

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAYISAL MİMARLIK UYGULAMALARININ
YAPIM SÜREÇLERİNİN İRDELENMESİ

Onur ÖZDEN

Mart, 2011
İZMİR

SAYISAL MİMARLIK UYGULAMALARININ YAPIM SÜREÇLERİNİN İRDELENMESİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Yapı Bilgisi Bölümü, Mimarlık Anabilim Dalı**

Onur ÖZDEN

**Mart, 2011
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ONUR ÖZDEN, tarafından YARD. DOÇ. DR. AHMET VEFA ORHON yönetiminde hazırlanan “SAYISAL MİMARLIK UYGULAMALARININ YAPIM SÜREÇLERİNİN İRDELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Ahmet Vefa ORHON



Yönetici

Yrd.Doç.Dr. Müjde ALTIN



Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Dr. Yenal AKGÜN



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca değerli fikir ve eleőtirileri ile araőtırmama yon verip, yol gosteren danıőmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. A. Vefa ORHON' a tım katkılarından dolayı teőekkuru bir borç bilirim. Ayrıca oğrenim hayatım boyunca her konuda bana destek olan aileme, tez çalıőmam sırasında yardımı geçen herkese sonsuz teőekkurler.

Onur ÖZDEN

SAYISAL MİMARLIK UYGULAMALARININ YAPIM SÜREÇLERİNİN İRDELENMESİ

ÖZ

Sayısal mimarlık uygulamalarının geleneksel mimariden ayrımı, tasarım ve üretim süreçlerinin sayısal ortamda, hesaplanabilir veriler üzerinden gerçekleştirilmesindedir. Bu veriler tasarım ve yapım süreçlerinde süreklilik gösterir. Sayısal süreklilik, tasarımın ilk aşamalarında kullanılan bilgi tabanlı ve genellikle üç boyutlu sayısal modelin ya da performans verisinin, tasarım geliştirme ve üretim aşamalarında da kullanılmasıdır. Bilgisayar ardındaki sayısal ve algoritmik yapı tasarımcıya geleneksel tasarım ortamından farklı imkanlar vermektedir. Tasarım ve yapım süreçleri iç içe süreçler olarak gelişir; aynı bilgi tabanlı model form, strüktür ve malzemenin şekillenmesinde de kullanılır.

Bu çalışmada, sayısal tabanlı tasarım teknikleri ve üretim teknolojilerinin mimari yapım sürecinde yarattığı değişimi araştırmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda alan çalışması yapılarak sayısal mimarlık uygulamalarının yapım süreçlerine yakından bakılacaktır. Sonuç bölümünde sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin mimari yapım sürecindeki kullanımlarının yapı form, strüktür ve malzeme kullanımında yarattığı potansiyeller ve dönüşümler irdelenecektir.

Anahtar kelimeler: Yapım süreci, sayısal tasarım teknikleri, sayısal üretim teknolojileri, yeni malzemeler.

EXAMINATION OF THE PROCESSES OF THE CONSTRUCTION OF DIGITAL ARCHITECTURAL APPLICATIONS

ABSTRACT

Distinction of the digital architectural applications from traditional architectural application that their design and production processes are done through computable data in the digital medium. This data shows continuity on both design and construction processes. "Digital continuity" may be referred as the usability of info-based data which is usually used in the initial design stage, a three-dimensional digital model or performance data in the use of design development and production stages. Digital and algorithmic structure behind the computer gives numerous possibilities to the designer from the traditional design medium. Design and construction processes develop as intertwined procedures. Same info-based model is also used to shape the structure, form and materials.

This study aims to examine the changes in the architectural construction process which is created by digital based design techniques and manufacturing technologies. In this scope, this research report will take a closer look at the construction processes of digital architectural applications. In the conclusion, how digital design and manufacturing technologies in the architectural construction process transforms building form, structure and material usage will be discussed.

Keywords: Construction process, digital design techniques, digital manufacturing technologies, innovative materials.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....1

1.1 Araştırmanın Amacı.....	2
1.2 Araştırmanın Yöntemi.....	3
1.3 Araştırmanın Kapsamı.....	3

BÖLÜM İKİ - SAYISAL MİMARLIK KAVRAMI VE GELİŞİMİ.....5

2.1 Sayısal Mimarlık Kavramı.....	5
2.2 Bilgi Teknolojilerinin Gelişimi ve Mimarlık Pratiğinde Kullanımı.....	6
2.3 Sayısal Teknolojilerinin Mimari Tasarıma ve Üretim Süreçlerine Etkileri.....	8
2.4 Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Yararlanılan Yazılımlar.....	10

BÖLÜM ÜÇ - SAYISAL MİMARLIK TEKNOLOJİLERİ.....13

3.1 Sayısal Tasarım Yöntemleri.....	14
3.1.1 Parametrik Tasarım.....	14
3.1.1.1 Parametrik Strüktür tasarımı.....	15
3.1.1.2 Parametrik Modelleme.....	17
3.1.1.3 Parametrik Geometri.....	18
3.1.2 Performansa Dayalı Tasarım teknikleri.....	19
3.1.3 Animasyon Teknikleriyle Tasarım.....	21
3.1.4 Evrimsel Tekniklerle tasarım.....	22

3.1.5 Blob (damla) Formlu Yapılar (Blobitecture).....	24
3.2 Sayısal Üretim Yöntem ve Teknolojileri.....	26
3.2.1 Bilgisayar Destekli Üretim.....	26
3.2.2 Kitlesele Bireyselleştirme (mass customization).....	28
3.2.3 Hızlı Prototipleme.....	30
3.2.4 Robotik Üretim Teknolojileri.....	34
3.2.5 Sayısal teknolojilerle Üretimde Rasyonelasyon Teknikleri.....	35
3.3 Sayısal Mimarlıkta Kullanılan Yeni Malzemeler ve Geleneksel Malzemelerin Yeni Kullanım Biçimleri.....	36
3.3.1 ETFE ‘nin Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı.....	37
3.3.2 Tutkallı Ahşapın Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı.....	39
3.3.3 Çeliğin Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı ve Diyagonal Izgara Çelik İskelet Yapı Sistemi.....	41
3.3.4 Camın Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı.....	43
3.3.5 Titanyumun Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı.....	44
3.3.6 Kompozit ve Akıllı Malzemelerin Sayısal Mimaride Kullanımı.....	45

BÖLÜM DÖRT - SAYISAL MİMARLIK ÖRNEKLERİNİN YAPIM

SÜREÇLERİ..... 47

4.1 Beijing Ulusal Stadı.....	47
4.2 Web Of North Holland.....	54
4.3 30 St Mary Axe Ofis Binası.....	57
4.4 Frankfurt IAA Fuarı Bmw Bubble Pavyonu.....	62
4.5 Walt Disney Konser Salonu.....	66
4.6 Pompidou Metz Sanat Merkezi.....	72
4.7 Kunsthaus Sanat Merkezi.....	75
4.8 Su Küpü “The Water Cube” Ulusal Su Sporları Merkezi.....	81
4.9 Sayısal Mimarlık Yapı Örneklerinin Yapım Süreçlerinin Analizi.....	86
4.9.1 Yapıların Mimari Özellikleri Açısında Karşılaştırma.....	88
4.9.2 Yapısal Özellikler Açısından Karşılaştırma.....	88
4.9.3 Yapıları Kullanılan Yapım Teknolojileri Açısından İrdeleme.....	93

BÖLÜM BEŞ – SONUÇ.....96

KAYNAKLAR.....102

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Mimarlık, ürünü ait olduğu topluma, toplumun yapısına ve ihtiyaçlarına, içinde bulunduğu zamana ve bulunduğu dönemdeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak oluşan ve çeşitlenen bir disiplindir. Günümüz mimari tasarım yaklaşımlarında, özgün mimari örüntüler ve bu örüntüleri oluşturan mimari diller sayısal teknolojiler yardımıyla yeniden ele alınmakta ve yorumlanmaktadır.

Günümüzde bilgisayarın çizimi hızlandıran ve çizim kalitesine belirli bir standart getiren, üç boyutlu modelleme, animasyon gibi görselleştirme imkanları sunan yardımcı bir araç olarak kullanımı yaygındır. Bilgisayarı yeni bir tasarım ortamı olarak kabul eden bir grup mimar ise bilgisayar teknolojisinin yapısını ve olanaklarını tanımak için disiplinler arası çalışmalar yapmaktadır. Bilgisayarı bir anlamda tasarım ortağı olarak kullanan bu mimarlar, tasarım ve üretim süreçlerini sayısal teknolojileri üzerine kurgulamakta ve teknoloji tabanlı bir yapım sürecine geçmekte, sayısal mimarinin ilk uygulamalarını vermektedirler.

Sayısal mimarlık, günümüzde üniversitelerin, bilgisayar programcıları ve araştırmacılarının, teknolojinin, kullanıcıların ve sosyal ortamın etkisiyle devamlı gelişmekte olan dinamik bir alan oluşturmaktadır. Bütün bu değişimin yanı sıra başka alanlardaki teknolojik, bilimsel gelişmeler de mimari tasarım ve pratiklerinin bir parçası olmaya başlamıştır. Bu gelişmeler paralelinde sayısal tasarım teknikleriyle çalışan ve sayısal üretim teknolojileriyle donanmış mimarlık büroları, bu yeni deneyimledikleri sayısal mimarinin olanaklarını yapılarına yansıtmaktadırlar.

Bilgisayar teknolojilerinin tasarım geliştirme amaçlı kullanımı üzerine üniversitelerin öncülüğünde kuramsal ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım alanında parametrik tasarım, performatif tasarım, evrimsel tasarım gibi alt inceleme alanları oluşmuştur. Yapılan akademik çalışmalardan elde edilen bilgiler üniversite sanayi işbirliği sonucunda mimarlık

pratiğine yansımaktadır. Mimari bürolar, bilgisayar programcısı, matematikçi, strüktür tasarımcısı gibi farklı disiplinlerden uzmanlarla birlikte çalışarak, parametrik tasarım, performans tabanlı tasarım, evrimsel tekniklerle tasarım gibi her proje için yeniden kurgulanan tasarım teknikleri üzerinde deneyim kazanmaktadırlar.

Mimari tasarım ve uygulama sürecine, bilgisayar destekli üretim teknolojisinin katılmasıyla *dosyadan fabrikaya* (file to factory) olarak adlandırılan bir tasarım-üretim süreci kullanılmaya başlanmıştır. (Kolarevic, 2003) Sayısal ortamda geliştirilen tasarımın üç boyutlu maketi hızlı prototipleme teknikleriyle çıktı olarak alınabilmekte, sayısal ortamdaki tasarım bilgileri direkt olarak fabrikaya aktarılmakta ve aktarılan bilgi bilgisayar destekli üretim (BDÜ) teknolojisiyle üretimi yönlendirmektedir: Yapı malzemeleri gelen sayısal veriye uygun biçimde kesilir, işlenir ve yerinde montajı yapılır. Bu gibi teknolojik olanaklar mimarlara yeni bir tasarım üretim sistemine geçişin işaretlerini vermektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Mimarlık disiplini bulunduğu çağın bilimsel ve teknolojik gelişmelerini takip eden dinamik bir disiplindir. Frank O. Gehry, L. Norman Foster, Kas Oosterhuis gibi gelişen yapı teknolojilerini yapılarının yapım süreçlerinde kullanmakta öncü olan mimarlar geleneksel mimaride strüktürel yönden tasarımında ve yapımında zorlanılan, sayısal mimarlık olarak adlandırılan yapılara imza atmaya başlamışlardır. Bu yapıların yapım süreçlerinin yakından incelenmesi ana amaçtır.

Sayısal mimarlık uygulamalarında kullanılan sayısal ortam, tasarım ve üretim süreçlerini bütünleştirmiştir. Tasarım sürecinde elde edilen sayısal veriler yapım sürecinde strüktürel elemanların ve yapı bileşenlerinin imalatında kullanılmakta seçilen tasarım tekniği ve teknolojisine göre yapım stratejisi geliştirmeyi gerekli kılmaktadır. Bu nedenle sayısal tasarım yöntemlerinin ve sayısal üretim teknolojilerinin irdelenmesi gerekmektedir.

Çalışmada alan çalışması yapılarak, sayısal tasarım yöntemleri ve üretim teknolojilerinden yapım sürecinde faydalanan mimarların uygulamalarının yapım süreçleri incelemek, sayısal tasarım tekniklerinin ve üretim teknolojilerinin yapı formunda, strüktür sisteminde ve malzemesinde yol açtığı değişimleri gözlemlemek, ortak eğilimleri analiz etmek amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın yöntemi

İlk aşamada araştırmanın hangi kavramlar üzerinden inceleneceği araştırılarak araştırmanın temel kavramları verilecektir. Araştırma kapsamında sayısal teknolojilerin mimari yapım sürecinde kullanım alanları araştırılarak, bu kapsamda tasarım yöntemleri ve üretim teknolojileri incelenecektir. Bu sayısal teknolojileri kullanan mimarlık ofisleri üzerinden bir araştırma yapılarak, sayısal teknolojilerin yapım sürecinde gerek araç gerek ortak olarak kullanıldığı, farklı sayısal tasarım yöntemleri ve üretim teknolojilerine referans gösterilebilecek öncü uygulamalar seçilecektir. Alan çalışmasında projeler mimari, yapısal özellikler ve yapım süreçlerinde kullanılan sayısal teknolojiler başlıklar altında incelenecektir.

Sonuç bölümünde alan çalışmasında incelenecek uygulamalardan elde edilen veriler eşliğinde kullanılan sayısal teknolojiler sayesinde evrimleşen sayısal mimarinin yapım süreci irdelenecektir.

1.3 Çalışmanın kapsamı

Çalışma genel anlamda sayısal mimarlık olarak adlandırılan uygulamaların yapım süreçlerinin araştırılmasını kapsamaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amaç, yöntem ve kapsamı verildikten sonra ikinci bölümde çalışmanın üzerinde yürüyeceği sayısal mimarlık kavramı, sayısal mimarlık kavramının temelinde olan sayısal ortamın oluşmasını ve gelişmesini sağlayan bilgi teknolojilerinin gelişimi ve zaman içinde mimarlık pratiğinde tasarım, üretim ve yapım süreçlerinde kullanımlarıyla ilgili tarihsel gelişim verilecektir.

Üçüncü bölümde sayısal ortamın tasarım ve üretim süreçlerinde kullanılmasıyla değişime uğrayan tasarım ve üretim teknikleri ile bu teknikler ile oluşturulan lisanda kullanılan yapı malzemeleri verilecektir.

Dördüncü bölümde bir önceki bölümde verilecek olan sayısal tasarım tekniklerinin ve üretim teknolojilerinin yapım sürecine etkileri yapı örnekleri üzerinden incelenecek. Alan çalışması kapsamında incelenecek örnek uygulamaların yapım süreçleri araştırılacak ve bölüm sonunda toplanan veriler tablo haline getirilerek, bilgiler karşılaştırılacak, sonuç bölümünde sayısal mimarinin yapım sürecini değerlendirmeyi sağlayacak genellemeler çıkarılacak, sürecin işleyişini gösteren bir şablon oluşturulacaktır.

Sonuç kısmında alan çalışması üzerinden elde edilen veriler eşliğinde genel bir değerlendirme yapılacak. Sayısal mimarinin geleneksel mimarlık lisanının yapım sürecinden farklılaşan yönleri ortaya konacaktır.

BÖLÜM İKİ

SAYISAL MİMARLIK KAVRAMI VE GELİŞİMİ

2.1 Sayısal Mimarlık Kavramı

İngilizce literatürde “digital architecture” olarak geçen sayısal mimarlık kavramındaki sayısal (digital) terimi, bilgi teknolojilerinin mimarının tasarım ve yapım süreçlerini dönüştürecek biçimde kullanıldığı durumları betimlemek için kullanılır. Terminolojide ayrıca mimarının sayısal teknolojileri öne çıkaran yönlerini ifade etmek için kullanılmıştır. Sayısal mimari sanal formlar ve fiziksel yapıları yaratmak için bilgisayar modellemesi, programlama, performans simülasyonlarından faydalanır. Sayısal olarak oluşturulan mimarlık gerçek (tuğla, taş, cam, çelik, vb) materyallerin kullanımını gerektirmeyebilir. Sayısal formatta saklanan, malzemelerin performanslarına ve eserlerin ayrıntılı haritalarına karşılık gelen gösterim ve simülasyonlar yaratmakta kullanılan sayı dizilerine dayanır. Sayısal mimari sadece tasarlanan mekanı temsil etmez ayrıca fiziksel mimari alanlara benzemeyen insan etkileşimli mekanlar yaratır. Bu mekanların örnekleri siber web siteleri, çok kullanıcı ortamlardır.(Digital architecture, 2009)

Mimarlık pratiğinde bilgisayar uygulamalarını araç (tool), ortam (medium), ve ortak (partner) olarak sınıflandırılmaktadır. Bilgisayarın araç olarak kullanıldığı uygulamalar genel olarak bilgi işlemeye (üç boyutlu modelleme, iki boyutlu çizim, görselleştirmeler, simülasyonlar, analizler gibi...) yöneliktir. Bilgi teknolojileri bir ortam olarak ele alındığında ise, uygulamaların bilgi değişimi ve iletişime yönelik olduğu görülür (eşzamanlı mühendislik, bilgisayar destekli işbirliği ortamları, bilgisayar destekli tasarım ve üretim ile etkileşimli görselleştirmeler gibi). Bilgi teknolojilerinin ortak olarak kullanıldığı durumlar, sözü geçen teknolojilerin enformasyon desteği ve bilgi modellemesi alanlarında kullanımlarını kapsar. (uzman sistemler, parametrik geometriye dayalı ileri üç boyutlu modelleme teknikleri) (Kendir, 2005) Kendir ‘in değindiği gibi “sayısal mimarlık” pratiğinin “normal mimarlık” pratiğinden ayrımı, potansiyel bilgi teknolojilerinin etkin bir ortak olarak kullanılmasında yatmaktadır.

2.2 Bilgi Teknolojilerinin Gelişimi ve Mimarlık Pratiğinde Kullanımı

Endüstri devrimi sonrası modern yapım teknolojileri ve mimarlık ilişkisi hâlâ mimarlık üretimindeki temel paradigmaları belirlemeye devam etmektedir. Günümüzde bilgi teknolojilerinin 2. endüstri devrimi'ne yol açtığı tartışılmaktadır. İlk olarak iletişim alanında büyük değişikliklere yol açan bilgi teknolojileri geçtiğimiz çeyrek yüzyılda mimarlık alanını da etkilemiştir. Başta simülasyonlar, performans değerlendirmeleri gibi mimarlığın mühendislik tarafında olduğu kabul edilen çalışmaların yapılabilmesi için kullanılan bilgisayar desteği, sonraları özellikle Amerika'da karmaşık geometrilerin tasarlanması ve inşa edilebilmesi için yaygın olarak tasarımda da kullanılmaya başlandı. (Kendir, 2005) Kullanılan yazılımların mimar ve tasarımcılara da hitap edecek biçimde çeşitlenmesi sonucunda sayısal mimarlık uygulamaları ilerici mimarlık ofislerinin öncülüğünde son yıllarda yaygınlaşmıştır.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi, tüm disiplinleri ve alanlarını etkilediği gibi, mimarlık kavramını ve alanını da etkilemektedir. Günümüzde mimarlar, bilgisayar destekli mimari çizim (BDMÇ) ürünlerinden en az birini kullanmaktadır. Bu ürünler, mimari sunuma belirli bir standart getiren teknik çizim, modelleme ve animasyon üretmek amaçlı kullanılmaktadır. Mimarlık alanında bilgisayar desteği üzerine araştırmalar 1960'lı yıllarda başlamıştır.

Bilgisayar destekli mimari tasarım (BDMT, İngilizce CAAD), bir mimarlık tasarımının bilgisayar kullanılarak ya da bilgisayar yardımı ile yapılması işlemine denir. BDT'nin bir alanı olarak sayılır. Çeşitli kaynaklar, ilk BDMT örnekleri olarak 1960'lı yıllarda ABD ile İngiltere'de yapılan bağımsız iki ayrı çalışmayı gösterirler. İngiltere'de Whitehead ile El'Dars'ça geliştirilen program, odalar arasındaki yürüme uzaklığını en aza indirmeye çalışarak, iki boyutlu kat planları üretti. ABD'de, Souder ile çalışma arkadaşları katod ışıklı tüp (CRT) ve ışıklı kalem kullanarak, insanlarca tasarlanmış hastane planlarını yürüme uzaklığı açısından değerlendiren program geliştirdiler. İki çalışma aynı amaca iki ayrı yöntemle (ilk tasarlama ile değerlendirme) ulaşmaya çalışmaları açısından ayrıldılar. (BDMT, 2010)

Her alanda olduğu gibi, mimarlıkta da bilgisayarın pratik alanda kullanılması, - Kişisel Bilgisayarların 80'lerin ortasında üretilmesiyle başlamıştır. Bilgisayarlar 80'li yıllarda ilk olarak çizim aracı olarak kullanılmıştır. (Autocad, Archcad, vb) Ancak uzun süre mimarlar geleneksel çizim yöntemlerine güvenmeye devam etmiştir. 90'ların başında BDMT aracı olarak kendini kabul ettirmeye başlayan bilgisayar, bundan böyle mimarlık disiplini açısından daha ön plana çıkmaya başlamış ve günün teknoloji limitlerini zorlamaya başlamıştır. Bilgisayarın mimarlık sektörüne uyumu sürecinin başlangıcında, üç boyutlu doğrusal olmayan çizgilerin (NURBS - Non-Uniform Rational B-Splines) kullanımı, 90'ların ortasında popüler olmakta ve daha önce üzerinde çalışılmayan geometriler üzerine gidilerek bu geometrilerin, tasarım ve üretim bandında kullanımının artmasına sebep olmaktadır. Daha karmaşık geometri bir tasarımın ürün olabilmesi için gerekli üretim biçimi de, hava ve su dinamiğinin önemli olduğu gemi ve uçak sanayisi için geliştirilen sayısal kontrollü (CNC-Computer Numerical Control) makineler kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu üretim bandının kullanımı öncesinde, mimari ürünlerde kendine çok fazla yer bulamayan çok eğrilikli yüzeylerin yaygın biçimde kullanılabilmesini sağlamıştır. Mimarlık kavramı, sadece üretim açısından değil diğ er alanlarında da gözle görülür bir değışim içerisindedir. (Çıltık, 2008)

Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren mimarlık pratiğı bilgisayar destekli tasarım alanıyla ve sayısal tasarım teknikleriyle ilgilenmeye başlamıştır. Mimarlık pratiğı, bilgisayar tabanlı teknolojilerin tasarım geliştirme amacıyla kullanımıyla ilgili araştırmaların parçası haline gelmiş ve 1990'lı yıllardan itibaren, bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin bilgisayar destekli tasarıma entegre edilmesiyle, sayısal mimarlık ürünleri uygulanmaya başlamıştır.

Günümüzde sayısal mimarlık biçimsel kaygının ötesine geçerek tasarım sürecini irdelemektedir. Bilgisayar destekli tasarım (BDT) ve bilgisayar destekli üretim (BDÜ) teknolojileri, bir araya getirmesi günümüze kadar çok zor ve pahalı olan, karmaşık mimari strüktürleri, ürün olarak ortaya koyarak, mimarların önüne yeni tasarım alanları sunmaktadır. Bilgisayarı mimari sunum ve temsil aracı olması dışında yeni bir tasarım ortamı olarak değıerlendiren mimarlar, bu konuya henüz

deneyisel olarak yaklaşmaktadırlar. Tasarımın ilk düşünme sürecinden üretimin bitimine kadar süreklilik sağlanmaya çalışılmaktadır.

Fransa kökenli Dassault systems tarafından savaş jetleri için geliştirilen Catia adlı maket verilerini doğrudan imalata aktaran yazılım mimarlık pratiğine uyarlanarak mimari tasarım sürecine katkıda bulunan bir teknoloji haline gelmiştir. Üç boyutlu elektronik modelleme ile tasarımı uygulamaya kolaylıkla dönüştürerek inşaat aşamasına yönelik uygulama projelerinin çizimlerinin atlanmasını sağlamaktadır.

2.3 Sayısal Teknolojilerinin Mimari Tasarıma ve Üretim süreçlerine Etkileri

Bilgi teknolojilerindeki gelişmeler tasarım ve mimarlık alanında da yansımalarını bulmuştur. İlk geliştirilen yazılımlar genelde çizime yardımcı olmak amacıyla, sadece çizim aracı olarak geliştirilmiştir. Bu açıdan baktığımızda ilk bilgisayar destekli tasarım programları nispeten kısıtlı sayılabilecek bir çizim kapasitesine sahip programlardı. Günümüzde ise pek çok yenilikle beraber artık tasarıma da yardımcı olma potansiyeli yüksek olan programlar ön plana çıkmaktadır. Artık BDT programları yerini konusuna göre özelleşmiş bilgisayar destekli mimari tasarım (CADD – Computer Aided Architectural Design) programlarına bırakmakta ve bu programların kütüphaneleri sayesinde özelleşmiş tasarımlar olabilmektedir. Örneğin mimarlıkla ilgili bir programın içinde taşıyıcı elemanlar, tefriş elemanları, aydınlatma elemanları gibi mimari öğelerin bulunduğu ve bunların müdahale edilebilir olduğu kütüphaneler bulunmaktadır. Ortogonal olmayan, rasyonel B-Spline (NURBS)'lar ve öklidyen olmayan geometriler sayesinde temsil edilmesi çok güç ve karmaşık olan eğrisel formlar kodlarla oluşturulabilmekte, tasarlanabilmekte ve temsil edilebilmektedir. (Torus, 2010)

Algoritmalarla üretilen formlar “form üretmek “ yerine “form bulmak” üzerine odaklanmaktadır. Sayısal tasarım araçlarıyla artık bir ürün değil, ortak özelliklere, temel parametrelere sahip ürün aileleri üretilebilmekte ve seçim yapılabilmektedir. Tasarım süreci ve tasarımdaki yöntemlerindeki gelişmeler tasarım teknolojileri tarafından desteklenmekte ve güçlenmektedir.

Araba, uçak ve gemi yapımı gibi farklı alanlardaki/ disiplinlerdeki teknolojik gelişmelerin de yapı endüstrisini desteklediği söylenebilir. Örneğin Frank Gehry'nin Bilbao'daki Guggenheim müzesi gemi endüstrisindeki gelişmeler sayesinde gerçekleşmiştir.(Kolarevic, 2003) Bu açıdan baktığımızda bilgisayar teknolojilerinin mimarlıkta kullanımının diğer alanlarla da etkileşim içinde olduğu ve çoğunlukla form üretimi üzerinde yoğunlaştığı görülebilmektedir. Eğrisel formlar, karmaşık geometriler, öklidyel geometriler kadar kolay üretilmekte ve temsil edilmektedir. Böylelikle geleneksel tasarım yöntemleriyle tasarlanması güç olan yapıların tasarlanması mümkün olmaktadır. Geleneksel tasarıma göre bir başka fark da tasarımın iki boyutlu (plan-kesit-görünüş) olarak değil dört boyutlu olarak gerçekleştirilmesidir. Sadece üç boyutlu temsil değil aynı zamanda çeşitli bina performanslarının zamana bağlı temsilini de sağlanmaktadır.

Temsil yöntemlerinin yanı sıra süreçte de gelişmeler ve değişimler olmuştur. Proje sürecindeki katmanlı aşama yerini daha iç içe geçmiş eş zamanlı tasarım sürecine bırakmaktadır. Daha da önemlisi bu sürece her aşamada, her yerden, o projede çalışan herkes tarafından ulaşmak, müdahale etmek ve güncellemek internet ve bilgi teknolojileri yardımıyla mümkün olabilmektedir. Yapı bilgi modelleme (BIM – Building Information Modeling) teknolojileri gelişmekte ve bu gelişmeler tasarım sürecinde önemli farklılıklar yaratmayı amaçlamaktadır. Yapı bilgi modellemeye sahip bilgisayar programları sayesinde çoklu tasarım bilgilerinin organizasyonu mümkün olmaktadır. Yapılan değişiklikler eş zamanlı olarak güncellenebilmekte, tasarımın ilk aşamalarından itibaren tahmini maliyetler çıkarılmakta ve fizibilite çalışmaları yapılabilmektedir. İnşaat başlamadan önce yapıyla ilgili performans analizleri yapılabilmekte, hem niteliksel, hem niceliksel tüm verilere tasarımın her aşamasında ulaşmak mümkün olmaktadır. Bu da tasarımcıyı geleneksel tasarımdan farklı bir tasarım sürecine yönlendirmektedir.(Torus, 2010)

2.4 Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Yararlanılan Yazılımlar

Sayısal mimaride yararlanılan yazılımlar hem tasarım sürecinin daha sağlıklı ilerlemesini sağlamak hem de tasarımı değerlendirmek için kullanılır. Bilgisayar destekli tasarım yazılımları beş grupta incelenebilir. Bunlar pixel tabanlı yazılımlar, vektör tabanlı yazılımlar, katı modelleme ve NURBS tabanlı yazılımlar, nesne tabanlı yazılımlar, simülasyon (benzeşim) ve analiz tabanlı yazılımlar olmak üzere beş grupta toplanabilirler.

Piksel tabanlı yazılımlar: İki boyutlu en küçük tanecik olan piksellerin yanyana gelmesi, renk atanması işlemleri ile grafik elde edilen yazılımlardır. Bu yazılımlar mimari tasarım sürecinde kullanılmaya uygun değildir. Ancak son aşamada grafiklere çeşitli efektler eklenmesinde kullanılmaktadır.

Vektör tabanlı yazılımlar: Çizgi elemanı ve telçerçeve (wireframe) ile ızgara (mesh) biçiminde çizim üreten yazılımlardır. İki boyutlu düzlemsel ve üç boyutlu kartezyen uzayda tasarım çizgiler, çizgilerin kesiştiği düğümler ve yüzeylerin kapatılması işlem sırası ile modellenmektedir.

NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) tabanlı yazılımlar: Vektörel yazılımların benzeri olmakla birlikte; düzenli geometrik formların dışında kalan eğrisel, organik ve irrasyonel formların yaratılmasında kullanılmaktadır. Bu BDT yazılımında, bütünsel bir asal form deforme edilerek yeni formlar türetilebilmektedir. Bu niteliği ile organik, irrasyonel biçime sahip bina modellemeleri için uygun yazılım çeşididir.

Non-Uniform Rational B-Splines, (Nurbs) yüksek derecede eğriselliğe sahip yüzeylerdir. Nurbs yüzeylerini ve eğrilerinin önemli özelliği, kontrol noktaları, gerilme değeri ve düğümleriyle eğimlerinin çok kolay bir şekilde kontrol ediliyor olmasıdır. Nurbs aynı zamanda, sayısal mimarinin hesaplama gerektiren heterojen formlarını rahatlıkla gerçekleştirebilme, ve hatta yapım aşamasında da CNC ve MJM makinelerine gereken datayı verebilme imkanı sağlamıştır. (Nurbs, 2005)

Simülasyon ve analiz tabanlı yazılımlar: Geleneksel hesaplamaların bilgisayar destekli olarak yapılması, simülasyon (benzeşim) yapma, çok sayıda sayısal ve grafiksel seçeneği bir arada sunma açısından tasarımcıya katkı sağlayarak tasarım sürecini kısaltarak kolaylaştırmaktadır. İç mekânın ısısal konforunu belirleme, bina ve yapı bileşenlerinin biçim ve boyutunu saptama gibi özel amaçlara yönelik olarak hazırlanmış program paketleri bulunmaktadır. Bu yazılımlar enerji etkin bina tasarımında da kullanılmaktadır. (Yüceer, 2010)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (kısaltma HAD, İngilizce CFD), akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözümlenmesi için sayısal yöntem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilimi dalıdır. Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimleri bilgisayar yardımı ile simüle edilir. Sonuçların gerçek etkileşime göre durumları, kullanılan bilgisayar ya da bilgisayarların performansına bağlıdır. (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, 2011). HAD yöntemiyle analiz yapan yazılımlara Apache, Ecotect, Trnsys yazılımları örnek gösterilebilir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (İng. kısaltma, FEM), kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen veya fonksiyonel minimizasyonu olarak formüle edilebilen problemleri çözmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. İlgilenilen bölge sonlu elemanlar (*Finite Element*) topluluğu olarak gösterilmektedir. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle, katı mekaniği, sıvı mekaniği, akustik, elektromanyetizma, biyomekanik, ısı transferi gibi alanlardaki problemler çözülebilir ve karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlere, düzgün olmayan geometriye sahip sistemlere, kararlı hal, zamana bağlı ve özdeğer problemlerine, lineer ve lineer olmayan problemlere uygulanabilir. (Sonlu elemanlar yöntemi, 2011). Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapan yazılımlara Ansys, Diana, Lusas yazılımları örnek gösterilebilir.

BÖLÜM ÜÇ

SAYISAL TASARIM VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Mimarlık mühendislik ve inşaat alanındaki farklı disiplinleri ortak platformda birleştiren sayısal teknolojiler, mimarlık uygulamalarında köklü değişimleri beraberinde getirmektedir. Bu değişimler teknolojinin sunduğu araçların ötesinde yeni tasarım süreçleri ve üretim yöntemleri yardımıyla gerçekleşmektedir.

F.O.Gehry ve N.Foster sayısal mimarinin öncüleridir. G.Lynn sayısal mimaride biçimlendirme üzerinde çalışmaktadır. Bilbao Guggenheim Museum Yapısı (F.O.Gehry, 1997, İspanya), City Hall GLA Headquarters Yönetim Merkezi Yapısı (N.Foster, 2002), Kunsthaus Kültür Merkezi yapısı sayısal biçimlendirme ile tasarlanmışlardır. Sayısal mimarinin biçimlendirme ilkeleri şöyledir:(Kolarevic, 2003)

- Gemi inşaatı üretim teknolojileri ve uçak üretim teknolojileri transfer edilmiştir.
- Morfolojik düzen: geometrik düzenleme kuralları (topoloji, “non-euclidean” geometri, parametrik tasarım, “eşşekiller veya isomorfic”, bir şeklin dönüştürülmesi vb.) kullanılır.
- Performansa dayanan tasarım kuralları biçim dizgesini belirler. Yapı elemanı ölçeğinde ve yapı ölçeğinde, sonlu elemanlar metodu analizi yada hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi kullanılmaktadır.
- 2 ve 3 Boyutlu üretim teknolojilerine ve stratejilerine dayanan yüzey ve kabuk tasarımı kuralları kullanılmaktadır.
- Parametrik tasarımın sayısal prototip üretimi, prefabrikasyonun standartlaşma ilkesinin sayısal mimariye uyarlanmasıdır.
- BDT/ BDÜ yazılımları, 3D, 4D modelleme, CNC’de üretim, simülasyonlar, analizler, animasyonlar kullanılmaktadır.
- “Sayısal medya”nın (görsel / işitsel etkiler) kullandığı yazılımlar yardımcı araç olarak kullanılmaktadır.
- Yeni malzemeler: akıllı malzemeler, kompozit malzemeler, “nanoteknolojiler” kullanılmaktadır. (Oğultekin, Tapan ve Şener, 2003)

3.1 Sayısal Tasarım Yöntemleri

Bilgisayar destekli sistemlerin mimarlık alanında kullanımlarının yaygınlaşması ile bilgisayar sadece tasarım sürecini hızlandıran bir araç olmaktan çıkmış, tasarım kararlarının alındığı bir ortam olmuş. Bilgisayar destekli tasarım teknikleri yaygınlaşmıştır. Çalışma kapsamında sayısal tasarım teknikleri dört ana başlıkta incelenmiştir.

- Parametrik Tasarım
- Performansa Dayalı Tasarım
- Animasyon Teknikleriyle Tasarım
- Evrimsel sistemler / Genetik Algoritmalar

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. 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.

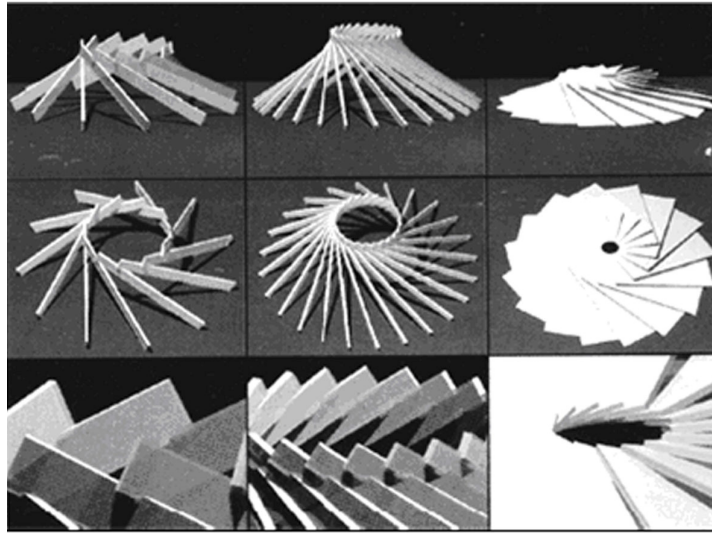
3.1.1 Parametrik Tasarım

Bilgisayar biliminde parametre, bir dizi komutun, sisteme girilen çeşitli veriler üzerinde işlem yapmasıyla ilgili bir terimdir. Örneğin bir a objesine uygulanması için sıralanan üç komut, a yerine girilen değerler için aynı işlem sırasını uygular. Bu sistemde a parametre, a yerine girilen değerler aktüel parametrelerdir. Parametrik tasarım, tasarımın belirlenen parametreler üzerine kurulmasıyla ilgilidir. Mimari tasarım sürecinde parametrik tasarımın kullanıldığı örneklerde, rüzgar şiddeti, deniz tuzluluk oranı, insan akışındaki yoğunluk gibi çevresel veriler tasarım sürecinde parametreler olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayarda kurgulanan sistemde, parametrelere girilen farklı değerler sonucu oluşan değişim, tasarım aşamasında form

üretimi için yada fiziksel mekanda ışık-ses-biçim değişimleri için kullanılır. (Özsel Akipek, 2004)

3.1.1.1 Parametrik Strüktür Tasarımı

Parametrik tasarım detay çözümleri ve strüktür tasarımı için de kullanılmaktadır. Tek bir prensip formül oluşturulur; ölçü, açı, kalınlık değişimlerinin gerektiği yerlerde, parametrelerin değerleri değiştirilir ve tek bir prensip detay çözümüne dayalı çeşitli çözümler oluşturulabilir.

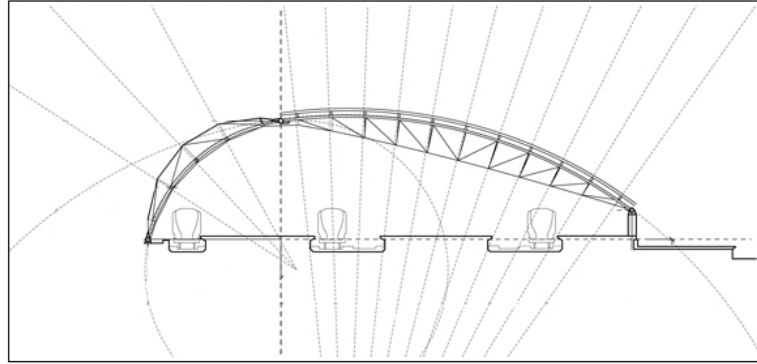


Şekil 3.1 Strüktürel bir sistemin parametrik modellenmesi; birimlerin sayısı, eğimi ve yüksekliğiyle ilgili parametreler değiştirildikçe oluşan alternatifler (Kolarevic, 2003)

Nicholas Grimshaw ve Ortakları tarafından 1993'te inşa edilen Waterloo Tren istasyonu'ndaki geniş çatı örtüsü parametrik tasarım teknolojileri ile tasarlanmıştır. Karmaşık bir strüktürel yapıya sahip olan eğrisel çatının, ölçüsü ve biçimi birbirinden farklı olan strüktürel elemanlarının tek tek tasarlanması yerine, tek bir maksadın parametrik modeli yapılmış ve bu modelden türeyecek diğer maksadlar için tasarım kuralları belirlenmiştir.

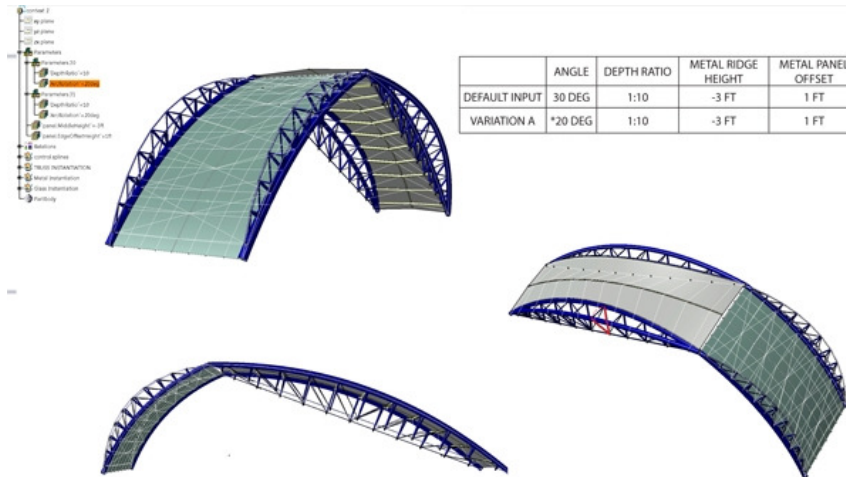
Parametrik tasarımda parametrelerin belirlenmesi tasarımı yönlendirir ve kurulan parametrik modelin aynı biçimsel aileye ait olan diğer olasılıkları parametrelere girilen farklı değerlerle elde edilir. Waterloo Terminali'nde çatı strüktürünü

oluşturan üç mafsallı yay benzeri kemer için ölçek, boyut, pozisyon gibi parametreler belirlenmiş ve terminal boyunca dizilecek diğer makaslar parametre değerleri değiştirilerek kısa zamanda türetilebilmiştir. (Kolarevic, Malkawi, 2004)



Şekil 3.2 Her Biri Farklı Ölçüdeki 36 Adet Yay Benzeri Strüktür
(<http://www.mikeleung.net/index.php?/5th-year-studio/catia-case-study/>)

Her bir kemerin ayrı olarak modellenmesinden ziyade kemerlerin tümü için tasarım kurallarının kodlandığı tek bir kemerin parametrik modeli yapılmış. Bütün çatı modeli sonra, her biri farklı değerde açıklık parametre değerine sahip bu parametrik kemer örneğinin bir dizisi olmuştur.



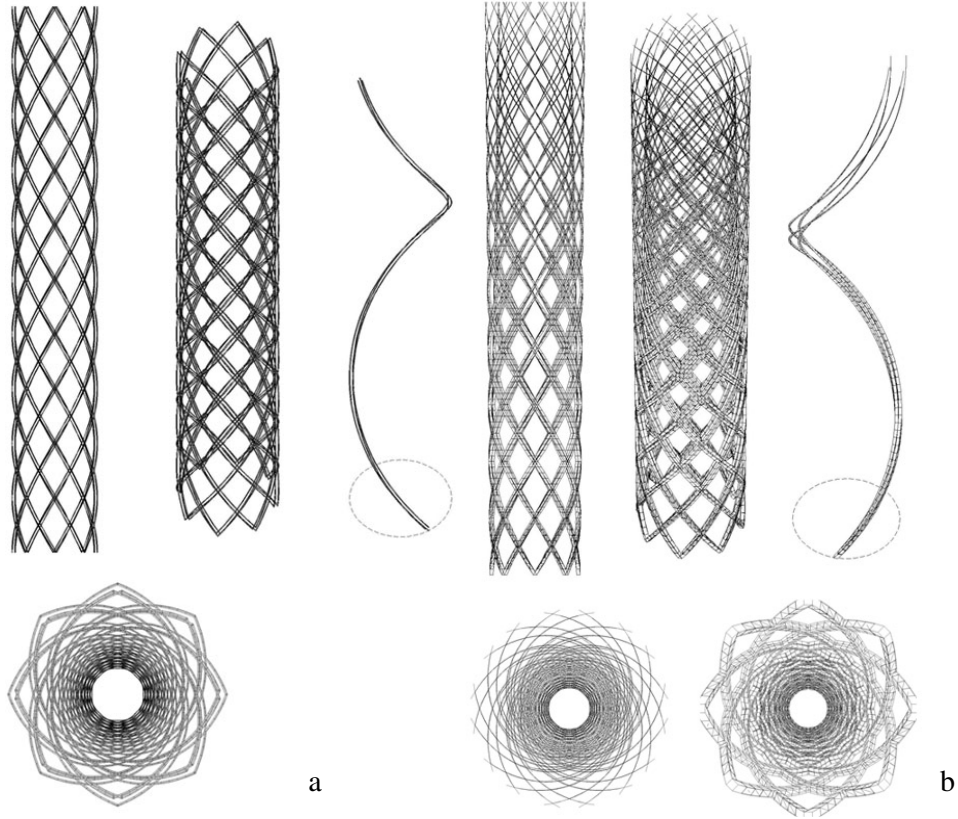
Şekil 3.3 Çatı strüktürünün parametreleriyle oynanması sonucu oluşan alternatifler
(<http://www.mikeleung.net/index.php?/5th-year-studio/catia-case-study/>)

Yukarıda gösterilen görseller Waterloo Terminalini konu alan, yapının inşasından sonra parametrik tasarımının sınındığı bir çalışmadan elde edilen modellere ait

görsellerdir. Parametrelerde yapılan değişimler sonucunda tasarımda farklı varyasyonlar elde edilmektedir.

3.1.1.2 Parametrik Modelleme

Parametrik modelleme tanımsal geometri (descriptive geometry) yerine, ilişkilendirilebilir geometri (associative geometry) prensibine dayalıdır. Bu prensiple şekillerin metrik değerleri yoktur, birbirleriyle ilişkileri önemlidir. Böylelikle herhangi bir metrik değer alabilir ve kendilerine ilişkilendirilmiş tüm geometrik bilgiyi yeniden tanımlayabilirler. Parametrik modelleme ve obje bazlı programlama dillerinin çizim programları altında kullanımları sayesinde olmaktadır. Bu programların başlıcaları generative components, catia, maya (mel script), max(max script), rhino (vb script) dir.



Şekil 3.4 Silindirel diğrid örneği (Courtesy of Skidmore, Owings & Merrill LLP)

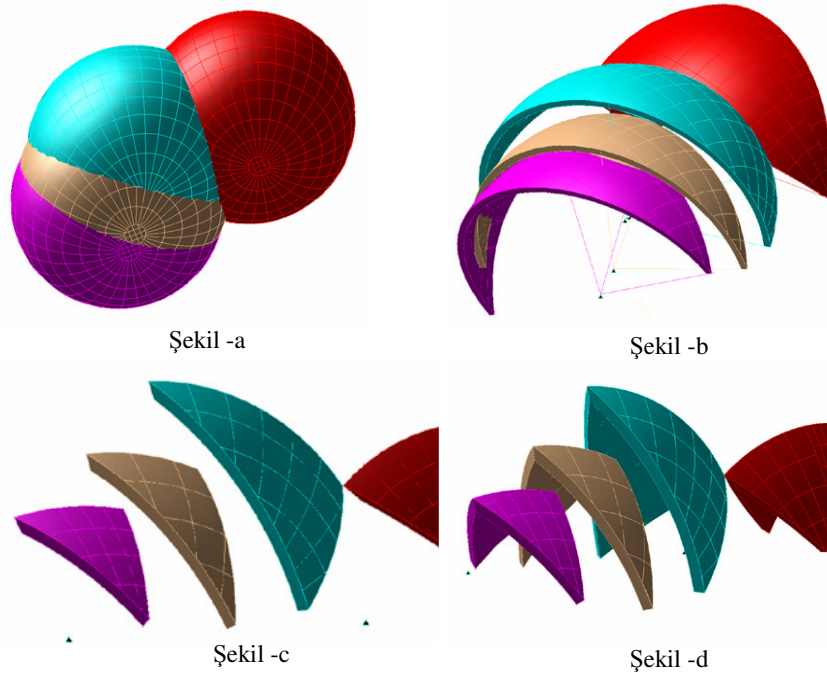
Şekil 3.4'de a ve b'de bir binanın strüktürünü modellerken farklı seçenekleri ortaya çıkarmak için kullanılan bir lisp programıyla oluşturulan silindirik bir

diyagonal ızgaranın görünüşleri gösterilmektedir. Burada gösterilen iki adedin dışında yüze yakın değişik varyasyon modellenmiştir. Her olayda binanın zemininden üstüne doğru helezon çizerek giden tek bir diagrid üyesi, program ile oluşturulur, döndürülüp yansıtılarak tam yapıyı oluşturması için tekrarlanır. Şekil 3.4 de gösterilen ikinci örnekte eleman aşağıdan yukarıya modellerin çoğunda olduğu gibi değişir. Bu gösterilende ise bu (üste bir üye, dört üyeye ayırır) ayrılarak ve incelenerek olmuştur. (Katz, 2007)

Parametrik tasarım ve modelleme programları mühendislik, endüstriyel tasarım ve ulaşım endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu disiplinlerde sonuç ürünün birbiriyle ilişkili alt parçalara ayrılması ve bir sistemin kurulması mümkündür. Monedero parametrik tasarımın gelişimi ve sınırlarını incelediği çalışmasında, mimarların tasarımlarının ön çalışmalarında daha çok sezgisel yöntemlerle ilerlediğinden ve böyle bir sistemin kurulmasının mimarlar için daha güç olduğundan ve yaygınlaşmadığı için hala pahalı bir sistem olduğundan bahsetmektedir. (Monedero, 1997) Tüm bu engellere rağmen disiplinler arası çalışmalar yaparak parametrik tasarım yöntemlerini kullanan mimarların yaptıkları uygulamalar öncü çalışmalar olarak literatürde yerini almakta ve bilgisayar firmaları parametrik işlemlere cevap verebilmek için yeni ürünler geliştirmektedirler.

3.1.1.3 Parametrik Geometri

Parametrik geometriye dayalı bir tasarım sürecinde sınırların belirlenmesi ve parametrelerin sonuç ürünün biçimini istenilen düzeyde çeşitlendirebilecek nitelikte kurgulanması gerekir. Burry (1997) parametrik tasarım sürecinde böyle bir sistemin kurulabilmesi için tasarım stratejilerinin belirlenmesi gerektiğini vurgular. Parametrik geometriye dayanan bu sistem bir kez kurulduğunda karmaşık geometrilerin çözümlenmesi ve manipülasyonu geleneksel çizim tekniklerine oranla çok daha kısa sürede gerçekleştirilebilir. Burry'nin Utzon'un tasarladığı Sydney Opera binasının parametrik modelleme teknikleriyle çözümlenmesini yaptığı çalışmada, parametrelerle çalışmanın sağladığı manipülasyon kolaylığı test edilmekte ve ispatlanmaktadır (Burry ve Murray, 1997)



Şekil 3.5 Sidney opera binası parametrik tasarım etüdü. (Mark Burry, Zolna Murray, 1997)

Model 4 küreyi içerir.(şekil 4-a) Bunlar, bölünerek her biri iki tiyatro salonunun çatı parçaları olmuşlardır. Parametrik tasarımında hedefe ulaşmak için ilk olarak sabitler ve değişkenler tanımlanmalıdır. Bu çalışma sırasında kabukların sayısı dört olarak seçilmiş. Her kabuk, bir kürenin parçasıdır, her biri aynı yarıçapa sahip, her iki kabuk bir sırt formu oluşturmak için karşılaşılır. (şekil 4-b,4-c) Farklı koordinatlar verilmesi kürelerin merkezini değiştirir. Kesişen planların açısı, tanım çizgilerinin son-noktaları boyunca değiştirilebilir. Operasyondaki bir veya herhangi bir sayıdaki değişiklikten sonra, model parametreler için bütün yeni değerleri yerleştirmeyi denerken kendini yeniden oluşturur. Bu değişiklikleri kabul etme yada onları iptal edip önceki uyarlamaya dönme için kullanıcıya seçenek verir. (şekil 4-d), (Burry ve Murray, 1997)

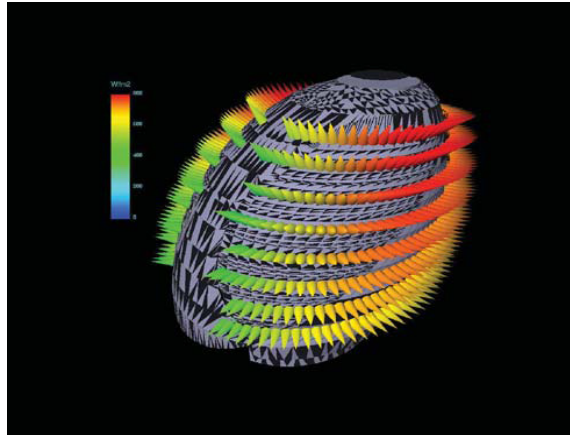
3.1.2 Performansa Dayalı Tasarım

Performansa dayalı tasarım, güneş, akustik, rüzgar gibi yapı fiziğiyle ilgili özelliklerin tasarımı yönlendirmesine olanak tanıyan bir tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda bina performansı binanın sadece yapı fiziğiyle ilgili özellikleriyle sınırlı değildir. Maliyet, strüktür, mekansal ilişkiler, sosyal yaşantıyla ilgili kriterlerin

karşılanması da bina performansı olarak ele alınır. Bilgisayar ortamında simülasyon teknikleri, tasarımın ilk aşamalarından itibaren tasarım teknolojileri olarak kullanılır ve mekanın biçimlenişini yönlendirir.

Kolarevic bilgisayar ortamında performans analizleri için, geometrik modelin birbiriyle ilişkili üçgen birimlere bölünerek (mesh) strüktürel, enerji kullanımıyla ilgili ve akışkan dinamiğiyle ilgili analizlerinin yapılması yöntemi olan sonlu elemanlar metodu (finite element method) yönteminden bahseder. Karmaşık biçimli mekanların performans analizleri bilgisayar ortamında bu gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilmekte ve bilgisayar grafiğindeki gelişmeler bu tekniklerin kullanımını kolaylaştırmaktadır.(Kolarevic, 2003)

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



Şekil 3.6 N.Foster ve ortakları, GLA Yönetim binası yıl içi ısı kazancı performans analizi (Kolarevic ve Malkawi, 2004)

Peter Cook ve Colin Fournier'in tasarladığı ve 2003 yılında Graz'da uygulanan Kunsthaus binası, sayısal strüktürel analizlerle optimum performansa göre revize edilmiştir. Foster ve ortaklarının GLA Yönetim binası, binanın akustik performansı

simülasyon programlarıyla yapılan analizlere göre biçimsel değişikliklere uğramıştır. Yapının eğrisel yüzeyi ve cephe elemanları, yıl içindeki güneşlenme verilerine göre biçimlendirilmiştir. GLA binasında görsel olarak bütün cam paneller farklı açılarda yerleştirilmiştir. Paneller üçboyutlu aydınlatma analizleri ve gün ışığı simülasyon teknikleri kullanılarak yapılmış. Her panelin ısıyla ilişkili özellikleri ayrı ayrı hesaplanmış. Her düz cephe hattında maksimum güneş ısıyı depolanmış. Isı kayıplarını önlemek için yalıtımlı cam kullanılmıştır.

3.1.3 Animasyon Teknikleriyle Tasarım

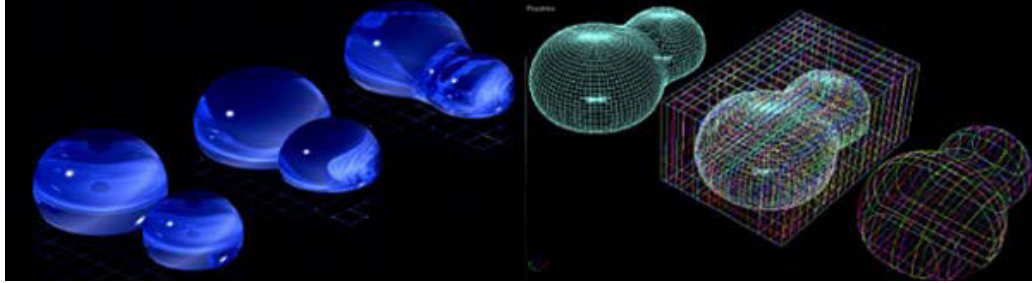
Animasyon genel anlamda hareketli görüntü oluşturma tekniğidir; el çizimleri, fotoğraf teknikleri, bilgisayar ortamında iki boyutlu görüntüler, üç boyutlu modeller ya da fiziksel modeller kullanılarak hareketi oluşturacak görüntüler tek tek oluşturulur. Ayrı ayrı oluşturulan kareler saniyede minimum 16 kare gösterildiğinde göz bunu hareketli görüntü olarak algılar. Mimarlıkta üç boyutlu sayısal modelin animasyonu genellikle projenin sunumunda mekanın anlatılması için bir temsil tekniği olarak kullanılmaktadır. Sayısal animasyon teknikleri mimarlıkta bir temsil tekniği olarak kullanılırken, Greg Lynn'in öncülüğünü yaptığı çalışmalarla animasyon bir tasarım teknolojisi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hareketin tasarıma katılması mekanik paradigmanın uzantısı olarak hareket eden binalar ya da kinetik mimari anlamında kullanılırken, Lynn animasyonu tasarım sürecine zamanın, evrimin ve yaşam boyutunun katılması olarak açıklamaktadır.



Şekil 3.7 Sayısal modelden uygulamaya, tasarım üretim süreci, Schmal, P., (2001)

Animasyonla tasarım yöntemleri ile tek bir kütle içinde, farklı bölgelerde farklı güçlere cevap veren ve dolayısıyla farklı kesitlere sahip olabilen mekanlar tasarlanabilmektedir. Bir yandan sürekliliğini korurken bir yandan biçim değişikliklerine uğrayabilen topolojik yüzeylerle çalışılır. Daha önceleri film

sektöründe, otomobil, gemi, uçak gibi ulaşım araçlarının tasarımında yaygın olarak kullanılan animasyon ve prototipleme teknolojileri mimari tasarım alanında kullanılmaya başlamıştır. (Özsel Akipek, 2004)



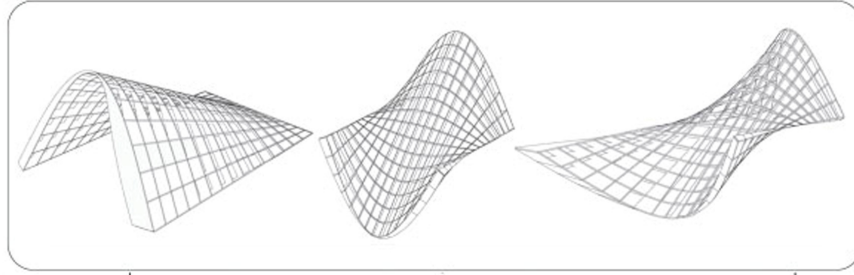
Şekil 3.8 Frankfurt otomobil fuarındaki Bmw pavyonunun formunun oluşma sürecinde iki damla suyun birleşmesinin film endüstrisi için kullanılan animasyon programı (3d Studio Max) yardımıyla bilgisayarda simüle edilmesi. (Biondi)

3.1.4 Evrimsel, Algoritmik Tasarım Teknikleri

Evrimsel teori, bilişim dünyasında da yeni yaklaşımların doğmasına neden olmuştur. Evrimsel yaklaşımlar, geleneksel yöntemlerin çözmekte zorlandığı karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Doğadaki evrimsel süreçleri model olarak kullanan problem çözme yöntem ve teknikleri, mimarlık alanında da kullanılan güncel yaklaşımlardır. Evrimsel süreçlerin ve genetik algoritmaların mimari tasarımda yaratıcılık ve form üretme aşamalarında kullanılması güncel bir konu olarak önem kazanmıştır.

Algoritma bir sorunun çözümü için adım adım ilerleyecek şekilde, iyice tanımlanmış, sonlu kurallar kümesi olarak tanımlanabilir. Genetik algoritmalar ise sıralı dizili kurallara sahiptir, farklı olarak parametreler söz konusudur. Değişen parametrelerle alternatif çokluğuna sahip bir sonuçlar kümesi elde edilir.

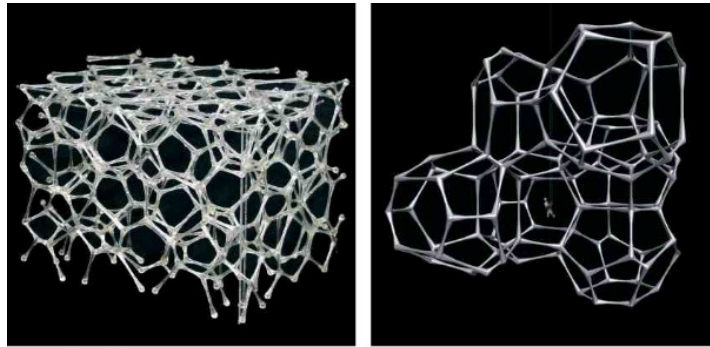
Genetik algoritmadaki alternatif doğal seçim ilkelerine dayanan bir optimizasyon yöntemidir. Mimar, biçimin kaynağını, biçimlenme kurallarını oluşturan genetik kodu yazar. Farklı çoğalma işlemleriyle aynı aileye ait, küçük farkları olan biçimler türetilir. Bu yöntemlerle geleneksel tasarım ortamında mümkün olmayacak çeşitlilikte tasarım alternatifleri elde edilir. (Altunbaş, Soygeniş, 2010)



Şekil 3.9 Michael Hensen, Achim Menges, İlişkili bileşenli strüktür çalışması. Kurulan algoritmanın önerdiği strüktür önerileri (Architectural Design, Mart-Nisan, 2006)

“Mimarın zihninde gelişen mimari bağlamın geleneksel anlatım şekli; boşluk, strüktür ve biçimdir. Evrimsel mimarlıkta ise genetik dil aracılığıyla, genetik kodu, algoritması hazırlanır. Hazırlanan kod ile türetici kurallar oluşturulur. Türetici kurallar ile çok kısa süre içerisinde, çok sayıda, birçoğu beklenmedik olan formlar ortaya çıkar. Bilgisayar modelleri ile formun gelişimi takip edilir. Evrimsel mimarlıkta, bilgisayar evrimsel hızlandırıcı ve üretken güç olarak kullanılmaktadır.” (Frazer, 1995)

Doğal malzemelerin geliştirilmesi ve biyolojik malzemelerin karmaşık iç yapıları üzerinde çalışmak evrimsel bir yaklaşımdır. Sıvı kristalleri, doğal polimerler, kopolimerler gibi kendi kendine düzenlenebilen malzemeler ilk olarak biyoteknoloji alanında, denizcilik, otomotiv, havacılık uygulamalarında kullanılmıştır; ama yeni strüktürler, sistemler üretmek, ileri mimarlık ürünleri ortaya çıkarmak için, potansiyele sahiplerdir. (Weinstock, 2006)



Şekil 3.10 Su küpü binası tasarımı, sabun köpüğü algoritmasından türeyen strüktürel düzen (Architectural Design, Mart-Nisan, 2006)

PTW mimarlık ofisi ve Arup tarafından tasarlanan Watercube, Weinstock (2006) tarafından kendi kendini türeten, organize olan bir strüktür tasarlandığı için evrimsel mimarlık ürünü olarak nitelendirilmiştir.

3.1.5 Blob “Kabarcık” formlu yapılar, “Blobitecture”

Aynı zaman da blob mimari yada bloism diye de adlandırılan blobitecture terimi modern mimaride yer alan damla formlu, amorf yaklaşımı temsil eder. Bu terim ilk olarak New York Times dergisi yazarı William Safire tarafından bulunmuştur. Yazar terimi birden ortaya çıkan amip şekilli binaları küçümseyici tanımında kullanmıştır. Blobitecture bugün hala geniş ölçüde kullanımda olan mimarinin dinamik bir formudur. Blobitecture tamamen bilgisayar destekli tasarımdan çıkmasından dolayı diğer herhangi bir mimari formdan farklıdır. Yazılımsal mimari işlerde BDT’i mimarlar binaların dış hatlarını herhangi bir şekle dönüştürme, idare etmek için kullanır. Onlar bunu yaparken yazılım otomatik olarak tasarıma yapısal sağlamlığı aşlayan matematiksel denklemleri hesaplar. BDT’in gelişmesinden önce, mimarlar yapısal kararlılığından emin olduklarından beri ana öklid şekillere bağlı kalmışlardır.

Blob mimarlık tasarım, hesaplama, bina inşa ve üretimi için bilgisayar bilgi teknolojileri kullanımına odaklanır. Bu BDT, FEM, CAMP ve CAB ile entegre 3D bir yaklaşım gerektirir. Rhinoceros ve Maya gibi çizim/tasarım programları mimarların kolaylıkla üç boyutlu karmaşık hacimleri çizebilmesini sağlar. GSA (Arup), Diana, Ansys gibi sonlu elemanlar yöntemi programları mühendislerin karmaşık yapıları analiz etmesine yardımcı olur.(Biondi, b.t.)

Bugün mimarların çoğu blob mimariyi cam ve çelik yapıları için uygular. Cam ve çelik malzemeleri blob binaları oldukça saydam yapmasından dolayı konut yapıları için nadiren kullanılır. Daha çok sıklıkla turistik çekim için müze, tiyatro, konser salonu gibi yerlerde kullanılır. Ayrıca gittikçe artan şekilde hava gözlemleri için jeodezik kubbeler ve seralar için olduğu gibi bilimsel yapılarda da kullanılmaktadır. Son olarak ticari binaların büyük çoğunluğunda blob yapılar kullanılmıştır. Norman

Foster'ın Londra meclis binası ve Future System mimarlık firmasının Self Bridge alışveriş mağazası buna örnek verilebilir.(Barnes, 2009)



Şekil 3.11 Selfbridge store (2003) ve The Sage Gateshead (2004) Blobitecture uygulama örnekleri (<http://en.wikipedia.org/wiki/Blobitecture>)

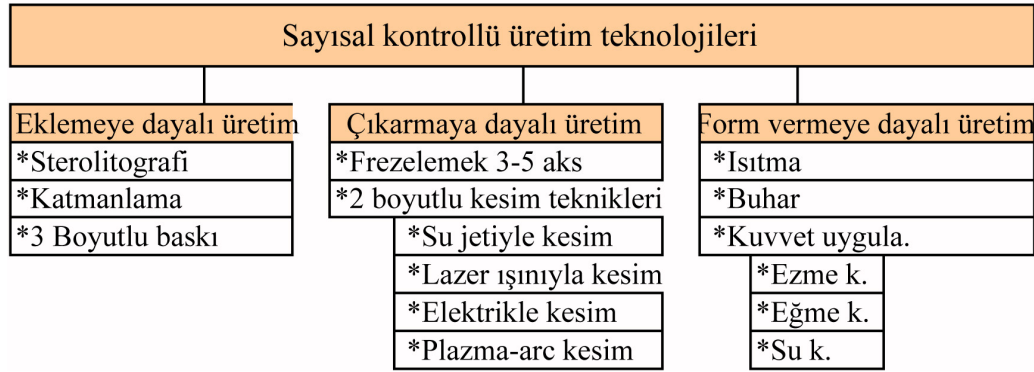
Blobitecture binaların yapımı, BDT sistemlerinin mimarlar ve iç tasarımcılar için ilk olarak geliştiriliyor olduğu 1990'lar esnasında ortaya çıkmış. 1993'te ilk blobitecture binası olan tamamen BDT'da tasarlanan Hollanda'daki su pavyonu inşa edilmiştir . Diğer büyük ölçekli projeler bu hızlı başarıyı takip etmiştir.Bunlardan bilinen en iyi örnek Bilbaodaki Guggenheim müzesidir. Müze ünlü Kanadalı - Amerikalı mimar Frank Gehry tarafından tasarlanmıştır. 1997'de halka açılmış, çeşitli içbükey ve dışbükey eğrilerden oluşmaktadır. Limanda inşa edildiğinden cam ve titanyum eğrileri sudan ve gökyüzünden gelen ışığı yansıtır.Bu modern sanat müzesi kuvvetle, Bilbao'yu İspanyol bir turistik cazibe yeri yapmaya katkıda bulunur.

Seattle da Gehry tarafından tasarlanan bir başka bina olan Experience music project müzesi 2000'de açılmıştır. Bilbao daki Guggenheim müzesindeki gibi bu müzede de metal tabakalardan yapılmış rastgele görünümlü eğrilerden oluşmuştur. Ayrıca Peter Cook ve Colin Fournier 'in Avusturya grazdaki Kunsthau (2003) binası blob binalara örnek olarak gösterilebilir. Norman Foster'ın Thames Nehri kıyısındaki binası "London City Hall" ise, cephede güneş ışığına direkt maruz kalan alan miktarını daraltmayı ve enerji tasarrufu sağlamayı amaçlayan,'deforme edilmiş küre' biçimindeki formu ile 'blob' mimarlığın sadece biçimsel bir arayış olmadığını en başarılı kanıtıdır. (Blobitecture, 2009)

3.2 Sayısal Üretim Teknolojileri

3.2.1 Bilgisayar Destekli Üretim

İngilizce CAM kısaltmasıyla kullanımı yaygınlaşan terim literatürde bilgisayar destekli üretim ya da sayısal üretim teknolojileri terimleriyle ifade edilmektedir. Bu teknolojilerinin kullanıldığı üretim sürecinde, tasarım evresinde elde edilen bilgisayar ortamındaki proje bilgileri yine bilgisayar ortamında fabrikaya ulaşır. “Dosyadan fabrikaya” olarak isimlendirilen bu süreçte bilgisayar tabanlı sayısal kontrole dayalı üretim teknikleri kullanılır. Çalışmada sayısal üretim teknolojileri üründe yapılan işleme dayalı olarak üç ana grup altında toplanmıştır. Bunlar eklemeye, çıkarmaya ve biçimlendirmeye dayalı üretim teknikleridir.



Şekil 3.12 Sayısal kontrollü (bilgisayar destekli) üretim teknolojileri sınıflandırması

Çıkarmaya dayalı üretim içinde yer alan iki boyutlu kesim teknikleri lazerle, su jetiyle ya da *plasma-arc* teknikleriyle kesimin gerçekleştiği, iki aksta (x-y) hareket eden bir kol ve malzemenin bulunduğu yataktan oluşan bir sistemdir. Lazerle kesim sisteminde kızıl ötesi ışık yüksek basınçlı karbondioksit gazıyla birleştirilir ve kesilecek malzeme yakılarak ya da eritilerek kesilir. Su jetiyle kesimde, basınçlı su malzemeyi aşındıracak partiküllerle birleştirilerek ince bir başlıktan akıtılır ve bu basınç çok hassas, net biçimli bir kesim işleminin yapılmasını sağlar. *Plasma-arc* sisteminde 25 000 fahrenheit ulaşan yüksek ısı altında gaz plazmaya ve sonra tekrar gaza dönüşerek yüksek ısıyı kesilecek malzemeye yöneltir. Bu tekniklerden

hangisinin kullanılacağı malzemenin kalınlığına ve türüne göre değişir. (Özsel Akipek, 2007)



Şekil 3.13 a-F. Gehry, Zollhof Kuleleri, Çelik desteklerin plazma-ark CNC tezgahında kesimi
b- ABB Mimarlık BMW Sergi binası, Alüminyum su jeti CNC tezgahta kesimi (Kolarevic, 2003)

Üç boyutlu çıkarma işlemine dayalı üretim sistemi, belirlenen hacmin katı cisimlerden çıkarılmasına dayalı olan ve elektronik, kimyasal ya da mekanik çıkarma tekniklerinin kullanıldığı bir sistemdir. Bu teknikler iki boyutlu kesim tekniklerinin geliştirilmiş halidir ve levhalar yerine belirli bir hacme sahip katı cisimlerin işlenmesini sağlar. İşleme makinelerinin aks sayısı arttıkça kesim yönlerinde ve biçimlerinde esneklik sağlanır. Örneğin üç eksenli işleme aletiyle iç bükey ve pahalı bir kesim yapılamazken aynı işlem dönme akslarının fazlalaştığı dört ya da beş eksenli işleme aletleriyle yapılabilir. İşleme ucunun boyutu ve ölçüleri kesim hassaslığına göre değişir. Sayısal kontrollü işleme sistemlerinde bir bilgisayar sistemi kesim işlemlerini kesim aletine aktarır ve sistemin kurulması uzmanlık gerektiren bir süreçtir. (Özsel Akipek, 2007) Bu yöntemle üretilen, çift yönlü eğrilerden meydana gelmiş karmaşık eğri çizgisel yüzeyli lamine cam elemanlardan oluşan Bernard Franken'in BMW Pavyonu için tasarladığı "Bubble" (1999) inşa edilmiş ilk örneklerdendir.

Ekleme işlemine dayalı üretim sistemlerinde, işlemenin ve çıkarmanın tersine katman ekleyerek üretim yöntemleri kullanılır. Sayısal katı model iki boyulu katmanlara ayrılır; her katmanın bilgisi üretim makinesinin işlem yapacak koluna aktarılır ve katman katman oluşturulur. Bu amaçla geliştiren ilk teknik, sterolitografi tekniğidir. Sterolitografi tekniği sıvı polimerlerin lazer ışığıyla katılaştırılmasına dayalıdır. Lazer ışık demeti, modelin bir kesitini sıvı polimere işler ve katılaştıran

katman üzerine kurulduğu yardımcı platformla aşağı itilir ve diğer katmanın işlenmesine başlanır. Katmanlama işleminden sonra sıvı içindeki cisim platformdan ayrılır ve fazlalıklarından temizlenir. Benzer diğer yöntemlerde katmanlama işlemi, sıvı polimer yerine metal toz eritilerek, seramik tozu yapıştırılarak ya da balmumunu çeşitli işlemlerden geçirerek yapılır. Bu yöntemlerle üretilebilecek prototipin boyutu kısıtlıdır; uzun ve pahalı bir işlemdir. Tasarım sürecinde karmaşık ve eğrisel biçimli maketlerin üretilmesinde ve uygulama sürecinde örneğin çelik birleştirme elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Daha büyük boyutlu bileşenlerin üretimi için beton spreyleme ya da kontur işleme (contour crafting) gibi teknikler geliştirilmektedir.

Biçimlendirmeye dayalı üretimde malzeme mekanik güçler kullanılarak ve ısı ya da buhar yardımıyla şekillendirilir. Bu yöntemle çelik ya da ahşap gibi elastik malzemelerden oluşan tüp, kiriş benzeri birimler bilgisayardaki verilere uygun biçimde eğilebilir, bükülebilir ya da katlanabilir. Bu tekniklerle üretilen bileşenler uygulama yerinde geleneksel yöntemlerle ölçme, aplikasyon teknikleriyle yerleştirilmez. Sayısal modeldeki bileşenlerin uygulama alanındaki yerleri elektronik araştırma ve lazer pozisyon teknikleriyle bulunur, yerlerine taşınır ve birleştirme işlemi başlar. (Özsel Akipek, 2007)

3.2.2 Kitlesel Bireyselleştirme (Mass Customization)

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

Kitlesele bireyselleştirme uygulamaları, temelde müşterinin taleplerine uygun olarak seri üretim ile üretilen ürünlerin kombinasyonlarının oluşturulmasıdır. Kitlesele bireyselleştirme uygulamalarının çoğunda tasarlanan elemanlara ait özellikler, BDT/

BDÜ sistemlerine girilerek üretim bilgisine dönüştürülmektedir. BDT sistemleri, müşterilerden gelen tasarım değişikliklerinin uygulanmasını ve zamanında üretim zincirine dahil olmasını sağlarken, BDÜ sistemleri bir yandan makine kullanımını en üst düzeye çıkarmakta, diğer yandan çok çeşitli ürünün işlem görmesine izin vermektedir. Ürün ve süreçlerin standartlaştırılırken aynı zamanda esneklik kazanmaları, kitlesel bireyselleştirme girişimlerinin en önemli parçasıdır. Bunun için ürünlerin, süreçlerin ve tedarik zincirinin modüler olması sağlanmaktadır. Modülerlik, ürünün standardizasyonunu gerektirmektedir. Modüler bileşenler geliştirilirken özellikle parçalar arasındaki arayüzler gündeme gelmektedir. Çeşitli modüllerin birbiriyle olan ilişkisi ise ürün, süreç veya dağıtım farklılaştığında değişmektedir. Bu nedenle iletişim ve bilgi altyapısının organizasyonunda arayüzlere ihtiyaç duyulmuş ve sayısal teknoloji devreye girmiştir. (Ediz, Erbil, 2010)



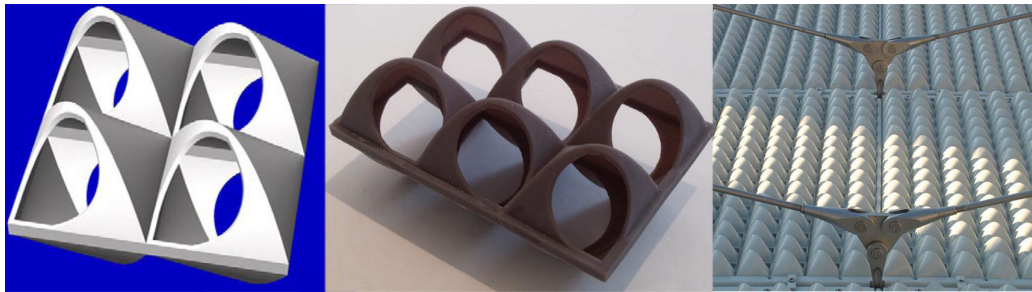
Şekil 3.14 Utrecht Akustik Bariyer, ONL, 2006, (Oosterhuis -Lénárd)

Yapım sürecinde kitlesel bireyselleştirme üretim tekniği uygulanan yapılara Hollanda’da tasarlanıp uygulanan ses bariyeri verilebilir. Sayısal ortamın potansiyelinden faydalanılarak oluşturulmuş bir yapıdır. Kas Oosterhuis tarafından tasarlanan bu yapı, birbirinin aynı olmayan fakat “kendine benzer” (*self similar*) elemanların yan yana gelmesiyle Rotterdam Utrecht otobanında doğa ile etkileşime girerek, 1,5 kilometre boyunca uzanır. Birbirine benzer nitelikteki yapı elemanlarının ve bileşenlerin özünde birbirlerinden farklılaştıkları izlenir. Sözü edilen elemanların her biri ayrı ayrı sayısal ortamda tasarlanarak üretilmiştir.

3.2.3 Hızlı Prototipleme (Rapid Prototyping)

Bir fikrin tasarıma dönüşmesi için modelinin oluşturulması zorunludur. Grafik ekranda oluşturulan modeller bir yerden sonra ürünü tam olarak gösterebilme noktasında yararlı olamayabilir. Bazı geometrik ve fonksiyonel nedenler o tasarımın modelini gerekli kılmaktadır. Genelde test aşamasının daha düşük maliyette ve kısa zamanda yapılabilmesi için model üzerinde yapılacak analiz ve simülasyon işlemleri daha büyük önem taşır

Ürün geliştirme aşamasında modellere ve prototiplerin değişik formlarına ihtiyaç duyulur. Farklı ürün geliştirme aşamaları için de değişik şekillerdeki prototiplere örneğin; tasarım modeli, geometrik prototip, fonksiyonel prototip, teknik prototip ve üretim öncesi parça şeklinde ihtiyaç duyulur. Üretilcek eş parçaların birbirlerine fiziksel olarak uygunluğunun görülmesi, geometrik prototiplerle mümkün olmaktadır. Fonksiyonel test aşamasında 2, 3,...5 kadar fonksiyonel prototip üzerinde yapılan testlerle parçanın alması istenilen form veya mekanik özellikler kontrol edilir.(Pak, 2005)



Şekil 3.15 Nasher heykel müzesi, Renzo Piano-2003, hızlı prototipleme tekniğiyle oluşturulan gölgeleme elemanı, (Stacey, Beesley ve Hui, 2004)

Dosyadan fabrikaya olarak adlandırılan üretim biçimi, devrim yaratarak tasarımdan uygulamaya birçok sürecin yeniden tanımlanmasını sağlamıştır. Frank Gehry ve Beucker Maschlanka tasarım ofislerinin birlikte gerçekleştirdiği Zollhof yapısının mimari tasarım ve uygulama anlayışı, bu görüşü desteklemektedir. 1994 yılında tasarımına başlanan Zollhof yapı bloğunun erken tasarım aşamasında mimari programa ilişkin verileri temsil eden değişik maket kütleler birleştirilerek üst üste yığılmış ve değişik kombinasyonlar denenmiştir. Her deneme aşamasında üç boyutlu

sayısallaştırcılar kullanılarak yapının işlenmesi sağlanarak sanal prototipleme yapılmıştır. Daha sonra kalıp tasarımı ve üretim optimizasyonu sürecinde sanal prototip uygun büyüklükte dilimlere bölünerek kodlanmış ve üretimi yapacak gerece uyarlanmıştır. Bu aşamadan sonra çok eksenli freze gereçleri kullanılarak 1/1 ölçekli kalıp üretimi yapılmıştır. Son olarak ana taşıyıcı sistem şantiye alanında inşa edilirken, fabrikada kalıplara yüksek kaliteli beton dökülerek karmaşık duvar parçaları hatasız şekilde üretilmiş ve kod bilgileri kullanılarak şantiyede montajı tamamlanmıştır. (Pak, 2005)



Şekil 3.16 Zollhof yapı bloğunun ürün geliştirme ve üretim süreci, (<http://thomasmayerarchive.de>)

a-b. Üç boyutlu NURBS model

c-d. Üç boyutlu modelden 1/1 kalıp imalatı için CNC cihazının kalıbı şekillendirme süreci

e-f. Donatıların döşenerek kalıba beton dökümü



Şekil 3.17 Zollhof yapı bloğu ürün geliştirme ve üretim süreci, (<http://thomasmayerarchive.de>)

a-b. Beton duvarın prizini aldıktan sonra kalıptan çıkartılarak şantiyeye taşınması

c-d. Duvarın şantiyede montajının yapılması

e-f. Parlatılmış paslanmaz çelik cephe montaj sonrası cephe detay ve genel görünümleri

3.2.4 Robotik Üretim Teknolojileri

Robotik bilimi, bilgisayarların hızlanması ve kapasitelerinin artmasıyla hızla büyümekte olan, elektronik ve mekanik gibi birden fazla alanı kapsayan bir alandır. Bir robot içersinde sistemin çalışmasını sağlayan algoritmaların tasarımcı tarafından girildiği bir kontrol ünitesi, motorlar ve mekanik aksamlar yer alır.

Robotlar endüstride birçok alanda kullanılmakla birlikte bu alanların çoğunu seri imalat hatları oluşturmaktadır. Henüz robotların çok da içine girmediği bir alan inşaat sektörüdür. Bu alanda örnek gösterilecek yapılardan biri New York'taki Pike Caddesinde yükselen bir duvardır. Sistemi ve duvarın mimarisini tasarlayanlar ETH Zürich üniversitesinde sayısal mimari üretim ile ilgili çalışmalar yapıyor olan Fabio Gramazio ve Matthias Kohler'dir.



3.18 New York Pike caddesi sergi

<http://www.flickr.com/photos/dickblick187>

Bu duvar her ne kadar bir bina değilse de normal duvarlarda kullanılan tuğlalar ile 6 eksenli endüstriyel bir robot tarafından örülmüştür. Bir sanat galerisinin sergisi çerçevesinde sanatsal bir yapı olarak örülen duvarda 7000'in üzerinde tuğla kullanılmıştır. Toplam uzunluğu 22 metredir. Robotun tuğlaları birbiri üzerine dizmesi sonucu normal bir duvar değil, dalgalı ve içi içe giren bir sanat eseri ortaya çıkmıştır. Robot daha önceden belirlenen şekilde tuğlaları üst üste koyup hızlı donan bir malzeme ile yapışmasını sağlamıştır. Robotun altında duvar boyunca gidip gelmesini sağlayan bir de araç bulunmaktadır.

3.2.5 Sayısal Teknolojilerle Üretimde Rasyonalizasyon Teknikleri

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. Sayısal teknolojiler mimarlara geometri denetimiyle bütçe üzerinde kontrol sağlama imkanı verir.

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 iç kutuplanmasıyla 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 sayısal kontrollü kesim teknolojileri kullanılarak bileşenler oluşturulur.(Köksal, 2005)

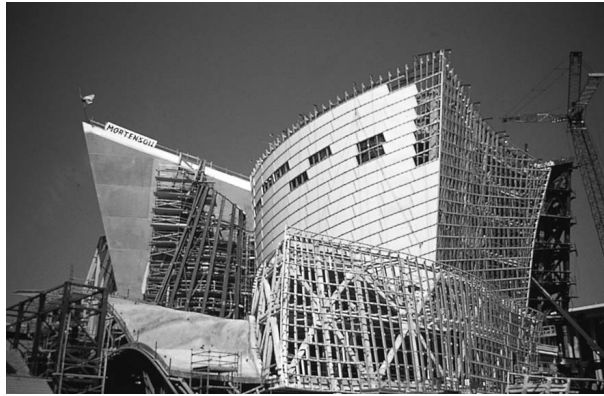
Düzlemsel mozaikleştirmenin en etkin yolu olan üçgen yaratma metodu birçok projede başarıyla uygulanmıştır. N.Foster tarafından tasarlanan British Museum’un “Great Court” büyük avlusunun cam çatı örtüsü bu yöneme iyi bir örnektir. Foster’ın ofisi pek çok projelerinde parametrelere dayanan karmaşık geometriye biçimler tasarlamışlardır. Karmaşık eğrilerin rasyonalize edilmesi küre, koni, silindir, torus biçimlerinin sahip oldukları radyal geometrilerin tasarımdaki karmaşık yüzeylere yerleştirilmeleriyle gerçekleşir.



Şekil 3.19 British Museum Great Court çatı strüktürü düğüm bağlantı detayı ve çatı yapım süreci. (Brookes ve Poole, 2005)

“British Museum Great Court” avlusunda istenen, çevredeki duvarlara büyük yükler yüklemeyen, sütun olmadan yüksek ölçüde yarı saydam bir çatıyla geniş avluyu örtmekti. Bu çatı örtüsü sergi alanlarıyla kütüphane arasında kalan galerilerin üzerini örtmektedir. Avlunun cam ve çelik çatısı bilgisayar tarafından tasarlanmış ve 3 mm’lik hata payı ile 10 ayda tamamlanmıştır. 315 tonluk camı destekleyen 478 tonluk çelik yapı, yeni 6,000 m²’lik meydanı kapatmak üzere inşa edilmiştir.

Çift eğrili yüzeyleri rasyonalize etmekte kullanılan başka bir yöntemde onları “kurallı geliştirilebilir” (rule developable) yüzeylere dönüştürmektir. Kurallı yüzeyler uzaydaki iki eğrinin düzlemsel iç kutuplanmasına 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. (Köksal, 2005)



Şekil 3.20 Walt Disney Konser Salonu, yapım sürecinde birincil ve ikincil çelik iskelet sistem üzerine kurulan paslanmaz çelik cephe yüzeyinin rasyonelleştirilmesi

3.3 Sayısal Mimarlıkta Kullanılan Yeni Malzemeler ve Geleneksel Malzemelerin Yeni Kullanım Biçimleri

Mimarlık-teknoloji ilişkisinin bir başka boyutu da yapı malzemelerindeki gelişmelerdir. Geçmişte taşıyıcı görevde olan ve getirdiği zorunluluklarla tasarımı şekillendiren malzemenin mimarlıkla olan ilişkisi gelişen teknoloji ile dönüşmüş,

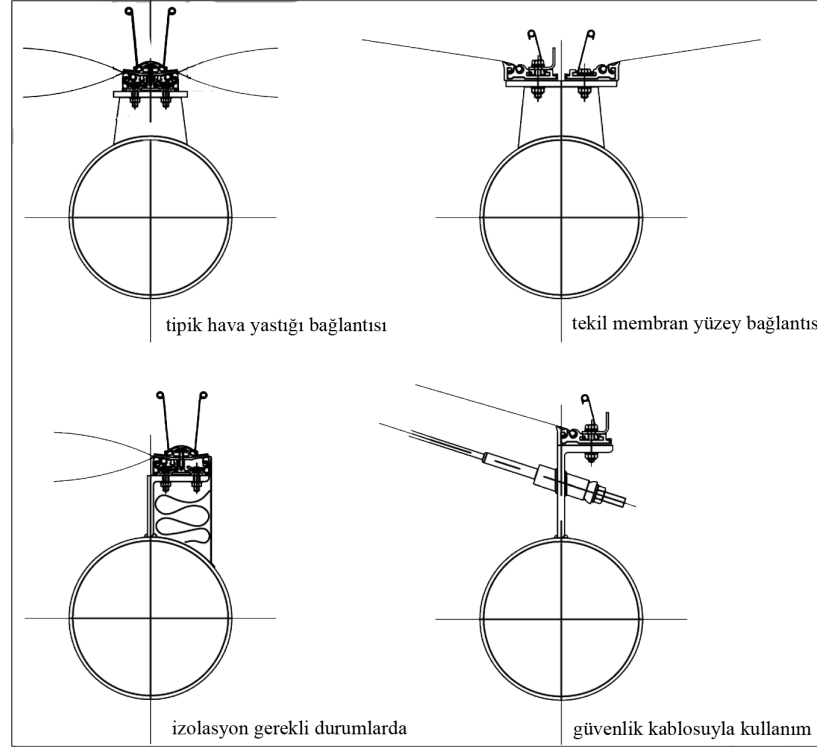
günümüzde malzeme ona ifadesini yükleyen tasarımcının yeteneği ile şekillenen ve yapıya estetik dilini veren bir araç haline gelmiştir. (Akyol Altun, 2007)

Günümüzde yeni, çoğunlukla sayısal olarak yönetilen ve yalnızca yapım süreçlerini değil, yapı elemanlarının doğasını, bir araya gelişlerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini de değiştiren üretim tekniklerine artan bir ilgi vardır. Yale Üniversitesi mimarlık bölümünden Prof. Keller Easterling'e göre bu üretim teknikleri yeni plastikler, metaller ve kompozit malzemeler ile birlikte mimari üretim tekniklerinin dünyasında kendilerine bir yer açmakta ve bizim prefabrikte ya da standartlaşmış yapı elemanları konusundaki fikirlerimizi değiştirmektedir. Bu kapsamda çalışmanın bu bölümünde sayısal teknolojilerin gelişmesiyle mimarlık uygulamalarında yer almaya başlayan yenilikçi yapı malzemelerine yer verilmiştir.

3.3.1 ETFE 'nin Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı

1938 yılı 6 Nisan'ında Dupont laboratuvarlarında yürütülmekte olan soğutucu gazlarla ilgili bir çalışma sırasında tesadüfen bulunan politetrafloroetilen (PTFE) ile floroplastik çağı başlamıştır. Diğer floroplastiklere kıyasla oldukça genç sayılabilecek olan ETFE'yi Dupont, TEFZEL ticari markası ile üretmektedir. ETFE'nin molekül yapısının ağırlık olarak % 75'inin PTFE olması, buna karşılık hem daha hafif, hem de daha kolay şekillendirilebilir olması, ayrıca aşınma ve radyoaktivite dayanımının PTFE'den daha iyi olması nedeni ile kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Halk arasında ETFE kısaltması ile bilinen etilen tetrafloroetilen florokarbon tabanlı bir polimerdir. Cam ile karşılaştırıldığında, ETFE filmleri camın ağırlığının %1 i kadar ağır olup, daha fazla ışık geçirir ve montaj maliyeti %24 ila %70 arasında daha düşüktür. Düşük sürtünme katsayıları, kimyasal durağanlık, dielektrik özellikleri vardır. Esnektir, kendi ağırlığının 400 katını taşıyabilir. Esneklik kaybı olmadan kendi boyunun üç katına kadar gerilebilir. Yapışmaz yüzeyi sayesinde kendiliğinden temizlenebilir. Sıcak hava uygulanarak yırtıklar yamayla onarılabilir ve birçok katman daha büyük bir panel içinde birleştirilebilir. Geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Tutuşturulduğu zaman zehirli duman yaymaz.



Şekil 3.21 Tipik ETFE bağlantı detayları, (<http://www.architen.com>)

ETFE 0.05 mm den 0.25 minime kalinlığa kadar yapısal membran inşalarında kullanılır. ETFE tabakalarından yapılan tasarımlar genellikle, hava basıncıyla ön gerimli pnömatik sistemlerdir. İki yada çok katmanlı hava minderleri sürekli hava desteği görürler. Bireysel minderler herhangi bir destek yapısı gerektirmeden 4.5 metre açıklık geçebilirler . Ayrıca ekstra bir kablo ağ takviyesiyle çok daha geniş açıklıklar mümkündür. Hava tedariki ve kontrol sistemi büyük ölçüde, otomatikleştirilebilir. Minderlerin düşük yüzey ağırlığı yüzünden yapı strüktürü tasarımları çok kırılğan ve hafif olabilir.

Tek katmanlı ETFE membran $5.6 \text{ w/m}^2\text{K}$ yalıtım değerine sahipken standart üç katmanlı ETFE folyo hava minderleri $1.96 \text{ w/m}^2\text{K}$ yalıtım değerine sahiptir. Bu üçlü cam cephelere göre daha iyi bir izolasyon değeridir. ETFE hava yastıklarının izolasyon kalitesi ek folyo katmanlar eklenerek arttırılabilir. Hava yastıkları çatı ve cephe yüzeyi üzerinden ahşap, çelik veya alüminyum çerçevelerden yapılmış olan taşıyıcı strüktür üzerinde gerilir. Baskı ile ekstra ilginç tasarım olanakları ve bu sayede ekstra yapılar olmadan gölgeleme için kullanılabilirler. Hareketli tasarımlar

mümkündür. Saydam çatı tasarımlarına kıyasla yaklaşık %30-50 tasarruflu mal olurlar.(ETFE foil: A guide to design, b.t.)



Şekil 3.22 Etfе yapı malzemesinin kullanıldığı yapı örnekleri : a-Eden projesi, b-su küpü, (www.flickr.com/search/?q=+etfe&w=all&m=&s=int&mt=&referer_searched=1)

Modern mimariyi cephe ve çatılarda saydam strüktürün kullanımı olmadan hayal etmek çok güçtür. Camın kullanıldığı yapıların yanında, ETFE film tabakalarından yapılan yenilikçi yapılar gittikçe önem kazanmaktadır. ETFE folyolar estetik görünümü, hafiflik ve ışık geçirgenliğinin yanı sıra, geniş açıklıkları kolayca geçebilme özellikleriyle aşağıdaki yapılarda daha sıklıkla kullanılmaktadır:

- Stadyum ve spor merkezleri
- Yüzme havuzu ve su parkları
- Hayvanat bahçesi tesisleri ve yağmur ormanı evleri
- Ticari şov ve mağaza gösteri hollerinde
- Alışveriş merkezleri ve atriyumlar

3.3.2 Tutkallı Ahşap'ın Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı

Doğal bir malzeme olması nedeniyle son dönemde oldukça tercih edilen ahşabın, fırınlanması ve kurutulması sonucu, taşıma performansı artırılmış bir strüktür malzemesi olan tutkallı ahşap elde edilmektedir. Tutkallı tabakalanmış ahşap kızıl ya da sarı çam esaslı tabakaların planlayıp birbirine yapıştırılması ile oluşmaktadır. Aslında 20.yüzyılın başından beri bilinen bir malzeme olmakla beraber mimarlıkta büyük konferans salonları, oditoryumlara, eğrisel formlara uygunluğu nedeniyle 20. yy.'ın sonuna doğru geliştirilmiş ve kullanılır olmuştur. (Akyol Altun, 2007)

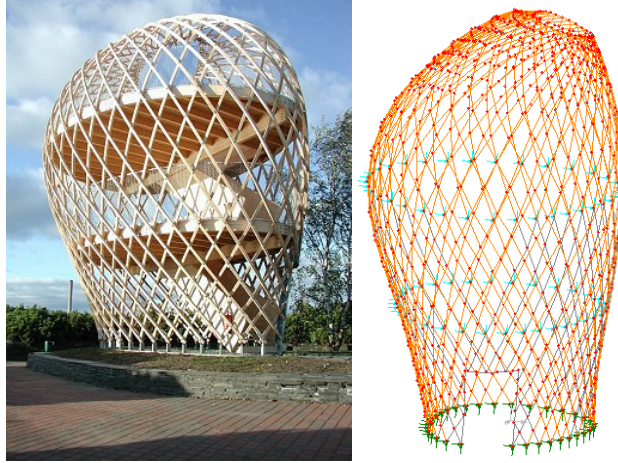
Strüktürel amaçlı kullanılan tutkallı tabakalanmış ahşap, uygun standartlarda seçimi, tasnifi ve ön hazırlığı yapılan ahşap tabakaların uygun bağlayıcılarla birbirine bağlanmasıyla elde edilen, basınç mukavemet dereceleri hesaplanmış birleşik ürünlerdir. Tekil tabakalar kereste kalınlığında olmaktadır. Tabakalaşmalar, uç uca eklenen ve uzun boylar yaratan parçalardan, üst üste tutkalanıp geniş kesitler yaratan parçalardan yada tutkallama sırasında eğrisel biçim elde etmek üzere bükülen parçalardan oluşmaktadır.

“Endüstriyel ahşap tekniğın, ilerlemesinde en önemli nedenlerden biri de bilgisayar BDT tekniklerinin inanılmaz yükselmesinin yanı sıra, ancak bu matematiksel modellerle inşa edilebilir organik, çok açıklıklı geometrik yapı modellerinin gündeme gelmesidir. Bilgisayar programları, ilk eskizden tasarıma, tasarımdan uygulamaya ve ön yapım elemanların yaptırılmasına kadar görev başındadır. Özellikle, üretim bandının her noktasında, sayısal kontrollü üretim bölümlerinde ve genel kalite denetiminde bilgisayar sistemleri yer almaktadır.” (Tokyay, 2001)



Şekil 3.23 Pompidou Metz lamine ahşap çatı kabuğu
(www.panoramio.com/photo/23762299)

Yapım sürecinde sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin kullanıldığı, yapımında tutkallı ahşap kullanılan yapılara Pompidou Metz yapısı örnek olarak gösterilebilir. Pompidou Metz'in çatısının bir kumaş gibi toplanan altı köşeli şekli zemin kat planına yansır. 2.9-metre kenarıyla altıgen modüler öğelerden oluşmuştur. Bu öğeler yapıyı dirençli yapmak ve öğelerin uzunluğunu sağlamak için üç tabakalı tutkallı lamine ahşaptan yapılmıştır. Bu ağ, 40 metre civarı mesafeyi geçmeyi olanaklı kılar.



Şekil 3.24 Korkeasaari hayvanat bahçesi gözetleme kulesi
(http://www.lusas.com/case/civil/wooden_tower.html)

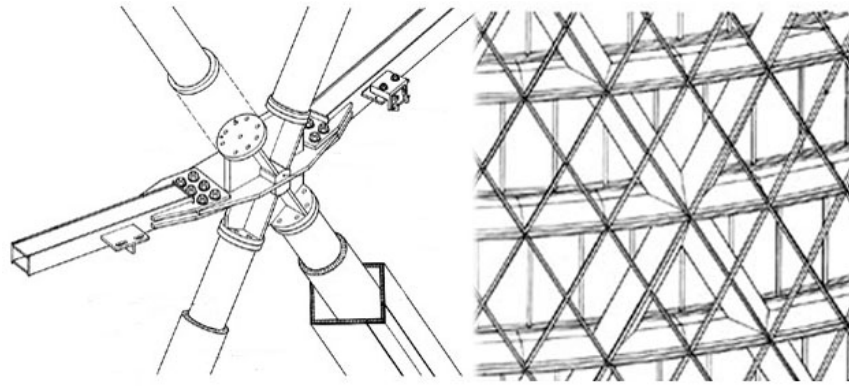
Ville hara tarafından 2002 de tamamlanan Korkeasaari gözetleme kulesi yapımında sayısal teknolojilerin kullanıldığı lamine ahşap yapılara iyi bir örnektir. Taşıyıcı yapı 72 metre uzunluğunda 7 farklı önceden bükülmüş tipte 60 mm x 60 mm kesitlerde ahşap taban tahtalarından oluşmaktadır.yapıya uygulanan yük altında emniyet ve yapısal davranışı analiz etmek ve kanıtlamak için LUSAS yazılımı kullanılmıştır. Mimarın karmaşık, düzensiz geometrideki üç boyutlu modeli DXF arabirimi kullanılarak LUSAS yazılımı içine aktarılmıştır. Tam bir yapısal analiz yapabilmek için desteklerin, yüklerin ve kesitlerin özellikleri tanımlanmıştır. (Salokangas,2011)

3.3.3 Çeliğin Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı ve Diyagonal Izgara Çelik İskelet Sistem Uygulamaları

Günümüzde gerek içerisinde kolon bulunmayan büyük açıklıklı binalara, gerekse büyük yerleşim yerlerinde belirli merkezlerde toplanan yoğun insan kitlesini barındıracak çok katlı binalara olan ihtiyaç; bu binaların taşıyıcı iskeletlerinde yüksek dayanımlı malzeme kullanma zorunluluğu getirmektedir.

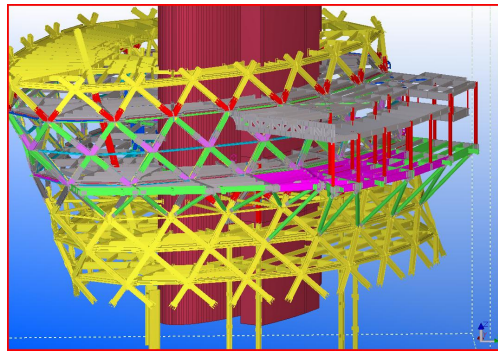
Diagrid büyük yapılar inşa edebilmek için çapraz destek kirişleriyle üçgen strüktür oluşturan tasarım anlayışı, biçimidir. Diagrid terimi çapraz ızgara anlamına gelen “diagonal grid” kelimelerinin kısaltılmasından gelir. Bu geleneksel çelik

çerçeve sisteme göre daha az yapısal çelik gerektirir. Bu uygulamayla çelikten %20 civarında tasarruf edilebilmektedir. Sir Norman Foster tarafından tasarlanan Hearst Tower içinde standart bir tasarıma göre yüzde 21 daha az çelik kullanıldığı bildirilmiştir. Diyagonal ızgara sistem ayrıca büyük köşe sütunları ihtiyacını ortadan kaldırır ve daha iyi bir yük dağılımı sağlar. Diğer önemli özellikleri: kat planlarında özgürlük sağlar, form diyagonal ızgara dan türeyebilir veya diyagonal ızgara sistem formun gereksinimlerinden türeyebilir, tipik gökdelenlerde kullanılan çoğu kaplama ve örtü tipleri diyagonal ızgara sistemle kullanılabilir.



Şekil 3.25 30.St Mary axe; Swiss re binası, diyagonal grid strüktür birleşim detayı

Capital Gate, Ortadoğu'nun diagrid kullanan ilk binası olma özelliğini taşımaktadır. 2004 yılında tamamlanan 30 St Mary Axe ofis binası ilk büyük ölçekli diagrid yapıdır. Diğer önemli örnekleri ise New York'teki Hearst Kulesi ve Beijing'teki CCTV' dir.



Şekil.3.26 Capital Gate diyagonal grid çelik strüktür üç boyutlu modeli
(<http://www.tekla.com/international/Tekla-global-BIM-awards-2009>)

Abu Dabi'de inşaatı süren Capital Gate adlı gökdelen, dünyanın en eğik kulesi unvanını İtalya'daki Pisa Kulesi'nden almıştır. Batı yönünde eğikliği 18 derece olan 160 metre yüksekliğindeki gökdelenin unvanını Guinness tescil etmiştir. The Capital Gate kulesi zaman içinde eğilen Pisa Kulesi gibi değil, tersine 12. kattan itibaren zemin plakalarının derecelendirilmesi ile tasarlanmıştır. Binada hiçbir şekilde simetri bulunmamakta bu nedenle hem içeriden hem de dışarıdan farklı bir görüntüsü vardır. Bina dış taşıyıcı iskeleti rüzgar ve sismik basınçlar ile oluşan gerilimleri karşılamak için tasarlanmıştır. Cephedeki her bir baklava formu 5 ton ağırlığındadır ve 18 cam bölme içerir. Cephe toplamda 21.000 m2 cam kullanılmıştır. 12.500 den fazla cam bölme kulenin dış cephesindeki 720 den fazla farklı baklava şekline form verir.

Ülkemizde diyagonal ızgara çerçeve sistem uygulamalarına fazla rastlanılmamıştır fakat GAD mimarlık ofisinin tasarladığı Borusan müzik ve sanat evi yapısı diyagonal uygulamalara örnek olarak verilebilir.

3.3.4 Camın Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı



Şekil.3.27 St. lazair metro istasyon girişi

(<http://www.flickr.com/photos/83739092@N00>)

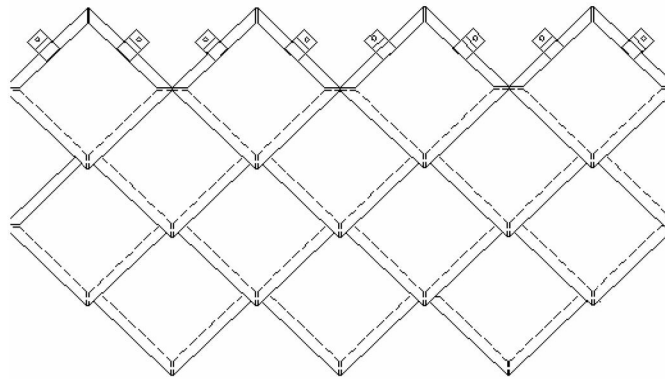
Kırılgan bir malzeme olan cam, günümüzde teknolojik olanakların yardımıyla eğilme dayanımı artırılmış bir strüktür malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Strüktürel camın yanı sıra mevsimlik değişimlere adaptasyon yeteneğine sahip, dinamik filtrelerle doğal aydınlatmayı sağlarken, güneşten ısı kazancı, güneş kontrolü, güneş spektrumunun farklı dalga boylarındaki ışınlarını seçerek geçime

özelliğine sahip olan akıllı camlar (smart&Switchable Glazing) (seçici geçirgen camlar, elektronik, fotokromik camlar) geliştirilmiştir. (Ayçam, 2002)

3.3.5 Titanyumun Sayısal Mimarlık Uygulamalarında Kullanımı

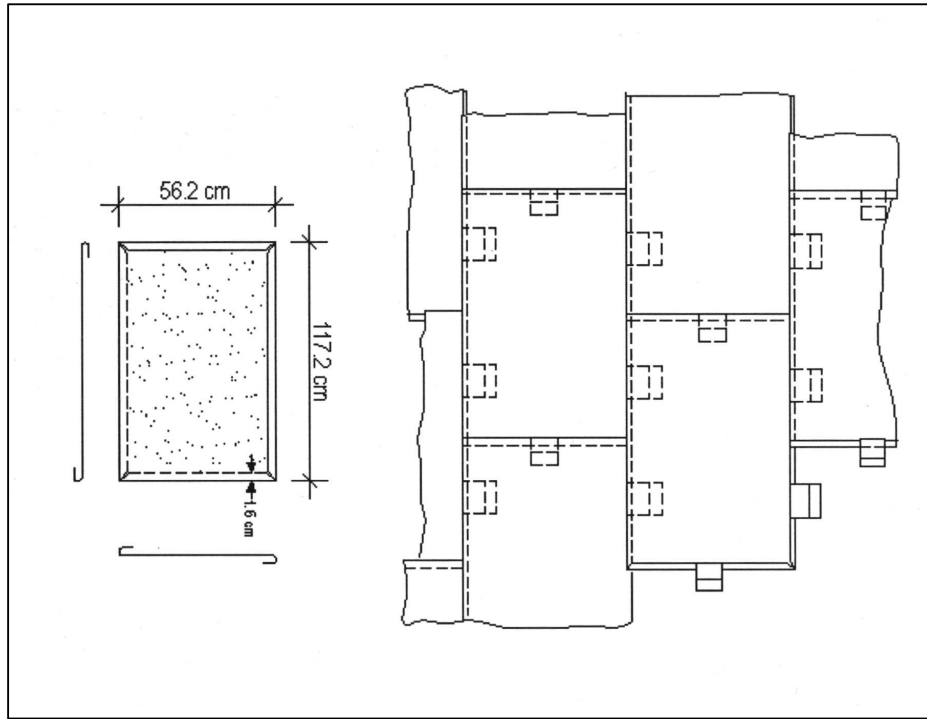
Titanyum üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, yapıda kullanılan metaller arasında en ideal ve en yeni olan malzemelerdendir. Titanyumun özgül ağırlığı 4.51 g/cm³'dür. Bu da çeliğin % 60'ı, bakırın yarısı, alüminyumun 1. 7'si kadardır. Alüminyumdan % 60 daha ağır olmasına karşın iki kat daha dayanıklıdır. Bu kadar hafif olması, kendisini taşıyan iskeletin dolayısıyla titanyumun kullanıldığı yapının yükünü azaltmaktadır.

Titanyumun mimari alanda en yaygın olan kullanım şekli kaplama olarak kullanımınıdır. Titanyumun çatı kaplaması olarak kullanımı Japonya' da 1973 yılında popüler olmuştur. Fukuoka Dome' un (stadyum yapısı) geri çekilebilir çatısında kaplama malzemesi olarak titanyum kullanılmıştır. Titanyum malzeme her türlü eğrisel formdaki yapılarda çok iyi çözümler sağlamaktadır. Titanyumun kaplama olarak kullanımı büyük prestij yapılarının dışında, kamu yapılarında, hatta müstakil konut yapılarında kullanımı yaygınlaşmıştır. Titanyumun kendine has uygulama şekillerinin yanı sıra paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi diğer malzemeler için uygulanan detaylar titanyum içinde uygulanabilmektedir.(Yılmaz, 2008)



Şekil 3.28 Çatı ve cephe kaplamasında kullanılan titanyum panel detayı
(<http://www.riddersystems.nl/uk/lozenge.html>)

İspanya'daki Guggenheim müzesi, Frank Gehry'in tasarladığı ve eğrisel yüzeylerden meydana gelen ve 1998 yılında açılan yapı, dikkatleri titanyum üzerine çekmeyi başarmış ve dünya genelinde malzemenin kullanımında büyük artışlar sağlanmıştır. Yapının modellenmesi CATIA programı yardımıyla gerçekleştirilmiş ve yapım süreci için on binlerce mimari plan gerekmiştir. Günümüzde hala en geniş titanyum kaplama yüzeyine sahip yapıdır. Çatı ve cephe kaplaması için 42875 adet 61 * 122 cm boyutlarında, düz bitişmeli, tavllanmış, 1.derece saf titanyum kaplama kullanılmıştır." (Şekil 3.29)



Şekil 3.29 Düz bitişmeli dikdörtgen titanyum uygulama panel detayı,
Guggenheim müzesinde uygulanan cephe kaplama detayı, (Vicki Eudaly, Timet)

3.3.6 Kompozit ve Akıllı Malzemelerin Sayısal Mimaride Kullanımı

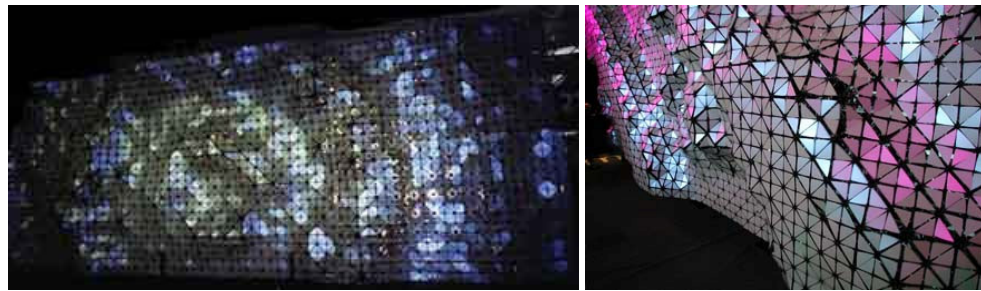
Kompozitler, iki ya da daha çok sayıda genellikle farklı özelliklerdeki malzeme bileşiminden oluşturulan katı malzemelerdir. Elde edilen sonuç ürün kendisini oluşturan bileşenlerden daha üstün özellikteki yeni bir malzemedir. Bir kompozit malzeme, temel olarak iki prensip bileşenden elde edilir; güçlendirici özellikteki bir malzeme (donatı, takviye) ve matris adı verilen şekil verici bir malzemedir. Matris

genelde cam, karbon, polietilen veya başka bir malzemeden oluşan güçlendirici fiber katmanlarının içine katıldığı metalik, seramik yada polimer bileşimli malzemedir.

Kompozit malzemelerden yapılan bileşenler cnc freze kalıplarda şekillendirilirler. Kompozit malzemelerden polimer bileşimli olanlar ya da bir diğer deyişle plastikler yüksek biçimlendirilme özellikleri, düşük maliyetleri, minimum bakım gereksinimleri ve de ağırlık / kuvvet oranlarıyla mimarlar arasında en çok ilgi gören malzemelerdir. Polimer bileşimli malzemeler içlerine katılan değişik türde güçlendirici ya da akışkanlarla farklı işlevler için kullanılabilirler. Mesela şeffaflık bir yüzeyde uygulanırken, yapısal nitelikteki bir bileşen aynı malzemeye güçlendirici katılarak elde edilebilir. Üretim aşamasında önemini gösteren bu malzemeler sayesinde düşük maliyetli ve hızlı ilerleyebilen bir süreç tasarlanabilir. (Köksal, 2005)

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.(Köksal, 2005)

Aegis Hyposurface (hiper-yüzey) adlı interaktif duvar sensörlerle dışarıdan aldığı uyarılara cevap veren tiyatro sahnesi duvar düzenlemesini akıllı malzemeden yapılmış uygulamalara örnek olarak gösterebiliriz.



Şekil 3.30 dECOi mimarlık ofisi tarafından tasarlanan “Aegis Hyposurface” projesi

(<http://www.iaacblog.com/digitalfabrication/2010/10/21/case-studies-3/>)

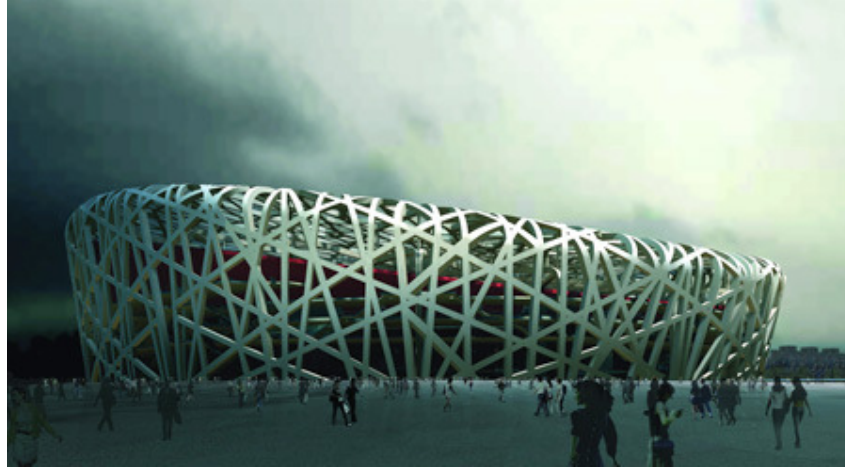
BÖLÜM DÖRT

SAYISAL MİMARLIK ÖRNEKLERİNİN YAPIM SÜREÇLERİ

4.1 Beijing Ulusal Stadı

Tablo 4.1 Beijing ulusal stadı genel bilgiler

Genel Bilgi	
Ana Kullanım Alanı	Ulusal stadyum
İnşa Periyodu ve Yeri	2003-2008 / Beijing, China
Tasarım	
Mimari Tasarım	Herzog & de Meuron Architekten AG ve China Architecture Design & Research Group
İnşaat Mühendisi	Arup
Yapı Elemanı	
Taşıyıcı Sistem Tipi	Çelik Makaslarla Çevrelenmiş Betonarme İskelet Sistem
Cephe/Çatı Yüzeyi	ETFE ve PTFE Mebran Kaplı Bükülmüş Çelik Strüktür

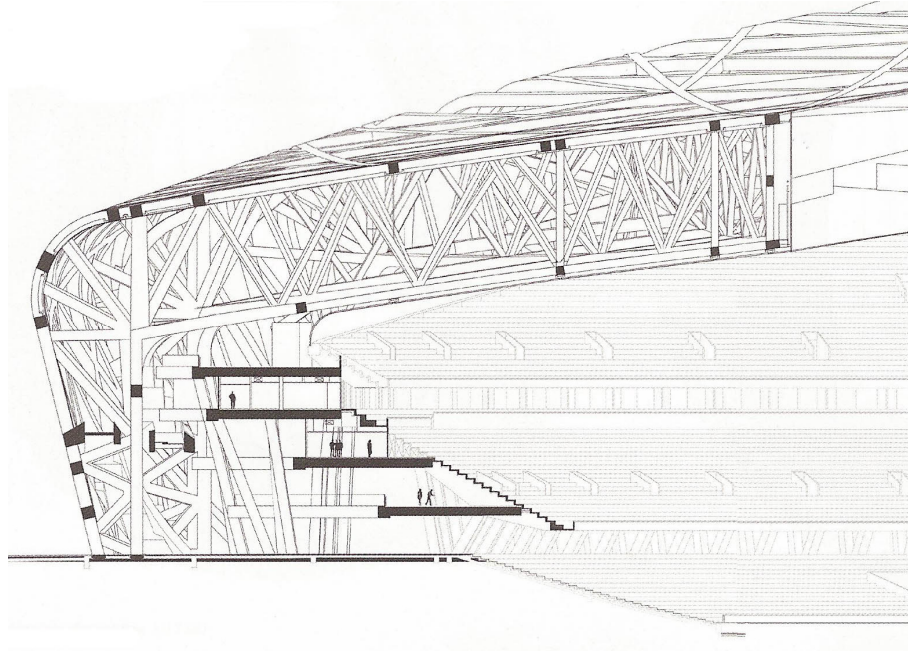


Şekil 4.1 Beijing Ulusal Stadı cephe modeli, Herzog & de Meuron Architekten

Herzog and de Meuron mimarlık tarafından tasarlanan, Ağustos 2008 tarihinde Olimpiyat oyunlarının açılışının gerçekleştiği Beijing Ulusal Olimpiyat Stadı “Bird’s Nest / Kuş Yuvası” olarak ta adlandırılmaktadır. 2003 yılında yapımına başlanılan ve 2008 yılında 423 milyon dolara tamamlanan proje dünyanın en büyük çelik yapısıdır.

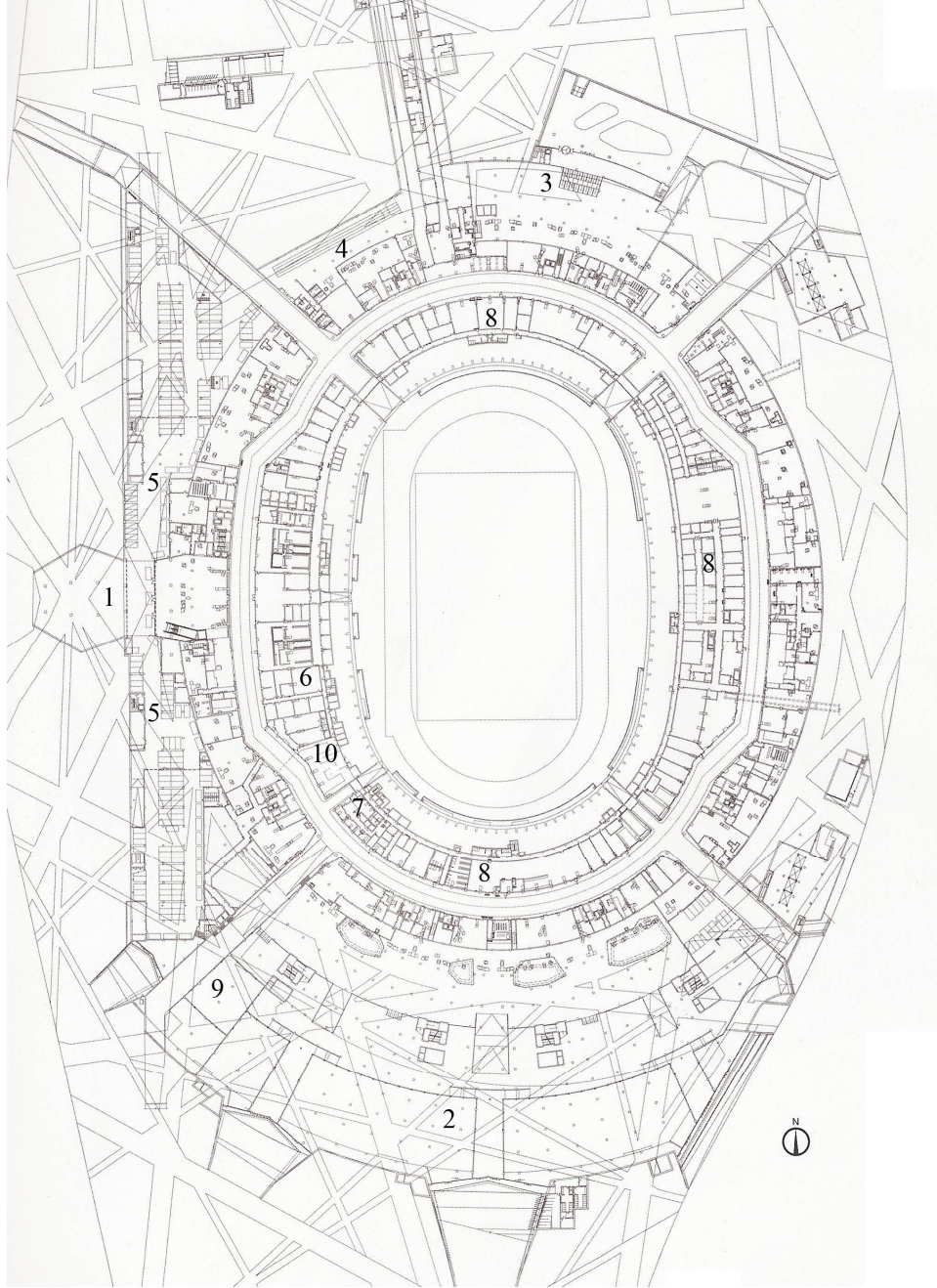
Stad 2008 Yaz Olimpiyatları ve daha sonrasındaki sportif aktiviteler için yapılmıştır. İlk olarak 100.000 kişi olarak planlanan proje daha sonra dizaynda yapılan bir kaç basitleştirmenin ardından 91.000 seyirci kapasitesine düşürülmüştür.

Çinliler İsviçreli mimarlar Herzog & de Meuron, Arup ile Çin mimari tasarım ve araştırma grubu tarafından sunulur sunulmaz yapıya “Kuş Yuvası” ismini takmışlardır. 320 metre uzunluğunda, 297 metre genişliğinde olan yapının yüksekliği 69 metredir. 42.000 ton ağırlığındaki çelik kafes, 91.000 kişilik oturmaya sahip kırmızı, beton arenayı çevreleyip, sarar. Arka ve alt mekânlarda mağazalar, restoranlar, kafe-barlar, oturma ve toplanma fuayeleri bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Beijing Ulusal Stadı tribün kesiti, Herzog & de Meuron Architekten (DETAIL, 2008-7/8)

Jacques Herzog 12 metre derinliğindeki kafesi, kirişleri, merdivenleri ve diğer çelik elemanları ağaçlar ve dallarına gönderme yaparak, arenanın oluşturduğu iç ve Olimpik Park'ın oluşturduğu dış mekân arasında bir tür “mimari orman”a benzettir. İçeride, neredeyse tam bir daire oluşturan kırmızı beton tribün, herkesin oyunları eşit mesafeden izlemesine imkân verir. Böylece Wembley gibi iddialı diğer stadyumlardan farklı olarak amacına daha uygun bir hal alır.

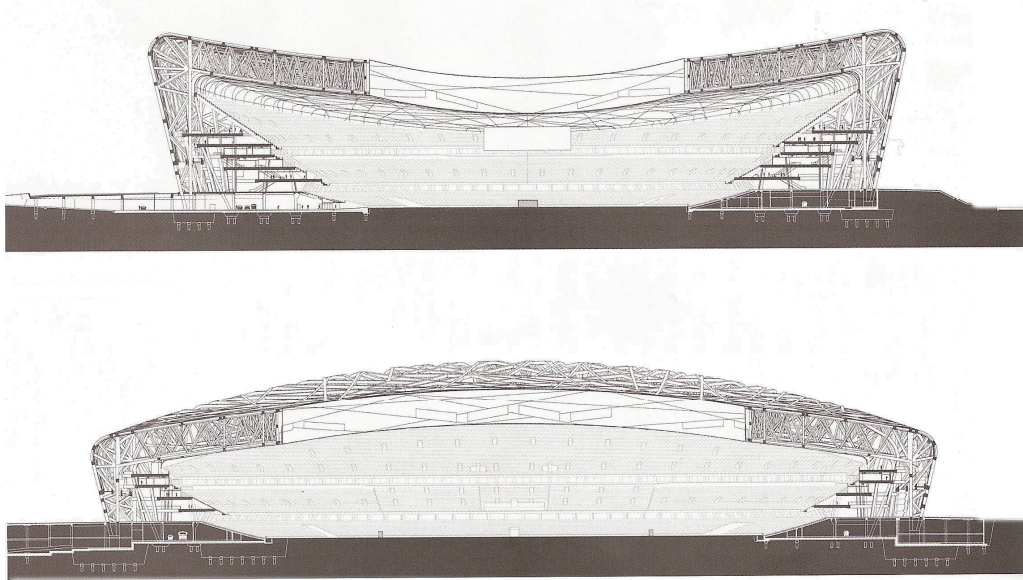


Şekil 4.3 Beijing Ulusal Stadı zemin kat planı, (DETAIL, 2008-7/8)

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1-VIP Girişi | 6-Yarışma Kontrol |
| 2-Ticari Alan | 7-Sağlık Merkezi |
| 3-Hotel Lobi | 8-Odalar |
| 4-Isıtmalı Salon | 9-Basın Merkezi |
| 5-Park | 10-Ortak Alan |

İçine tek bir pilon bile dikilmeyerek tamamen çelikten yapılan Kuş Yuvası, ağ şeklindeki yapısıyla desteklenir. "Kuş Yuvası"nın yapımında kaliteli Q460E tipi çelik kullanılmıştır. Çin çelik fabrikası tarafından kendi olanaklarıyla üretilen bu çelikte, bir milimetrekareyle ortalama olarak 46 kilo ağırlık taşımaktadır. Çin'in tamamen kendi teknolojisiyle yaptığı bu stadyum, dünyada en büyük kemerli çelik yapı özelliğindedir.

Her çelik kolonun yeri total ağırlığı 45000 ton olan süper strüktür de eşit payda yük taşır. Yapının çelik konstrüksiyonu için 320 km uzunluğunda çelik tel lehimlenmiştir. Richter ölçeğiyle 8 büyüklüğünde depreme dayanıklı olan "Kuş Yuvası"nın öngörülen kullanım süresi 100 yıldır. Projenin inşaat, mekanik, elektrik, yangın güvenliği mühendislikleriyle akustik dizayn sorumluluğu Ove Arup & Partners 'a aittir.

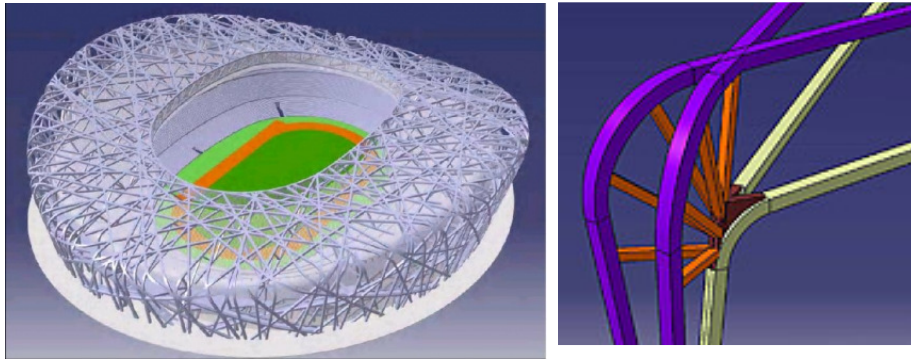


Şekil 4.4 Beijing Ulusal Stadının kesitleri, (Herzog & De Meuron Architekten) (DETAIL, 2008-7/8)

Yapım süreci:

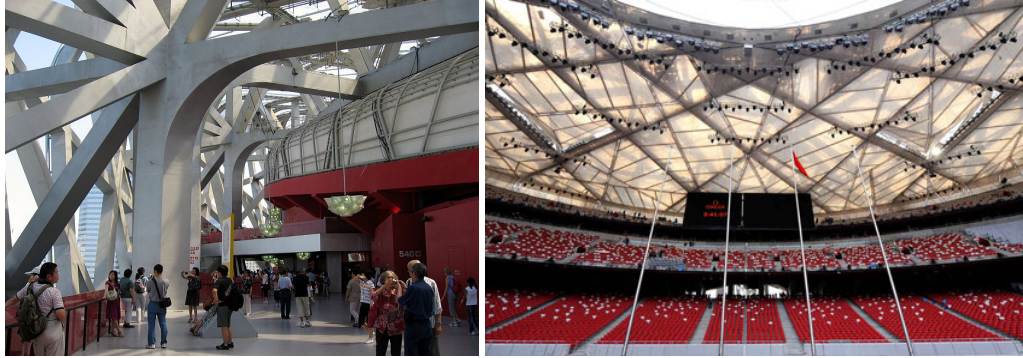
Üst yapı kısmında öncelikle stadyumun etrafını tamamen çevreleyen oturma yerlerinin montajına başlanmıştır. Her birinin ağırlığı yaklaşık 18 ton olan 14700 adet prefabrikte beton bloklar stadyum etrafına yerleştirilmiştir. Bu süreç on iki ay sürmüştür. İlk dizayna göre oturma yerleri zeminle en fazla 45° açı yapacak

şekildedir. Daha sonra bunun seyirciyi rahatsız edeceği düşünülerek 30°'ye indirme fikri ortaya çıkmış ama hem arkadaki seyircinin iyice uzak olacağı gerekçesi hem de yapının oturma alanının buna bağlı olarak da maliyetin artacağı nedeniyle yapımda ilk tasarıma sadık kalınmıştır. Bu aşamadan sonra, yapının etrafını saracak çelik kafesin biner tonluk yirmi dört adet ana taşıyıcı kolonlarının inşasına geçilmiştir. Bin ton taşıyacak bir vince sahip olunmadığı için kolonlar fabrikada parçalara bölünerek şantiyeye getirilip montajı gerçekleştirilmiş ve takvime uygun bir biçimde, 2005'te bitirilmiştir. Fabrikadan gelen çelik parçalar monte edilirken yaşanan en büyük zorluklardan biri yüksek kolonların montaj zorluğu olmuştur. Yapının simetrik olmamasından dolayı bazen neredeyse yapılamayacak alanlara işçiler girerek 70 m yükseklikte kaynak yapmışlar. Yine yapının simetrik olmamasından dolayı, yapıya binen yükler yere veya yapı elemanlarına simetrik dağılmamaktadır. Karışık olan bu hesaplarda proje ekibi CATIA programını kullanmıştır. Üstelik yapının 1976'da dünyanın en büyük depremlerinden birini yaşayan Çin'de bulunmasından dolayı yapının sismik etkilere karşı dayanımına projelendirme esnasında dikkat edilmiştir. Stadın inşaatının son aşamalarında 11200 tonluk çatı tamamlanmıştır ki bu ağırlık dünyadaki en ağır çelik yapı ünvanını da Çin'e getirmiştir, tüm bu çelik sadece Çin'de üretilmiştir. Yapının desteklendiği taşıyıcı ayakların kaldırılarak tüm yükün ana kolonlara aktarılma vakti geldiğinde ana kolonların bunca yükü taşıyıp taşımayacağını denemek için yağ basıncı vasıtasıyla her biri 300 ton taşıyabilen 179 adet kaldırma ana kolonlara yerleştirilmiş ve eş zamanlı olarak 290 mm yükseltilmiştir. 48 saat süren deney sonucunda ana kolonlar kendini ispatlanmış ve taşıyıcı kolonlar kaldırılarak tüm yük ana kolonlara aktarılmıştır. (Güven, 2010)



Şekil 4.5 Beijing Ulusal Stadı, CATIA yapı strüktürü üç boyutlu modeli, V şeklindeki 24 adet kolonun birleşim detayı, (Arup)

3D ana modelinin kullanımı bu çalışmaya, başka bir yönteme kıyasla çok daha fazla hız kazandırmış ve yapının zamanında, gözden geçirilmiş bütçe kapsamında teslim edilmesini sağlamıştır. Arup'un proje müdürü Michael Kwok, konuyla ilgili şu sözleri kullanmıştır: 'Pekin Olimpiyat Stadyumu dünyaya yeni bir yapıyı tanıtmış ve bu yapının başarılı bir biçimde tamamlanmış olması mimaride nelerin mümkün kılınabileceğinin tanımlanmasında mühendislerin oynadığı rolü göstermiştir.(*Pekin ulusal stadyum'un sırrı-Catia'nın sınırlarını zorlamak-Beijing National Stadium, b.t*)

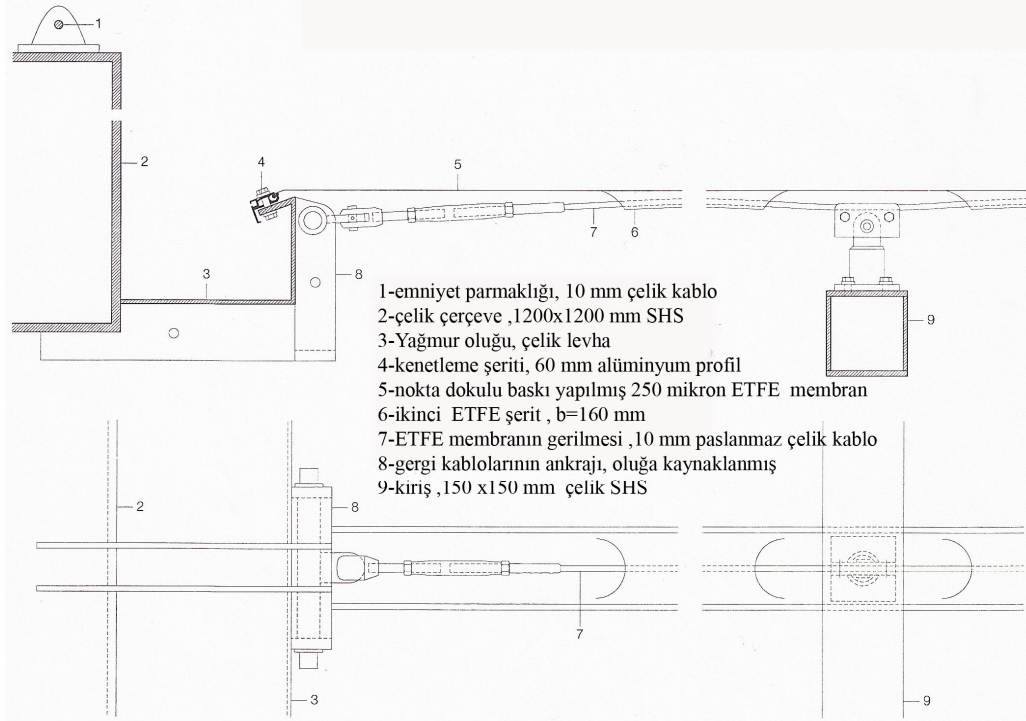


Şekil 4.6 Beijing Ulusal Stadı İçerden Görünüş, Çatı Örtüsü

Çatı kaplaması;

Kaba inşaat bittikten sonra stadyum'un bir kuş yuvası şeklinde tasarlanan çelik konstrüksiyon yapısı membran ile kaplanmıştır. Işık geçiren bu membran çift katmanlı, aynı zamanda ses, rüzgar, yağmur ve güneş geçirmez, dekoratif özelliklere sahiptir. Stadyumun içi ile dışı arasında transparan bir geçişi sağlayan membran kaplama, çelik konstrüksiyonun sertliğini yumuşatıp "kuş yuvası" biçimini daha belirgin hale getirirken aynı zamanda gece maçlarında iç ışıklandırma ile bir ışık topu haline gelmektedir. Membranın dış katmanı, metrekaresi 400-500 Euro olan ETFE (Etilen Tetrafloroetilen) paneli kullanılarak 2007 yılının kasım ayında tamamlanmış ve toplam 38.500 m²lik alan kaplanmıştır. İçi ETFE malzemesinden yapılan membran ve 1044 panel 53.000 m²lik alanı kaplarken amaç, stadyumu akustik hale getirmek ve çelik karkas ile cihaz ve donanımları desteklendirmektir. Membran aynı zamanda stadyum içindeki aydınlatmaya yardım etmekte, enerji

tasarrufu sağlamakta; parlama ve gölgelemeyi azaltarak yarışmalar için istenen ortamı yaratmaktadır. (Güven, 2010)



Şekil 4.7 Beijing Ulusal Stadi, ETFE Membran ile çelik strüktür bağlantı detayı(DETAIL, 2008-7/8)

Çatı, üst parçadan tutturulan saydam ETFE zarıyla, daha aşağı kısmından tutturulan yarı saydam bir PTFE zarından oluşan çift-tabakalı zar yapısıyla örtülüdür. PTFE, akustik tavan, iç halkanın yan duvarlarına da eklenmiştir. Stadyumun yapısındaki boşluklar, şişmiş ETFE minderleriyle doldurulmaktadır. Cephede de şişmiş minderler, gerekli yerlerde rüzgardan korunmayı sağlamak için yapının içine monte edilmişlerdir.

4.2 Web Of North Holland

Tablo 4.2 Web of North Holland genel bilgiler

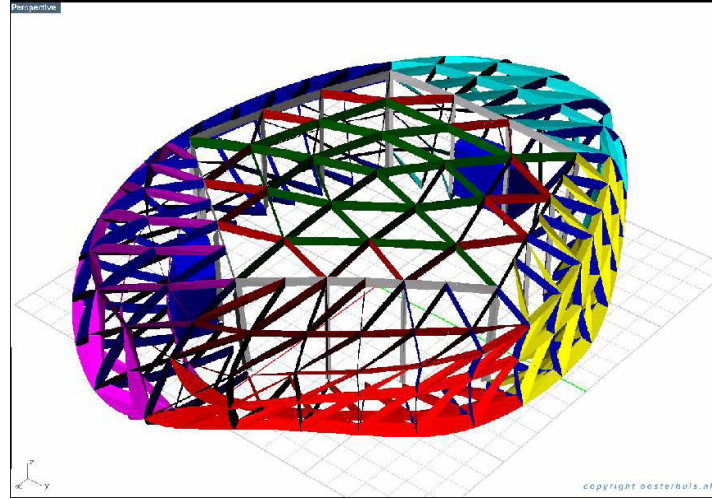
Genel Bilgi	
Ana Kullanım Alanı	Sergi yapısı
İnşa Periyodu ve Yeri	2002 / Hollanda
Tasarım	
Mimari Tasarım	Kas Oosterhuis
İnşaat Mühendisi	Meijers Staalbouw BV
Yapı sistemi	
Taşıyıcı Sistem Tipi	Tek tabakalı uzay kafes çelik strüktür
Cephe/Çatı Yüzeyi	
Tasarım/üretim tekniği	Parametrik tasarım, kişiselleştirilmiş seri üretim



Şekil 4.8 Web Of North Holland üçgen metal levhalardan oluşan bina dış cephesi

Oosterhuis'in *Floriade World Exhibition* için tasarladığı sergi pavyonu üçgen prizmaların birleşiminden oluşan ve tek bir prensip detay çözümüne dayalı olarak tasarlanan bir bina kabuğudur. Tasarım sürecinde, üçgen prizmaların, konumlandığı noktadaki özelliklere göre açısını, ölçüsünü, yönünü değiştiren bir sistem kurulmuş ve bina kabuğu tek bir prensip detayın parametre değerlerinin değiştirilmesiyle elde edilen, her biri farklı ölçü, açı ve kalınlıkta üçgen birimlerden oluşturulmuştur. Tasarıma üç boyutlu modelleme ile başlanmış, *Autolisp* ile üç boyutlu objelerin iki

boyutlu açılımının yapılmasını sağlayan bir betik yazılmış ve çelik üretici firmaya dosyadan fabrikaya yöntemiyle gönderilmiştir. Oosterhuis parametrik tasarıma dayalı projesini “tek bina tek detay” şeklinde yorumlamaktadır. (Oosterhuis, b.t.)



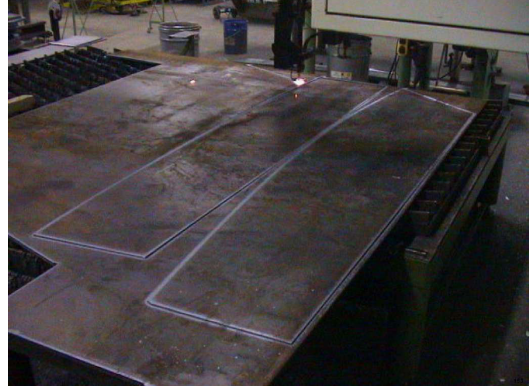
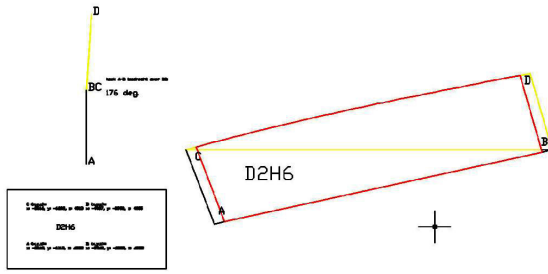
Şekil 4.9 Web Of North Holland strüktür 3d modeli, (Oosterhuis ve boer)

İkosahedron 20 yüzlü bir polihedronudur. Her nokta diğer beş yada altı noktayı bağlar. Bu ızgara, her bir ana yirmi yüzü alt bölümlere daha küçük üçgenlere ayırarak arttırılabilir. Bir kaç ön çalışmadan sonra ayrıntıların sayısı bakımından verimli olması ve kaplama için üçgenlerin maksimum boyutta olmasından dolayı her bir ana üçgenin 36 küçük üçgene bölünmesine karar verilmiştir. (her bir kenarı altı kenara ayırarak).



Şekil 4.10 Web Of North Holland inşaat sürecinde çelik karkas strüktür
(<http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=117>)

Bütün strüktür binanın dış hattını izler. Orjinal polihedronun kenarları 25 mm kalınlıkta devamlı düz çerçevelerle, aradaki elemanlar ise 15 mm kalınlıkta öğelerle inşa edilmiştir. Kıvrılmaya çelik levhaların köşegenlerinin karşısından katlanarak rasyonelleştirilen, düz olmayan yüzey normallerinin arasındaki açıklığı geçmek için ihtiyaç duyulmuş. Mimarlar levha kalınlığından başka iki değişkeni daha önceden ön görmüşler, bunlar yapısal derinlik ve noktaların dağıtılması. (Oosterhuis ve Boer, b.t)



Şekil 4.11 Web Of North Holland cephe kaplamasında kullanılan levhaların üretimi

(http://www.oosterhuis.nl/quickstart/fileadmin/Projects/129%20the%20web%20of%20north%20holland/02_Papers/000-040603-ECPPM.pdf)

4.3 30 St Mary Axe Ofis Binası

Tablo 4.3 30 St Mary Axe ofis binası genel bilgiler

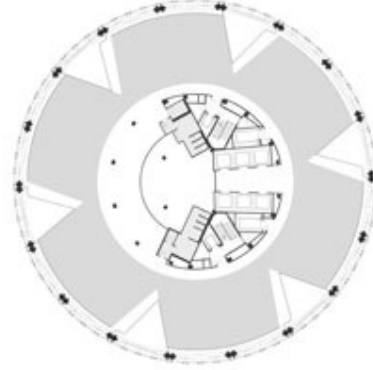
Genel bilgi	
Ana kullanım alanı	Ofis binası
İnşa Periyodu ve yeri	2001-2003 / 30 St. Mary sokağı, Londra, İngiltere
Taşıyıcı Sistem	Çelik çerçeve
Tasarım	
Mimari Tasarım	Mimar Norman Foster
İnşaat mühendisi	Arup
Yapı elemanı	
Bina yüzeyi	Paslanmaz çelik kaplama
Çatı	Paslanmaz çelik kaplama



Şekil 4.12 30 St Mary Axe Ofis Binası cephesi, (Nigel young)

Londra'nın en önemli ticaret bölgelerinden birinde bulunan 30 St Mary Axe binası "Gherkin" ve ya "The Swiss Re" olarak adlandırılmaktadır. Yapımına 2001 yılında başlanılan bina 2 yıl gibi kısa bir sürede yapılmış ve Aralık 2003'te tamamlanmıştır. 46,450 m2 ofis, 1,400 m2 perakende satış alanına sahip 41 katlı 30 St Mary Axe binası minimum kaynak kullanarak maksimum etki yaratmak için

Norman Foster tarafında tasarlanmıştır. İki cam kabuk içine gizlenmiş üçgenel ızgara sisteminin oluşturduğu çelik bir strüktür ve kolonların bölmediği esnek ofis mekanlarından oluşmaktadır.



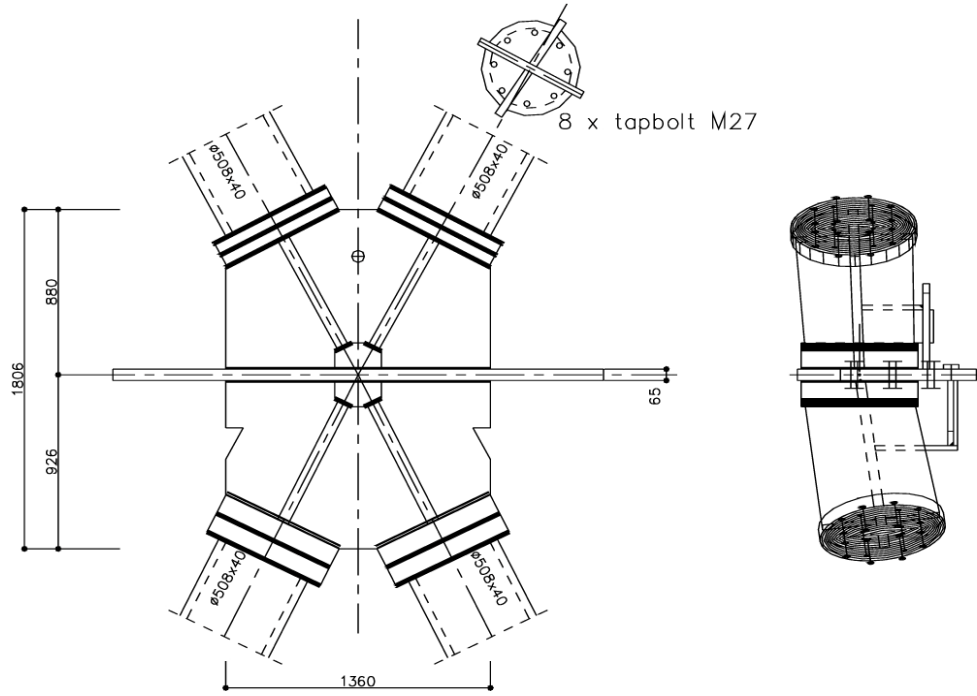
Şekil 4.13 30 St Mary Axe ofis binası kat planı

Katları kesen helezonik atriumuyla dairesel plan, havalandırma yükünü azaltarak enerji kullanımını en aza indirmek için tasarlanmıştır. Aerodinamik formu, strüktür üzerindeki rüzgar yükünü azaltmakta, mekanik soğutma ve havalandırma sisteminin yıl içinde toplam %40 'lık bir kısmını üstlenerek enerji tüketimini ve karbon dioksit emilimini azaltmakta ve ofis mekanlarına doğal havalandırma sağlamaktadır. Kulenin yerden yükseldiği gibi genişleyen ve sonra zirvesine doğru incelen dairesel bir planı vardır. Form planda dikdörtgen bir forma göre az yer kaplamasının yanı sıra, yukarıya doğru küçülen kesiti ile yansımaları azaltmaktadır. Yapının etrafında oluşan rüzgar türbülansı ise yapının doğal havalandırması için kullanılmaktadır. (Akyol Altun, 2007) Ortaya doğru genişleyen aerodinamik yapısı ve camla kaplı cephesi sayesinde, klasik dikdörtgen gökdelenlerle karşılaştırıldığında büyük sıkıntı yaratan rüzgar koridorlarını engellemektedir.



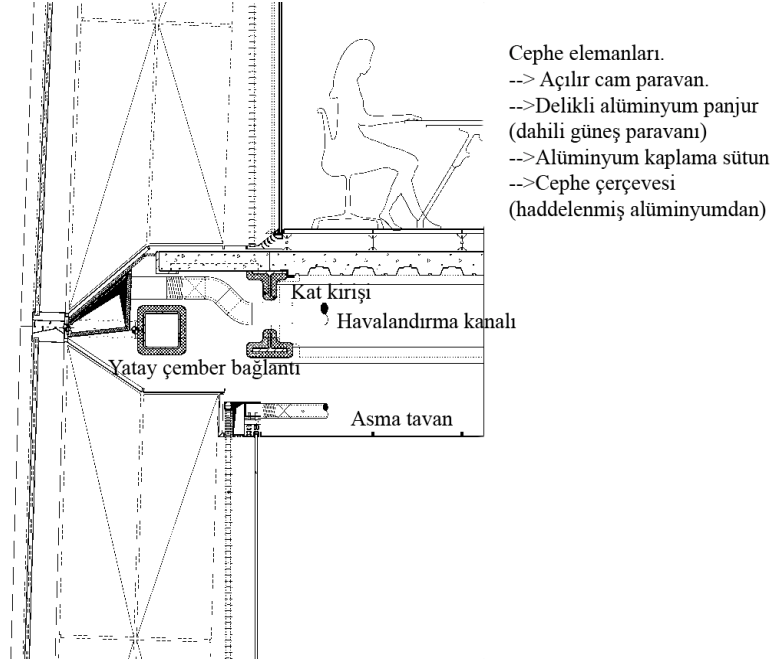
Şekil 4.14 30 St Mary Axe ofis binası diyagonal çelik iskelet sistem yapı taşıyıcı sistem düğüm noktası detay görünümü, (Dominic, 2004)

Yapısal analizleri Arup firması tarafından yapılan binanın dış cephesi tamamen oval bir görünüme sahip olsa da binanın en üst noktasında kullanılan cam kaplama dışındaki hiç bir kaplama bükümlü bir yapıya sahip değildir. Kendiliğinden desteklenen ve yük taşıyıcı olan diyagonal çelik ızgara kocaman bir kafes gibi kuleyi sarmaktadır. 20 derecelik açıyla binanın etrafında helezon çizerek giden 36 çelik kolondan oluşturulmuştur. Planda 18'i saat yönünde ve 18'i aksi saat yönünde olmak üzere ilerlerler. Bina yükselirken her iki katta bir kesişirler ve basınç ve eğilme kuvvetlerine karşı diyagonal ızgarayı sıkılaştırırlar. (30 St' Mary Axe "the Gherkin", b.t.)



Şekil 4.15 30 St Mary Axe ofis binası, kat planı çelik iskelet sistem düğüm noktası, (Dominic, 2004)

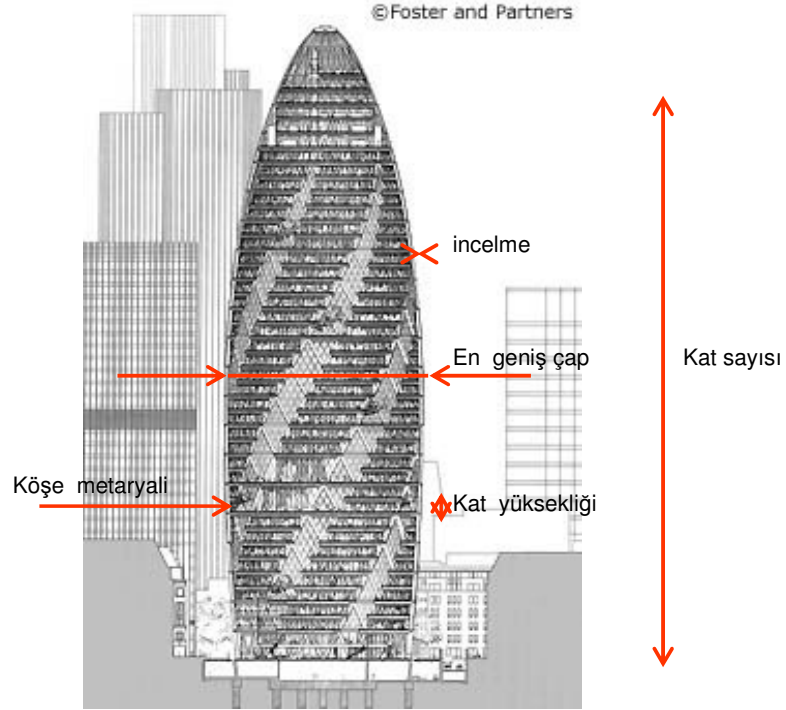
Binanın 24000 m² lik dış cephesinde 5500 adet cam panel kullanılmıştır. Cephedeki diyagonal geçiş, üçgenler oluşturarak birbirine kenetlenen çelik elemanlarla mümkün kılınmış böylece iç mekanlarda kolon kullanmadan ferahlık sağlanmıştır. Cephedeki spirallik içeride de devam etmekte ve tüm katlarda yer alan spiral atriumlar her katta 5 derece dönerek üst kata çıkmakta ve ışık kuyusu adı verilen bölmelerle doğal havalandırmaya yardımcı olmaktadır. (Freiberger, 2007)



Şekil 4.16 30 St Mary Axe ofis binası döşeme ve dış cephe panelleri sistem detayı, (Dominic, 2004)

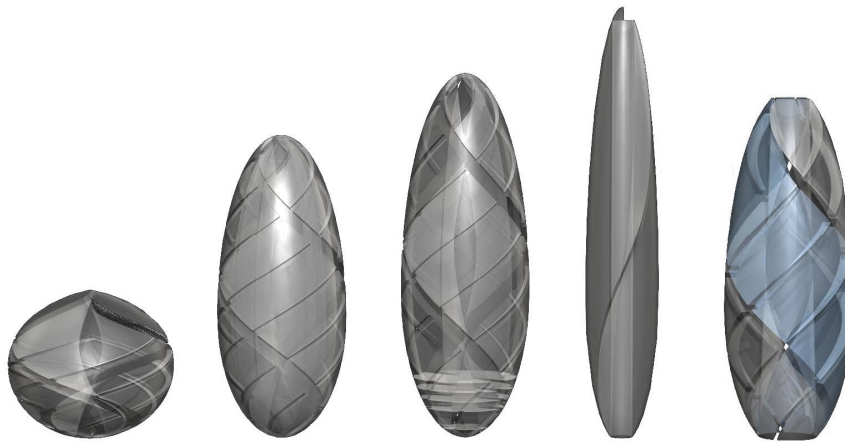
Her 6 katta bir oluşturulan bahçeler hem hareket halindeki havayı temizlemeye yardımcı olmakta, insanlara dinlenme ortamı sağlamakta hem de yangına karşı binayı güvenli bölgelere ayırmış olmaktadır. Ayrıca binanın dışındaki çift camlı cephe ile ofislerin camları arasında kalan boşluk, ısıtma ve soğutmayı gerektirmeyen bir tampon oluşturmakta ve ofislerde kullanılıp atılan havayla ve gökdelenlerde olmayan bir şekilde hava şartlarına göre açılabilen dış cephe camları ile mevsime göre havalandırılmaktadır.

Parametrik tasarım özellikleri: tasarım sürecinde dış hatları oluşturulmaya kağıt üzerinde başlanan 30 St Mary Axe binasının parametrik modelleri daha sonra Microstation programında düzenlenmiş. Sayısal parametreleri değiştirilerek yeni planlar, kesitler tekrar tekrar üretilerek, değiştirilebilmiştir. Formun oluşmasına yön veren ana parametreleri değiştirmek bina profilinde varyasyonlar yaratmıştır. Anahtar parametreleri değiştirerek, tasarım ekibi, pek çok formu çabukça test edebilmiştir. Projede tasarımın doğruluğu ve yapı mühendislerinin becerisi sınırlı olduğunda, mimari tasarım ve konfirme edilen yapısal tasarım arasında sadece 0.3 mm fark çıkmıştır. Binanın tepe noktasında sadece 73 mm oturma oluşmuştur.



Şekil 4.17 30 St Mary Axe ofis binası kat planı bina formuna yön veren parametreler

Yapı da ofislerin kat yüksekliği 4,15 metredir. Yapı dairesel planlıdır, kat planında en geniş yarıçapa 56,15 m ile 17. katta ulaşmaktadır. Yapı yerden yükseldiği gibi dışarıya doğru şişerek genişler, sonra yeniden orta noktasından yukarıya doğru düzgün bir şekilde içeriye incilir.



Şekil 4.18 30 St Mary Axe ofis binası yapı dış formu parametrik model alternatifleri
(Stacey M., Beesley P., Hui V., 2004)

4.4 Frankfurt İaa Fuarı Bmw Bubble Pavyonu

Tablo 4.4 Frankfurt İaa fuarı Bmw Bubble pavyonu genel bilgiler

Genel Bilgi	
Ana Kullanım Alanı	Sergi pavyonu
İnşaat Periyodu ve Yeri	1999 / Frankfurt, Almanya
Taşıyıcı Sistem Tipi	Alüminyum Tek Tabakalı Uzak Kafes Çerçeve
Tasarım	
Mimari Tasarım	Bernhard Franken
İnşaat Mühendisi	IBZ+L, Bollinger + Grohmann
Yapı Elemanı	
Cephe/ Çatı Yüzeyi	Akrilik cam tabakalar

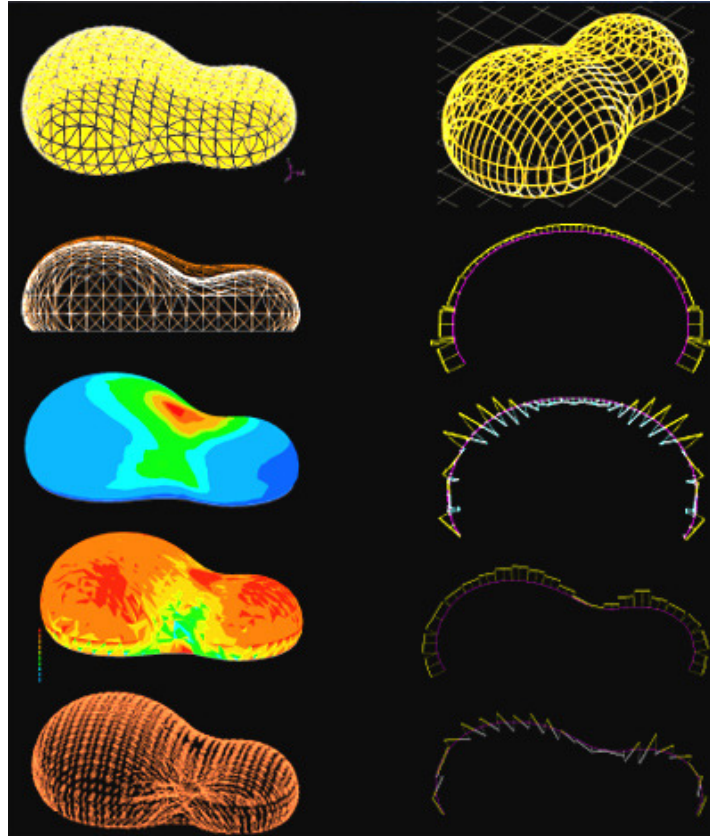


Şekil 4.19 Bmw Bubble Pavyonu, <http://www.franken-architekten.de>

Sürdürülebilirlik yaygın bir sözcük olmadan önce B. Franken 'in gerçekleştirdiği BMW için ilk fuar tanıtım toplantısında su ve güneşten gelen temiz enerjiyle sürüş, ziyaretçilerin içine yürüebildiği, bir damla su şeklindeki ikonik bir yapıyla sembolize edilmiştir. Bu şekli oluşturmak için bir damla simülasyonu bilgisayar programı kullanılmıştır. Bubble tasarımından yapımına kadar tamamen sayısal araçlar aracılığıyla oluşturulan ilk yapılardan biridir.(Buble, 2010)

Pavyon Frankfurt Motor Show ‘dan iki hafta sonra sökülmüş, depolanmış ve daha sonra Münih'te BMW Expo 2000 tanıtımında yeniden inşa edilmiştir. Tekrardan parçalanmadan önce dört ay boyunca bir kafe ve kulüp olarak görev yapmıştır. Yeniden yapımı için bir kaç girişim olmuş fakat 2005 yılında BMW pavyonu tamamen yok etme kararı vermiştir. (Franken, Scharrer ve Nina, b.t)

Bmw pavyonu için konsept olarak su damlası seçilmiştir. Mimar Franken nin niyeti su damlasının iç basıncıyla yüzey gerilmeleri arasındaki kırılma dengesini ifade etmek olmuştur. Bu yapının formunun oluşturulmasında Franken yerçekimi kuvveti etkisi altında olan birbirine temas etmiş iki damlanın birleşip tek bir damla olmadan önceki anını yakalayıp, dondurmıştır. Bakınız (Şekil 3.8).



Şekil 4.20 Bmw Bubble Pavyonu, (<http://www.franken-architekten.de>)

Yapı formunun karmaşık dili nedeniyle, modellerin üretiminde uzmanlaşmış üretim yöntemlerine ihtiyaç vardır. Bubbles 'cildin ilk modeli BMW tasarım departmanında prototip bölümünde lazerle sinterleme yöntemi kullanılarak inşa

edilmiş. Bu mimari modelleri için hızlı prototiplemenin erken uygulama örneklerindedir. Daha sonra iki model 2d frezelenmiş polistrenden yapılmıştır.

Yapı dış kabuk formu sayısal ortamda modellenerek karşılaştırıldıktan sonra sıra tasarıma uygun yapısal sistemin kurgulanmasına gelmiştir Dikey yapısal kaburga çerçeve ilk olarak Franken tarafından yapı tasarım yüzeyi ile düzenli aralıklarla yerleştirilmiş paralel, dikey yüzeylerden oluşan dokunun kesişiminden oluşturulmuştur. DIANA ile yapılan sonlu elemanlar modeli her iki alternatifinde yapısal davranışını ve her kaburga için gerekli rijitliği belirlemiştir. Her kaburga için giriş profil kalınlığı hesaplanmış ve kaburgaların dış eğrileri ötelenerek sayısal modele yansıtılmıştır.

Şekil 4.20 de her iki strüktür seçeneğinin DIANA yazılımı tarafından yapılan sonlu elemanlar metodu analizleri gösterilmektedir. Soldaki seçenekte 6 düğüm noktalı üçgen biçimli eğri kabuk elemanlarla rasyonelleştirilmiş ince kabuk strüktür, sağda ise 3 düğümlü eğri giriş elemanlarıyla rasyonelleşmiş düzensiz kaburga strüktür seçeneği bulunmaktadır.

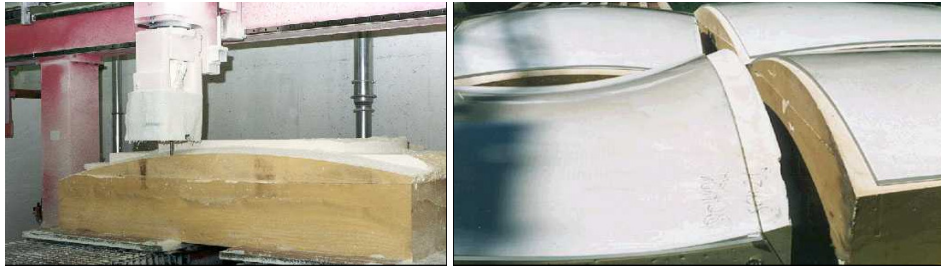


Şekil 4.21 Bmw Bubble Pavyonu, (<http://www.franken-architekten.de>)

Sergi pavyonu için 305 farklı akrilik cam plaka ayrı ayrı sayısal kontrollü tezgahlarda kesilen köpük bloklar üzerinde ısıtılarak şekillendirilmiş sonra tekrardan CNC de kenarları kesilmiştir. Bilgisayar modeli ile üretilen yüzey kesinlikle aynıdır,

8 mm lik inceliğiyle boyutsuz bir veri yuzyeye benzer. Alttaki yapı sistemi dik olarak yansıtılan 3 katman, kesilen alüminyum tabakalardan yapılan kesitlere dayanmaktadır. Alüminyum profillerin kesimi CNC su-fişkirtılarak yapılmış ve 3500 bireysel parça, gerekli matkap delikleri ve montaj işaretleriyle tamamlanmış, bundan dolayı sahada montaj için elle yapılan iş azaltılmıştır. (Franken, Scharrer ve Nina)

Yapıdaki yapısal bileşenlerin ve fiberglas cam panellerin üretimi bilgisayar kontrolünde yapılmıştır. Alüminyum uzay kafes çerçeve direk sayısal verilerden CNC su-jeti teknolojisi kullanılarak kesilmiştir.



Şekil 4.22 Bmw Bubble Pavyonu, B. Franken-Çift eğrilikli akrilik cam panellerin üretimi için kalıpların frezelenmesi (Jeska, S., 2008)

4.5 Walt Disney Konser Salonu

Tablo 4.5 Walt Disney konser salonu genel bilgiler

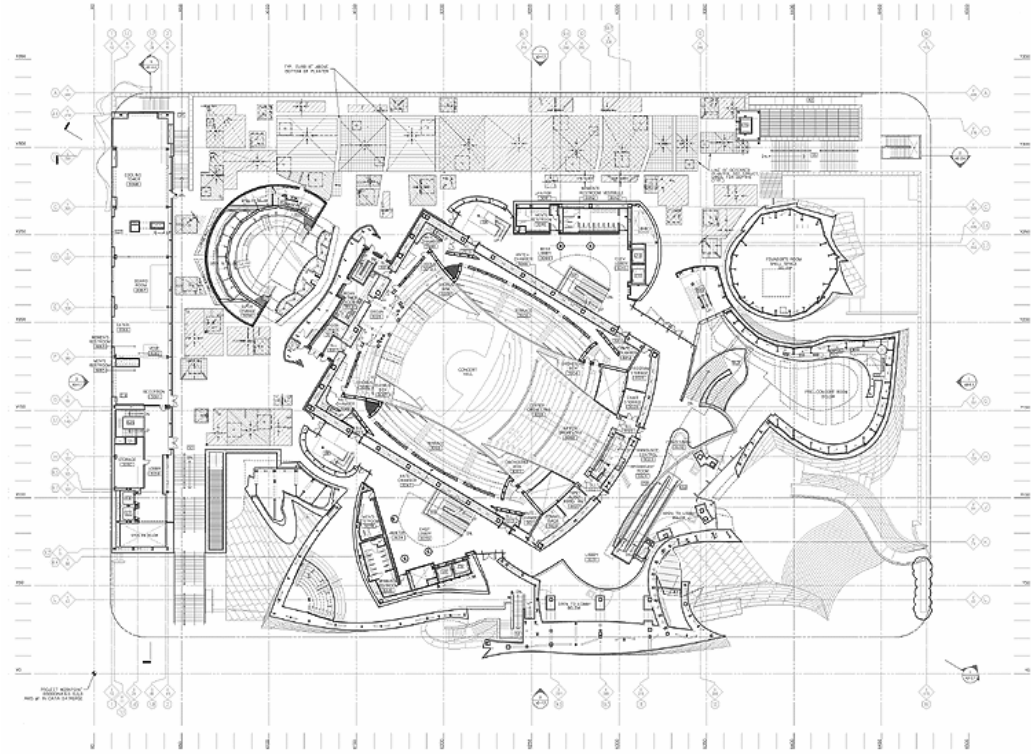
Genel bilgi	
Ana kullanım alanı	Konser salonu
İnşa Periyodu ve yeri	1999-2003 / South Grand Ave, Los Angeles, USA
Taşıyıcı Sistem Tipi	Çelik çerçeve
Tasarım	
Mimari Tasarım	Frank Owen Gehry
İnşaat mühendisi	Dowco Consultants Ltd.
Akustik sistem	Nagata Acoustics Inc.
Yapı elemanı	
Bina yüzeyi	Paslanmaz çelik kaplama
Çatı	Paslanmaz çelik kaplama



Şekil 4.23 Walt Disney Konser Salonu giriş cephesi, Gehry Partners

Los Angeles Müzik Merkezi'ne ait üçüncü salon olan Walt Disney Concert Hall'in tam adresi 111 South Grand Avenue, Los Angeles'dir. Hope Street, Grand Avenue, 1st Street ve 2nd Street caddelerinin kesiştiği bölgede yer alan bu konser salonunun en büyük fonksiyonu 2.265 kişilik konser salonudur. Birçok başka yan hizmetleri de olan bina Los Angeles Filarmoni Orkestrası'na ve Los Angeles Büyük Korosu'na ev sahipliği yapmaktadır. Walt Disney'in eşi Lillian Disney'in 1987

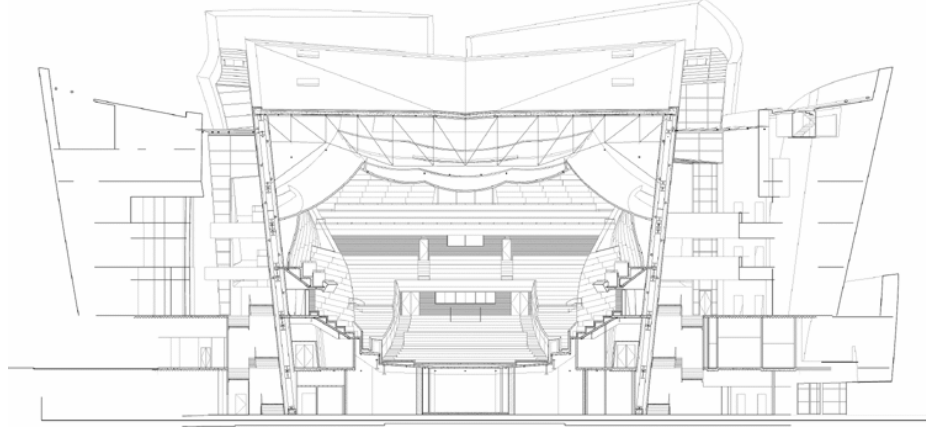
yılında hem Los Angeles sakinlerine hem de kocasına adadığı bu projenin tasarlanması fikri doğmuş. Frank Gehry'nin tasarladığı bu konser salonu 23 Ekim 2003 tarihinde resmen açılmıştır. Salonun akustik tasarımı ise Yasuhisa Toyota tarafından gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta, 100 milyon dolara 1992 yılına bitmesi düşünülen yapı, 274 milyon dolara on beş yıl sonra tamamlanmış. Bu zor süreçte, tasarım değişmiş, farklı malzemeler dahil edilip, proje son formunu almıştır.



Şekil 4.24 Walt Disney Konser Salonu zemin kat planı, Gehry Partners

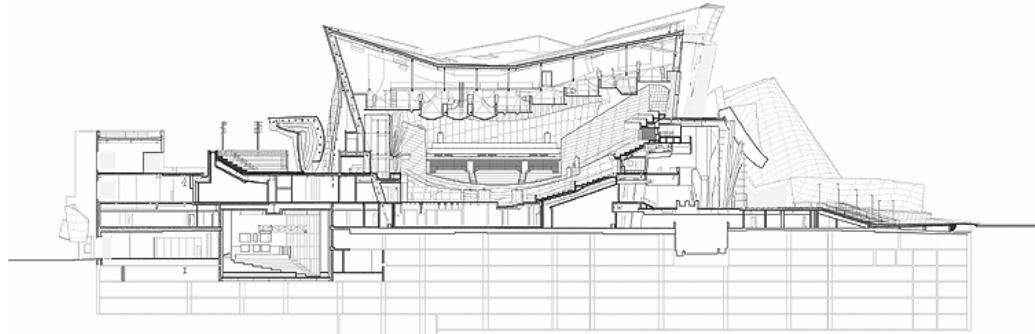
Temel ögesi, bir dış meydan üzerine doğru taşan, eğilmiş bir metal iskeletle kaplı kütleli bir fuayedir. Yapı yükseldikçe dış metal yüzeyler bir basamak arkaya çekilerek, ziyaretçilerin tırmanıp yürüyebileceği platformlar sağlar; yüzeylere yaklaşan, bu balkonlar kent merkezinin panoromik manzaralarını sunar. Balkonlar, yapı çevresinde, ikinci katta yer alan Garden Plaza'da başlayıp yine orada biten bir hat oluşturur. Bu taş kaplı teraslandırılmış Garden Plaza'da, iki küçük anfiteatro ve bir çeşme bulunur. Ziyaretçiler, kıvrımlı ana giriş merdivenini çıktuktan sonra içeriye, dış metal cephenin eteklerinden süzülerek girerler. Ana lobi mekanında, 6.5 metre

yüksekliğinde, içine aydınlatma ve havalandırma elemanları gizleyen ağacı anımsatan kolonlar bulunur. Her zaman kamuya açık olan bu mekan, caddenin paralelinde uzanır ve gün boyunca iyi havalarda katlanabilen cam panellerin kalkmasıyla Grand Avenue'ye doğru yayılır. (Bekiroglu, 2003)



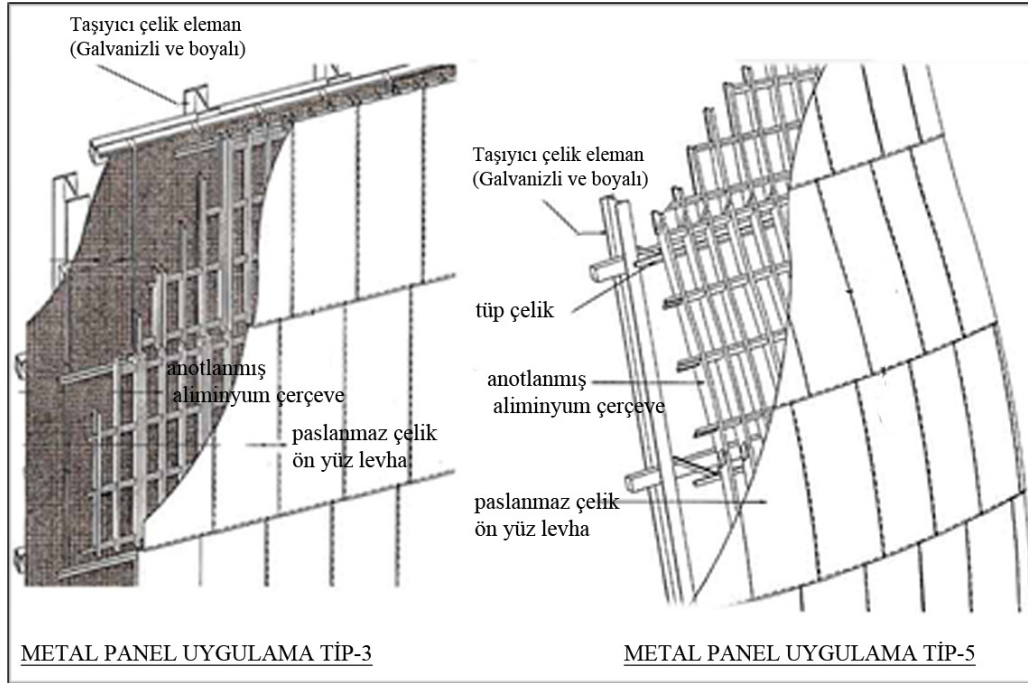
Şekil 4.25 Walt Disney Konser Salonu oditoryum kesiti, Gehry Partners

Kimi kullanıcılar için bu sosyal çevre, işlerine giderken kullandıkları bir geçiş mekanına dönüşebilir, kullanıcılar caddeden ya da otopark alanından giriş yaparak kafeye, bilet gişesine, restorana, hediyelik eşya dükkanına gidebilir ya da hiç bir aktiviteye katılmadan sadece bu mekanda vakit geçirebilirler. Bu sosyal ortam, yapının sadece entellektüel sanat ve izleyenlerine ev sahipliği yaptığı diğer konser salonlarının aksine günlük hayatın bir parçası olarak kullanılabilmesine olanak tanır. Lobileri geçtikten sonra, içeride, merkezi sahneyi 360° derece çevreleyen 2.265 kişilik bir oditoryum saklıdır. Sahnenin merkezde yer alması ve oturma alanlarının sahneye çok yakın mesafede olması, samimi bir ortam yaratmıştır.



Şekil 4.26 Walt Disney Konser Salonu Oditoryum Uzun Yönde Kesit, Gehry Partners

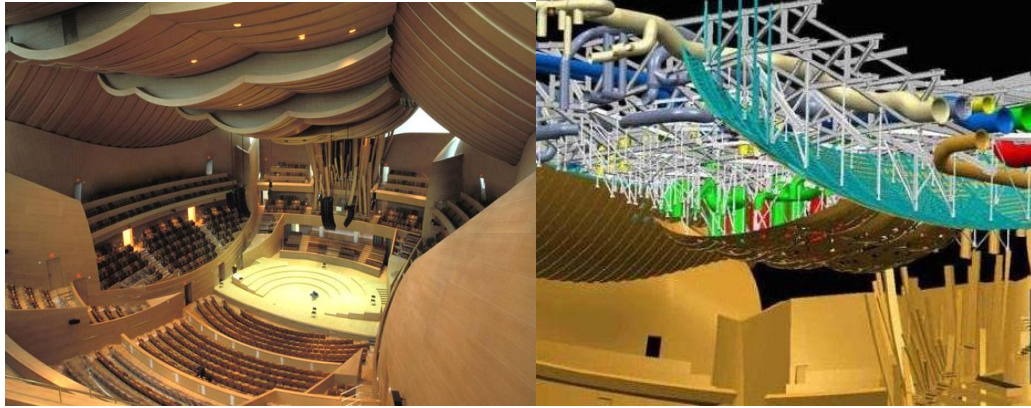
Walt Disney konser salonunun yapısı, iki parçadan oluşur. İlk parça, 1992 ve 1996'ın arasında yedi kat aşağıda inşa edilen garajdır. İkinci parça, 2000 ve 2003 yılları arasında inşa edilen beş katlı, konser salonunun olduğu yukarıdaki bölümdür. Aşağıdaki otoparkın yapısal sistemi, betonarme plak döşemelerin sütunlarla birbirine bağlı olduğu düz döşeme tasarımından oluşur. Döşemeler, ön gerilimlidir ve en üst döşeme hariç 9-11 inç kalınlığındadır. En üst yer döşemesi ise 45 inç kalınlığındadır.



Şekil 4.27 Walt Disney Konser Salonu, çelik iskelet sistem üzerine kurulan paslanmaz çelik levha detayları, (<http://rebes.info/resources/dch+composite>)

Gehry tarafından ilk başta kireçtaşı olarak tasarlanan WDKS 'nin, daha sonra işverenin metal malzemesini tercihi ve bütçe kısıtlamaları nedeniyle, dış kaplaması işlenmiş paslanmaz çelikle değiştirilmiştir. 2005 yılında yapının paslanmaz çelik cephesi sürücülere ve yerel sakinlere rahatsızlık veren yansıtıcı etkisini azaltmak için püskürtülen kumla matlaştırılmıştır. Günün saatine göre yapı, ışığı farklı yansıtan dış yüzeyiyle beklenmedik etkiler doğurur ve her seferinde ziyaretçileri farklı bir görsel deneyim sunarak onlara sürpriz yapar. Vakıf sahiplerinin odası diye anılan kütle, parlak ve ayna gibi yansıtıcı yüzeyiyle genel yapıdan ayrışır. Bu burkulmuş dış

yüzeyle interaktif bir etki oluşturup çevreyi, deforme ederek yeniden bizlere yorumlar. (Bekiroglu, 2003)

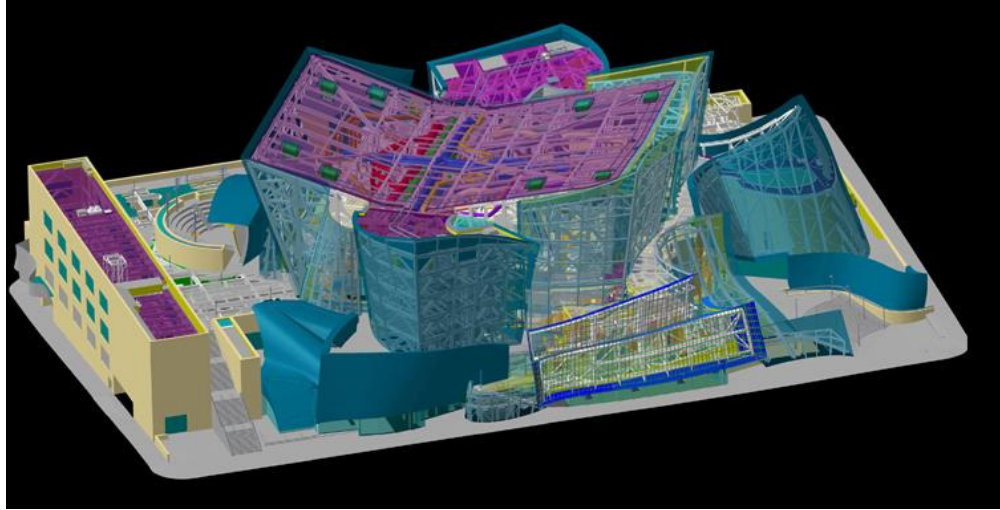


Şekil 4.28 Oditoryum İç Mekan ve Üç Boyutlu Modeli, Gehry Partners

Mimarisinin yanı sıra, konser salonunu başarılı kılacak olan bir diğer unsur da akustik özellikleridir. Projenin başından beri Gehry ile birlikte çalışan Japon akustik danışmanı Yasuhisa Toyota'nın önerileri üzerine tavanın ahşap bantlarını eğerek ideal ses elde edilmiştir. Salon inşa halindeyken, bazı müzik testleriyle akustik optimizasyonu artırmak amacıyla, bantların açılarının ve ahşap yüzeylerinin konumlarının ince ayarları yapılmıştır. Dıştan gelecek sese karşı yalıtım için ise salon iki kat alçı duvarla çevrelenerek izole edilmiştir. Oditoryumun iç kaplaması bal renkli Douglas köknar kerestesinden yapılmış panellerden oluşur. Asılı bir kumaş gibi duran ahşap tavan, orkestranın 150 metre üzerinde yüzer. Ritmik yerleştirilmiş ahşap bantlar ve gizli çatı ışıklıkları ile indirekt gün ışığının içeri alınmıştır. (Bekiroglu, 2003)

Gehry nin tasarladığı Walt Disney konser salonu mimarın bilgisayar teknolojisini geniş kullanımını ile yapılabildiği. CATIA'in kullanımı olmadan (Bilgisayar-yardımcılı üç boyutlu etkileşimli uygulama), konser salonunun inşası, imkansız olmuş olacaktı. Havacılık ve araba tasarımı endüstrileri için geliştirilmiş olan Fransız yapımı CATIA adlı programı ile bu tarz geleneksel olmayan tasarımların üretimi ve imalatı mümkün kılınmıştır. Söz konusu yazılım, ileri karmaşık yüzey anlayışı ile malzeme kapasitesini sayısal olarak kontrol eder ve inşa giderlerinin düşmesine yardımcı olur. Mimar artık maketlerini yapıp bilgisayara doğrudan girebilmektedir.

Böylelikle çalışma maketlerine tamı tamına uyan karmaşık uygulama çizimleri üretebilmektedir. Bilgisayar, biçimlerini oluşturmada ayrılmaz bir bileşen değil, Gehry'nin öngörülerinin yaşama geçebilmesi için bir araç işlevini görmektedir.



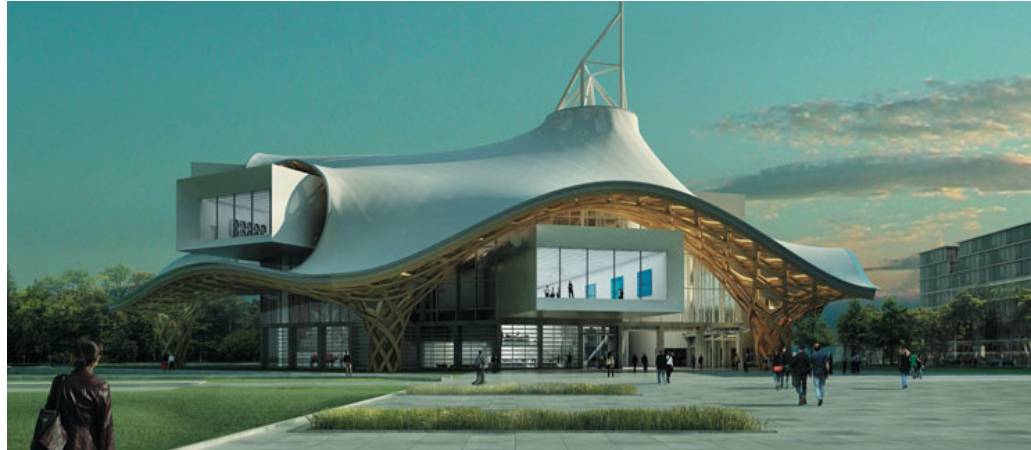
Şekil 4.29 Walt Disney Konser Salonu yapının üç boyutlu modeli, Gehry Partners

Konser salonunun sayısal teknolojiler kullanılarak tasarım ve üretim süreci şöyle gelişmiştir; Başlangıç olarak Gehry bir skeç yapmıştır. Sonra tasarım ekibi kil, plastikten, ve diğer malzemelerden elleriyle fiziksel bir model yapmış. Yüzeylerin tasarımı, bu modellerde sonuçlandırıldığı zaman, lazerin kullanılmasıyla CATIA'ya aktarılmıştır. Bu süreç, fiziksel modelin her yüzeyi boyunca lazer kalem rehberliğinde yapılmıştır. Birçok düzeltmeyle, tasarım ekibi, onun neredeyse tam olarak, fiziksel şekilde gözüktüğü gibi bilgisayarda 3D modelini oluşturmuşlardır. Program ayrıca yüzeyden yüzeye daha iyi bir geçiş elde etmek için dış yüzeyleri yumuşatabilir. Bilgisayarda 3D model tamamlandığı zaman, CATIA gerçek ölçekte modele strüktürü (I kesitli çelik elemanlarla) ekleyebilir. İnşaat için gerçek boyutlar verilerek inşaatta kullanılacak materyallerin listesi oluşturulabilir. Programın bu yeteneği, tasarımcıya çelik kirişlerin tam boyutlarını, gerçek yaşamda 3D modelini inşa etmek için ihtiyaç duyulan malzemenin metrajını verir. Bu bilgi, ne kadar malzemenin ve emeğin, inşada ihtiyaç duyulacak olduğunu tam olarak tahmin etmeye ek olarak binanın fiyatını tahmin etmekte aşırı derecede değerlidir. Bu ayrıca inşa evresi esnasında inşaat sürecinide kolaylaştırır çünkü her parça, tam olarak kesilmiş ve etiketlenmiştir.

4.6 Pompidou Metz Sanat Merkezi

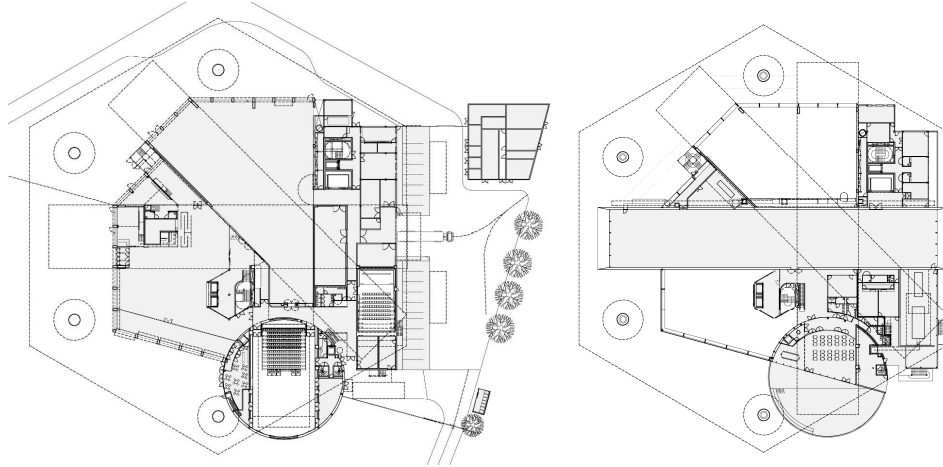
Tablo 4.6 Pompidou Metz sanat merkezi genel bilgileri

Genel bilgi	
Ana kullanım alanı	Sanat merkezi
İnşa Periyodu ve yeri	2006-2010, Metz, Lothringen, Fransa
Taşıyıcı Sistem Tipi	Betonarme ve çelik karkas sistem
Tasarım	
Mimari Tasarım	Shigeru Ban Architects, Jean De Gastines
İnşaat mühendisi	Arup, Londra
Yapı elemanı	
Çatı yüzeyi	PTFE membran kaplı tutkallı lamine ahşap strüktür



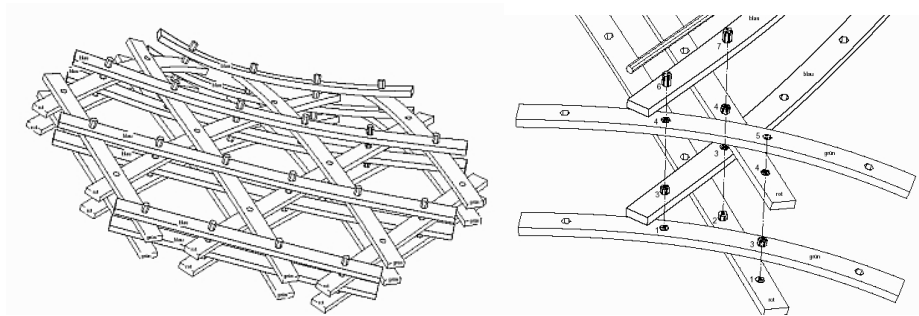
Şekil 4.30 Yapı Üç Boyutlu Modeli, Shigeru Ban Architects, Jean De Gastines

Paris'teki modern sanat müzesi Centre Pompidou'nun Metz kentinde açılan şubesinin tasarımı Shigeru Ban ve Jean de Gastines tarafından yapılmıştır. Farklı kotlarda yapıya yerleştirilmiş dikdörtgensel tüpler şeklindeki üç galeri, katedral, istasyon binası ve Seille Park gibi şehrin sembol yerlerini göreceak biçimde düşünülmüş, büyük seyir pencereleriyle çatı boyunca çıkıntılar yapacak biçimde tasarlanmıştır. Merkezi kulesinin sivri ucu, orijinal merkez Pompidou'nun 1977 deki açılış tarihine gönderme yapılarak 77 metre yüksekliğe kadar uzanmaktadır.



Şekil 4.31 Zemin ve 1.kat planı, Shigeru Ban Architects, Jean de Gastines

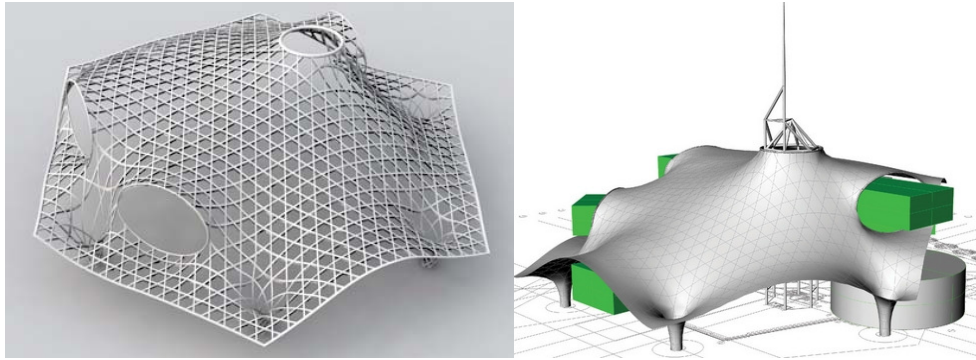
Dikdörtgen biçiminde üç galeriden oluşan merkez, geniş boyutlu gerilmiş strüktürle kaplanmıştır. Toplam 12.000 m2 alana sahip olan yapının 6000 m2 si sergileme mekânı olarak kullanılmaktadır. Yapıda ayrıca kabul salonları, sinema salonları, gösteri, konferans salonları, bir kitap mağazası, bir restoran ve bir kafeterya bulunmaktadır. Açık bir kamusal sergi mekanı binanın ahşap altıgen çatısının altına kadar uzanmaktadır. Bu kamusal alanlar kentin eski ve yeni bölgelerini paylaşan zeminler rolünü üstlenmektedir. Çatı örtüsünün altında birbirlerine tek bir noktadan mafsallanmış, çelik makaslarla desteklenen her biri 100m x 15m ölçülerindeki galeri mekanları bulunmakta, çatı örtüsü galerilerin de asılı durduğu geniş bir forum alanını örtmektedir. Çatı örtüsü kışın soğuktan koruyan yazın da gölge sağlayan enerji etkin bir bina sunmaktadır. Çatı, kış aylarında kuzey rüzgarını kesmekte, yaz aylarında ise güneyden gelen rüzgarı daha çok alabilecek şekilde biçimlenmiştir. (Lindley, 2010)



Şekil 4.32 Tutkallı ahşap tabakaların oluşturduğu, eğrilikli çatı örtüsü
(<http://www.cwmags.com/cw-1-7/basic/page22.php>)

Shigeru Ban tasarımında kısmen Paris'teki bir çarşıda rastladığı Çin köylü şapkası formundan esinlenmiştir. Örgü bambu şapkanın strüktürü Ban'a yeni Pompidou'nun farklı elemanlarını bağlayabileceği geniş, parlak, konik bir çatı oluşturmada yardımcı olmuştur. 8.000 metrekarelik bir yüzey alanı olan, 90 metre genişliğindeki kıvrımlı çatı, en üstte teflon katmanıyla, daha içte ise fiberglasla kaplanmış, altıgen kafes şeklinde örülmüş ahşap bir çerçeveden yapılmıştır. Çatı strüktürü 2.9 metre kenarıyla altıgen modüler öğelerden oluşmaktadır. (Disson, 2010)

Üç tabakalı tutkallı lamine ahşaptan yapılan çatı forum alanını örterken 60 metrelik açıklığı geçmeyi olanaklı kılar ve çatıyı sadece birkaç noktadan destek alarak kendini destekleyen bir öge yapar. Merkezi metal bir kule tepesi ve dört koni biçiminde sütun tarafından desteklenir. Karmaşık kereste geometrisi, ileri bilgisayar destekli teknolojilerin kullanılmasını gerekli kılmıştır. Taşıyıcının karmaşık geometrisi her elemanın cnc makinelerinde işlenmesiyle elde edilmiştir. Ahşap kirişlerin karmaşıklığı farklı elemanların sadece bükme makineleri ve sayısal kontrollü freze kullanılarak hazırlanabilmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 4.33 Çatı strüktürünün üç boyutlu modeli, Shigeru Ban Architects, Jean de Gastines

Arup genellikle membran veya kablo ağ yapıları için kullandığı kendi form bulma yazılımını çatı için optimum şekli bulmak için kullanmış. Süreç, altıgen grid ahşabı temel geometrik şekil olarak kararlaştırarak başlamış daha sonra galerilerin destekleri ve yerleri, merdiven ve asansörleri barındıran altı köşeli dolaşım kulesi ve ahşap çatı strüktürün zeminle çakıştığı noktalar kararlaştırılmış. Form bulma süreci devam ederken yapısal çözüm, bu süreçle paralel çalışmış, bilgisayar modeli, kuvvetleri, düğümlerin yer ve boyutunu ve kirişlerin uzunluğunu hesaplamıştır. (Lindley, 2010)

4.7 Kunsthaus Graz Sanat Merkezi

Tablo 4.7 Kunsthaus Graz sanat merkezi genel bilgiler

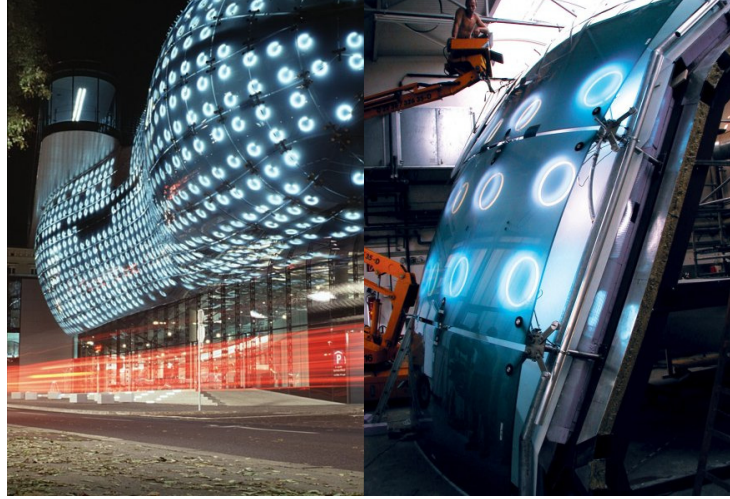
Genel bilgi	
Ana kullanım alanı	Çağdaş sanat galeris
İnşa Periyodu, Yeri	2001-2003, Graz, Lendkai, Avusturya
Taşıyıcı Sistem Tipi	Çelik iskelet sistem
Tasarım	
Mimari Tasarım	<u>Peter Cook</u> ve <u>Colin Fournier</u>
İnşaat mühendisi	Bollinger & Grohmann
Yapı elemanı	
Bina yüzeyi	Çelik iskelet sistem üzerinde akrilik cam panel
Çatı	Akrilik cam panel



Şekil 4.34 Kunsthaus Graz Sanat Merkezi yapı dış kabuğu, (Niki Lackner)

2003 yılında Avrupa'nın kültür başkenti seçilen Graz bu görevi en iyi şekilde üstlenebilmek için sanat yatırımlarını arttırmıştır. Sanat evi için tasarlanacak binanın da bu şehrin sembolü haline gelmesi ve mimarisi ile ilgi çekmesi gerekmektedir. Yapılan mimari tasarım yarışmasını sıra dışı tasarımları ile İngiliz mimarlar Peter Cook ve Colin Fournier kazanmıştır. Bina tüm sanat etkinliklerine ev sahipliği yapacak şekilde tasarlanmış ve bünyesinde sergi alanları, konferans odaları, restoran, kafe-bar ve dükkanları bulundurmaktadır. Binanın organik formu ise tasarım aşamasının tüm etaplarında ön plana çıkmış ve bu yapıyı taşıyacak konstrüksiyon

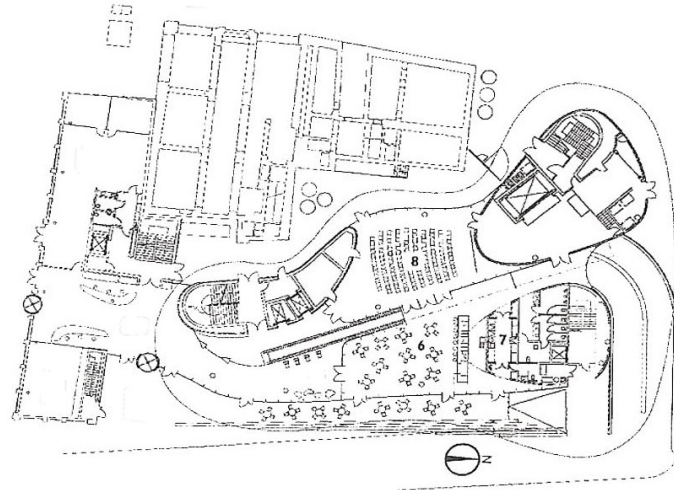
için özel çözümlerin bulunmasını gerekli kılmıştır. (*Graz sanat evi (Kunsthaus Graz)-a friendly alien*, b.t.)



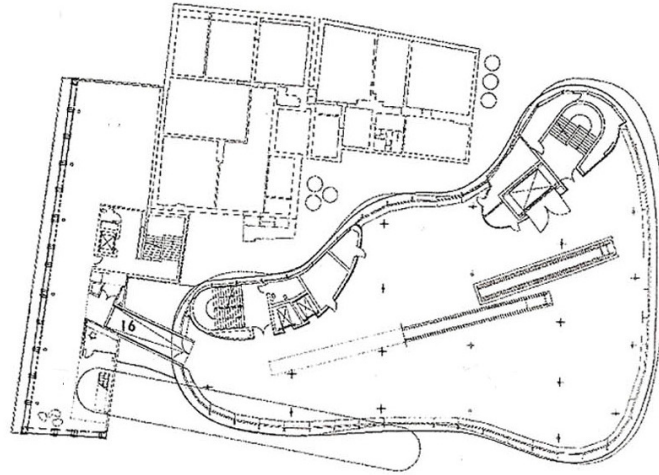
Şekil 4.35 (sol) Kunsthaus Graz Sanat Merkezi Medya duvarı, (Niki Lackner), (sağ) Fabrikada üretilen prototip panel, (Realities United)

Yapı sayısal medyanın geleneksel bilgisayar ortamından çıkıp, mimari yapı elemanı olarak kullanılmasına dair ilginç örneklerden biridir. Konstrüksiyon ve bina formunun birbirine uyumlu hale getirilmesi, mimar ve inşaat mühendisleri arasında iyi bir köprünün kurulmasını gerektirmiştir. Proje ve inşaat sırasında ileri yapım teknolojilerinin kullanıldığı bu biyomorfik formdaki bina, tarihi çevrede yer alması, ilginç formu ve sınırları belirlenmemiş izlemi veren iç mekanı ile öne çıkmaktadır.

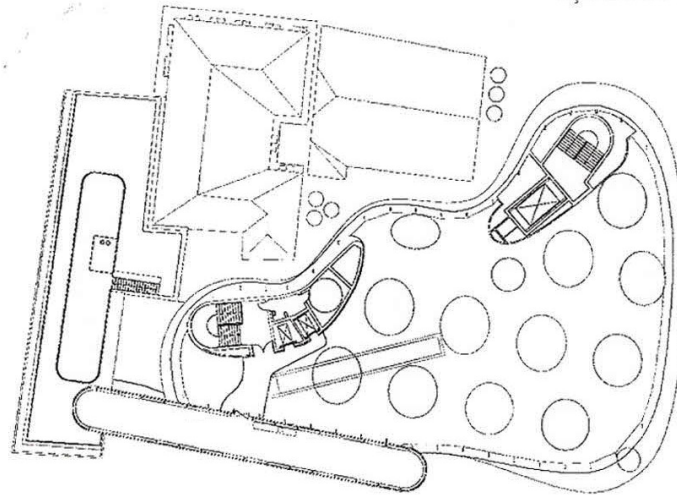
Cam takılan zemin kat, sanatçılar ve sanat meraklıları için bir buluşma yeridir. Biri Lendkai'den ve diğeri Südtirolerplatz dan olan iki ana giriş vardır. Bu zemin, bilgi, iletişim ve eğlence etkinlikleri çok yönlü bir boşluktur: sanat kitapevi, müze dükkanı, 24 saat kafesi; binanın arkasına uzanan büyük çok amaçlı mekan boşluğu, kafeye bağlanabilir ve umumi alana ulaştırır. 30 metre-uzunluğundaki yürüyen merdivenlerle ziyaretçiler esrarengizce parıldayan balonun derisine girerler ve ilk sergi alanının düzeyine gelirler. İkinci merdiven ziyaretçileri etkileyici yapısal kabuğuyla üst sergi güvertesine alır. Burasının en yüksek noktası 8 metre yüksekliğindedir. Binanın derisinin iç yüzeyine ağızlık koniler sergi alanı için ayarlanabilir gündüz ışığı sağlar.



Zemin Kat Planı



İkinci Kat Planı

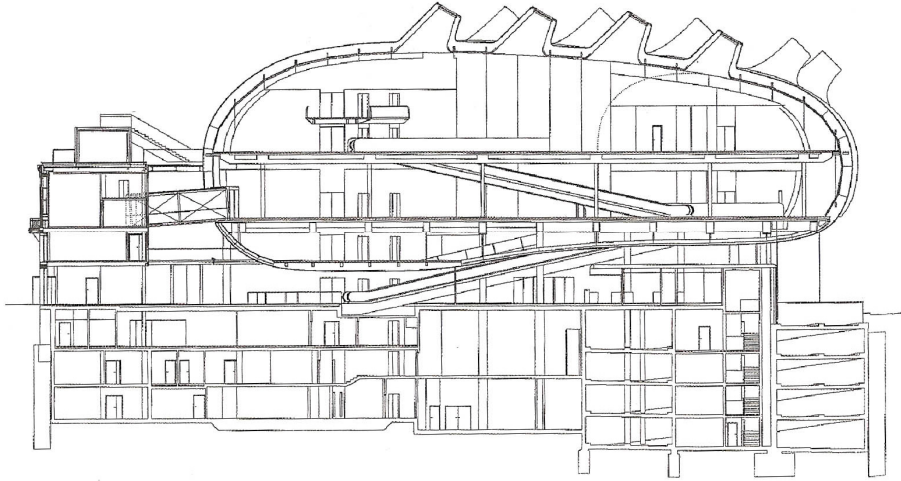


Dördüncü Kat Planı

Şekil 4.36 Kunsthaus Graz Sanat Merkezi kat planları, Peter Cook ve Colin Fournier

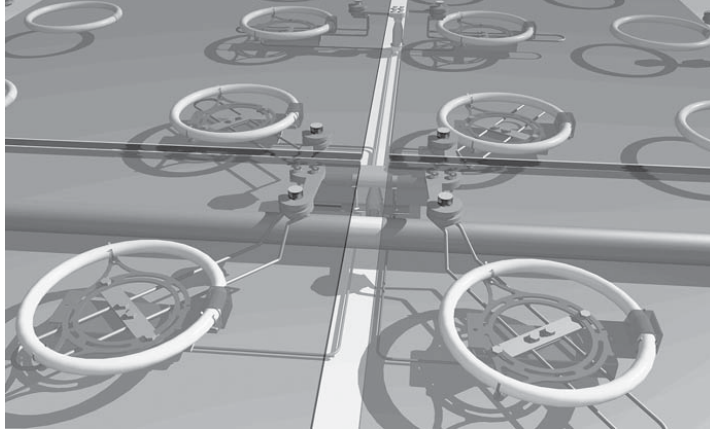
Mavi parıldayan Kunsthaus, cam yüzeyli zemin katın üzerinde hava balonu gibi yüzer. Onun yumuşak formu, organik olarak bitişik olduğu daha eski binalarla erir. İdeal aydınlatma için kuzey yönüne doğru meyledilen çıkık tepe penceresi ağızlıkları pleksiglas dış yüzeyinden ortaya çıkar. Yerden 23 metre yukarda ki katta yeni yapı, anıtsal koruma altında olan dökme demir inşa Eisernes Haus'a köprü yoluyla bağlanır.

Yapının net alanı 11,100 m² dir. 250 m² gösteri alanı ve 280 m²'lik Avusturya kamera gösterim alanı dahil olmak üzere 2500 m² sergi, gösteri alanına sahiptir. Yer altı otopark alanı dahil olmak üzere zemin kat alanı 13,100 m²'dir. Yer altı otopark alanı 146 araçlıktır.



Şekil 4.37 Kunsthaus Graz Sanat Merkezi boyuna kesiti, Peter Cook ve Colin Fournier

Proje gelişmiş modelleme, simülasyon ve otomatik üretim teknolojileri kullanılarak üretilmiştir. Bu projenin kabuğu akrilik cam, düşük çözünürlüklü bir medya duvarı, fiber ve çelik konstrüksiyon katmanlarından oluşmaktadır. Geçici sergilere ev sahipliği yapan kültür merkezinin akrilik cam cephesinde yaklaşık 930 güçlü neon lamba kullanılarak bir medya arayüzü de yaratılmıştır. Bilgisayarlarla kumanda edilen binanın bu ileri teknoloji ürünü cephesi, aynı zamanda saniyede 20 kare hızla film ve animasyon gösterilebilen dev bir bilgisayar ekranına dönüşmüştür.

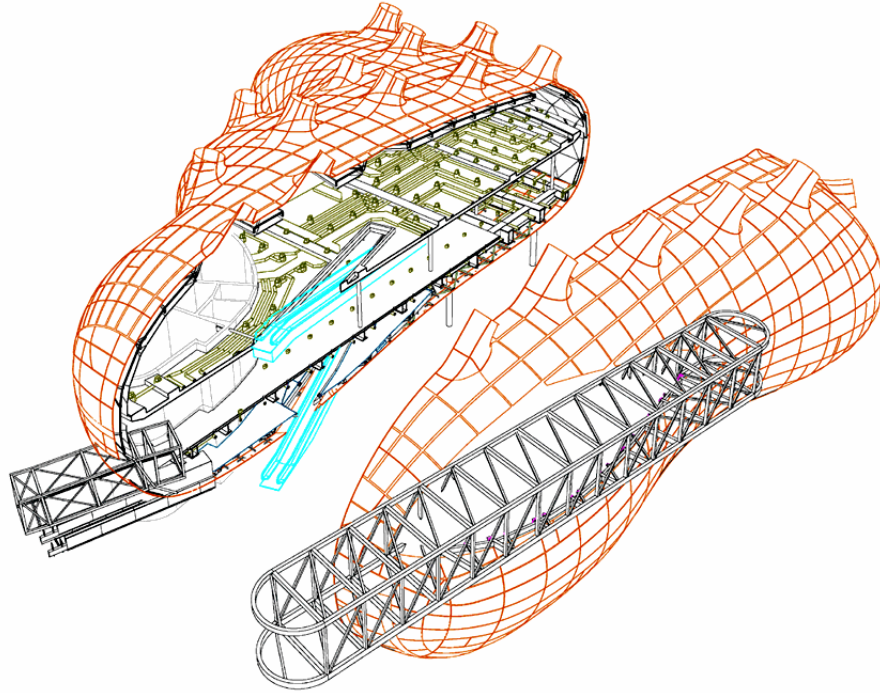


Şekil 4.38 Kunsthhaus Graz Sanat Merkezi doğu cephesi medya duvarı dış yüzeyi sistem detayı, (Kolarevic, Malkawi, 2004)

Medya duvarı Realities United tasarım şirketi tarafından özel olarak geliştirilmiş modüllerden oluşmakta ve 20 metreye 45 metre gibi bir alanı kapsamaktadır. Söz konusu modüllerin içinde bir yazılım tarafından anlamlı hareketli görüntüler oluşturacak şekilde yönetilen toplam 930 neon aydınlatma elemanı bulunmaktadır. Bu yazılım da aynı şirket yazılımcılarının araştırma geliştirme çabaları sonucunda geliştirilmiştir. (Communicative display skin for the Kunsthhaus Graz, b.t.). Yapının uygulama aşamasında, dış kabuğu üç boyutlu küçük parçalara bölünmüş ve numaralandırılmıştır. Bu parçalar da fabrikada önceden üretilerek şantiye alanına taşınmış ve monte edilmiş.

Yapının dış yüzeyindeki akrilik 1068 tane panelin ebatları 2metreye 3 metredir, kalınlığı 20 mm dir. Her biri bireysel olarak üç boyutlu olarak eğilmiştir ve 60000 tane tekil sabitleme elemanı ile tutturulurlar. İçerdeki akrilik panellerin sayısı 185 adettir, bunların ebatları 2m ye 3m kadardır ve kalınları 8 mm dir. Bunlar 1500 adet destek noktası tarafından taşınırlar. (Stangl, 2008)

Yapıda 16 adet ağızlık bulunur. Bunlardan biri yangın esnasında duman tahliyesi görevi görürken bir tanesinde Graz daki saat kulesine bakış sağlar. 14 adet baca şeklindeki ağızlık ise üst sergileme boşluğu için güneş ışığı sağlar. Balon şeklindeki kütlelerin ağırlığı 3900 tondur. Bunun 225 tonu çelik strüktürdür.



Şekil 4.39 Kunsthhaus Graz Sanat Merkezi yapı taşıyıcı sistemini gösteren model, (Gernot Stangl)

Deri, üçgenlere bölünmüş olan iç bir çelik kabuk yapısı tarafından desteklenen çok katmanlı inşadır ve dıştan eğri mavi akriliklere kaplı panellere ayrılır. İki dış tabakanın arasında yarığa ait boşluk, programlanabilir, canlı elektronik bir ekranın oynaması için derinin yüzeyine izin verir. Yapısal ızgaranın ve cephenin üst üste yerleştirilmesi; Kunsthhausun dış yüzeyi çok sayıda farklı ögeyi içerir; yapı, cephe, bağlayıcılar. 1200 den fazla farklı panel devamlı bir form oluşturur. Bütün öğeler farklı yerlerde önceden üretilmiş ve inşa yerinde toplanmıştır. Cephenin düzensiz eğriliği yüzünden her öge tek bir parçadır. Yapısal ızgara sistemle cephenin üst üste yerleştirilmesi sırasında yaklaşık 1800 sabitleme elemanı her iki sistemin karşılaştığı kesişim noktalarına yerleştirilmiştir. Sistem yüzeyin bozulmasını (eğriliğini) izler. Çatı pencerelerinin her biri yapı içerisinde altıgen alan kaplar ve yüzeye hizalanır. (Stangl, 2008)

4.8 Su Küpü “The Water Cube” Ulusal Su Sporları Merkezi

Tablo 4.8 Su Küpü “The Water Cube” ulusal su sporları merkezi genel bilgiler

Genel bilgi	
Ana kullanım alanı	Ulusal su sporları merkezi
İnşa Periyodu, Yeri	2001-2004
Taşıyıcı Sistem Tipi	Çelik çerçeve sistem
Tasarım	
Mimari Tasarım	PTW mimarlık bürosu, Shenzen Tasarım Enstitüsü
İnşaat mühendisi	Arup ve Çin inşa ve Mühendislik Şirketi
Yapı elemanı	
Bina yüzeyi	Çeşitli ebatlarda kristalize edilmiş ETFE hava yastıkları
Çatı	Çeşitli ebatlarda kristalize edilmiş ETFE hava yastıkları



Şekil 4.40 Su Küpü -ETFE hava yastıklarıyla oluşturulan dış cephe yüzeyi

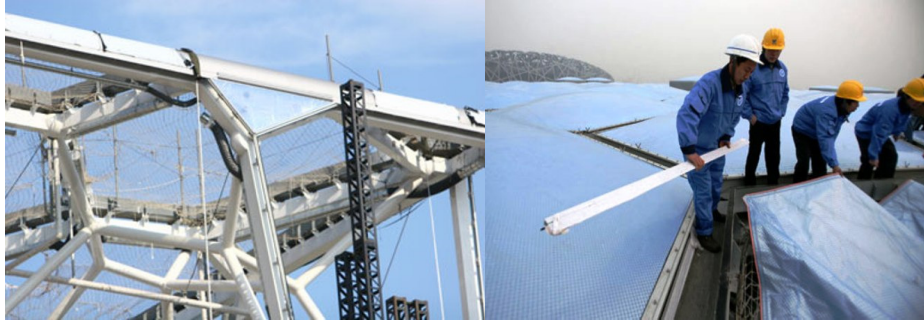
Avustralyalı mimarlar PTW, Arup, Shenzen Tasarım Enstitüsü, Çin İnşa ve Mühendislik Şirketi tarafından tasarlanan Olimpik Yeşil’in batısında konumlanan “Su Küpü” olarak tanınan ulusal su sporları merkezi dünyada üstü tamamen kapalı ve halka açık tek su sporları merkezidir. ETFE membrandan yapılmış mavi hava

kabarcıkları suyun inceliğini ve zerafetini yansıtmaktadır. Su Küpü yeşil mimari endişeleri içinde suyu koruma tasarım kavramlarına uygun olarak inşa edilmiştir. Arup'un "Su Küpü" tasarımı organik hücrelerin doğal modelini ve sabun kabarcıklarının oluşumunu temel almaktadır. Merkezin mavi kabarcık duvarları içinde Olimpik yüzme ve dalma yarışmaları için havuzların yanında 17.000 izleyici için koltuklar bulunmaktadır.

Su Kübü'nün strüktürü su kabarcıklarının geometrisiyle oynanarak kristalize edilmiş, masif bir dikdörtgen formdan oluşmaktadır. Tüm yüzeyine "baloncuklar" yayılmış olan yarı saydam "küp" de, "H₂O" strüktürüne oldukça benzemektedir. Yapının sabun köpüklerinin tesadüfi ve organik görünümlü doğal oluşumunu temel alan strüktürel tasarımına ulaşmak amacıyla Trinity College'da fizik profesörleri olan ırlandalı Weaire ve Phelan'ın "sürekli bir düzen içinde sabun köpüklerinin şekilleri ne olur?" probleminde önerdikleri çözümlere ilişkin çalışmalarından yararlanmıştı. Yani aslında çok basit, anlaşılır ve doğal bir sistem gibi organik ve rastlantısal gözükken bir formun ardında çok sıkı ve birbirini tekrar eden matematiksel bir hesap yatmaktadır. Baloncukların birbirlerine her zaman düzenli bir geometride dokunduklarından yola çıkılarak, düzenli kesişme noktaları, düğümleri ve dikmeleri olan bir strüktür sistemi oluşturulmuştur. (Midilli, 2008).

Yapı, yanları 175 metre uzunluğunda ve 35 metre yüksekliğinde, 12 beşgen ve iki altıgen oluşan, 3 boyutlu olarak herhangi bir boşluk bırakmadan tekrarlanabilen bir geometrik hücre üzerine kurulu, 3 boyutlu virendel uzay çerçevesidir. (Creating a "Water Cube", 2009) Organik görüntüsüne karşın basit bir çelik uzay kafes olan iç strüktür üç farklı düğüm ve dört farklı elemandan oluşmakta, 22.000 adet çelik eleman ve 12.000 adet düğüm noktası içermektedir. Düğümler yerinde döküm kalıp sistemi ile üretilebilmekte ya da önceden üretilip getirilebilmektedir. Sistemi oluşturan elemanlar ise bu iki teknikten farklı olarak ayrıca haddeleme yöntemiyle de oluşturulabilmektedir. Duvar kalınlığı 3,6 m., çatı kalınlığı 7,2 m olan ve 6500 ton çelikten oluşan strüktür, inşaat alanında kaynaklanabilen ya da bulonlanabilen, düz açılardan oluşan dikdörtgen biçimli kutu bölümlerden oluşmaktadır. Bu projenin ilk problemlerinden birisi 190 yükleme durumunda 22.000 giriş strüktür tasarlamaktır.

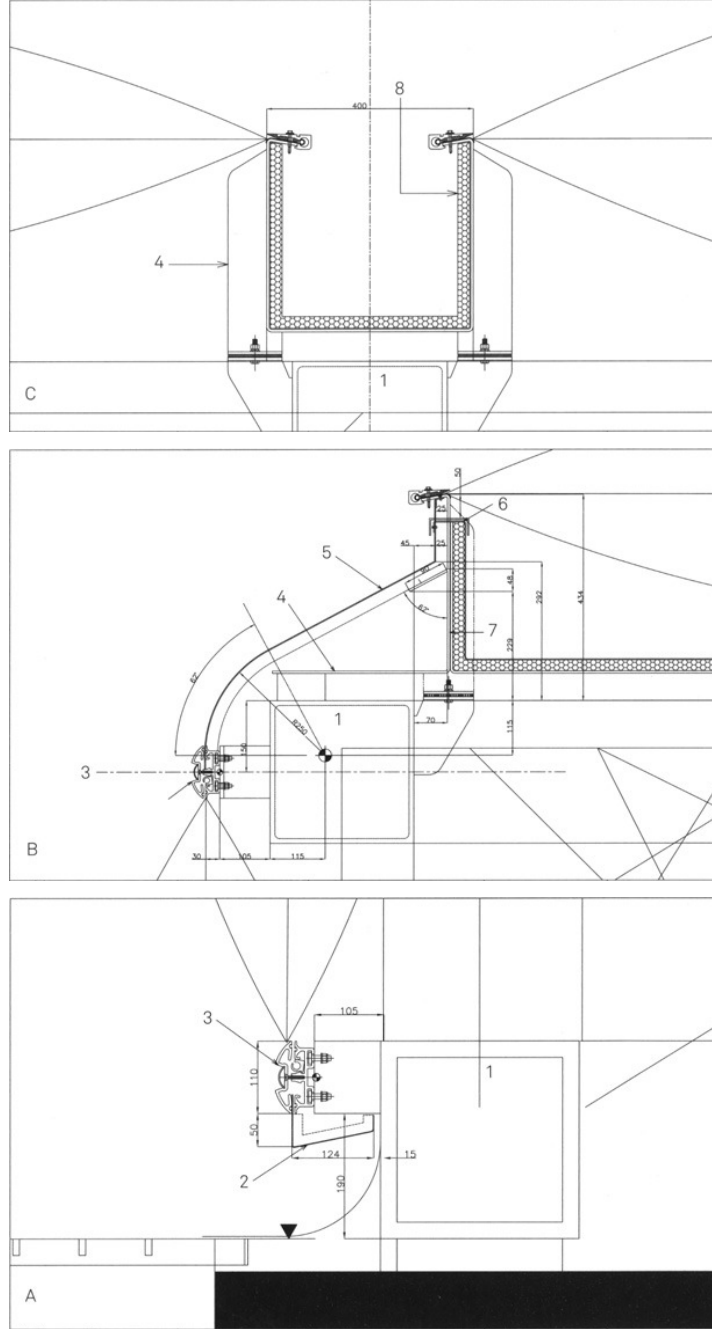
Uzun kiriş açıklıklarında asal yüklerin kritik olması nedeniyle her kirişin, çelik ağırlığının azaltılması için mümkün olduğunca küçük tasarlanması gerekmiştir. Bir diğer zorluk ise Pekin'in depreme dayanıklı tasarım yapma gereklilikleridir. Anahtar soru ise, çatı tasarımının deprem yükü altında plastik davranacak dolu kesitli bileşenlerden mi, yoksa yük altında elastik davranacak sertleştirilmiş çubuksal kesitlerden mi olacağı ile ilgilidir. Arup tarafından geliştirilmiş bir analiz programı kullanılarak varılan çözümde dolu kesitlerin kullanımına karar verilmiştir.



Şekil 4.41 Su küpü çatı yüzeyi ETFE folyo hava yastıkları montajı
(<http://osman.midilli.com/2008/08/02/>)

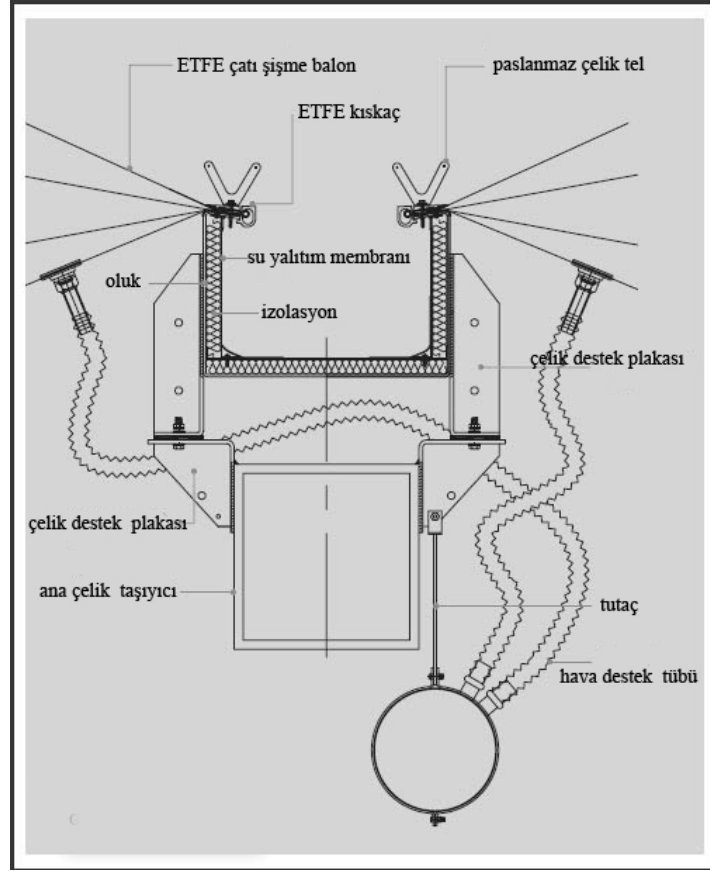
Su Küpü'nün membran yapısı ETFE hava yastıkları ile kaplanmıştır. Bu uygulama sadece Çin'in değil dünyanın en büyük ve aynı zamanda en ekonomik su korumalı ETFE projesidir. Su Küpü'nün membran yapısı 3000 pnömatik yastıktan oluşmaktadır ve kaplama alanı 110.000 metrekaredir. Hava kabarcıklarından her biri, bir arabanın ağırlığına direnç gösterebilmektedir. Aynı zamanda, yangın ve yoğun ısıya karşı da direnci yüksektir. Doğrudan güneş ışınlarından oluşacak ısınma problemlerini çözmek için membran katmanları arasında farklı yoğunluklarda hava yastıkları bulunmaktadır. Böylelikle güneş ışınlarından doğabilecek ısı kısmen azaltılmakta ve iç ortam sıcaklığı kontrol altında tutulabilmektedir. (National Aquatics Center, 2008)

ETFE malzemesi cama oranla daha hafiftir. Böylece, membran kaplamayı taşıyan çelik yapı için daha az malzeme kullanılmıştır. Malzemenin sürtünme katsayısı çok küçük ve tozun üstüne yapışması zor olduğundan doğal olarak kendi kendini temizlemektedir. Üzerinde toz birikse bile yağmur yağdığı sürece membran yüzeyi temizlenmektedir.



Şekil 4.42 Su Küpü ETFE hava yastıkları ile strüktür bağlantıları:
 A-Zemin dış duvar yüzeyi birleşimi B-Çatı ile Dış duvar yüzey birleşimi
 C-Çatı dış yüzeyi (LeCuyer, A., 2008)

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1-Ana çelik strüktür | 5-yalıtımlı alüminyum kaplama |
| 2- 20 mm drenaj deliği | 6-PVC, alaşım altında |
| 3-Kapaklar arasında su izolasyonu | 7-Çelik oluk kesiti |
| 4-Çelik köşebent | 8-PVC oluk astarı |



Şekil 4.43 Su Küpü -ETFE hava yastıkları strüktür bağlantısı, yastık şişirme ünitesi

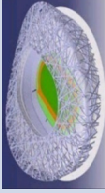




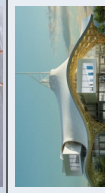
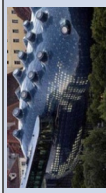

Su Küpü'nün su ve çevre koruma kurallarına uygun tasarlanmasının yanı sıra, dış yüzeyi ve çatısı yıllık 10.000 ton yağmur suyu, 70.000 ton temiz su ve 60.000 ton yüzme havuzu suyu biriktirebilmektedir. Ayrıca, yılda 140.000 ton kullanılmış suyu geri dönüştürüp kullanacaktır. ETFE Avrupa'da son 20 yıldır 600-800 mimari yapıda kullanılmıştır ve ETFE membranları ışık geçirgenliği ve direncini 20 yıldır bozulmadan korumaktadır. Su Küpü'nün ömrü 100 yıl olarak hesaplanmıştır. İnsanların Su Küpü'ne dokunarak zarar vermelerini önlemek için yapının çevresine hendekler kazılmış. İç ortamda da membran insanların dokunma uzaklıklarının ötesinde yer almış. Kuş bilimcilerin çalışmalarına göre kuşlar yarı-şeffaf yüzeylere konmamaktadır. Kuşların Su Küpü'nde konabileceği tek yer yağmur suyu toplama sistemi üzerinde olabileceğinden. Tasarımcılar toplama sistemi üzerine kuşların konabileceği metal teller yerleştirmişler ve hava kabarcıkların üstüne konmalarını engellemişlerdir.

4.9 Sayısal Mimarlık Yapı Örneklerinin Yapım Süreçlerinin Analizi

Bilim ve teknolojideki gelişimler yapı tasarım ve üretim süreçlerinde devrimsel değişimler yaratmıştır. Bu süreçlerin anlaşılması için sayısal tasarım teknikleriyle üretilen sonuç ürünün tasarım ve üretim süreçleri detaylı incelenmeli, geleneksel mimariden farklılaşan biçim, strüktür ve malzeme çözümlerine bakılmalıdır. Bu amaçla çalışma kapsamında sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlık pratiğinde kullanımında öncü olan Frank O. Gehry, L. Norman Foster, Kas Oosterhuis gibi mimarların uygulamalarının yapım süreçleri irdelenmiş ve söz edilen teknik ve teknolojilerin yapının formunda, strüktür sisteminde ve yapı malzemesinde yol açtığı değişimler gözlemlenmiş, ortak eğilimler analiz edilmiştir. Yapım sürecindeki değişimin irdelenmesi kapsamında 4.bölümdeki alan çalışmasında detaylı olarak yedi projenin yapım süreçleri incelenmiştir.

İncelenen proje verileri analiz edilmek için **tablo 4.1** 'de toplanmıştır. Proje verileri üç ana grup altında toplanmıştır. Birinci grup verilerde yapıların mimari özellikleri başlığı altında yapı ana fonksiyonu, kamu-özel kullanımı, yapı inşaat alanları irdelenmiştir. Sayısal mimarlık uygulamalarının hangi yapı tipolojilerinde daha yaygın kullanıldığı irdelenmiştir. İkinci grup veriler yapıların yapısal özellikleriyle ilgilidir. Sayısal teknolojilerdeki gelişmelerin, strüktür sistemlerinde, yapı formlarında ve yapı malzemelerinin kullanımında yarattığı değişimler irdelenmiştir. Üçüncü grup veriler sayısal mimarlık uygulamalarının yapım sürecinde yararlanılan tüm teknoloji ve tekniklerin derlendiği bölümdür. Sayısal mimarlık uygulamalarının tasarım, üretim ve inşaat evrelerini kapsayan yapım sürecini temsil eden ilişki şeması şekil 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Proje verilerinin karşılaştırılması

Görsel	Proje Adı	Tarih / yer	Y. Fonksiyonu	Taşıyıcı Sistem	Malzeme	Tasarım Yöntemi	Üretim Teknolo.
	Beijing Ulusal Stadyumu	2003-2008 Beijing / Çin	Stadyum	Çelik iskelet sistem + betonarme	ETFE + PTFE	Parametrik tasarım	Hızlı Prototipleme
	Web of North Holland	2002 /Hollanda	Sergi pavyonu	Çelik iskelet sistem	Paslanmaz çelik levha	Parametrik tasarım	Kitleleşme bireyselleştirme
	St. Mary Axe Ofise Binası	2001-2003 Londra - England	Ofis Binası	Diyaagonal çelik iskelet sist.	Cam Panel	Performans tabanlı Parametrik tasarım	
	BMW Bubble Sergi pavyonu	1999 Frankfurt / Almanya	Sergi pavyonu	Çelik iskelet sistem	Fiberglass Panel	Animasyon tab. Performans tab.	Çıkarmaya dayalı BDÜ.
	Walt Disney Concert Salonu	1999-2003 USA	Konser Salonu	Çelik iskelet sistem+ Betonarme iskelet sist.	Paslanmaz çelik levha	Parametrik tas.	Çıkarmaya dayalı BDÜ
	Pompidou Metz Sanat Merkezi	2005-2010 Metz- Fransa	Sanat Merkezi	Betonarme iskelet s.+ Tutkallı lamine ahşap	PTFE + Fiberglass	Performans tab.	Form vermeye dayalı BDÜ
	Kunsthhaus Graz	2001-2003 Graz	Konser Salonu	Çelik iskelet sistem	Akrilik Panel	Animasyon tab. Performans tab.	Çıkarmaya dayalı BDÜ
	"Su Küpü" Yüzme Merkezi	2001-2004 Beijing / China	Yüzme Havuzu	Çelik iskelet sistem	Etfе hava yastığı	Evrimsel/ Algoritmik tasarım	Kitleleşme bireyselleştirme

4.9.1 Yapıların mimari özellikleri açısından karşılaştırma

Yapı fonksiyonlarına bakıldığında, sayısal mimarlık uygulamalarının daha çok kamu kullanımına yönelik mekanlarda, ilgi çekici değer taşıyan sergi pavyonu, müze yapıları ve yapımında birçok performansın etkin şekilde çözülmesi gereken yüksek yapılarda kullanıldığı görülmüştür. Müze binaları, zamanının kültürel, teknolojik ve sanatsal yaklaşımlarını sunan mekanlar olarak mekan üretiminde en çağdaş teknolojileri, en yeni kavram ve yaklaşımları da temsil eden yapılar olmuşlardır. Yine expo gibi fuarlardaki sergi pavyonlarında müze yapılarında olduğu gibi çağdaş yapı teknolojileri ve formlarının kullanıldığı yapılardır.

Projelerin yapı inşaat alanları karşılaştırıldığında farklı ölçeklerde sayısal mimari uygulamalarla karşılaşılmıştır. “Bubble” ve “Web of North Holland” sergi yapılarında göreceli olarak küçük yapılar inşa edilirken, “Beijing ulusal stadı” gibi büyük taban alanına sahip karmaşık yapılarında sayısal tasarım ve üretim teknikleriyle rahatlıkla gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Stad yapım sürecinde strüktürü oluşturan kolonlar fabrikada parçalara bölünerek şantiyeye getirilip montajı gerçekleştirilmiştir.

Günümüz mimarlık pratiğinden farklı işleyen sayısal mimarlık uygulamalarının, mimarlık ofislerinin disiplinler arası çalışmalarına ihtiyaç duydukları gözlemlenmiştir. Mimarlar tasarım ve üretim süreçlerinde bilgisayar, elektronik, matematik, strüktür, malzeme mühendisliği gibi farklı disiplinlerle bilgi paylaşımında bulunmuşlardır. Sayısal tasarım tekniklerindeki karmaşıklığın artması farklı yapı sistemlerinde hem tasarımda hem yapımda artan uzmanlaşmayla sonuçlanmıştır.

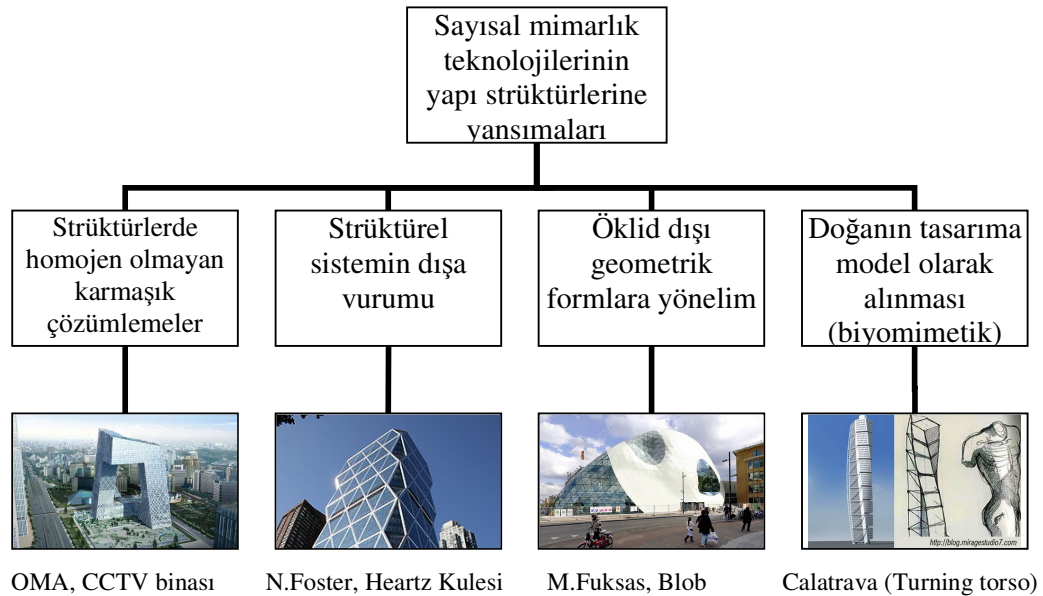
4.9.2 Yapısal özellikler açısından karşılaştırma

Sayısal teknolojilerle desteklenen yapım sürecinde teknolojinin yapım endüstrisine yeni fırsatlar kazandırdığı görülmektedir. 20. yüzyıl modernizminde

bina yapım sürecindeki standardizasyon, prefabrikasyon ve yerinde yapımı içeren endüstriyel üretim mantığı, sayısal yapım sürecinde sıklıkla yararlanılan sayısal kontrollü makineler yardımıyla değişime uğramıştır. Bu makineler kendine özgü, karmaşık şekilli elemanları düşük maliyetle üretebilmektedir. Benzer olmayan (eşsiz) parçaları özdeş parçaların üretimiyle aynı maliyette üretme prensibi, birbirinden farklı özellikler içeren yapı elemanlarının kitle üretimi yeteneğinin kazanılması, yapı tasarım ve üretiminde “kitle–bireyselleştirme” fikrinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Endüstri devrimi’ndeki seri üretim, yerini kitlesel bireyselleştirmeye ya da farklı bir deyişle kişisel seri üretime bırakmıştır. Toplu üretim kişiselleştirilmiş bir şekilde yapılabilmektedir.

Modellenen eğrisel biçimleri gerçekleştirebilmek, biçim geometrisini açık bir dille rasyonelize etmekten geçmektedir. Üçgen alan (face) yaratma metoduyla oluşturulan ağ yüzeyler (mesh) ve kurallı yüzeyler düzlemsel şeritler ifade edecek şekilde açılırlar. Böylece tasarım iki boyutlu şekiller olarak tabaka üzerine geçirilir ve sayısal kontrollü kesim teknolojileri kullanılarak bileşenler oluşturulur.

Tablo 4.2 Teknolojilerin Yapı Strüktürlerine Yansımaları



Taşıyıcı sistemle ilgili ortak eğilim strüktürün bina kabuğuna entegre bir sistem olarak çözümlenmesidir. Geleneksel çözümlerde taşıyıcı sistem genellikle bina kabuğundan ayrı bir sistem olarak düşünülmekte ve binaya gelen yatay ve düşey yüklere, geçilen açıklığa göre ölçülendirilmektedir. Sayısal teknolojilerle yapılan analizlerle, bina kabuğunun her noktasındaki yüklenmeler, gerilme ve basınç etkileri görselleştirilebilmekte ve hesaplanabilmektedir. Bu gelişmeye paralel olarak bina kabuğunun her noktasında ölçüsü ve açısı değişebilen ve bina kabuğunun biçimlenişine uygun olarak biçimlendirilebilen bir taşıyıcı sistemi oluşturulabilmektedir. Web of North Holland projesine baktığımızda tek tabakalı çelik uzay kafes çerçeve bina kabuğunun biçimlenişine uygun olarak düzgün 20 yüzlü formundadır. Bubble pavilyonundaki strüktürü oluşturan alüminyum kaburgalar yapı formunun şeklini takip eder.

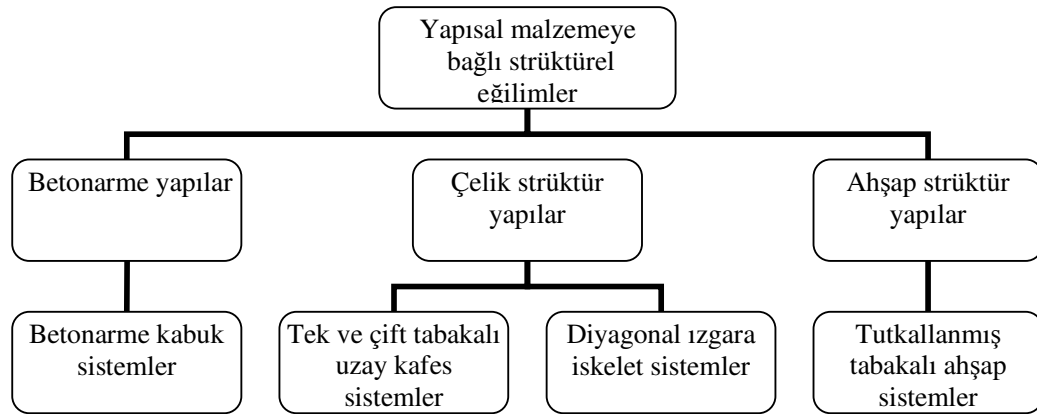
Walt Disney konser salonu ve Kunsthau Graz sanat merkezi yapıları dışındaki projelerde strüktürün dışa vurumu vardır. 30 st.mary axe binasında helezon çizerek yükselen çelik strüktür bina dış yüzeyinden algılanmaktadır. Beijing ulusal stadyumunda dikkatli bakıldığında 24 adet v şeklindeki kolonlardan oluşan strüktürel sistem kurgusu anlaşılabilir.

İncelenen projelerin çoğunda çelik strüktürlerin taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Serbest formların uygulanabilmesi için uygun bir strüktür olan çelik, genellikle nümerik kontrollü kesici tezgahlarında bilgisayar destekli üretim teknolojileriyle işlenerek biçimlendirilmiştir. Tek ve çift tabakalı uzay kafes sistemler montajının kolay ve kısa sürede bitirilebilmesi, ve kişiselleştirilebilir seri üretime uygunluğu ile tercih edilen yapım sistemleri arasında yer almaktadır. Su küpünün strüktüründe çift tabakalı uzay kafes kullanılırken diğer yapılarda ise tek tabakalı uzay kafes sistem kullanılmış, strüktür sistemi üç boyutlu modellenerek strüktür formu üçgen alanlara bölünmüştür.

Yeni ince, katmanlı bina örtüleri kendilerini oluşturan paneller sayesinde hem gerekli yapısal desteği sağlar hem de genellikle tavan ve döşemelere yerleştirilen diğer sistemleri barındırırlar. Yeni malzemeler, akıllı, bünyesinde gömülmüş

alıcılarla enerji ve bilgi akışının sağlandığı, çok fonksiyonlu strüktürlerin üretilmelerine olanak sağlamaktadır. Kunsthaus Graz Sanat merkezinin çelik uzay kafes sistemle akrilik cam cephe kaplaması arasında 930 güçlü neon lamba kullanılarak bir medya ara yüzü yaratılmış, saniyede 20 kare hızla film ve animasyon gösterilebilen dev bir bilgisayar ekranına dönüşmüştür. Bu yapıda olduğu gibi yapı cephesi geleneksel görevlerinin dışında yeni bir görev daha kazanmıştır. Bina cepheleri medya yüzeylerine dönüşmüştür. Grand Lisboa casino (2007) yapısının elipsoit (yumurta) formu dış yüzeyinde 58.000 adet led kullanılmıştır. Yapı cephesinde video gösterimleri yapılabilmektedir. Su küpü yapısında ETFE yastıklar arasında konulan farklı renklerdeki aydınlatma elemanlarıyla yapı cephesi farklı etkiler yapmaktadır.

Tablo 4.3 Yapısal Malzemeye Bağlı Strüktürel Eğilimler



Mimari ifadedeki yeni biçimler ve malzeme bilimindeki ilerlemeler mimarları bu malzemelerin sınırlarını keşfetmeye itmiştir. 1950 ve 1960'larda, serbestçe biçimlenebilen beton, plastik gibi malzemeler kabarcık benzeri biçimlere olan ilgiyi arttırmıştır. Kimya, fizik, mekanik mühendisliği ve biyoloji yeni malzemelerin keşfedilmesinde rol oynamıştır. Kompozit malzemelerden yapılan bileşenler sayısal kontrollü kesicilerle yapılan kalıplarda şekillendirilirler. BMW'nin Bubble pavyonu için 305 farklı akrilik cam plaka ayrı ayrı CNC 'de kesilen köpük bloklar üzerinde ısıtılarak şekillendirilmiş sonra tekrardan CNC de kenarları kesilerek çift eğrilikli plaklar oluşturulmuştur.

Kompozit malzemelerden polimer bileşimli olanlar ya da bir diğer deyişle plastikler yüksek biçimlendirilme özellikleri, düşük maliyetleri, minimum bakım gereksinimleri ve de ağırlık/ kuvvet oranlarıyla mimarlar arasında tercih edilir olmuşlardır. Membran örtüler, ağlar ve diğer tekstil kompozitleri asma -germe, şişme (pnömatik) sistemlerde sayısal modelleme teknolojileriyle elde edilen organik, blob formların yapımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ETFE folyolar estetik görünümü, hafiflik ve ışık geçirgenliğinin yanı sıra, geniş açıklıkları kolayca geçebilmesi ile yeni nesil mimari membran malzemeleri arasında kullanımını artırmıştır.

Frank Gehry'in tasarladığı Guggenheim müzesi, eğrisel yüzeylerden meydana gelen yapısıyla dikkatleri titanyum üzerine çekmeyi başarmıştır. Gehry Walt Disney konser salonunda da aynı tasarım anlayışını sürdürmüştür. Küçük parçaların yan yana gelmesi prensibiyle titanyum, paslanmaz çelik ve alüminyum panellerle eğri yüzeyler oluşturulabilmektedir. Atmosferik korozyona karşı yüksek direnci, ağırlıkça hafif olmasına karşın sağlamlığı ve dayanıklılığı, estetik görünümü, diğer üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri titanyumu diğer metallere göre sayısal mimarlık uygulamaları için daha ideal bir yapı malzeme yapmaktadır; bununla birlikte titanyumun ilk yapım maliyetinin yüksek olması nedeniyle paslanmaz çelik kaplama uygulamalarına daha fazla rastlanılmıştır. İncelenen projeler arasında Walt Disney konser salonu ve Web of North Holland sergi pavyonunda paslanmaz çelik cephe kaplaması kullanılmıştır.

Üretimi yapılacak tasarımın biçimi, boyutları, kullanım amacı, malzeme türü ve maliyet gibi faktörlere bağlı olarak seçilen bu tekniklerin tümü sayısal tabanlı tasarım bilgisinin fabrikada üretim tezgahına aktarımı prensibine göre çalışır. Bu tekniklerle kesilecek, kalıbı yapılacak, ısısal işlemlerle biçimlendirilecek ya da katman katman oluşturulacak malzemenin karmaşık bir biçime sahip olması ya da milimetrik hesaplara dayalı olması sayısal tabanlı üretim için sistemi zorlayan ya da bütçeyi arttıran faktörler değildir.

4.9.3 Yapıları kullanılan yapım teknolojileri açısından irdeleme

Projelerin yapım süreçlerinde yararlanılan sayısal tasarım ve üretim teknik ve teknolojilerinde ortak yaklaşımlar araştırıldığında tasarımcıların parametrik tasarım, evrimsel tasarım, animasyona dayalı tasarım ve performansa dayalı tasarım tekniklerini sayısal tasarım tekniklerini olarak yapım sürecinde kullandıkları görülmüştür. Uygulanan yapı örneklerinde sayısal teknolojilerin kullanımında tasarım ve üretim süreçlerinin iç içe geçtiği görülmektedir. Tasarım süreçlerinde çoğu zaman tek araç ya da teknoloji ile değil, bir grup tasarım tekniği ve teknoloji beraber kullanılmaktadır. Üretim süreci göz önüne alındığında sayısal teknoloji kullanımının büyük kolaylıklar sağladığı görülmektedir. Yapım sürecinin kolaylığında belirli bir standart tutturabilmek için mimarlar tasarımlarını üretim sürecine göre ayarlamak zorundadır.

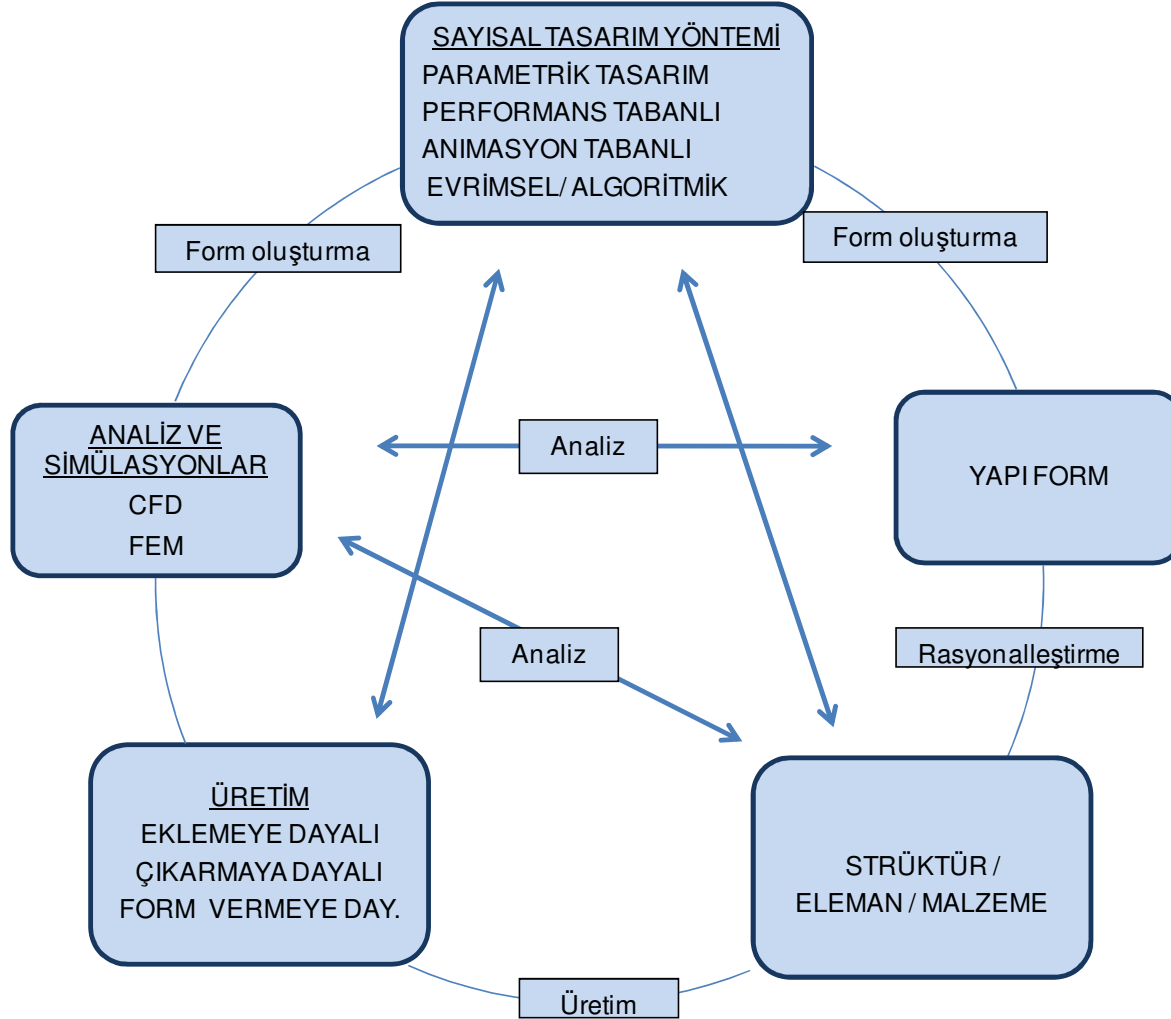
Sayısal teknolojilerin form üretimi (form türetme) amaçlı kullanımlarında iki ayrı eğilim saptanmıştır; birinci yaklaşımda hedef bu teknolojiler aracılığıyla üretilen formla film sektöründeki özel efektlere benzer bir şekilde farklı bir etki yaratmaktır. Bilgisayarın hesaplamalara dayalı olarak karmaşık geometrilere sahip, eğrisel ve amorf biçimler üretebilme potansiyeli projelere ve ürünlere yansımaktadır. Frankfurt otomobil fuarındaki Bubble (1999) pavyonunun formunun oluşumu iki damla suyun birleşmesinin film endüstrisi için kullanılan animasyon programı yardımıyla bilgisayarda simule edilmesi sonucunda bulunmuştur.

İkinci yaklaşım ise performans analizine, diyagramlara, kendi kendine oluşan sistemlere dayalı tasarım süreçlerindeki gibi mekanın çeşitli performanslarına dayalı olarak biçimlendirilmesidir. Bu yaklaşımda, konseptle ilgili kararlara ve estetik kriterlere dayalı form arayışlarının yerini program, yer ve çeşitli performansların analizlerine dayalı kriterlerin belirlediği bir biçimlendirme süreci alır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamaları sayesinde mekanik, kinematik analizler ve kalıp ile

ilgili parametrelerin incelenmesi, yapısal elemanların optimizasyonu ve üretim aşamasında ortaya çıkabilecek problemlerin önceden saptanması mümkündür.

Yapı elemanı ve yapı ölçeğinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve sonlu elemanlar metoduyla analizler performansa dayalı tasarım tekniklerinin dışında diğer tasarım teknikleriyle de beraber yapım sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bubble pavyonunun yapım sürecinde formun karar verilmesinden sonra 2 farklı strüktürel sistem arasında seçim, yapılan simülasyon ve analizler sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar sadece strüktürel düzeyde yapılmamakta, Norman Foster 'ın bir çok yapısının da uyguladığı gibi iklimlendirme ve aydınlatma konularında yapı ölçeğinde yapılmakta, sürdürülebilir tasarımlara izin vermektedir. Bu simülasyon programlarına Ecotect, Trnsys, Heat 2 programları örnek gösterilebilir.

PTW mimarlık ofisi ve Arup tarafından tasarlanan su küpü yapısı kendi kendini türeten, organize olan bir strüktür olması nedeniyle evrimsel tasarım teknikleriyle inşa edilmiş olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 4.4 Sayısal mimarlık uygulamalarının tasarım ve üretim aşamalarını barındıran yapım sürecinin grafik gösterimi

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Sayısal teknolojilerdeki yenilikler son yıllarda bina tasarım ve inşa pratiğini etkilemeye başlamıştır. Mimarlık pratiğinde ve yapı sektöründe geleneksel olarak kullanılan yöntemlerin sınırlılıkları mimarların yeni yöntemler araştırmalarını ve yenilikçi teknikler denemelerini sağlamıştır. Karmaşık bir bilgiler bütünü olan yapım süreci, sayısal sistemlerle temsil edilebilir, hesaplanabilir ve üretilebilir olmuştur. Bilgi teknolojileri mekan tasarımı ve uygulamalarında; tasarım ve üretim evrelerinde süreklilik sağlayarak, hız ve verimlilik kazandıran, form yaratmada hayal gücüne yeni olanaklar sağlayan araç olarak, mekan tasarımı ve üretiminde sürdürülebilir tasarımlara olanak sağlayan malzeme ve etkileşim ögesi olarak kullanılmaktadır. Tasarım ve inşaat maliyetlerini düşürmek, tasarım sürecini hızlandırmak, yapı malzemelerinin ve strüktürünün optimizasyonu ve kaliteyi artırmak gibi faydaları vardır.

Temelinde bilgisayar teknolojilerinin hesaplama, analiz kabiliyeti ve üretkenliği yatan sayısal tasarım tekniklerini belirli bir mantıkta kategorilere ayırmak mümkünse de, çok keskin çizgilerle birbirinden ayırmak mümkün değildir. Bir veya birkaç tasarım, form üretim tekniği, aynı çalışma içinde belirli amaçlarla tasarım sürecine katılabilmektedir. Özellikle parametrik tasarım ve performans tabanlı tekniklerin pek çok çalışmada birlikte kullanıldıkları görülmektedir.

Parametrik tasarım tekniklerinde yapı bilgi modellemesi sistemleri, yapı elemanlarının birbirleriyle ilişkilerini de modelleyebildikleri için tasarım sürecindeki değişikliklerin yönetimi kolaylıkla sağlanabilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin kontrolünün kolaylaşması, karmaşık formların üretilmesini kolaylaştırmış bunun güncel mimari ve yapı sistemlerine yansımalarının giderek artan sayıdaki karmaşık geometri projelerle olduğu gözlemlenmiştir.

Sayısal mimarlık uygulamalarında yararlanılan bir başka tasarım yöntemi olan evrimsel tekniklerle tasarım yönteminde bilgisayar artık bir tasarım ortağı gibi

çalışır, alternatifler sunar. Bilgisayar hesaplamaya, veriler arasında ki ilişkilerin tanımladığı algoritmalara, belirlenen kurallar ve sınırlamalar doğrultusunda yeni sonuçlar üretmeye dayalı, sayısal ve işlemsel bir teknoloji olarak görev yapar. Ortaya çıkan sonuçlar arasından seçimler yapmak gerekliyse kurulan sistemde değişiklikler yapmak ve değerlendirme yaparak tasarımı yönlendirmek tasarımcının rolüdür.

Sayısal teknolojilerin form üretimi ya da form üretme amaçlı kullanımlarında iki farklı yaklaşım gözlemlenmiştir; birinci yaklaşımda hedef bilgi teknolojileri aracılığıyla üretilen formla film sektöründeki özel efektlere benzer bir şekilde farklı bir etki yaratmaktır. Bilgisayarın hesaplamalara dayalı olarak karmaşık geometrilere sahip, eğrisel ve amorf biçimler üretebilme potansiyeli projelere ve ürünlere yansımaktadır.

İkinci yaklaşım ise performans analizine, diyagramlara, evrimsel sistemlere dayalı tasarım süreçlerindeki gibi mekanın çeşitli performanslarına dayalı olarak biçimlendirilmesidir. Bu yaklaşımda, konseptle ilgili kararlara ve estetik kriterlere dayalı form arayışlarının yerini program, yer ve çeşitli performansların analizlerine dayalı kriterlerin belirlediği bir biçimlendirme süreci alır. Bu yaklaşımda biçimlendirme süreci, sayısal teknolojiler aracılığıyla yapılan analizlere dayalıdır. Bu yaklaşıma örnek olarak verebileceğimiz 30 St Mary Axe binasının tasarım sürecine baktığımızda başlangıç fikri 1970'lere dayanan yapı ilk başlarda yapılamaz. Karmaşık geometriye sahip yapının kabuğu sayısal teknolojilerle birlikte 1990'ların sonunda modellenilebilir. Daha sonra kabuk ve strüktür optimize edilir ve daha hafif hale getirilir. Daha az malzeme, daha az gömülü enerji ile tasarımın birinci aşaması tamamlanır. İkinci aşamada yapının parametrik formu iklim, rüzgâr, güneş gibi bir sürü modelden geçirilir. Sonrasında formun son hali çıkar. Bu örnekte olduğu gibi sayısal teknolojilerin enerji etkin bina tasarımında etkin şekilde kullanıldığı görülmüştür.

Bilişim ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, mimari tasarım aşamasında olduğu kadar uygulama aşamasında da gelişme göstermiş, analizler, simülasyonlar ve

bilgisayar destekli üretim, yapımın daha hassas, hızlı ve ucuz yapılabilmesini sağlamış, karmaşık geometrilerin hatasız hesaplanabilmesi ve ileri teknoloji ürünü malzemelerin, mekanik ve elektronik sistemlerin davranışlarının üretim aşamasından önce tamamen sanal ortamda simüle edilebilmesi yepyeni inşa, üretim teknik ve teknoloji anlayışlarını mimaride yapım disiplinine sokmuştur.

Önceden geleneksel yapı teknolojileriyle temsili ve yapımı zor olan öklid dışı geometrik formlu yapıların NURBS eğrileri ve yüzeyleri ile matematiksel formüllerle tanımlanabilir ve temsil edilebilir olmaları ve yapı bileşenlerinin sayısal üretim teknolojileriyle üretilmesi sayesinde bu yapılara yapım fırsatları açılmıştır. Blob olarak adlandırılan bu yapıların strüktürel sistemleri çeşitlidir. Bu sistemler monolitik ince kabuklar, pnömatik yapılar, gergin membran yapılar, uzay kafes ve düzensiz eğri saç kaburga sistemler olabilirler. Nat West Media Center (Future Systems, 1999), gemi tersanesinde üretilmiş monokok kabuk bir yapıdır. National Space Centre (Nicholas Grimshaw) yapısında eğri yüzeyler çelik iskelet sistem üzerine ETFE hava yastıkları monte edilerek geçilmiştir.

Çağdaş mimari tasarım süreci, karmaşık malzeme ve robotik üretim teknolojilerinin etkisiyle endüstriyel tasarımda olduğu gibi bilgisayar destekli tasarım, üç boyutlu sayısallaştırma, sanal prototipleme, hızlı prototipleme, bilgisayar destekli mühendislik, bilgisayar destekli imalat ve üretim optimizasyonu gibi işlemleri içeren “bilgisayar destekli endüstriyel ürün geliştirme süreci”ne dönüşmüştür.

Ürün geliştirme süreci sırasında oluşan alternatiflerin fiziksel prototip üzerinde denenmesi yerine, bilgisayar ortamında sanal prototipleme uygulamalarından faydalanarak bu kontrollerin yapılabilmesi, ürün maliyetinin düşürülmesi ve tasarım sürecinin kısaltılmasını sağlamaktadır. Bu konuda özelleşmiş çeşitli yazılımlar sayesinde mukavemet, ısı transferi, manyetik alan etkileşimi gibi ürünün fiziksel niteliği ile ilgili analizlerin yanında, ürünü oluşturacak kalıbın iyileştirilmesi ve optimizasyonuna kadar uzanan çeşitli aşamalara yönelik analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Robotik bilimindeki ilerlemelerle yakın gelecekte yapıların gelişmiş robotların programlanması ve kontrolüyle inşa edilebilmesi yaygınlaşacak ve robotların kullanılması ile bina maliyetlerinin ve inşa sürelerinin düşürülmesi sağlanacaktır.

Sayısal tasarım-üretim teknolojileri strüktür ve yapı malzemesiyle ilgili radikal değişimlere neden olmaktadır. Strüktür binadan ayrı bir sistem olarak değil bina kabuğuyla bütünleşik bir sistem olarak ele alınmaktadır. İncelenen sayısal mimarlık uygulamalarında yapı fonksiyonu, strüktür, yapı kabuğu, biçim, malzeme teknolojileri ve fiziksel performansın bütünsel düşünüldüğü görülmüştür. Bilgisayar ortamında mekanın her noktasındaki yük dağılımları, çekme-basınç etkileri, zaman içindeki deformasyonlar hesaplanmakta ve bu etkiler simülasyon teknolojileriyle görselleştirilebilmektedir. Bu gibi imkanlar sonucunda, maksimum dayanıma göre hesaplanan ve mekanın her yerinde homojen kesitlere sahip olan bir taşıyıcı sistem anlayışı yerine, mekanın her noktasındaki farklı etkilere göre ölçülendirilen, mekan kabuğuyla birlikte biçimlendirilen bir strüktür anlayışı gelişmektedir.

Uzay kafes sistemler, kullanılan malzeme miktarının geleneksel yapım sistemlerine göre az olması, montajının kolay ve kısa sürede bitirilebilmesi, çok geniş açıklıkları çok az sayıda kolonla geçebilmesi ve kişiselleştirilebilir seri üretime uygunluğu ile tercih edilen yapım sistemleri arasında yer almaktadır. Uygulamalarda çelik strüktürlerin taşıyıcı sistem olarak seçilmesindeki başka bir etken sebep çeliğin serbest formların uygulanabilmesi için uygun bir malzeme olmasıdır. Bilgisayar destekli üretim sistemleriyle sayısal modeldeki verilere göre istenilen formda biçimlendirilen yapısal elemanlar fabrikada üretildikten sonra yapısal sistem üretici fabrikada monte edilerek test edilmekte ve sökülerek yerinde montajı yapılmaktadır. Bu gibi olanaklar malzeme bilimi üzerindeki araştırmaları tetiklemektedir. Tasarımcıların isteklerini karşılayacak ve daha iyi fiziksel özelliklere sahip malzemeler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bununla beraber, yeni malzemelerin ortaya çıkışı ve var olan malzemelerin yeni kullanım biçimleri, çağdaş form tasarım teknikleriyle üretilen karmaşık formların yapılabirliğini arttırmaktadır.

Bilgi teknolojilerindeki gelişmelerin betonarme yapılara yansımaları ilerleyen modelleme tekniklerinin kalıpların modellenmesi ve optimizasyonunda kullanılmasıyla olmuştur. Yapı formlarına hakimiyet artmış, daha özgün, akışkan, eğrisel formların yapımı kolaylaşmıştır. Kalıp firmaları tarafından özellikle eğri yüzeyli betonarme sistemlerin kalıpları üç boyutlu olarak modellenir ve homojen yüzey elde edilebilmek için kalıp panellerinin ebatları, eklenme yerleri kararlaştırılır.

Yapı malzemelerinin bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojileriyle farklı ölçülerde kesilip, biçimlendirilebilmesi gibi imkanlar metal, cam gibi yaygın olarak kullanılan malzemelerin farklı etkiler yaratacak şekillerde kullanılmasını sağlamıştır. CNC de şekil verilen kalıplarda şekil alan cam panellere çift eğrilikli yüzeyler elde edilebilmektedir. Sayısal mimariye uygun malzemeler: titanyum ve çelik başta olmak üzere metaller, ETFE'den oluşan membranlar, çeşitli kablo ve elemanlar, dış ortam koşullarına göre şekil ve özellik değiştiren akıllı malzemeler, cam elyafı (fiberglas) gibi kompozit malzemeler, nanoteknolojilerin kullanıldığı malzemelerdir.

Yapı malzemelerinin katmanlarına entegre edilen ve bilgisayar tarafından kontrol edilen mekanizmalara dayalı olan akıllı malzemeler üzerine araştırmalar artarak devam etmektedir. Akıllı malzemeler, dış ortam koşullarına göre şekil ve özellik değiştiren malzemelerdir. Çevresel olayları algılar, çevreden gelen verileri işler ve nasıl programlandıysa ona göre harekete geçerler.

Sonuç olarak bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler sayısal mimarlık kavramının gelişmesini sağlamıştır. Gelişmelerin mimari yapım sürecinde değişimlere yol açtığı gözlemlenmiştir. Yapıların tasarımında yeni tekniklerin denenmesi, tasarımdaki verilerin sayısallaştırılması, bu verilerin yapı elemanlarının imalatında kullanılabilmesi, yapı formunun ve tekil olarak yapı elemanlarının performanslarının hesaplanabilir olması ve üretime yansıtılabilmesi gibi yenilikler geleneksel yapım sürecinden farklı bir sürece geçildiğini göstermektedir. Yaşanan değişim mimarların yeni teknikler denemeleri, çeşitli inşa edilebilirlik zorluklarını aşmaya çalışma istekleri, farklı disiplinlerde yaşanan teknolojik gelişmelerin mimariye yansıtılması, yeni malzemelerin yapı sistemlerinde kullanılması gibi

etmenlerle devam edecektir. Sayısal ortamın, gün geçtikçe çoğalan olanakları doğrultusunda tasarım ve üretim sürecinde giderek daha fazla yer alacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Akyol, Altun, D. (2007). Geleceğin mimarlığı: Bilimsel-teknolojik değişimlerin mimarlığa etkileri. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt:9 sayı:1*, Ocak 2007

Albayrak, M. (2004). *NURBS (non-uniform rational b-splines)*. 15 Mayıs 2010, <http://www.turkcadcam.net/rapor/nurbs/>

Altunbaş, E. ve Soygeniş, M. (2010). Evrimsel mimarlık. *Mimarlık Odası Kayseri Şubesi TOL Mimarlık Kültürü Dergisi*, Bahar 2010, s 14-25

Ayçam, İ. (2002). “Ekolojik, akıllı malzemeler”. *İstanbul, Bilim ve Teknik, Mimarlık Eki*, Ed: Gönül Utkuğ, Tübitak Yayınları

Barnes, H. (2009). *Blobitecture - blob architecture*. 9 Mart 2011, <http://ezinearticles.com/?Blobitecture---Blob-Architecture&id=1909121>

Bekiroglu, S. (15 Ekim 2003). *Walt Disney konser salonu*. 27 Ağustos 2009, <http://www.arkitera.com/v1/proje/waltdisney/index.htm>

Bilgisayar destekli mimarlık tasarım. (b.t.). 29 Nisan 2010, http://tr.wikipedia.org/wiki/Bilgisayar_Destekli_Mimarlık_Tasarımı

Biondi, E. (b.t.). *When the architecture comes from a water drop. The Blob structures*. 10 Şubat 2011, http://www.architesi.polito.it/pdf/3799_uk_abs.pdf

Blobitecture. (2009). 28 Aralık 2010, <http://en.wikipedia.org/wiki/Blobitecture>

Brookes, J. ve Poole, D. (2005). *Innovation in architecture*. Spon Press, Londra

Bubble. (b.t.). 26 Haziran 2010, <http://www.franken-architekten.de/index.php?pagety>

Burry, M. ve Murray Z. (1997). *Computer aided architectural design using parametric variation and associative geometry*. 15th ECAADE-Conference Proceedings, 1997, Vienna.

Çıltık, A. (2008). *Sayısal tasarım kavramları ve algoritmik düşüncenin mimari tasarımı etkileri*. YTÜ, Bilgisayar Ortamında Tasarım Programı, Yüksek Lisans Tezi

Communicative display skin for the Kunsthaus Graz. (b.t.). 28 Aralık 2008,
<http://www.realities-united.de/#PROJECT,69,1>

Creating a “Water Cube”. (b.t.). 27 Ağustos 2009,
ftp://ftp2.bentley.com/dist/collateral/User_20Story_3A_20Arup_20_2D_20Water_20Cube_2C_20Low_20Respdflo.pdf

Digital architecture. (b.t.). 4 Nisan 2010,
http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_architecture.

Disson, S. (2010). *Centre of attention*. 21 Şubat 2011,
http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.projectview&upload_id=13737

Dominic, M. (2004). *Swiss Re’s Building, London*. 10 Mayıs 2010,
<http://www.epab.bme.hu/oktatas/2009-2010-2/v-CA-B-Ms/FreeForm/Examples/SwissRe.pdf>

Ediz, Ö., Erbil, Y. ve Akıncıtürk, N. (2010). Günümüz mimarlığının dinamikleri: Iceberg’in görünmeyen yüzü, *Mimarlık sayı:354*, Temmuz-Ağustos 2010

ETFE foil: A guide to design. (b.t.). 31 Ocak 2011,
<http://www.architen.com/technical/articles/etfe-foil-a-guide-to-design>

- Franken B., Scharrer B. ve Nina S. (b.t). *Save the bubble: The architectural archive in the digital age*. (6 Mart 2010), http://www.mace-project.eu/files/mace_19b.pdf
- Frazer, J. (1995), *An evolutionary architecture*. Architectural Association Pub., Londra
- Freiberger, M. (2007). *Perfect buildings: the maths of modern architecture*. 10 Ocak 2010, <http://plus.maths.org/content/os/issue42/features/foster/index>
- Graz sanat evi (Kunsthau Graz)-a friendly alien*.(b.t.). 27 Ağustos 2009, <http://www.2amimarlik.com/2amimarlik/referans.asp?IdX=15>
- Günen, K. (2010). *Beijing "Kuş Yuvası" stadyumu*. 13 Haziran 2010, <http://www.k3mo.info/tags/Beijing+Stadyumu/>
- Hensen, M., Menges, A. ve Weinstock, A. Techniques and technologies in morphogenetic design. *Architectural Design*, Mart-Nisan, 2006
- Hesaplmalı akışkanlar dinamiği. (b.t). 28 Şubat 2011, http://tr.wikipedia.org/wiki/Hesaplmalı_akışkanlar_dinamiği
- Jeska, S. (2008). *Transparent plastics design and technology*. Birkhauser, Basel
- Kendir, E. (2005). Mimarlık pratiğinde bilgisayar desteği: Temsili olandan yapısal olana doğru, *Mimarlık*, sayı: 321, Ocak-Şubat 2005, s42-44
- Katz, N. (2007). *Parametric modeling in Autocad*. 5 Eylül 2010, http://www.aecbytes.com/viewpoint/2007/issue_32.html
- Kolarevic, B. (ed.). (2003), *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Spon Press, Londra.

- Kolarevic, B. ve Malkawi, A. (2004). *Performative architecture: Beyond instrumentality*. Taylor ve Francis e-Library.
- Köksal, H. (2005). *Dijital mimarlıkta tasarım ve üretim süreci*, YTÜ, Bilgisayar Ortamında Tasarım Programı, Yüksek Lisans Tezi
- LeCuyer, A. (2008). *ETFE Technology and design*. Basel: Birkhäuser
- Lindley, R. (2010). *Contractors World*, Volume 1 No (7). 10 Mart 2011, <http://www.cwmags.com/cw-1-7/basic/index.php>
- Midilli, O. (2008). *2008 Pekin olimpiyatları kapalı yüzme havuzu*. 27 Ağustos 2009, <http://osman.midilli.com/2008/08/02/2008-pekini-olimpiyatları-kapalı-yuzme-havuzu-mucize-insaatlar/>
- National Aquatics Center*. (2008). 27 Ağustos 2009, <http://en.beijing2008.cn/venues/nac/>
- Oğultekin, G., Tapan, M. ve Şener, S.M. (2003). Yüksek teknoloji yapılarında biçim/sentez ilişkisi. *İtü dergisi/a, mimarlık, planlama, tasarım Cilt:7, Sayı:2*, Eylül 2008, s 38-51
- Oosterhuis, K. (b.t.). Web of North- Holland. 5 Eylül 2010, <http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=117>
- Oosterhuis, K. ve Boer, S. (b.t.). *Architectural Parametric Design and Mass Customization*. 27 Ağustos 2009, http://www.oosterhuis.nl/quickstart/fileadmin/Projects/129%20the%20web%20of%20north%20holland/02_Papers/000-040603-ECPPM.pdf
- Özsel Akipek, F. (2004). *Bilgisayar teknolojilerinin mimarlıkta tasarım geliştirme amaçlı kullanımları*. YTÜ, Bilgisayar Ortamında Tasarım Programı, Doktora Tezi

Özsel Akipek, F. ve İnceoğlu N., (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları, *Megaron, YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi, cilt 2, sayı:4*

Pak, B. (2005). Yeni mimarlık: Üç boyutlu arayüzler ve mekanlaşmış medya. *Mimarlık, sayı: 321, Ocak-Şubat 2005, s45-46*

Pekin ulusal stadyum'un sırrı-Catia'nın sınırlarını zorlamak-Beijing National Stadium. (b.t). 17 Aralık 2009, <http://wp.3dcatia.com/pekin-ulusal-stadyum-un-sirri-ve-catia-nin-sinirlarini-zorlamak-beijing-national-stadium/>

Salokangas, L. (2010). *Wooden Tower, Helsinki Zoo.* 5 Mart 2011, http://www.lusas.com/case/civil/wooden_tower.html

Sonlu elemanlar yöntemi. (b.t). 28 Şubat 2011, http://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_yontemi

Stacey M., Beesley, P. ve Hui V. (2004). *Digital fabricators, AIA/ ACADIA fabrication conference.* Coach House Press, Toronto

Stangl, G. (b.t.). *A museum for contemporary art in Graz.* 28 Aralık 2008, http://gernot.xarch.at/kunsthhaus_graz/contents.html

Tokyay, V. (2001). *M.S.Ü. konferansları-tutkallı tabakalanmış ahşap.* 10 Eylül 2010, http://ahsap.org/news_026.html

Torus, B. (2010). Bilgisayar teknolojilerinin mimari tasarıma etkileri. *Mimarlık Odası Kayseri Şubesi TOL Mimarlık Kültürü Dergisi, Bahar 2010, s 33-34*

Weinstock, M. (2006). Self organisation and material constructions. *Architectural Design, v:76 n:2*

Yıldırım, M.T. (2004). Mimari tasarımda biçimlendirme yaklaşımları ile bilgisayar yazılımları ilişkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 19, No 1, s 66-68

Yılmaz, N. (2008). *Mimaride titanyum kullanımı*. DEÜ, Yapı Bilgisi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi

Yüceer, N.S. (2010). Bilgisayar destekli enerji etkin bina tasarımı. *Mimarlık* sayı:355, Eylül-Ekim 2010

30 St' Mary Axe "the Gherkin". (b.t.). 19 Eylül 2010,
<http://www.archinomy.com/case-studies/669/30-st-mary-axe-the-gherkin-london>