş kesimlerine ulaşacaktır. Eninde sonunda, tüketici ürünleri endüstrisinde geliştirilen teknolojiler ve kişiselleştirme metotları yapı ve bina üretiminde de uygulanacaktır. Binalarda, elemanlar bu yolla optimum çeşitliliği sağlayacak şekilde üretilebilirler. Bu çeşitlilik, kendine has tasarlanmış ve boyutlandırılmış yapısal elemanlar, değişen pencere şekil ve boyutları gibi bina içinde değişen yerel şartlara uyum sağlamayı kolaylaştırır. Dijital olarak yönlendirilmiş üretim mimaride değişik bir mantığın gelişmesine neden olacaktır.

Bernard Cache’e göre nesnelere artık tasarlanmak yerine hesaplanacaktır (Cache, 1995). Bu yaklaşım değişen eğimlere sahip yüzeylerden oluşan karmaşık formların tasarlanmasına olanak tanıyacaktır. Değişik seri şekillerin, dolayısıyla kitlesel-bireyselleştirmeyi ve kendine has ürünlerin endüstriyel üretimini mümkün kılacak şey tasarım parametrelerinin modifikasyonudur. Mimaride ve yapı üretiminde kitlesel-bireyselleştirme uygulamaları çok geniştir. Catherine Slessor’un gözlemine göre “ kendine haslık nosyonu, artık tekrarlılık kadar ekonomik ve elde edilmesi kolay olması nedeniyle Modernizmin yalınlaştıran varsayımlarına meydan okur ve mekanikten ziyade elektroniğin yaratıcı yetenekleri üzerine kurulmuş yeni bir post-endüstriyel potansiyel önerir”(Slessor, 2000). Modernist estetiğe göre, ev imal edilen bir üründür (içinde yaşamak için bir makine). “Ev” ‘in kitlesel üretimi en iyi tasarımları çok geniş bir piyasaya taşıyacak ve artık iyi tasarım yalnız elit kesime yönelik olmayacaktır. Endüstriyel tasarım, artık her amaç için kullanılabilir standart bir ürünün üretimi demek değildir. Kitlesel-bireyselleştirmenin teknolojisi ve metotları, kendine has veya benzer yapıların ve yapı elemanlarının yaratılmasına ve üretimine olanak tanır.

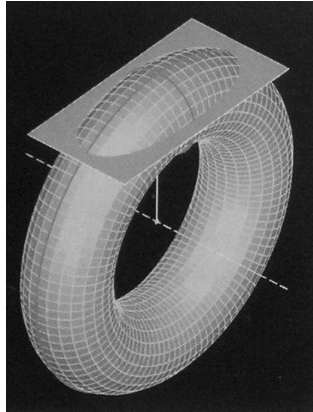


Şekil 4.22 Bernard Cache’in tasarladığı “Objectile”. (Cache, 1995)

## 5. DİJİTAL MİMARLIKTAKİ TASARIM VE ÜRETİM SÜRECİNİN ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Alan çalışması olarak dijital tasarım ve üretim tekniklerini projelerinde uygulayan iki ayrı ofisten üç proje incelenmiştir. Bu iki firma mimarlık disiplininde önemli yerlere sahip öncü mimarların önderliğinde çalışmalarını yürüten Foster and Partners ile Gehry Partners ofisleridir.

Foster and Partners, dijital tasarım ve üretim tekniklerini etkin şekilde kullanan bir mimarlık ofisidir. Bu alan çalışmasında Foster ofisinin tasarım geliştirme amaçlı modelleme üzerine uzmanlaşmış başka bir ofis olan SMG (Specialist Modelling Group) ile ortak yürüttükleri iki projeden bahsedilecektir. City Hall (Londra, 1998-2002) ve Chesa Futura (St Moritz, 2000-03) projelerinin ortak özelliği proje sürecinin özellikle analiz çalışmalarıyla yürütülmüş olmalarıdır. Tasarım sürecine etki eden, karşılaştırmalı performans çalışmalarının iyi tanımlanabilmesi için bina geometrisi üzerinde tam kontrol sağlanmasına büyük önem verilmiştir. Kurulan eğrisel geometri üzerine panellerin giydirilmesinde kolaylık sağlayan yama-torus (torus-patch) konstrüksiyonu iki proje için de benimsenmiştir. Yama-Torus, yüzük şeklindeki bir katıdan elde edilen dairesel bir kesittir. Yama-torus biçimi düz bir panel çözüm olmasının nedeni kesilmeden devam eden bir merkezden alınan devamlı ve kıvrılma yapmayan bir biçim olmasıdır.



Şekil 5.1 Torus-patch. (Kolarevic, 2003)

İncelenen iki proje de eğrisel geometriyi kontrolde tutar ve bunu gerçekleştirirken alışlagelmişin dışında çözümler üretirler.

Üçüncü proje dijital teknolojileri tasarım ve üretim sürecinde ilk kullanan ofislerden olma özelliğini taşıyan Frank Gehry ofisine aittir. Bu projenin önemi bir çok farklı disiplinlerde çalışan ekibin üretim sürecinde bir arada çalışma başarısını gösterebilmesidir. Tasarım süreci

Gehry ofisinde tamamlandıktan sonra birlikte çalışılan ekiplerin bilgisine ve tecrübesine göre çizimler sürekli olarak güncellenmişlerdir. Üretim aşaması, birbirinden farklı sorumluluklara sahip ekiplerin çakışmaması için önlemler alınarak kontrol altında tutulmuştur.

### 5.1 GLA (Great London Assembly) Merkezi – City Hall

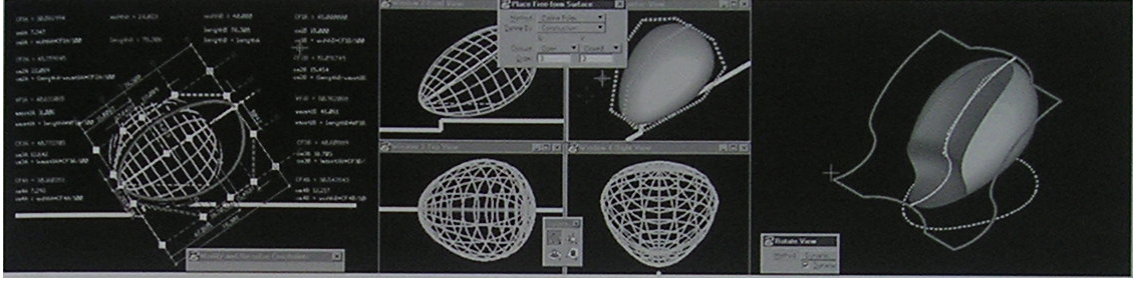
SMG'nin kurulmasından sonra, Foster stüdyosu Londra'daki *City Hall* projesi tasarım yarışmasına katılmışlardır. Konumu nedeniyle kritik önem taşıyan proje, Thames Nehri'nin üzerindeki *Tower Bridge*'in hemen karşısındadır. Demokratik süreçte toplum gelişiminin ifadesi olacak bu projede binanın çevresine duyarlı olması beklenirken aynı zamanda şehrin sembolik işareti olma niteliğini taşıyabilecek bir yapı inşa etme fırsatını sunmuştur. Yarışmayı kazandıktan sonra tasarım ekibi projenin gelişim planında kavramsal sınırlarını uzatmak için cesaretlenmiştir.

Bina büyük kitleleri misafir eden demokratik çalışma sürecini toplum ile yakınlaştıran kamusal bir alandır. Bina, nehrin güney yakasındaki bir Foster tasarımı olan *More London* master planının hemen yanında konumlanmaktadır. Bu planın özelliği, dükkanlar, kafeteryalar, ofis binaları ve kamusal alanlardan oluşan karışık işlevlerin zengin bir birleşimi olmasıdır.

Su altına gömülmüş mavi kireç taşı ile kaplanmış geniş bir açık hava tiyatrosu, alt zemin seviyesindeki kamusal alandaki bir kafeteryaya yol gösterir.

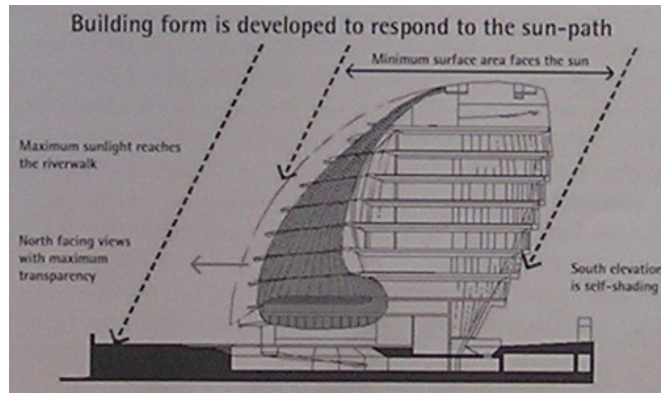
#### Tasarım

City Hall projesinin en ilginç yönlerinden biri yarışma aşamasındaki başlangıç fikirlerinin nasıl geliştiği ve enerji çözümünü sağlayıp aynı zamanda gerçekten inşa edilebilecek bir biçime ulaştığıdır. İlk baştaki konsept nehre bakan geniş bir “lens” yaratmaktı. Bu aşamada biçim biraz “gelişigüzel” gözükmese de rağmen daha sonra çakıl taşına benzerliğinden esinlenilerek, tanımlanmış bir geometriye oturan “parametrik bir çakıl” yaratılmaya çalışılmıştır. Başlangıçta bir küre ele alınarak projenin temel tasarım prensiplerine uygun olarak deforme edilmeye başlanmıştır. Bu işlemlerde, animasyon yazılımı yerine, ofisin standart (CAD) sistemi olan *Microstation* kullanılmıştır. Bu sayede elde edilen sonuçlar tasarım aracı olarak kullanılmak üzere doğrudan tasarım ekibine aktarılabilirdi. Öncelikle “minimal kontrol poligonu” türetilerek daha sonra orantılı ilişkileri kullanımıyla biçimi düzenlemek üzere bir parametrik donanıma bağlanmıştır. Böyle bir parametrik modelin hazırlanması birkaç saat alırken, tasarım gelişimi aşamalarında alternatif üretmek üzere aylar boyunca sıklıkla kullanılmaktadırlar.



Şekil 5.2 'Parametrik Çakıl' ın bilgisayar ortamında tasarlanmış modeli. (Kolarevic, 2003)

Orantılı bir kontrol mekanizması, tasarımcıya el ve gözü arasındaki uyumu sağlayan bir çalışma ortamı sunar. Sistem verilen değerleri parametrik modele uygularken bir yandan da elde edilen sonuçları hafızasına kaydeder. Uygun bir şekil bulunduğu anda, kontrol poligonu seçip çıkartılarak, ileriki aşamalarda kullanılmak üzere katı bir model meydana getirilmesi için kullanılır. Bu yöntemle üretilen çakıl benzeri biçimin dikkate değer özellikleri vardır. Çakılın ana aksı, öğlen güneşine dönük yönlendirildiği zaman biçim minimum yüzey alanında güneş almaktadır. Yan cepheler de, az eğimle vuran doğu-batı güneşini minimum derecede alacak eğrisel biçime sahiptirler. Nehre yönelen kuzey cephesi ise neredeyse dairesel bir profil oluşturur.



Şekil 5.3 City Hall'un güneş aydınlatma diyagramı. (Kolarevic, 2003)

Devasa büyüklükteki "lens" in arkasında bir atriyum yer almaktadır. Bu atriyumda, derin bir boşluk içinde kamuya açık müzakere salonu bulunur. Atriyumun başlangıç şekli, kırpık bir yüzey tanımlayacak şekilde basit eğrilerin işlenmesiyle oluşturulmuş, daha sonra *boolean* operasyonu kullanılarak binanın ön kısmının kesip atılması için kullanılmıştır.

Katı modeli dikey düzlemlerle dilimlemek suretiyle, kat düzlemleri çıkartılarak genel planlama stratejilerini belirlemek üzere kullanılmışlardır. Eliptik bir biçimde beliren kat düzlemleri elipsin uzun aks yönünde kısalarak dairesel kat düzlemi, diğer aks yönünde

uzatılarak ise binanın tepesine doğru bir geçiş elde edilmiştir.

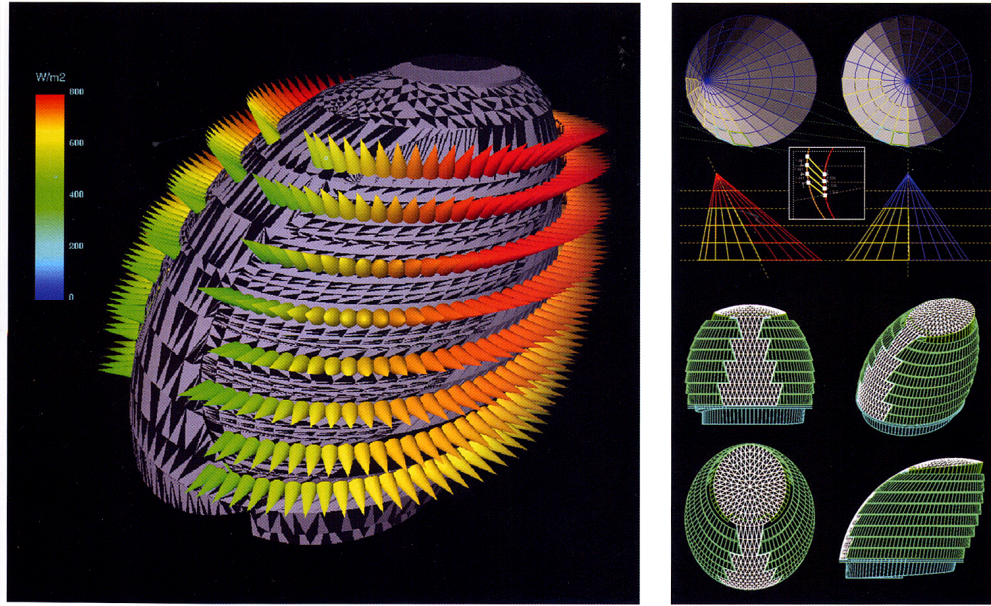
“Lens”in cam yüzeylerin giydirilmesi için detay çizimleri oluşturulmuştur. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak CAD sistemine ve CNC makinelerine dayanmaktadır. Eğrisel biçimin oluşturduğu birbirinden farklı birçok baklava şekilli panel boyutu için bilgisayar destekli sayısal kesim (CNC) makinelerinden yararlanılmıştır. Camlanacak yüzeylerin tanımlanabilmesi için *Torus-patch* yüzeye baklava şekilli ızgara sistemi uygulanmıştır. Oluşan geometriyi fiziksel bir model üzerinde test etmek için ise paneller CNC makinelerinde kesilerek mevcut çerçeveye tutkallanmışlardır. Hatasız sonuçlar alındığının görülmesi sayısal üretim teknikleriyle inşaatın gerçekleştirilebileceğine dair hisleri arttırmıştır.

Tasarım ekibi, SMG ve maket imalathanesi arasındaki diyalog beraberinde kartezyen-dışı ortamda nasıl çizim yapılacağı gibi önemli soruları getirir.

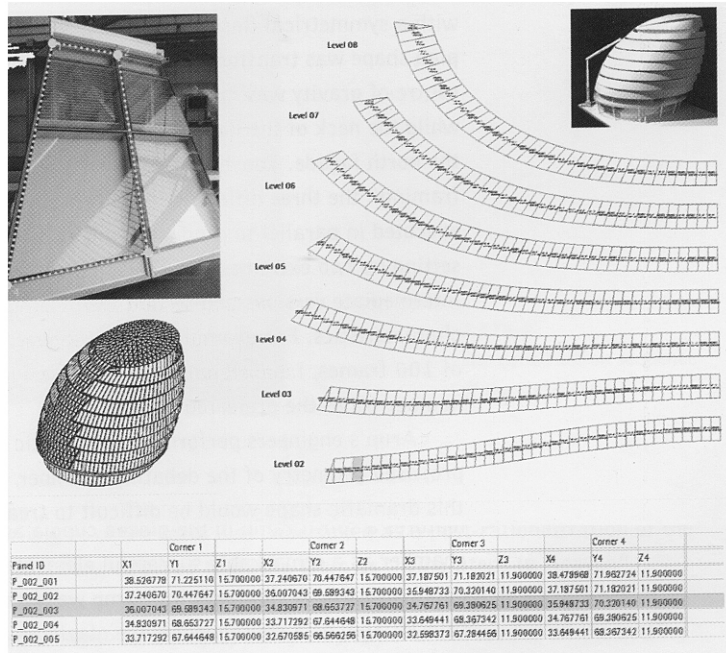
### **Uygulama öncesi hazırlık**

City Hall projesinin gelişiminde enerji araştırmalarının analizi önemli bir yer tutmuştur. İlk aşamadan itibaren enerji tasarrufu sağlayan bir bina inşa etme ana prensiplerden biri olarak belirlenmiştir. Bina cephesindeki her bir panelin bütün bir sene boyunca güneşten aldığı enerjinin miktarını belirlemek üzere çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu güney cephesinin beklendiği üzere kendi gölgesini yaratabildiği görülmüştür. Doğu ve batı yönündeki yüzeylere gelen eğik geliş açıları yeterli miktarda enerji kazancı sağlamaktaydı. Fakat nehre bakan ve atriyumun açıldığı kuzey yüzeyindeki camlı paneller, “lens”e tasavvur edildiği kadar yeterli korunmayı sağlayamıyorlardı. Tasarım ve analiz sonuçları arasındaki çakışma, camlanmış alanlarda önemli radikal değişiklikleri gerektirmiştir. Aynı analizler sonucu çakılın tepesinin solar paneller koymak için ideal yüzey oluşturduğu görülmüştür.

Bir sonraki adım olarak kuzey yüzeyinde yapılacak radikal değişiklikler üzerinde çalışılmıştır. “Lens” olmadan atriyumla ilişkili *torus-patch* çözümü en ideal çözüm olmaktan uzaklaşacağı düşünüldüğünden Foster ekibi yüzeyi tekrar ele alarak uygun bir geometrik çözüm bulma yoluna gitmiştir ve çözümü tasarım yüzeyini bir sürü kesilmiş koni içine alarak yeniden rasyonalize etmekte bulmuştur. Bu prensibi uygulayarak dairesel kat tablaları arasındaki yüzeyleri - boyutlarını önemsemeden- camla giydirildiğinde panellerin düzlemsel kaldıkları fark edilmiştir. Daha sonra bir yazılım makrosu geliştirilerek programlamayla ilerleyebilecek bir süreç sağlanmıştır. Bütün cam yüzeylerin birbirlerine düğümlendiği otomatik bir çizelge hazırlanmıştır. Bu sayede gereken çizimler üreticilere ya da müteahhitlere verildiğinde kolaylıkla fiyatlandırılabilen, üretilebilen ve uygulanabilen bir sistem elde edilmiştir.



Şekil 5.4 City Hall binasına düşen güneş eğrileri için yapılan çalışma ve bir yığın kesilmiş koniye dayanan cam güdirmeye çözümü. (Kolarevic, 2003)

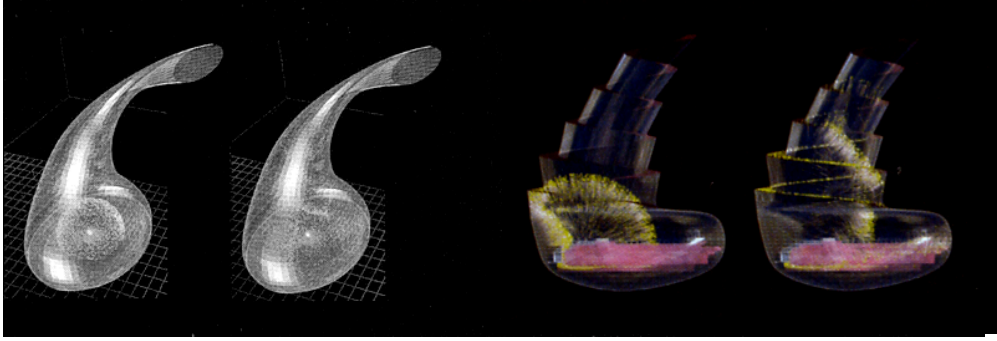


Şekil 5.5 Cam yüzeyler için oluşturulan bilgisayar tabanlı çizelge ve üretilen panel prototipi. (Kolarevic, 2003)

City Hall'un bir ileriki aşaması atriyumun ofis bölümleri ile kamusal alandan ayıran iç camlarının kaplanmasıdır. Camlı yüzey, dar boyunlu bir şişe biçimine benzer. Eğri yüzeyli bina biçimi nehir yönünde maksimum güneş ışığını alırken, çatı güneşe minimum geçiş vermektedir, şeffaf camlar kuzey atriyumunu kısıtlandırırken güney yönü kendi gölgesini oluşturmaktadır. Tüm bu durumların ortasında yer alan bu dar boyunlu şişe biçimi, tanımına,

inşaatına ve performansına uygun eşit dağılımlı güçlü bir rasyonele ihtiyaç duyar.

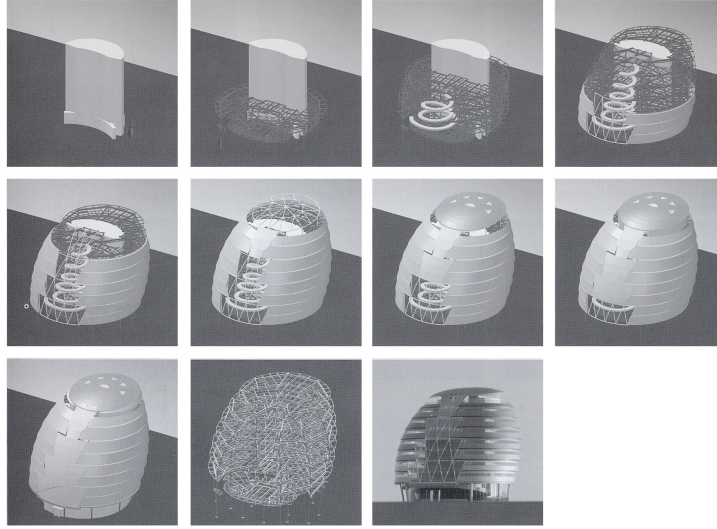
Bu amaçla hareketle şişe biçimini ifade eden dijital bir model hazırlanmıştır. Simetrik bir biçimden başlayarak modellenen şişe, dairesel plan şemasını eliptik bir şemaya dönüştürmüştür. Ağırlık merkezi tabana alınan şişe biçiminin tepe kısmı kuzey cephesinin eğrisine oturacak şekilde bükülmüştür. Şişe biçiminin içinde yer alan Müzakere Salonu için akustik analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucu yansıyan bütün seslerin konuşmacıya geri döndüğü saptanmış ve salonun akustiği özel bir sistem gerekli görülmüştür. Şişenin etrafında dolaştırılan spiral rampa ve sonuç olarak dışarıya doğru eğrilen cam panelli yüzey seslerin bambaşka bir şekilde yansımalarını sağlar. Bu verilerden hareketle şekli değiştirilen şişenin ileri akustik analizleri yapılarak ideal sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 5.6 City Hall müzakere odası için yapılan akustik analiz alternatifleri. (Kolarevic, 2003)

Cam yüzeyi kaplama, enerji tasarrufu, akustik analizi vb. bir dizi konu için sayısız dijital ve fiziksel model çıkartılmakta, süreç tam bir ekip çalışması içinde yürütülmektedir. Benzersiz biçimler yaratmak ve bu biçimlerin getirdiği sorunlara çözüm bulabilmek için hali hazırda bulunmayan araçlar üretilir.

Tasarımdan üretim ve uygulama aşamasına geçilmeden önce tüm tasarım süreci tekrar gözden geçirilmiş ve bir dizi prosedür hazırlanmıştır. Bütün bina bir dizi yapım bileşeninden oluşmak üzere yeniden analiz edilmiştir. Bu bileşenler; beton çekirdek, çelik strüktür, rampa, atriyum, cam giydirme giriş, ön yüzü baştan başa kaplayan kafes sistemi ve ofis bölümünün kaplamasıdır.

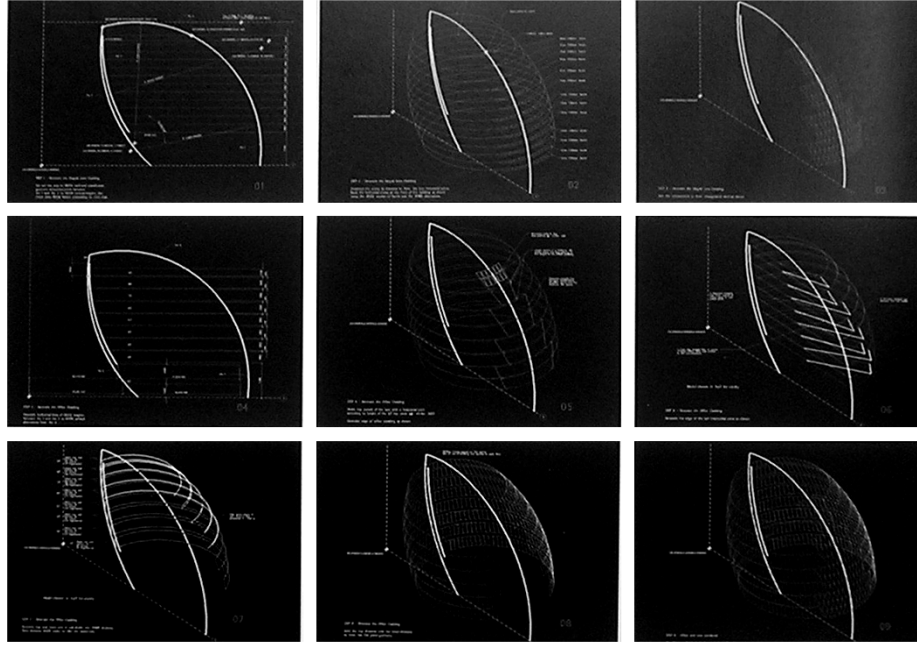


Şekil 5.7 City Hall için yapılan inşaat sıralaması. (Kolarevic, 2003)

Her bileşen için farklı işler ve değişik müteahhitler sorumlu olduğundan, inşaat organizasyonunu düzenleyebilmek için, yüklenici firmalara binanın geometrisini anlatmak gerekiyordu. Biçimin ileriki bir analizi birbirinden bağımsız dokuz adımda Geometri Metodu Anlatımı (Geometry Method Statement) olarak düzenlenmiştir.

Bilgisayar yardımıyla serbest biçimli eğriler ve yüzeylerle çalışmak çok kolayken, bina biçimi yay tabanlı geometriye indirgenmiştir. Bu kararın sebebi, dijital tanımları statik olan bazı materyallerin inşaat sırasında dinamik bir davranış göstermeleridir. Örnek olarak değişen, hareket eden ve deforme olan kalınlıklara sahip malzemelere uygulanacak tolerans ayarları için stratejiler belirlenmelidir. CAD sistemleri serbest biçimli eğrilerle çok rahat çalışabildiği gibi her toleransa karşı hatasız davranan sapsmalar üretebilir. Buna rağmen bu sapsmalar kesin değildir ve sistem giderek daha çok veri ürettikçe, işlem sınırları giderek ilerlemekte ve sistem çok yüklenecek ideal performansında çalışmamaktadır. Serbest eğrilere nazaran daha basit bir geometri olan yayın sadece bir merkezi vardır bu indirgeme hem fabrika da hem de şantiyede daha az sorun çıkarmaktadır. Yay-tabanlı geometriyi rasyonelize etmek çok vakit alan bir işlem olmasına rağmen yüklenici firmalar için oluşturulan Geometri Metodu Anlatımı sayesinde basit trigonometri ile tüm proje açıklanabilmiş ve üretim ile uygulamada kolaylık sağlanmıştır.

Yüklenici firmalar kendi CAD sistemlerinde Geometri Metodu Anlatımına uyacak şekilde dijital modeller oluşturmuşlardır. Bu sayede karşılaşılabilecek sorunlara önceden önlem alınabilmiştir.



Şekil 5.8 “Lens” ve Ofis bölümü cam giydirmesi için yapılan üretim şemaları.  
(Kolarevic, 2003)

### Uygulama

İnşaat sırası spesifik bir şekilde sıraya oturtulmalıdır. Çünkü binanın strüktürü geriye doğru dayanmaktadır, katlar eklendikçe de giderek sapsmaktadır. Bu dönüşümler güvenilir bir şekilde öngörülemediği için yerinde gözlemlenmeli ve ölçülmelidir. Aynı zamanda farklı sorumluluklara sahip yüklenicilerin birlikte çakışmadan çalışmalarını yürütebilmeleri için bir hareket stratejisi belirlenmelidir.

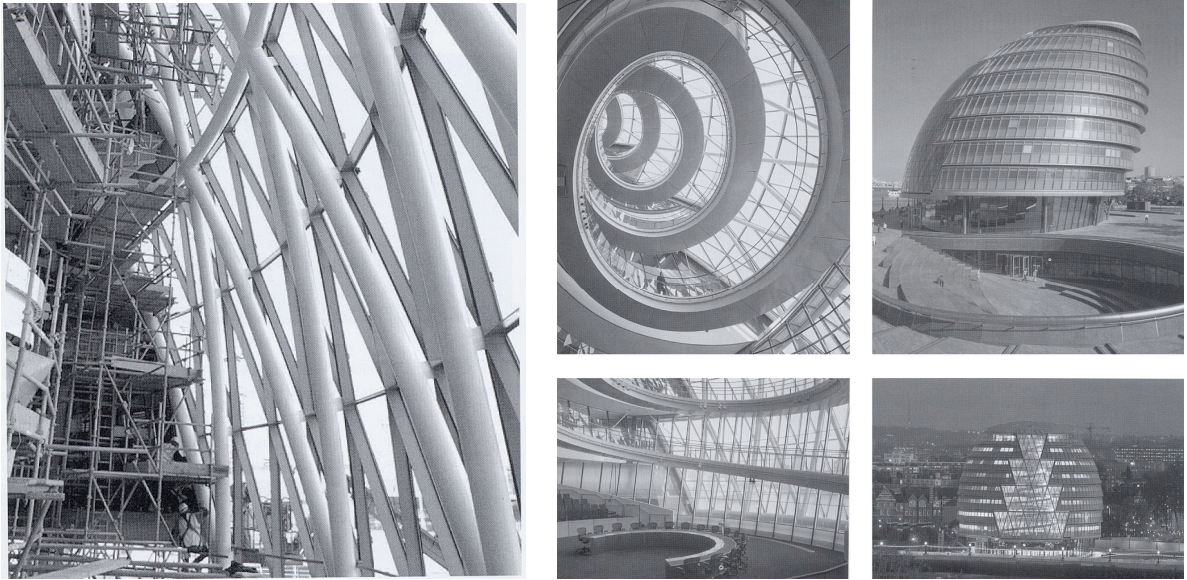
Bu rolü şantiye organizasyonunu yüklenen *Warner Land Survey* firması almıştır. Firma öncelikle çelik işlerinden sorumlu müteahhitle görüşerek çelik imalatının kontrolü için tavsiye almışlardır. *Warner* ekibi tüm diğer üreticilerle de irtibata geçerek denetim işlemlerini dijital modellere taşıdı. Bu işlemler üç farklı yönde gerçekleşecekti; karşılaştırma için üretilecek dijital bir model, tolerans hesapları için imal edilecek bir model ve sapsmalar (deflection) için inşa edilecek bir model.

Binanın sapsmalarının kontrolü cam panellerin yerleştirilmesi açısından önemliydi. İnşaat sırasındaki konumlanmaları denetleyebilmek için Warner çelik strüktürün her bir parçasını fabrikada hologramlarla işaretlendirmiştir. Her hologramın koordinatı kaydedilerek veri tabanına aktarılmıştır. İnşaat sürecinde bu veri tabanı panellerin milimetrik yerleştirilmesinde kullanılmıştır. Uygulamadan sonra her bir panel hava koşulları ve sağlamlık testlerine tutulmuştur.



Şekil 5.9 İnşaat alanında giydirme cam panellerin uygulanması. (Kolarevic, 2003)

Son tasarım olarak atriyumun cam giydirmesi de diagrid strüktüre oturan özel bir imalat aşamasından geçmiştir. Geometri Metodu Anlatımından hareketle dijital üretim teknikleriyle oluşturulmuştur. Tamamlanmış bina verilen bütçeyi aşmadan istenen zamanda teslim edilmiştir.



Şekil 5.10 Atriyumun cam giydirme panelleri için hazırlanan strüktürün uygulanması.

Şekil 5.11 Tamamlanmış City Hall.

(Kolarevic, 2003)

## 5.2 Chesa Futura Apartmanı

Araştırılan ikinci proje, birinci projede olduğu gibi Norman Foster'ın ofisinde tasarlanan St Moritz'deki *Chesa Futura* apartman bloğudur. City Hall projesinde olduğu gibi karmaşık geometrilerden oluşmaktadır ve yüksek-teknoloji yapım tekniklerini kullanmıştır, fakat farklı olarak ahşap malzemeden üretilmiştir. İsviçre'nin popüler kayak merkezlerinden biri olan St Moritz'de konumlanan bu projede çevreye duyarlı bir bina inşa etmek üzere geleneksel, yerli malzemelerden yararlanılmıştır.

Bina sekiz bacak üzerine oturtulmuş balkabağına benzer bir biçimdedir. Bu biçim, alana, yerel hava durumlarına ve planlama yönetmeliklerine yaratıcı bir bakışla yaklaşır. İki kat yüksekliğindeki ayaklara oturan bina bu sayede yaşanan her katına mevcut binaların üzerinde yükselerek manzara vermektedir.

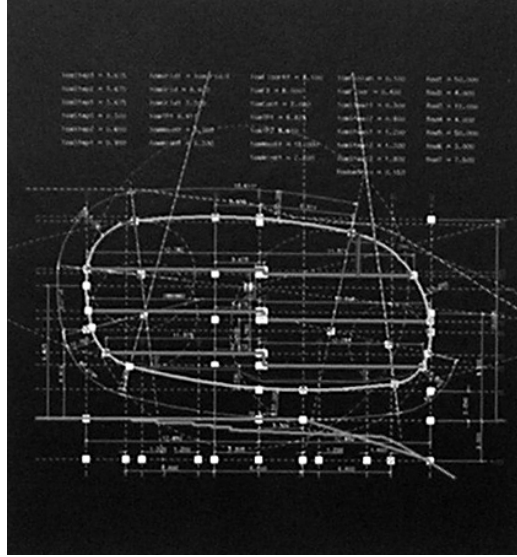
Binanın eğrisel biçimi ise planlama yönetmeliklerine karşı bir cevap niteliğindedir. Böylece düz çizgilerle inşa edilecek bir binanın yaratacağı fazladan yükseklikten kaçınılmıştır.



Şekil 5.12 Chesa Futura'nın dijital modeli. (St Moritz, 2000-03)

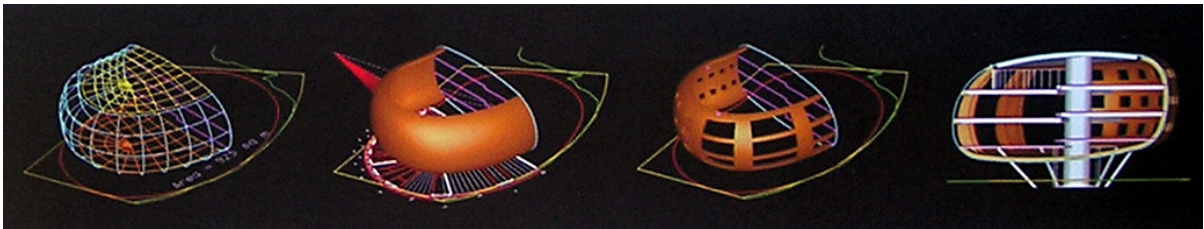
### Tasarım

Eğrisel biçim, arazinin kısıtlamalarıyla boğuşurken aynı zamanda sağladığı imkanlara cevap vermeye yönelik çalışmalar sonucu çıkmıştır. Tasarımın ilk aşamalarında çizilen eskizler yorumlanarak parametrik bir model oluşturacak şekilde biçimlendirilmiştir. Böylece tasarım ekibi ilerleyen aşamalarda yapılacak değişiklikler bu kısıtlar ve imkanların verdiği yönlerden sapmadan ilerleyebilecekti. Bina kesitinin parametrik ifadesi aylarca süren çalışmalarla sürekli olarak değiştirilmiştir. Binanın kısıtları araziye bu eğrisel biçimin oturmasıyla meydana gelen kat alanındaki kayıplardır.



Şekil 5.13 Chesa Futura kesitinin parametrik tanımlaması. (Kolarevic, 2003)

Biçimin nispeten basit bir biçimi olmasına karşın kaplama tekniğiyle ilgili sayısız yaklaşım üretilebilmektedir. Kontrollü bir şekilde ilerleyebilmek için eğrisel biçim, üç derecelik eğimli açılarla ilerleyen iki düzlem tarafından kesilmiştir. Paralel kesit düzlemlerini kullanılması duvar elemanını üst taraftaki çatıdan ve binanın oturduğu tabakadan ayırır. Tasarımın ilerleyen aşamalarında kutupsal bir ızgara sistemiyle (polar grid) oluşturulan bina duvarı bir kabuk olarak görülmeye başlanmıştır. Bu kutupsal ızgara, pencere gibi yapı elemanlarını eğrisel biçime yerleştirebilmenin en uygun yolu olarak belirir. Tanımlanan dört kesim ve her bir kesime ait alt bölümler, bu alt birimlere pencere konumlanmasına veya kaburga oluşturulmasına olanak tanır. Böylece uygun bir kodlama ve referans sistemine dayanan ve bu sayede de kontrol altında tutulabilen esnek bir tasarım süreci elde edilmiştir. Pencere açıt yanaklarını kesici yüzeyler olarak faydalanılarak bir sonraki aşamada *boolean subtraction* metotları delinmiş kabuğu yaratmak üzere kullanılmıştır. Kat düzlemleri ise manzaraya yönelik olarak kesite eklenmiştir. Ana prensiplerle şekillenen başlangıç tasarımı oluşturulduktan sonra mühendisler tarafından sayısal ve fiziksel yöntemler kullanılarak geliştirilen tasarı yapım sürecine hazırlanmıştır.



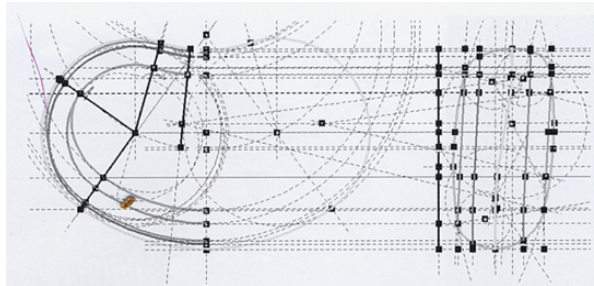
Şekil 5.14 Bina biçiminin dijital gelişim modelleri; dilimlere ayrılmış yüzey modeli, kutupsal düzleme oturtulmuş kabuk modelinden pencere deliklerinin çıkartılması ve kat düzlemlerinin

modele eklenmesi. (Kolarevic, 2003)

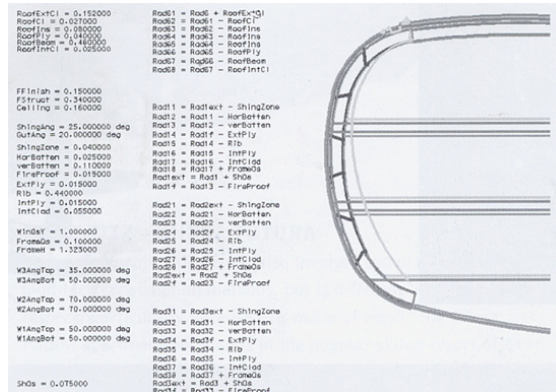
### Uygulama öncesi hazırlık

St Moritz’de kışın kendini gösteren zorlu hava koşulları sadece altı aylık bir inşaat süresine izin vermektedir. İlk olarak beton tabakalı çelik tablanın yapımı öngörülerek şantiye dışında imal edilecek olan bütün duvar sisteminin kış süresince imalatı planlanmıştır. Böylece bir sonraki baharda duvar ve çatı hızlıca yerine uygulanabilecek ve iç mekan inşaatı bir sonraki kış bitirilebilecekti. Bina inşaatını mümkün kılan tek sistem olarak beliren bu sürecin kesin bir şekilde planlanması gerekmektedir.

Kabuk geometrisinin mantığa oturtularak üzerinde işlem yapılabilmesi için *parametrik modelleme* yönteminden faydalanılmıştır. Plan ve kesit arasındaki ilişki çizim tahtası mantığıyla yazılım makroları kullanılarak kurulmuştur. Oluşturulan makro kutupsal koordinat sistemine oturtulmuş bir cetvel gibi çalışır. Bu sayede plan çizimi kesimleri taranır ve bitişik kesiti izleyen eğrilere atanan ölçümler kaydedilir. Böylece parametre dizileri yaratılarak kural tabanlı duvar kesitine aktarılır ve kabuk üzerinde herhangi bir konuma uyarlanır. Makro işlemi için iki ayrı durum vardır: yapısal çerçeveyi kurmak için birbiriyle ilişki halindeki bir kaburga sisteminden oluşan tasarı yüzey kabuğu kullanmak ya da detay çizimleri için kullanılacak çizim şablonları için bir matriks ortaya çıkartmak.



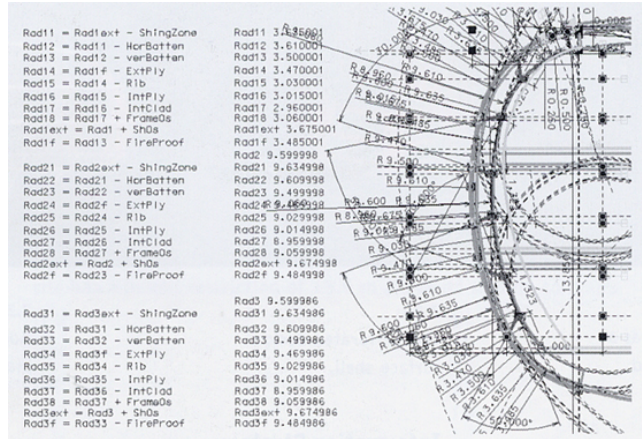
Şekil 5.15 Parametrik olarak kenetlenmiş plan ve kesit. (Kolarevic, 2003)



Şekil 5.16 Duvar kesiti için hazırlanan parametre dizisi. (Kolarevic, 2003)

Tasarım ilerledikçe, her bir ekip üyesi parametrik denklemlerin farklı bir dizisinden sorumlu hale gelirler. Bu parametrik denklemler yapımda kullanılan malzemenin inceliğiyle ilişkilidir. Bir ekip üyesi çatı üzerinde, ikinci üye strüktür ve bitişlerle ilgili çalışırken, üçüncü üye, ince tahta parçaları, yangın geçirmezliği, kontrplak kaplamasından, dördüncü üye ise bütün pencere detaylarından sorumludur. Aynı parametrik şablonlarla çalışan tüm ekip elemanları tasarım yönüne cevap vermeli ve proje gelişimini düzenlemelidirler.

City Hall projesinde olduğu gibi parametrik geometri, kasti olarak -fakat farklı nedenlerden- yay-tabanlıdır. Evresel Prefabrikasyon (*prefabrication*) stratejisi, Almanya'daki bir fabrikanın CAD/CAM makineleriyle uyumlu nitelikte bir katı modeli gerektirmekteydi. Bu teknolojiyi başarılı bir şekilde kullanabilmek için katı modelleme sürecinin temelinde yatan yazılımın kullandığı matematiği iyice anlamak gerekliydi. Yüzeyin serbest biçimli özelliğine rağmen aslında yamalardan (patch) oluşan analitik bir yüzeydir. Bu yamalar sınırlar arasında mükemmel bir teğet dokunmaya sahip yaylardır.



Şekil 5.17 Yay-tabanlı parametrelerin ışınsal düzlemde gösterimi. (Kolarevic, 2003)

Analitik bir yüzey oluşturmak için geliştirilen katı modelleme yazılım makroları, kural tabanlı konstrüksiyondan bütün yayları türetebilirler ve onları üç boyutlu düzleme taşıyarak, sapmalar (offsets) için girilen parametrik değerlere dayanan kabuk ve kaburga geometrisini otomatik olarak oluşturabilirlerdi. Sonuç, geri kalan aşamaları mühendislere bırakılan bir tasarım yüzeyi olarak, kesin mantıksal tanımlaması yapılmış bir kabuktur.

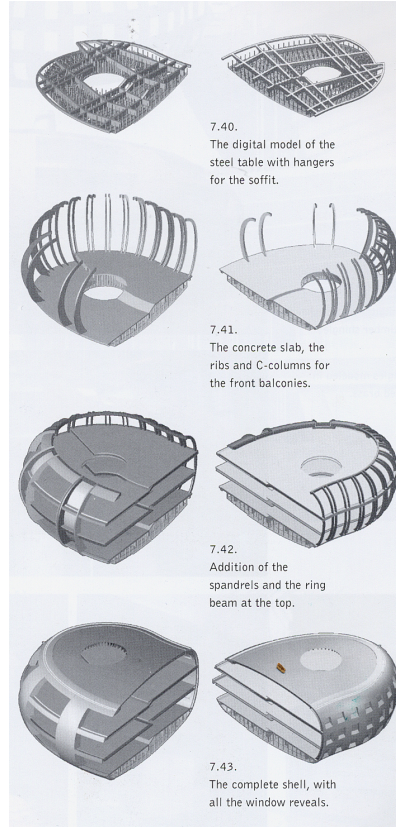
Bu aşamada tasarım yüzeyi ile ilgili herhangi bir ilave değişiklik yapmama kararı alınmıştır. Daha sonradan bir bileşen eklemek, kutupsal ızgara içinde herhangi bir pozisyon seçilip, bir düzlem yaratılarak ve bu düzlemle, bileşeni yerleştirmek için radyal bir sapma belirlemek

üzere tasarım yüzeyini kesistirmekle mümkündür. Boşlukta bileşeni yerleştirebilmek için kesitlerden oluşan bir matriks oluşturulmalıdır. Bu matriks her bir kaburga parçasının konumu için çizilir ve böylece imalathanede kullanılacak şablon çizimler üretilir. Kesit ve planın ikisinin birden değişmekte olduğu durumlarda, projenin geç bir aşamasında dahi, tasarı yüzey kabuğu tutarlı ve güvenilir bir şekilde yenilenebilir. Yazılım araçları tasarımı sıralı bir süreçten çıkartarak döngüsel bir süreç olarak evrilmelerini sağlamışlardır.

### **Uygulama**

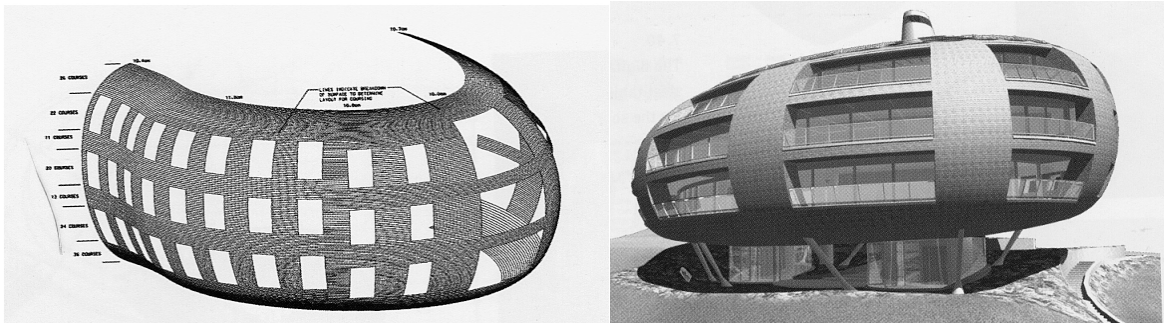
Foster stüdyosunda, kritik tasarım kararları halen fiziksel modeller ile yapılan çalışmalarla alınmaktadır. CAD sistemi ilk başta maket yapmak üzere imalat çizimleri yaratırken şimdi sayısal modellerden yola çıkılarak projeler tasarlanmakta, CNC kesim makinelerinin yardımıyla imalat yapılmaktadır. Foster'a göre tipik bir proje çalışmasında her araçtan faydalanılır; el çizimleri, *render* edilmiş imajlar, CNC makinesinde kesilmiş maketler ve eskiz modelleri vb.

*Chesa Futura*'nın ikinci gelişimi, binanın montaj sürecini test etmek üzere tasarlanan gerçekçi bileşenlerden oluşur. İlk olarak yer seviyesinden başlayarak modelin çelik tablası ve tabanı asacak askıları, beton tabakası, kaburgaları ve ön balkonlarda yer alan C-kolonları, daha sonra kemer üstü dolguları ve en son olarak da tepedeki halka kirişi oluşturulmuştur. Binanın tüm pencereleri özdeş ve "Velux" marka çift camlı birimlerdir. Her pencerenin duvarla birleştiği açıt yanağı birbirinden farklıdır fakat pencerelerin tekrar eden tipte olmalarından elde edilen mali kazancın yanında bu durum önemsiz olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.18 Bina modelinin uygulama evrelerinin tasarımlarını gösteren modeller.  
(Kolarevic, 2003)

Dijital modeldeki her gelişme bir sonraki fiziksel modele yol gösterir. Bu aşamada kereste kiremitlerin pencere açıklıklarıyla ilişkilerini kontrol altında tutmak gerekmektedir. Yazılım makroları tarafından yol gösterici çizgiler oluşturulur, bu çizgilerden faydalanılarak CNC makinelerinde kesilen yüzey örüntüleri daha sonra makette uygulanırlar. Kereste kiremitleri ölçekli bir makette gösterimi yüksek dereceli bir duyarlılık ve maketi yapanların sabırlı çalışmalarıyla yürür. Maket yapımında ensiz tahta parçalarının nasıl olacağını göstermek üzere daha önceden sayısal ortamda hazırlanmış yol gösterici bir diyagrama başvurulmuştur.

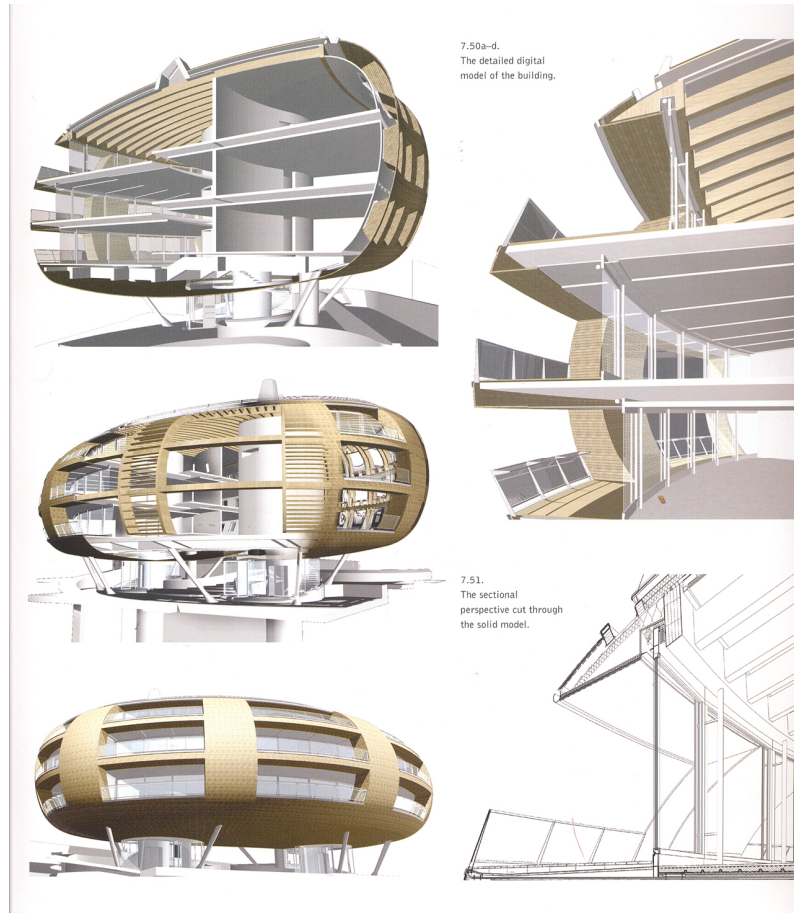


Şekil 5.19 Kereste yerleşimleri için sayısal ortamda hazırlanmış diyagram ve kereste kiremitleri gösteren dijital ve fiziksel modeller, (Kolarevic, 2003)

Sıra fabrika imalatına gelindiğinde, gerçek büyüklüklerindeki kaburga parçaları, ince tahta katmanları basınç altında birbirlerine tutkallanarak CNC üretimiyle imal edilmişlerdir.

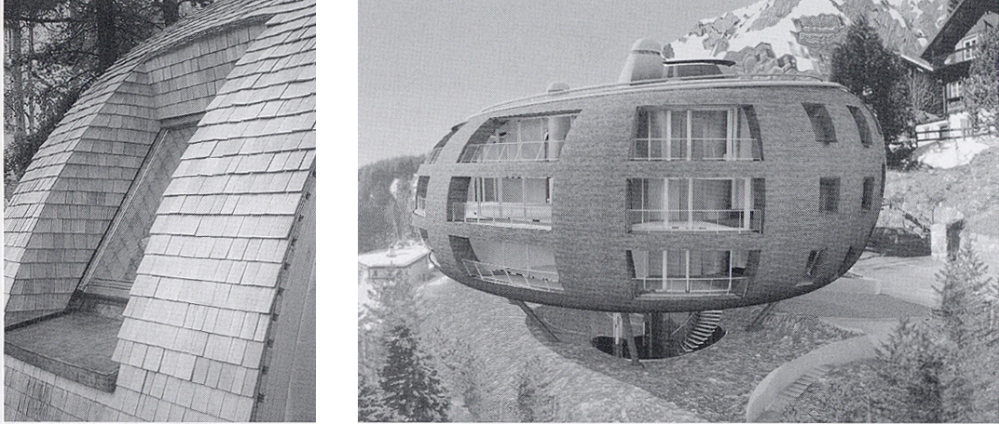
Bu malzemeye, betonun dövülgenliği ve kerestenin hafifliğine ulaşılmış ve özel üretim olanakları yaratılmıştır.

Bina modelinin son gelişimi tüm eklem yerleri ve bitişler arasındaki detayları içerir. Katı modelin kesit perspektifleri alınarak mimari çizimlerden oluşan detaylar kesim yerlerine eklenmiştir.



Şekil 5.20 Detaylandırılmış dijital model ve modelden alınmış kesit perspektifi.  
(Kolarevic, 2003)

Tam ölçekli bir prototipin hazırlanması için kabuğun tipik bir bölümünden tek bir pencere ve bu pencerenin açıt yanağı ile destek kaburgalarını içeren, gerçek boyutlu bir *mock-up* üzerinde tasarım detaylandırılmıştır. Binanın şantiyede uygulanan bu birebir ölçekli prototipi, projenin gerçekleştirilebilir olduğuna dair önemli bir aşamadır. Başlangıçta alınan tasarım prensiplerine sonun kadar bağlı kalınarak inşa edilen bu proje peyzaj içindeki yerini uyumla tamamlar.



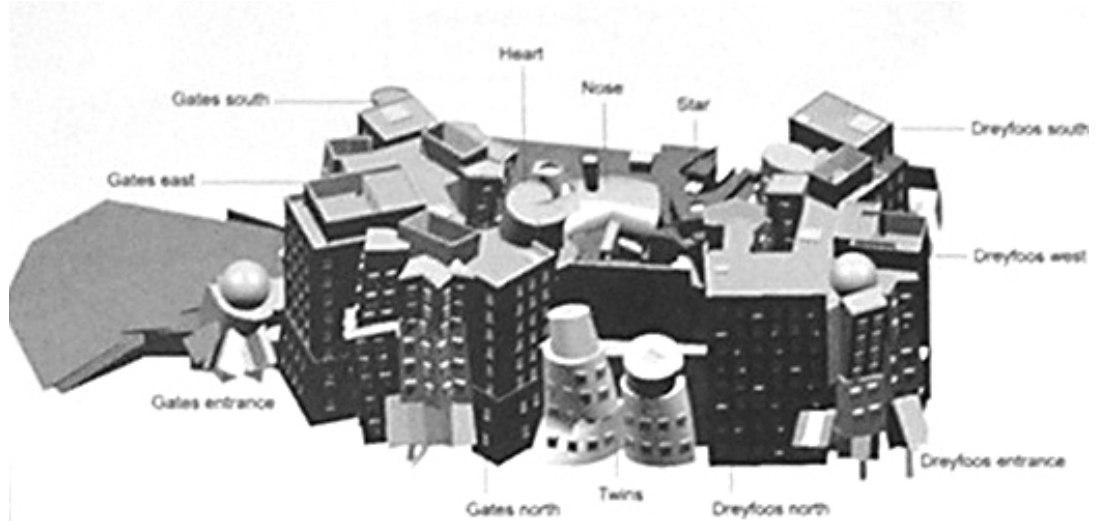
Şekil 5.21 Kereste kiremitlerle kaplanmış yuvaya oturan pencere prototipi. (Kolarevic, 2003)



Şekil 5.22 Chesa Futura. [7]

### 5.3 MIT Stata Merkezi

Frank O. Gehry ve Cannon Design ofislerinin ortak bir çalışması olan bu proje MIT kampüsünün kuzeydoğusunda konumlanmaktadır. Stata kompleksi, Bilgisayar Bilimi Bölüm, Yapay Zeka, Enformasyon Sistemleri laboratuvarları, Dil Bilimi ve Felsefe Bölümlerini içermektedir. Bu birimlerin dışında Bilgisayar Bilimi Bölümü'ne hizmet verecek bir oditoryum ve dört ana sınıf, araştırma bölümüne ait kamusal alanlarla birlikte çok amaçlı kapalı alanlar, servis hizmetleri ve çocuk bakım merkezi kampus alanı içindedir.

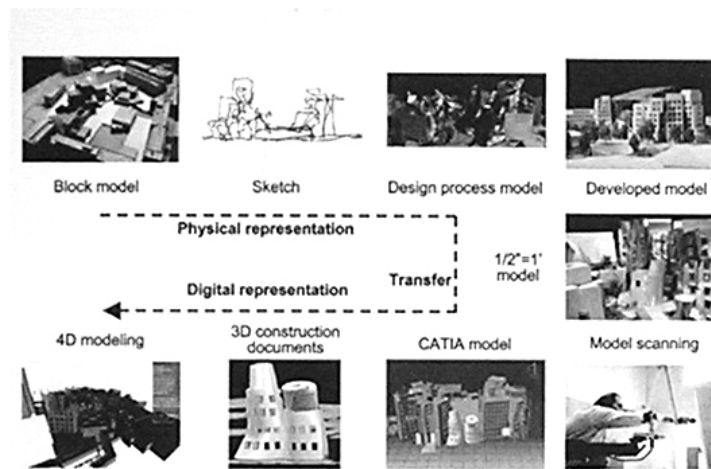


Şekil 5.23 Stata Merkezi'nin kuzeyden görünümü. (Matsushima, 2004)

Proje alanının çevresi tarihi binalar ve özel depolarla çevrelenmiştir. (II. Dünya Savaşı sırasında radar teknolojisinin ilk geliştirildiği bina gibi) Aynı zamanda yeni yapılacak bina, Boston'da inşa edilecek ilk yeni bina olma özelliğini taşımaktadır.

### Tasarım

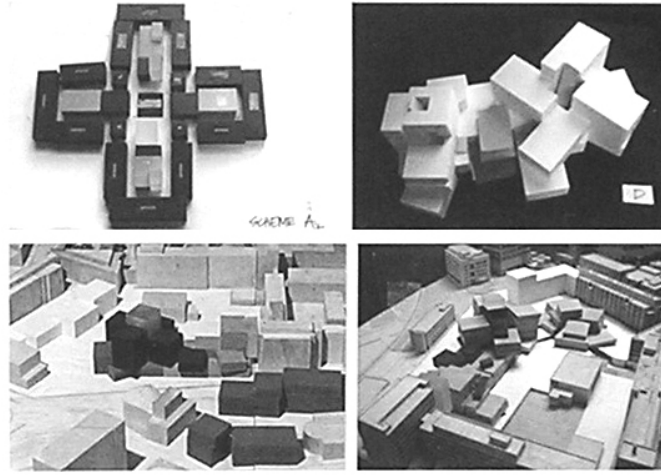
Gehry ve ekibinin tasarım sürecinde bilgisayar destekli sistemlerden yararlanmaktadır. Bu tasarlama sürecinde üretim ve uygulamada sorumluluk alan yüklenici firmaların bilgilerini Gehry ofisinin güncellemelerine göre yenilemeleri gerekiyordu. Projede genel olarak iç ve dış mekanlar arasındaki prensipler fiziksel modeller üzerinde belirlenmiş ve geliştirilmiş sonra da bu maketler üç boyutlu tarama cihazlarıyla taranarak bilgisayar ortamına atılmışlardır.



Şekil 5.24 Tasarım süreci. (Matsushima, 2004)

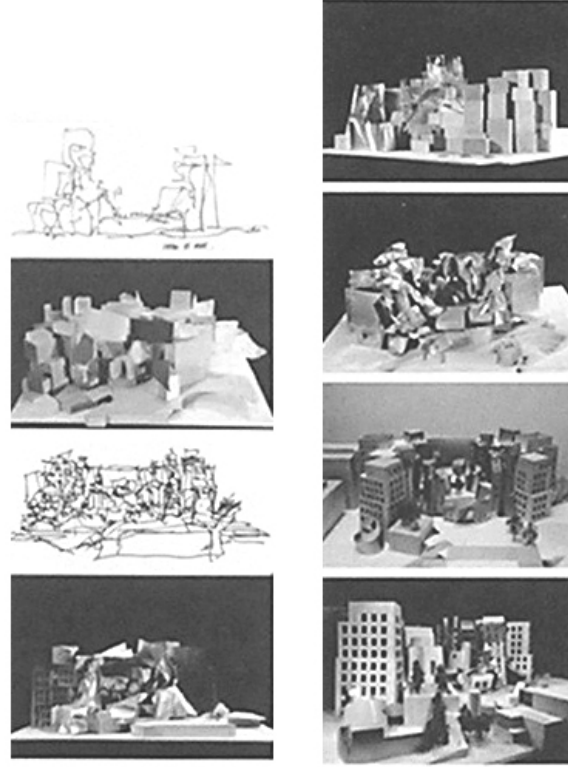
Stata Kompleksi'nin tasarım sürecinde Gehry Ofisi iki yönlü çalışmıştır; içten-dışa ve dıştan-içe.

Tasarım binayı programlamakla başlar. Binanın kampus içindeki bağlamını hissedebilmek için eş zamanlı olarak kentsel ölçekli bir çalışma yürütülmüştür. Bu şematik çalışma süreci neredeyse bir yıl boyunca devam etmiştir. İşlevsel modeller eskiz aşamasından önce yapılmıştır. Bunun sebebi birçok işlevi bünyesinde barındıracak bu komplekste önce birimler arası ilişkilere önem verilmesidir. Bu süreçte binanın biçimi hakkında hiçbir çalışmaya girilmemiştir.



Şekil 5.25 Stata için yapılan kentsel çalışma ve programlama çalışmaları modelleri.  
(Matsushima, 2004)

Bir sonraki aşamada fiziksel modelde yerlerine oturtulan kütlelerin üç boyutlu tarama yöntemlerinden faydalanılarak sayısal modelin oluşturulmasıdır. Fiziksel model yaratma ve bu modelleri sayısallaştırma işlemleri git-gel aşamalarıyla defalarca kez tekrarlanmıştır. Bilgisayar ortamında en verimli üç boyutlu veri aktarma aracı olarak aslen uçak ve gemi endüstrilerinde kullanılmakta olan CATIA yazılımı tercih edilmiştir. İç mekanların tasarlanmasında da aynı sıralama izlenmiştir.



Şekil 5.26 Dış yüzey tasarımının evrimi. (Matsushima, 2004)



Şekil 5.27 İç mekan tasarımı için üretilen maketler. (Matsushima, 2004)

Yapılan fiziksel modeller üzerinde çalışılmak suretiyle bina programı, birimlerin birbirleriyle ilişkisi belirmiştir. Bina tepesinde iki kuleyle biten iki dereceli ambar platformundan oluşmaktadır. Ambar fikri laboratuarlara yüksek tavanlı, bölünebilen, esnek alanlar sağlamak üzere düşünülmüş bir fikirdir. İki kule, büyük kütlemin hacmini dengelerken laboratuvarlar ve üniversite bölümleri için bağımsız alanlar sağlar.

Stata Merkezi kamusal alanlardan özel alanlara doğru ilerleyen bir sırada organize edilmiştir. Zemin kat planında kamuya ait kullanım yer alır. Spor salonu, kafeterya ve içerideki *öğrenci sokağı*, sınıflar ve oditoryum ile birlikte bu kattadırlar. Dışarıda, kuzey yönünde yukarıya doğru ilerleyen genişleyen merdiven rampası ve batı yönünde bir buluşma mekanı olan açık

hava tiyatrosu konumlanmıştır. Mevcut mezun havuzu ile Stata Merkezi arasında yükseltilmiş bir dış bahçe MIT topluluğuna güneye doğru yönelen bir dinlenme ve geçiş alanı sağlar. Yukarı katlarda ise araştırma birimleri yer alır. Bu birimler merdiven ve asansörler aracılığıyla lobilere açılırlar.

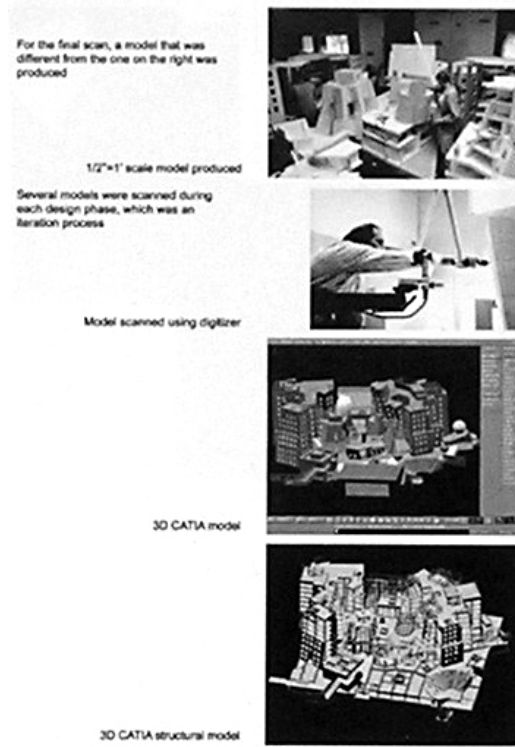
Stata Merkezi, William H. Gates ve Alexander W. Dreyfoos binalarını içermektedir. Bu binalarda düz biçimlerden meydana gelen tuğla kulelerdir ve bazı bölümlerinde heykelimsi metal kaplama elemanları, bazı bitiş yerlerinde ise cam kullanılmıştır. Gates ve Dreyfoos binalarının yalın ve masif kütleleri tıpkı oditoryum ve kafeterya gibi tuğla ile kaplanmıştır. Sayısız çatı terasları da dikişsiz bir geçiş görüntüsü sağlamak üzere tuğla ile dönülmüştür.

Binada genel prensip olarak mümkün olduğunca çok zararsız gün ışığı almaya çalışılmıştır. Giydirme elemanlarının çeşitli şekillerde biçimlendirilmesi sonucu bu etki sağlanabilmiştir. Programın büyük bir bölümünü kaplayan ofis birimleri geniş pencereler ile sonlanmaktadır. Cam perde duvar elemanları tuğla ve metal arasındaki geçişi sağlar ve aralarında heykelsi boşluklar oluşturur. Çatı ve yukarı teraslara gelindikçe pencereler en geniş boyutlara ulaşırlar. (Joyce, 2004)

### **Uygulama**

Frank Gehry ofisi daha önceki projelerinde onlar için uygulama çizimleri üretecek yerel firmalarla birlikte çalışmalarını yürütüyorlardı. Fakat bu projede çoğu çizimi kendileri üretmeye karar verdiler. Çünkü tasarım süreci ve dokümantasyonun çoğu CATIA'da üretilen üç boyutlu modellere dayanıyordu. Bu kararla ilgili tek endişe çizimlerin, yüklenici taşeron firmalara tercüme edilirken yaşanacak zorluklardı. Bu aşamada şantiyedeki süreci kontrol edecek bir firmaya ihtiyaç duyuldu ve Cannon firmasıyla anlaşıldı. Cannon firmasından iki mimar bir buçuk yıl boyunca Gehry'nin ofisinde çalışarak, üç boyutlu modelleme sürecini yakından takip ettiler. Yapılandırma yönetimi için ise bir inşaat firması olan Skanska USA Building, Inc. Firması seçilmiştir.

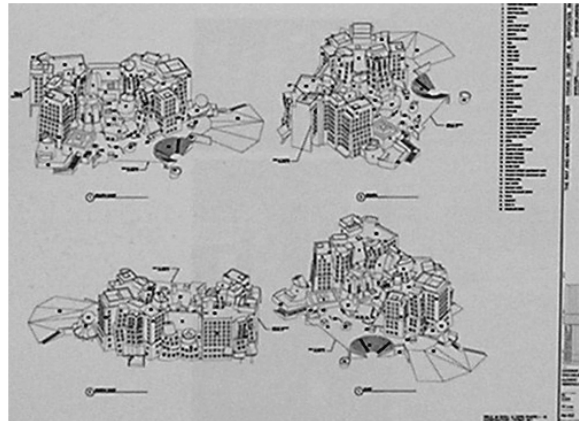
Fiziksel maketlerle yapılan çalışmalar sonucu kütlelerin yerleri belirlenmiş ve mühendislerle görüşmelere başlanmıştır. Özellikle çelik konstrüksiyon çizimleri olmak üzere neredeyse bütün proje CATIA'da geliştirilmişti. Beton malzeme bu bina için çelikten sonra başka bir önemli malzemeydi. Duvarın geometrisini izleyecek şekilde, kolonlar ve duvarlar arasındaki mesafeyi belirleyen bir dizi kural belirlendi ve yapısal sistem oluşturulmaya başlandı.



Şekil 5.28 Fiziksel modelin sayısal ortama aktarılması ve yapısal çerçevenin oluşumu.  
(Matsushima, 2004)

Bir sonraki aşama olarak yüklenici firmaların seçimine başlanmıştır. Bu seçimde önemli olan daha önce üç boyutlu modelleme teknikleriyle çalışmış ekiplerin bulunabilmesiydi. Örnek olarak metal giydirme işlemleri için daha önce EMP projesi uygulamasında sorumluluk alan firmayla anlaşıldı. Bu yüklenici taşeron firmaların kendi aralarındaki ve Gehry ofisi arasındaki irtibatın sağlanabilmesi için işbirlikçi çalışmanın mükemmel bir şekilde işlemesi gerekiyordu.

Üç boyutlu ve iki boyutlu uygulama çizimleri Gehry ofisi tarafından hazırlanmış ve taşeron firmalara verilmiştir.



Şekil 5.29 Uygulama çizimleri. (Matsushima, 2004)

### Çelik strüktür

Çelik işleri için de başka bir taşeron kullanılmıştır. Üç boyutlu çalışma sisteminde uzmanlaşmış olan bu firma Gehry ofisinden gerekli çizimleri temin ettikten sonra çelik çerçevenin tüm bağlantı çizimlerini üretmiştir. İmalat çizimlerini üretirken hazırlanan veriler Gehry ve imalatçı arasındaki gidip gelmelerle oluşur. Bu süreç üç boyutlu ve aynı zamanda kağıtsız (paperless) bir süreçtir.



Şekil 5.30 Çelik strüktürün yerleştirilmesi. (Joyce, 2004)

Uygulama aşamasında etkin bir sıra sistemiyle çalışılmıştır. İlk önce demir plakalar yerlerine yerleştirilmişlerdir, daha sonra işçiler yerlerine geçmişler ve bağlantı elemanlarını hazırlamışlardır. Başlangıç yerleştirmelerinden sonra tam pozisyonlar belirlenmiş kaynak yapılmıştır.



Şekil 5.31 Çelik strüktürün yerine oturtularak kaynaklanması. (Joyce, 2004)

## Beton

Beton işlerinin sorumluluğunu alan firma üç boyutlu modelleme tekniklerine hakim olmadığı için iki boyutlu çizimler üretilmiştir. Beton yüzeyleri hesaplama işlemleri ise üç boyutlu olarak CATIA kullanılarak yapılmıştır. Her bir beton yapı elemanı çizimi yapıldıktan sonra uygulama için Tripod Veri Sistemleri (TDS) kullanılarak her bir bağlantı noktası işaretlenmiştir.

Beton harcı şantiyeye gelmeden önce gerekli hazırlıklar yapılmıştır. Beton kalıpları kalıpçılar tarafından hazırlanmış, elektrik ve tesisat sistemleri için ön hazırlıklar tamamlanmıştır. Beton sertleştikçe kalıplar projenin diğer taraflarında kullanılmak üzere çıkartılmıştır.



Şekil 5.32 Beton döşemelerin uygulanması. (Matsushima, 2004)



Şekil 5.33 Beton döşemelerin uygulanması. (Joyce, 2004)

Stata'nın inşası sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri değişik malzemelerden oluşan parçaların yerlerine konumlandırılmalarıdır. Oval biçimlerin ve kalın bitişlerin, kıvrılan dökme kolonların ve duvarların, çeşitli yüksekliklerdeki kirişlerin yapısal elemanları oluşturduğu üç boyutlu çizimlerle hazırlanmış bu karmaşık projede bu bileşenlerin konumlandırılması da üç boyutlu tarama araçlarıyla yapılmalıydı. Bu süreç de Total Station adı verilen sistem ile mümkündü. Bu sistemi şantiyede kurmak için taşeron firma öncelikle

çevre binalardan elde edilebilecek kontrol noktalarını işaretlemiştir. Daha sonra proje için hazırlanan üç boyutlu çizimlerden faydalanarak döşeme, kolon ve kirişlerin pozisyonunu ayarlamıştır (Joyce, 2004)

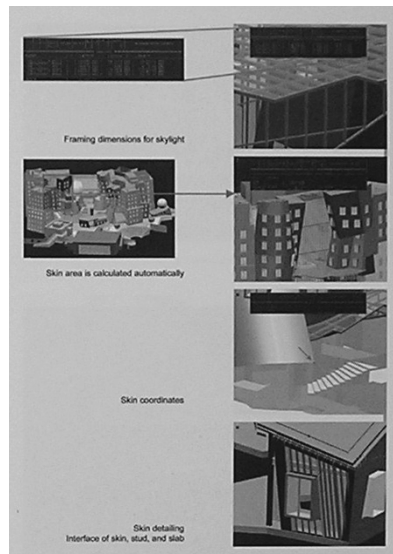
### **Metal ve cam**

Metal malzeme iki aşamalı olarak kullanılmıştır. Birincisi pencere kutularının imal edilmesi ve montajı, ikincisi ise metal plakaların bina kabuğu olarak uygulanmasıdır. CATIA programında, metal sistemleri için parametrik bir model geliştirilmiştir. Değişik boyutlardaki standart panel tipleri mevcut duruma göre şantiyede deforme edilebilecek şekilde parametrik olarak tanımlanmışlardır.

Bütün metal plakalar CNC makinelerinde CATIA programı kullanılarak kesilmiştir. Daha sonraki aşamada bu levhaların montajı fabrikada yapılmış, yalıtım ve su geçirmezliği için gerekli katmanlar eklenmiştir ve hazır olarak şantiyeye nakliye edilmişlerdir. Bu metal plakaların yerinde montajı içinse yüklenici firma tarafından uygulama çizimleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.34 Metal kabuğun ve pencere kutularının yerinde uygulanması. (Joyce, 2004)



Şekil 5.35 Kabuk tasarımı ve koordinasyon çizimleri. (Matsushima, 2004)

Camların çerçevelerini oluşturan metal pencere kutuları fabrikada imal edilmiş ve şantiye alanına taşınmıştır. Önceden inşa edilmiş olan metal kabuk kaplama strüktürüne montajları yapılmıştır.

Binanın sapsmalarının kontrolü cam panellerin yerleştirilmesi açısından önemliydi. İnşaat sırasındaki konumlanmaları denetleyebilmek için Warner çelik strüktürün her bir parçasını fabrikada hologramlarla işaretlemiştir. Her hologramın koordinatı kaydedilerek veri tabanına aktarılmıştır. İnşaat sürecinde bu veri tabanı panellerin milimetrik yerleştirilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 5.36 Metal levhaların kaplama strüktür karkasına uygulanması. (Joyce, 2004)



Şekil 5.37 Metal pencere kutuları yerleştirildikten sonra izolasyon kaplama ve kabuğun uygulanmış hali. (Joyce, 2004)

Cam malzeme Stata'da, perde duvara dışarıdan bir kapatma olarak ve işletilebilir pencere ile çatı pencerelerinde olmak üzere değişik yollarla kullanılmıştır.

Stata projesinin tasarım ve üretim aşamalarında ağır bilgisayar teknolojisine dayanan sistemler kullanılmıştır. Bütün projeye katılan insanlar daha önce bilmedikleri bir sürece dahil olmuşlardır. Stata Merkezi yüksek dereceli işbirlikçi çalışmaya dayanan örnek bir projedir.



Şekil 5.38 Stata Merkezi'nin tamamlanmış hali. [8]

## 6. SONUÇLAR

Tez kapsamında son yıllarda sayılı mimar tarafından mimari proje sürecinde kullanılmaya başlanılan dijital teknolojinin, geleneksel yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

Dijital olarak desteklenen mimari süreçte, teknoloji yapım endüstrisi için yeni fırsatlar yaratırken bazı zorluklar da getirmektedir. Dijital mimarlığın gerçeğe dönüşebilmesi için bu zorluklar aşılmalıdır. Birçok farklı ekibin ortak çalışması sonucu gerçekleştirilen üretim gerçekçi bakıldığında çok parçalı bir sistemdir. Bu sistemin iyi bir şekilde yürüyebilmesi için sorumlulukların net bir şekilde tanımlanmış olması gerekir. Teknolojinin mimarlıkta tasarım amaçlı kullanılmasını destekleyenler, bu ihtiyacın mimarın yapım endüstrisindeki yerini değiştireceğine ve onu merkeze taşıyacağına inanmaktadır.

İnşaat sürecinde, sayısal verilerin değişik ekipler arasındaki paylaşımının bir bakıma ekipler üzerine düşen sorumluluğu meşrulaştıracığından bahsedilebilir. Bilginin gelişimi için yapılan her aktarım veriyi alanı sorumlu yapmaktadır. Geleneksel yöntemde olduğu gibi her ekibin kendi yarattığı dijital modellerden kendi çizimlerini üretmesi, bu çizimlerin diğer ekiplere transferinin kağıt üzerinden gerçekleşmesi son derece gereksiz ve vakit aldığı gibi hata verme ihtimali yüksek bir işlemdir. Verilen dijital ortamda gerçekleşmesinin bu harcanan vakti daraltacağı söylenebilir. Bu aktarımın da belirginliğinin sağlanabilmesi için ekipler arası ilişkilerin çok iyi tanımlanmış olması gerekir. Örnek olarak Stata Merkezi'nde yapım ekipleriyle sayısal verilerini dolayısı ile de sorumluluğu paylaşarak bir ilki gerçekleştirmiştir.

Mimarların dikkatlerini çizim üretimi yerine sayısal enformasyon yazarlığına yani yazılım endüstrisine yönlendirmeleri mimarların pratikteki rollerini değiştiren başka bir etkidir. Yeni tasarım teknikleri yeni tasarım araçlarıyla desteklemeyi başaran mimar, projenin hem tasarım hem de üretim süreci ile ilgili kritik kararları almakta olan merkez kişi konumundadır.

Dijital tasarım teknolojilerine dayalı projeler daha çok kamu kullanımına yönelik mekanlarda ve ilgi çekici değer taşıyan sergi pavyonu, müze binaları, kentsel canlandırma odaklı projelerde kullanılmaktadırlar. Bunun sebebi olarak, dijital tekniklerle tasarlanan biçimlerin eğrisel, akışkan bir dili ifade etmelerinden gelen şaşırtıcı ve akılda kalıcı etkilere sahip olmaları düşünülebilir.

Tasarım sürecinde dijital tekniklerin kullanılması estetik anlayışının yeniden sorgulanmasını gerektirir. Daha çok eğrisel, karmaşık biçimler üzerinde odaklanan dijital mimarlık bir tür gösteri içindedir. Tasarlanan biçimler, kentsel ölçekte her köşede görebileceğimiz türde

binalar değildir, büyük bir ihtimalle gelecekte de olmayacaktır. Zaten geleceğe ait böyle bir amaç da güdülmez. Çünkü bu yapılar, teknolojik devrimin bir parçasıdır. Evrimsel sürece girip girmeyeceklerini zaman gösterecektir. Buna karşın mimarın pratiğinde geometri kontrolü, ekip liderliği kimliği, tasarım gücü önemli bir gelişim sürecine girmiştir.

Üretim süreci göz önüne alındığında dijital teknoloji kullanımının büyük kolaylıklar sağladıkları açıktır. Üretim kolaylığında belirli bir eşik tutturabilmek için mimarlar tasarımlarını üretim sürecine göre ayarlamaktadır. Tasarladıkları eğrisel biçimleri gerçekleştirebilmek, biçim geometrisini açık bir dille rasyonalize etmekten geçmektedir.

Fiziksel model yani maket ve prototip üretimini tasarım sürecinde kritik derecede önemlidir. Bu yardımcılarını elle üretmek yerine bilgisayar destekli imalat (CAM) araçlarından yararlanmak, hem vakit kazandırır hem de hatasız sonuçlar alınır. Özellikle gelişim aşamasında bu modeller ve prototipler sürekli olarak güncellenir ve yenileri üretilir. Böyle vakit alan bir süreçte teknolojinin olanaklarından yararlanılması şarttır.

Dijital tasarım-üretim süreci ilişkisinin birbirlerine bağılıkları açıktır. Fakat gene de kavramsal anlamda birbirlerinden farklı devrimsel gelişmeler olarak düşünüldüklerinde gelişimlerine dair ipuçları yakalanabilir. CAD ve CAM teknolojilerinin bugün geldikleri nokta, 20 sene önce beklenenin çok üzerindedir. Aynı şekilde dijital mimarinin geleceği de tartışmalıdır. Bu sürecin anlaşılabilmesi için dijital tekniklerle üretilen örnek çalışmalarla ortaya çıkan sonuç ürünün biçimine değil biçimin oluşma ve üretim sürecine bakılmalı, ardındaki kavramlar yakalanmaya çalışılmalıdır.

**KAYNAKLAR**

- Burly M., (2003), "Between Surface and Substance", 8-19, Surface Consciousness, M. Taylor (Derl.) Wiley-Academy, 2003, West Sussex.
- Burly M., (2004), "The Sagrada Familia – west transept rose window, a rapid prototype", 14-19, Fabrication: Examining the Digital Practice of Architecture, P. Beesley, N.Y. Chang ve R.S. Williamson (Derl.) University of Waterloo School of Architecture Press, 2004, Waterloo.
- Cache, B., (1995), "Earth Moves: The Furnishing of Territories", MIT Press, Cambridge.
- Chomsky, N., (1968), "Linguistic Contributions to the Study of Mind", Language and Mind, University of Cambridge Press
- Davis, H., (1999), "The Culture of Building", Oxford University Press, New York.
- Friedman, M., (1999), "Gehry talks: architecture+process", Rizzoli International Publications, Inc., New York
- Gero, M.L., (1993), "Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design", Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey.
- Giovannini, J., (2000), "Building a Better Blob, Architecture", 89:126-128
- Joyce, N.E., (2004), "Building Stata – The Design and Construction of Frank O. Gehry's Stata Center at MIT", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Kolarevic, B., (2003), "Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing", Spon Press, New York, London.
- LeCruyer, A., (1997), "Building Bilbao, Architectural Review", 102:173-178
- Lovell, M., (2004), "Material Innovation and the Development of Form", 55-66, Innovation in Architecture, A. Brookes ve D. Poole (Derl.) Spon Press, 2004, London, New York.
- Lynn, G., (1999), "Animate Form", Princeton Architectural Press, New York.
- Mark, L., ve Stiny, G., (1984), "Spatial Systems in Architecture and Design: Some History and Logic", Environment and Planning B: Planning and Design 12: 31-53
- Matsushima, S., (2004), "Technology-Mediated Process: MIT Stata Center case study", 202-220, Fabrication: Examining the Digital Practice of Architecture, P. Beesley, N.Y. Chang ve R.S. Williamson (Derl.) University of Waterloo School of Architecture Press, 2004, Waterloo.
- McCullough M. ve Mitchell W.J., (1991), "Digital Design Media: A Handbook for Architects and Design Professionals", Van Nostrand Reinhold, New York.
- Mitchell, W., (2001), "Roll Over Euclid: How Frank Gehry Designs and Builds", 352-363, Frank Gehry, Architect, J. Fiona (Derl.) Guggenheim Museum Publications, 2001, New York.
- Mitchell, W.J., (1995), "The Future of the Virtual Design Studio", 51-59, Virtual Design Studio, J. Wojtowicz (Derl.) Hong Kong University Press, 1995, Hong Kong.
- Schmal, P.N., (2001), "Digital Real, Blobmeister: First Built Projects", Birkhauser, Berlin.
- Schmitt, G., (1990), "Classes of Design – Classes of Tools", 77-89, The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era, M. McCullough, J. Mitchell ve P. Purcell (Derl.) MIT Press, 1990, London.
- Slessor, C., (2000), "Regionalismus in der modernen Architektur", Thames and Hudson Press
- Timberlake, K., (2004), "Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies Are

Poised to Transform Building Construction”, McGraw-Hill, New York.

Zellner, P., (1999), “Hybrid Space: New Forms in Digital Architecture”, Rizzoli, New York.

#### **INTERNET KAYNAKLARI**

[1] [www.gsd.harvard.edu](http://www.gsd.harvard.edu)

[2] <http://www.guggenheim.org/exhibitions/>

[3] <http://tdk.org.tr/tdksozluk/>

[4] <http://designtooling.mit.edu/components/evolutionary/index.html>

[5] <http://www.franken-architekten.de/>

[6] <http://www.fosterandpartners.com/>

[7] [http://www.arch.columbia.edu/at\\_the\\_edge/ROME2000/architects/kolatan\\_macdonald/](http://www.arch.columbia.edu/at_the_edge/ROME2000/architects/kolatan_macdonald/)

[8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Stata\\_Center](http://en.wikipedia.org/wiki/Stata_Center)

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 01.02.1979

Doğum yeri Ankara

Lise 1989-1996 Nişantaşı Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi  
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı,  
Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı

**Çalıştığı kurum**

2004-2005(Devam) Teğet Mimarlık, İnş., San. ve Tic. Ltd. Şti.