



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ÇAĞDAŞ HAFİF STRÜKTÜR MALZEMELERİNİN YAPI FORMUNDA KULLANIMI VE TASARIMA ETKİSİ

Damla GÖKALP

BURDUR, 2022

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇAĞDAŞ HAFİF STRÜKTÜR MALZEMELERİNİN
YAPI FORMUNDA KULLANIMI
VE TASARIMA ETKİSİ**

Damla GÖKALP

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem SOLAK
II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Namiq ABBASOV**

BURDUR, 2022

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Çağdaş Hafif Strüktür Malzemelerinin Yapı Formunda Kullanımı ve Tasarıma Etkisi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

18 / 07 / 2022

Damla GÖKALP

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocalarım Dr. Öğretim Üyesi Adem SOLAK ve Dr. Öğretim Üyesi Namiq ABBASOV'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Temmuz, 2022

Damla GÖKALP



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Literatür Taraması.....	3
3. MATERİYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Kapsam ve Yöntem.....	6
3.2. Mimari ve Strüktür İlişkisi.....	6
3.3. Mimari Strüktürlerin Sınıflandırılması.....	7
3.4. Hafif Strüktür Malzeme Nedir.....	8
3.4.1. Hafif Strüktür Malzemelerin Tarihçesi.....	9
3.4.2. Hafif Strüktür Malzemeler Nelerdir.....	11
3.4.2.1. Çelik.....	11
3.4.2.2. Katkılı Beton.....	15
3.4.2.3. Çift Eğrilikli Cam Sistemler.....	18
3.4.2.4. Membran Sistemler.....	22
3.4.2.5. Pnömatik Sistemler.....	25
3.4.2.6. Tekstil Sistemler.....	27
3.4.2.7. Ahşap Sistemler.....	28
3.5. Hafif Strüktürün Avantajları ve Tercih Edilme Nedenleri.....	32
3.5.1. Sürdürülebilirlik Avantajları.....	32
3.5.2. Statik Avantajları.....	34
3.5.3. Deprem Yüğü Karşısındaki Avantajları.....	36
3.5.4. Yangın Karşısındaki Avantajları.....	37
3.5.5. Afet Sonrası Avantajları.....	39
3.6. Mimari Tasarımda Hafif Strüktür.....	40
3.6.1. Tarihi Yapılarda Uygulanan Hafif Strüktür Ek Yapılar.....	40
3.6.1.1. Coal Drops Yard.....	42
3.6.1.2. Convent de Sant Francesc.....	47
3.6.1.3. King's Cross İstasyonu Batı Yolcu Salonu.....	50
3.6.1.4. Kassel Fridericianum.....	53
3.6.1.5. Londra Doğa Tarihi Müzesi Darwin Merkezi.....	54
3.6.2. Çağdaş Yapılarda Hafif Strüktür.....	57
3.6.2.1. Ağaç Benzeri Strüktür.....	58
3.6.2.1.1. Masdar Genel Merkezi.....	60
3.6.2.1.2. Oriente Tren İstasyonu.....	63
3.6.2.2. İskelet Benzeri Strüktürler.....	64
3.6.2.2.1. Turning Torso.....	66
3.6.2.3. Ağ Benzeri Strüktürler.....	68
3.6.2.3.1. Münih Olimpiyat Stadı.....	68
3.6.2.4. Pnömatik Strüktürler.....	70

3.6.2.4.1. Eden Projesi.....	71
3.6.2.4.2. Ulusal Su Sporları Merkezi	74
3.6.2.5. Kabuk Benzeri Strüktürler	77
3.6.2.5.1. Aldar Gökdeleni	78
3.6.2.5.2. Multihalle Mannheim	79
3.6.2.5.3. Odate Jukai Dome Parkı.....	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	83
4.1. Örneklerin Değerlendirilmesi	83
4.2. Gelecek Dönem Hafif Strüktür Tasarım Yaklaşımlarına Bir Bakış	88
5. SONUÇ.....	89
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	101



ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kristal Saray.....	12
Şekil 3.2. Uzay kafes strüktür	14
Şekil 3.3. Yarı saydam beton uygulaması	17
Şekil 3.4. Giydirme cephe	20
Şekil 3.5. Münih Olimpiyat Stadyumu.....	23
Şekil 3.6. Otto'nun ağ sistemi	24
Şekil 3.7. Tek tabakalı şişme sistem.	26
Şekil 3.8. Çift tabakalı şişme sistem	26
Şekil 3.9. Tek tabakalı ve çift tabakalı sistem basınç karşılaştırması	26
Şekil 3.10. Son-O-House Ses Galerisi	27
Şekil 3.11. Burj El Arap tekstil cephesi	28
Şekil 3.12. Izgara ahşap strüktür	29
Şekil 3.13. Essen Pavilyonu	30
Şekil 3.14. Multihalle Mannheim.....	31
Şekil 3.15. Japon Pavilyonu	31
Şekil 3.16. Midlands Cam Müzesi ek yapı.....	35
Şekil 3.17. Cam Müzesi girişleri	35
Şekil 3.18. Stuttgart Cam Kubbesi	36
Şekil 3.19. Coal Drops Yard	43
Şekil 3.20. Çatı eklentisi	45
Şekil 3.21. Çatı altı meydan	46
Şekil 3.22. Coal Drops Yard geri dönüşümü	46
Şekil 3.23. Convent de Sant Francesc çağdaş yapı eki	47
Şekil 3.24. Farklılaşan bölümler	48
Şekil 3.25. Yapıda doğal ışık girişleri	49
Şekil 3.26. Tarihi yapı ve çelik.....	49
Şekil 3.27. King's Cross İstasyonu	50
Şekil 3.28. Ağaç benzeri strüktür	50
Şekil 3.29. Çatı üst örtüsü	51
Şekil 3.30. Sirkülasyon.....	52
Şekil 3.31. Geçirgen ve ulaşılabilir mekanlar	52

Şekil 3.32. Kassel Fridericianum pnömatik ek.....	53
Şekil 3.33. Pnömatik ek.....	54
Şekil 3.34. Londra Doğa Tarihi Müzesi eki	55
Şekil 3.35. Koza formu	56
Şekil 3.36. Yüksek katkılı beton kabuk.....	56
Şekil 3.37. Ağaç benzeri strüktür	58
Şekil 3.38. Frei Otto dallanma teorisi	59
Şekil 3.39. Stuttgart Havaalanı yolcu terminali	59
Şekil 3.40. Masdar Genel Merkezi.....	60
Şekil 3.41. Kullanım birimleri kesiti	61
Şekil 3.42. Eğrisel çatı strüktürü	62
Şekil 3.43. Masdar ağaç benzeri strüktür	62
Şekil 3.44. Oriente Tren İstasyonu.....	63
Şekil 3.45. Palmiye ağacı kolon tasarımı	64
Şekil 3.46. Gherkin Kulesi ve Venüs Bitkisi.....	65
Şekil 3.47. Milwaukee Sanat Müzesi	65
Şekil 3.48. Turning Torso	66
Şekil 3.49. Strüktürel omurga konsepti	67
Şekil 3.50. Omurga benzetimi	68
Şekil 3.51. Münih Olimpiyat Stadı.....	69
Şekil 3.52. Ağ benzeri strüktür.....	69
Şekil 3.53. Örümcek ağı benzetimi	70
Şekil 3.54. Big Egg Dome Stadyumu	71
Şekil 3.55. Ulusal Uzay Merkezi.....	71
Şekil 3.56. Eden Projesi	72
Şekil 3.57. Sabun köpüğü formu	73
Şekil 3.58. Ulusal Su Sporları Merkezi.....	74
Şekil 3.59. Strüktürel tasarımı.....	75
Şekil 3.60. Sabun köpüğü geometrisi.....	75
Şekil 3.61. Havalandırma sistemi.....	76
Şekil 3.62. Sydney Opera Binası ve L'Oceanografic Binası kabuk benzeri strüktürü	77
Şekil 3.63. Aldar Gökdeleni	78
Şekil 3.64. Multihalle Mannheim.....	80
Şekil 3.65. Kafes strüktürü	80

Şekil 3.66. Odate Jukai Dome Parkı	81
Şekil 3.67. Geçirgen kabuk	82
Şekil 4.1. Embriyolojik evler projesi	88



ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Tarihi yapılarda uygulanan hafif strüktür eklerinin karşılaştırılması.....	85
Tablo 4.2. Çağdaş yapılarda hafif strüktür malzemelerin karşılaştırması.....	86



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	:Avrupa Birliği
BAE	:Birleşik Arap Emirlikleri
CAD	:Computer Aided Design
CAE	:Computer-Aided Engineering
CAM	:Computer Aided Manufacturing
cm	:Centimetre
CNC	:Computer Numerical Control
ETFE	:EthylenTetraFluoroEthylen
gr	:Gram
LEED	:Leadership in Energy and Environmental Design
M.Ö.	:Milattan Önce
PTFE	:PolyTetraFluoroEthylene
PVC	:PolyVinylChloride
Uv	:Ultraviyole

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çağdaş Hafif Strüktür Malzemelerinin Yapı Formunda Kullanımı ve Tasarıma Etkisi

Damla Gökalp

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem SOLAK
II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Namiq ABBASOV

Haziran, 2022

Mimarlık, insanoğlu var olduğu günden bu yana bir bilim dalı olarak kabul edilmektedir. Eski çağlardan başlayan ve günümüzdeki çağdaş yapılara kadar gelen mimari, insanoğlunun hayatının hep bir köşesinde bulunmuştur. Dolayısıyla insanlar ihtiyaçları doğrultusunda, bir örtü düzeneği sayesinde oluşturdukları çadırlardan, günümüz gökdelenlerine kadar birçok evre ile yapılarını hep geliştirmiştir. Sanayi Devrimi'nin de etkisiyle 20. yüzyıl içerisinde teknolojinin daha da hızlanması direkt olarak yapı sektörünü de değiştirip, geliştirmiştir. Mimariye katılan yeni malzemelerin uygulanması, yapıda strüktür ve form kavramını ortaya çıkarmıştır. Eskiden taşıyıcı özelliğinde olan malzeme, yapının formuyla strüktürünü ayırıp, mimar ve mühendislerin tasarım dili haline gelmiş ve daha ulaşılabilir çözümler sunmaya başlamıştır. Yapıyı örten, taşıyıp ve biçimlendiren her malzeme mimari projelerin ana elemanı haline gelmektedir. Bu nedenle çağdaş strüktür sistemleri, malzemeyi ön plana çıkarmak için cephe tasarımında da etkili olmakta ve yapının mimari dilini ifade etmektedir.

20. yüzyıl içinde üretilen ve mevcut yapı stoğunda hala geliştirilmeye devam eden hafif malzemeler, strüktür sistemlerin geldiği son aşama olup, yapılardaki birçok soruna cevap vermektedir. Bu nedenle hafif malzemelerin strüktüre dahil edilmesi, mimarlar ve mühendisler tarafından avantajlı bir çözüm olmuştur. Strüktüre ve dolayısıyla yapının formuna dahil olan hafif malzemeler, yapının kendi işlevini de biçimlendirip, değiştirmiştir. Ayrıca yapı fonksiyonuna; sürdürülebilirlik, enerji etkinliği, geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı, afet (deprem) durumundaki davranışı, akıllı mimariye katkıları, geçirgen ve geçirgen alanlar, erişilebilir mekan organizasyonları, tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi kapsamında yapıya eklenen çağdaş ek tasarımı ile birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle fonksiyonun yapı formunu oluşturduğu tasarım diliyle, çevreye saygıyı ön planda tutan projeler üretilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, hafif strüktür malzemeler yapıların strüktür ve formuna dahil olurken, tasarıma etkileri, yapıya ve çevresine katkısı, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir yapı tasarımına etkisi, deprem ve yangın anında yapıya etkileri, afet sonrası geçici yapılaşmaya katkıları güncel örnekler ile incelenmiş ve gelecekteki hafif strüktürlerle yapılacak yapı tasarım çalışmalarına ışık tutacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: hafif strüktür malzemeleri, hafif yapı, strüktür, strüktürel tasarım, yenilikçi malzeme



SUMMARY

M.Sc.Thesis

The Use of Contemporary Lightweight Structural Materials in Building Form and Its Effect on Design

Damla GÖKALP

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Department**

**Supervisor:Asst.Prof.Adem SOLAK
Co- Supervisor:Asst.Prof.Namiq ABBASOV**

June, 2022

Architecture has been accepted as a branch of science since the day human beings existed. From ancient times to time and just as to old buildings, from those belonging to architecture, from those who always come together, human beings. Therefore, people have always developed their structures in line with their needs, from tents they created with a cover mechanism to today's skyscrapers. With the influence of the Industrial Revolution, the acceleration of technology in the 20th century directly changed and developed the building sector. The application of new materials added to the architecture has revealed the concept of structure and form in the building. The material, which used as load-bearing property, separated the form and structure of the building, became the design language of architects and engineers and started to offer more accessible solutions. Therefore, every material that covers, carries and shapes the building becomes the main element of architectural projects. For this reason, contemporary structural systems are also effective in facade design in order to bring the material to the fore and express the architectural language of the building.

Lightweight materials, which were produced in the 20. century and are still being developed in the existing building stock, are the last point of structural systems and answer many problems in buildings. Therefore, incorporating the lightweight materials into structure has been an advantageous solution for architects. Light materials, which are included in the structure and therefore the form of the building, have also shaped and modified the function of the building itself. For the building function; It brings many advantages with its sustainability, energy efficiency, use of recyclable materials, response to disasters, contributions to smart architecture, permeable and transitive spaces, accessible space organizations, contemporary additional design added to the structure within the scope of re-functioning of historical buildings, and light statics. In this sense, projects that prioritize respect for the environment have begun to be produced, with a structure language in which the function creates the form and the function in the form. In this study, while lightweight structural materials are included in the structure and form of the buildings, their effects on the design, their contribution to the structure and its environment, its effect on sustainable and recyclable building design, its effects on the structure during earthquake and fire, their contribution to temporary construction after disaster are examined with

current examples and future light structures will be used. It has been evaluated that it will shed light on building design studies.

Keywords: light structural materials, lightweight structure, structural, structural design, innovative material



1. GİRİŞ

Mimarlık kavramı, insanoğlunun var olduğu günden bu yana, belirli amaçlar doğrultusunda fonksiyonların formu izlediği bir tasarım süreci olarak gelişmiştir. Avcı toplayıcı olan insan, yerleşik düzene geçerek kendi ihtiyaçlarından doğan barınma standartlarını geliştirmiş ve bu geliştirmeler günümüze kadar devam etmiştir. Çadır sistemlerden gökdelenlere kadar uzanan malzeme yolculuğu, yapıların strüktüründen formuna kadar birçok alandaki işlevini değiştirmiştir. Özellikle Endüstri Devrimi sonrası hızla gelişmeye başlayan teknoloji ile birlikte yenilikçi malzemeler üretilmeye başlanmış ve ardından mimaride de uygulanmaya başlanmıştır. Yapı sektöründe daha önce uygulanmamış malzemelerin kullanılması, mimarlıkta da dönüşümü başlatmıştır. Endüstri Devrimiyle yaşanan bu dönüşüm, tasarımcıları yeni olanı arama arayışına itmiştir. Mimarlar ve mühendislerin daha yüksek ve daha sağlam yapılar inşa edebilmek gibi yarışların içinde olması, mevcut teknolojilerden yararlanıp, daha iyisini ortaya koymak için her geçen gün yapı sektörünü de daha ileriye taşımıştır.

Mimarinin ana elemanlarını oluşturan form ve strüktürün yeni yapım sistemleri ile buluşması, yapıların bütün formunu etkileyen faktörleri de beraberinde getirmiştir. Daha çok proje safhasında ortaya çıkan sorunlara bir çözüm niteliğinde kullanılan yenilikçi malzemelerin, yapılara entegre olurken daha sağlıklı ve arzulanan forma yakın bir tasarım ortaya koyduğu görülmüştür. Mimaride strüktür ve formu farklı işlevlerde ortaya çıkaran çağdaş malzemeler, yapının form ve mekan algısını belirlemede daha etkin rol oynamaya başlamıştır.

Diğer yandan 20. yüzyılda tüketimdeki hızın artması, dünya nüfusunun artması, çevre ve enerji kirliliğinin bitki ve hayvan yaşamını tehdit etmesi, “temiz su kaynaklarının %17’si, orman ürünlerinin %25’i, enerji kaynaklarının %40’ı yapı sektörü tarafından tüketilmesi” yapıları daha sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarına itmiştir.

Bu bağlamda üretilen hafif strüktür malzemeler, her ne kadar teknik istekler doğrultusunda üretilse de, yapı form ve strüktür tasarımına damga vurmuştur. Yapıya sağladığı avantajlar kapsamında ise sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu, statik kolaylığı, nakliye ve üretimdeki sağladığı kolaylıklar, hafif strüktür malzemelerin ortaya çıkardığı geçirgen geçişken mekanları, yapıyla bütünleştirmiştir. Özellikle 21. yüzyıl çerçevesinde çağdaş malzemelerin sağladığı avantajlar sayesinde ekolojik ve çevreye saygılı yapıların

ortaya konması, mimar ve mühendislerin tasarımlarını yaparken daha çok çağdaş malzemeleri tercih ettiğini görmekteyiz.

Bu çalışmada çağdaş hafif strüktür malzemelerinin, yapıya katılırken yapı formuna ve strüktürüne tasarımsal açıdan yaklaşımlarını bir bütün olarak açıklarken, yapıya sürdürülebilirlik ve enerji etkinliğinde nasıl sonuçlar getirdiği, çağdaş mimari tasarımına katkısının, ekolojik mimariye, yaşayan mimariye, değişebilir mimariye, dinamik mimariye, esnek mimariye, akıllı mimariye, portatif mimariye, biyomimetik mimariye katkısının örneklerle açıklanması, doğal afetler göz önüne alındığında hafif strüktür malzemelerinin davranışlarının açıklandığı bir kılavuz niteliğinde ele alınıp, yurtdışındaki güncel örnekler üzerinden irdelenip, gelecek dönemlerdeki yapılarda bizleri neler beklediği, ne gibi tasarımsal yaklaşımlara ışık tutabileceği belirtilmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Taraması

Literatürde hafif strüktür malzemeler ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Çağdaş yapılarda hafif strüktür malzemelerin kullanıldığı belirlenen yapılarla ilgili çalışmalar incelenip, aşağıda içerikleri verilmiştir.

Fatma Necla Say (1998) çalışmasında, çağdaş strüktür sistemleri geleneksel yapım sistemlerinden malzeme, yük, taşıma ilkeleri, statik ilkeleri gibi yönlerinden farklı özellikler gösteren, çok büyük açıklıkları örtmeye uygun olan sistemleri ve her gün gelişen teknolojiyle ortaya çıkan yeni malzemelerin de hızlandırdığı strüktürel gelişme dört grupta değerlendirmektedir. Bunlar “Yüzeysel Strüktür”, “Uzaysal Strüktür”, “Asma Germe Strüktür” ve “Şişme Sistem”dir. İç mekan ile dış form arasındaki mutlak uygunluk, geniş açıklık geçme yönünden strüktürel etkinlik ve form zenginliği bakımından sağladığı kabuk mimarisinin önemini irdelemektedir. Sonuç olarak mimariyi meydana getiren strüktür zaman içinde yeni malzemelerin bulunmasına ve teknolojik gelişmelere paralel olarak büyük gelişme göstermiştir. Strüktür her dönemde mimariyi biçimlendiren en etkin faktörlerin başında gelmiş, eski çağlardan başlayarak pek çok yapının biçimini adeta doğrudan doğruya meydana getirmiş, strüktürel form ile biçimin özdeşleşmesine olanak sağlamıştır. Strüktürün biçime etkisi gelişen teknoloji ve yeni yapı malzemelerinin ortaya çıkması ile bugüne kadar olduğu gibi bundan sonra da devam edecektir.

Semih Göksel Yıldırım (2003) çalışmasına göre hafif yapı teknolojinin ülkemizde yaygınlaştırılması ve yapı sektörü içindeki kullanım oranının artırılmasının ekonomiye de katkı sağlayacağı üzerinde durmuştur. Ayrıca yapı sektöründe ekonomik kazancı, geri dönüşüm ile sağlamak için profillerin eritilip, tekrar başka bir üretimle kullanılmasının önemi vurgulamıştır.

Savaş Ekinci ve Özlem Eşsiz (2005) çalışmasına göre depreme dayanıklı yapılar, kurallara uygun şekilde yapılırsa mümkündür. Yapın ölü yükünün az olması ve faydalı yüke oranının küçük olması, depreme dayanıklı yapılar inşa etmek için önemli bir avantaj sunmaktadır. Strüktürel performansta, geniş açıklıklar ve yüksek yapılar için çelik yapım yöntemleri daha uygun bir çözümdür. Hafif çelik yapım sistemi ekonomik olarak üretim, nakliye kolaylıkları bakımından, portatif yapısı sebebiyle yapım süresinin kısalması ve strüktürel açıdan yüksek dayanım göstermesi deprem bölgelerinde özellikle barınma ihtiyacını hızla azaltılabilmesine olanak tanır.

Werner Sobek, Christian Bergmann ve Walter Haase (2012) çalışmasında, yapılı çevremizi oluşturan strüktürler her zaman maksimum yükleme ve gerilme şartlarına göre tasarlandığı üzerinde durulmuştur. Strüktürü oluşturan malzemenin (beton, çelik gibi) büyük kısmı sadece bu olağan dışı pik yüklere karşı koyabilmek, hafif ve esnek strüktürler yaratmak için teknolojinin de ilerlemesiyle mimaride daha çok yer aldığını belirtmiştir. Yenilikçi tasarım araçlarının ve çağdaş yapı malzemelerin kullanımı, çok daha hafif ve sürdürülebilir yapılar tasarlanabilmesini sağlayacaktır. Özellikle farklı alanlarda kullanılan bir malzemenin ürün yöntemi, hafif yapı sektöründe bir malzemeye aktarıldığı zaman estetik açıdan daha uyumlu ürünler ortaya çıkmaktadır. Çift eğrilikli camlar, ultra yüksek performanslı beton veya tekstil ürünleri üzerine yapılan çalışmalar bu konuya örnektir. Yapının taşıyıcı sistemi, üst örtüsü, kabuğu gibi kısımlarda karşımıza çıkan hafif strüktür malzemeler, bizlere yeni mekanlar oluştururken, yapı ve çevre kapsamında sürdürülebilirliği de ele almaktadır. Günümüzde genelde büyük ölçekli tasarımlarda yer alan bu sistemler, yeni yapı formlarına da sıklıkla dahil edilmektedir. Dolayısıyla yeni yapı teknolojileriyle tasarlanan strüktür ve formlar farklı tasarım yaklaşımlarını da beraberinde getirmekte ve gün geçtikçe kendini yenilemektedir.

Hale Gezer (2012) çalışmasında, geçmişten günümüze kadar malzeme, mimaride tüm yapı sistemlerinde ve bina tipolojilerinin oluşmasında performansına paralel olarak etkin rol aldığını belirtmiştir. Malzemelerin bizlere sunduğu imkanlar dolayısıyla mimari tasarımlar da ona göre biçimlendirilmiştir. Çağımızda malzemenin fiziksel performansı dışında yapı tasarımlarına yansısıyla yeni eğilimleri destekleyen en temel öge olarak karşımıza çıkmaktadır. Çağdaş mimarideki enerji tüketiminin önemli kaynaklarından biri olarak yapılar, enerji korunumu açısından anahtar rol oynarken, bu bağlamda yapı uygulama tasarımının ilk basamağı olan tasarlama sürecinde alınan daha az malzeme kullanarak daha etkin strüktürler yaratma isteği, günümüzde sürdürülebilir yapı teknolojileri kavramını gündeme getirmiştir. Hafif strüktür malzemeleri, yapılarda uygulanmaya başlanmasıyla malzemenin mimariye katkıları ile yeni eğilimler yaratan yapı tasarımları, doğadan ilham alan anlayışın ötesinde doğanın yaşam ritmine uyum sağlama arayışına dönüşmektedir. Dolayısıyla hafif strüktür malzemelerin yapılara farklı karakteristik kimlik yaratması ve tasarımcıları farklı bakış açılarına yöneltmesi kaçınılmazdır.

Fritzsche, J. C. (2013) çalışmasında, yapısal verimliliğin, kabuk strüktüründe ızgara geometrisini takip ederek sağlandığını belirtmiştir. Birçok farklı yapı sistemlerinin, özellikle ızgara kabuk strüktürünün form tasarımı ve optimizasyonu konusunda hızlı ve

etkili bir tasarımsal yaklaşım olduğu irdelenmiştir. Kabuk strüktürün önemi ve malzeme etkinliğı göz önünde tutmuş, tasarımsal özgürlük korunarak maliyetin de en aza indirgenmesi ve sürdürülebilir yapılar üzerinde durmuştur.

Fazilet Tuğrul ve Ayşin Sev (2015) çalışmasında, hafif strüktürler, daha az malzemeyle daha geniş yüzeyleri örtmeleri, gün ışığı ve doğal havalandırmaya olanak vermeleri, geri dönüştürülebilmeleri ve statiksel hafiflikleriyle yapıya etkiyen yükü azaltmaları, yüksek dayanım dolayısıyla az malzeme maliyeti sağlanması gibi etmenler sürdürülebilir mimariye uygun özellikler olduğunu belirlemiştir. Hafif strüktürlerin yapımına 1960'lı yıllardan itibaren rastlansa da, malzeme ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde günümüzde yapımı hız kazanmıştır. Gelecekte de üzerinde çalışılan hafif strüktür malzemelerinin daha sık kullanılması öngörülmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kapsam ve Yöntem

Bu başlık altında hafif strüktür malzemelerin yapı strüktürüne ve formundaki tasarımına ilişkin katkılarının, günümüzdeki çağdaş yapılardan, tarihi yapı eklerine kadar uygulandığı örnekler incelenecektir. Tez kapsamında açıklanacak konuların tablo karşılaştırması, literatür analiz teknikleri ile desteklenmiştir. Çalışma kapsamında çağdaş mimaride hafif strüktür malzemelerin yapı formunda, strüktüründe kullanılması üzerinde durulacaktır. Bu incelemeler sırasında gerekli bilgilendirme, örnekler ile birlikte açıklanacak ve tablo çizimleri yapılacaktır. Örnek yapılar incelenirken malzemelerin ne amaçla yapıda kurgulandığı ve yapıya kattığı farklılıkları karşılaştırılıp, yapım avantajları ortaya konulacaktır. Çalışmanın incelenmesinde geniş literatür araştırması, malzemelerin belirlenmesi, malzemelerin tanımlanması, malzeme özelliklerinin açıklanması, yapıda kullanıldığı noktalar, yapıdaki malzemenin kullanımı bakımından doğal afetlere karşı verdiği tepki, malzemelerin tercih edilme nedenlerinin açıklanması, strüktür tasarımındaki etkilerinin belirlenmesi ve açıklanması, formunun tasarlanmasında morfolojik etkilerinin belirlenmesi, strüktür ve form tasarımında yapıya verdiği kimliklerin örneklerle açıklanması, yapının tasarımsal açıdan verdiği etkinin açıklanan bilgiler ışığında değerlendirilmesi ve yapılarda hafif strüktür malzemelerin kullanım alanları araştırılmıştır. Ayrıca gelecekteki yapım sistemlerinin neler olabileceği konusunda öneriler ve çalışmalara değinilmiştir.

3.2. Mimari ve Strüktür İlişkisi

Milattan önce 58-51 yıllarında Romalı Vitruvius'un mimari kavramı için gerekli olan üç kavramın “Firmitas, Utulitas, Venustas” olarak, yani “Sağlamlık, Kullanışlılık, Güzellik” olarak vurgulamıştır (URL-1, 2011). Bu kavramlar günümüzde nesiller boyunca farklı isimlerle anılsa da temelinde yatan fonksiyon, form ve strüktür kavramlarıdır. Çağımızda da mimari kavram tanımı fonksiyon, form ve strüktür kavramları ile şekillenen sanatsal bir tasarım olarak ifade edilmektedir. Başka bir tanımla, mimarinin fonksiyonu, strüktür ve sanatsal değerın çarpımıyla ortaya çıkmaktadır (Özer, 2009). Bu nedenle strüktür ile mimari ifadeleri birbirlerinden ayrılmaz bir bağ oluşturmuştur. Vitruvius'un ilk maddesindeki “firmitas”, yani “sağlamlık”, yapıdaki strüktüre karşılık gelmektedir.

Mimari strüktür, yapıda bir nevi iskelet sistemi vazifesi göstererek, bir form kazandırması ve yapının yer çekimiyle beraber kazandığı ağırlığını ve çevre yüklerin

yeryüzüne iletilmesini sağlayan taşıyıcı sistemdir. Aynı zamanda mimari strüktürler yapıdaki durağan formun sağlanması ve yapının ayakta kalabilmesi için ihtiyaç duyulan konstrüksiyon sistemlerdir. Bu nedenle yapının sağlamlığı direkt olarak strüktür sistemi ile ilişkilidir. Dolayısıyla en basit çadır sistemlerinden, yüksek gökdelenlere kadar bütün yapıların öncelikle üzerine gelen yanal ve düşey yükleri karşılaması ve yapının ayakta kalabilmesi için uygun bir taşıyıcı sistemi olmalıdır. Mimar ve mühendisler tasarımlardaki statik ve estetik kaygılarından oluşan sorunları, teknolojinin ilerlemesiyle yapı sektörüne kazandırdığı yenilikçi malzemeler ile geleneksel strüktürleri değiştirerek estetik bir dille ifade etmenin yolunu bulmuşlardır. Bu sayede yeni yapım sistemleri ve yenilikçi malzemeler ile oluşturulan çağdaş strüktürler mimari ile bütünleşip, fonksiyonun formla birleştiği bir tasarım yaklaşımı haline gelmiştir.

3.3. Mimari Strüktürlerin Sınıflandırılması

Yapılardaki strüktür sisteminin gelişimi, 19. yüzyıl sonlarına doğru kentlerin nüfusunun artmasıyla dikey yapılaşmanın önünü açmasıyla başlamıştır. Ancak düşey taşıyıcıların eksikliğinden dolayı belirli bir yüksekliğin üzerinde bir yapı yüksekliği sağlanamamıştır. Dolayısıyla daha fazla dayanım ihtiyacı, malzemelerin zaman içerisindeki değişim ve gelişimi ile taş, ahşap ve tuğla sistemleri yerini dökme demire bırakmıştır. Ardından dökme demirin çeliğe evrilmesi, yapı yükünü taşıyan taş duvarlardan daha yüksek yapılar inşa etmeyi olanak kılan kolon ve kirişli çerçeve sistemlerine doğru gelişmiştir. Bu sayede yapının karşılayabildiği yük miktarının artması ile yatay kentleşme yerini, dikey kentleşmeye bırakmıştır. Yapıların yükseldikçe farklı statik sorunlarının çıkması ve yapının üzerine etkiyen yüklerin fazlalığı ve türlerinin farklılığı sebebiyle yeni strüktürel sistemler ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda yapıların taşıyıcı sistemleri:

- Malzemesine göre
- Yapısal özelliklerine göre
- Yapım yöntemlerine göre
- Üretim şekillerine göre, dört maddede sınıflandırılmaktadır.

Malzemesine göre taşıyıcı sistemler:

- Kâgir (taş, tuğla) taşıyıcı sistemli yapılar
- Betonarme taşıyıcı sistemli yapılar
- Çelik taşıyıcı sistemli yapılar
- Ahşap taşıyıcı sistemli yapılar

- Plastik taşıyıcı sistemli yapılar olarak beş maddede sınıflandırılmaktadır.

Yapısal Özelliklerine Göre Taşıyıcı Sistemler:

- Yığma taşıyıcı sistemli yapılar,
- Karkas (iskelet) taşıyıcı sistemli yapılar,
- Plak taşıyıcı sistemli yapılar,
- Hücresel taşıyıcı sistemli yapılar,
- Karma taşıyıcı sistemli yapılar olarak beş maddede sınıflandırılmaktadır.

Yapım Yöntemlerine Göre Taşıyıcı Sistemler:

- Geleneksel yapım yöntemleri
- Gelişmiş geleneksel yapım yöntemleri
- Endüstriyel (prefabrik) yapım yöntemleri olarak üç maddede sınıflandırılmaktadır.

Üretim Yöntemlerine Göre Taşıyıcı Sistemler:

- Birdöküm yapılar
- Öndöküm yapılar
- Öngerilmeli yapılar
- Ardgerilmeli yapılar olarak dört maddede sınıflandırılmaktadır.

Bu bağlamda yapı sistemleri belirli özelliklerde sınıflandırılrsa da; statik, sürdürülebilirlik sorunlarından dolayı mimar ve mühendislerin sistem arayışlarını hafif strüktür malzemelerin kolaylıklarına itmiştir. Aynı zamanda estetik kaygısı yapıların fonksiyonlarıyla birlikte yapının formunu da desteklemeye başlamıştır. Günümüzde yapı teknolojileri, az malzemeyle geniş açıklıkları geçebilmeyi hedefleyen, doğal aydınlatmaya olanak veren, hafif, şeffaf, geçirgen, esnek, yenilikçi ve geri dönüştürülebilir malzemeler kullanan sistemlere yönelmektedir.

3.4. Hafif Strüktür Malzeme Nedir

Yapılı çevremizi oluşturan strüktürler her zaman maksimum yükleme ve gerilme şartlarına göre tasarlanır. Yani, strüktürü oluşturan malzemenin (beton, çelik gibi) büyük kısmı sadece bu olağan dışı pik yüklere karşı koyabilmek için yapıda yer alır. Tam da bu soruna yanıt olabilmesi amacıyla, hafif strüktürler geliştirmek üzerine de çalışılmaktadır. Geliştirilen strüktürlerin amacı, bilinen strüktürel tasarımın sınırlarını aşarak ciddi bir malzeme tasarrufu sağlamak ve dinamik yüklere karşı daha iyi etkiler elde etmektir. Üretim, geniş açıklık geçme, hafiflik, nakliye, montaj kolaylıkları, kısa yapım süresi gibi ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen yeni malzemeler yapı ölü yükünün, diğer sistemlere

göre daha az olması sebebiyle deprem yükü, rüzgar yükü, yapının kendi yükü gibi yüklerin karşısında sistemi daha avantajlı kılmaktadır. “Hafif strüktür olarak tanımlanan bu sistemler stadyum üst örtüsünden yüksek yapılara, havaalanlarından bölücü yapı elemanlarına kadar çok farklı ölçeklerdeki yapılarda kullanılabilmektedir.” (Tuğrul ve Sev, 2015).

Hafif yapılar; malzeme, strüktür ve sistemine göre olmak üzere üç temel grupta sınıflandırılabilir. Özellikle farklı disiplinlerde kullanılan bir malzemenin ürün yöntemi, hafif yapı sektöründeki bir malzemeye aktarıldığında estetik açıdan bakıldığı zaman, daha istenilene yakın ürünler ortaya çıkarmaktadır. Yüksek dayanımı sayesinde daha çok çelik malzemesi üzerinde yoğunlaşan sistemler; çelik, ultra yüksek performanslı beton, çift eğrilikli cam sistemler, ahşap sistemler, membran sistemler, pnomatik sistemler ve tekstil sistemler yapılarda kullanılan hafif strüktür malzemelerdir.

3.4.1. Hafif Strüktür Malzemelerin Tarihçesi

Antik çağlarda en yüksek yapılar arasında M.Ö. 600’de yapılmış olan 90 metre yükseklikteki Babil Kulesi, M.Ö. 283’de yapılmış olan 140 metre yüksekliğindeki İskenderiye Feneri ve M.Ö. 26’da inşa edilen 146 metre yükseklikteki Giza Piramitleri sayılabilir. Bu yükseklik binlerce yıl sonra, 1300’lerin başında yapımı biten ve 1549’a kadar en yüksek bina olarak kalan, 160 metre yüksekliğindeki Lincoln Katedrali’yle aşılmıştır. Mimarların bu yükseklik yarışı, tarih boyunca bu şekilde süregelse de, yapı yüksekliği arttıkça kolon kesitlerinin büyümesi, su basıncının yetersizliği, gerekse asansörün olmaması sebebiyle yüksek katlara ulaşımında zorluk yaşanması gibi engeller, tasarlanan yapı yüksekliğini kısıtlı kılmaktaydı. 1852’de Elisha Otis’in kullanıcılarını üst katlara güvenli ve kullanışlı bir şekilde taşıyan asansörü tanıtmasıyla ve aynı dönem içerisinde binaların en alt kattaki duvarların kullanışsızlık derecesinde kalınlaşmasından dolayı, mimaride çelik çerçeve sistemine geçilmesini ve yapıların kolaylıkla yükselbilmesine olanak sağlamıştır (Kılınç ve Sev, 2020). 1864’de yerel bir mimar olan Peter Ellis tarafından tasarlanan, Dünya’nın ilk demir çerçeveli cam giydirme cephe ofis yapısı, mimarları endüstrileşmiş yapım yöntemlerine itmiş ve gelecekteki tasarımların da önünü açmıştır (Mestan, 2019). Ardından 1885’te çelik iskelet olarak nitelendirilebilecek sistemi kullanan ilk yapı, Chicago’da bulunan Mimar William Le Baron tarafından tasarlanan ve 55 metre yükseklik ile dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilen Home Insurance Binası inşa edilmiştir (Yılmaz, 1998). İlk defa I profillerin kullanılması, yığma

yangın duvarları ile yüksek yangın güvenliği sağlaması, hızlı ve güvenli dikey ulaşım gibi pek çok yaratıcı yeniliklerin, tasarımın odak noktası olmasıyla ün kazanmıştır.

1900'lerin ortalarında, II. Dünya Savaşı sonrası kent nüfuslarının hızla artması ve ortaya çıkan hızlı yapılaşma, yapı sektörünü endüstrileşmiş yapım yöntemlerini kullanıp, daha da geliştirmeye yönlendirmiştir. Yüksek yapıya ulaşma ve kolonsuz geniş açıklık geçme yarışı, yapının hafifliği ile daha kolaylaştığı için, hafif ve dayanıklı sentetik malzemelerin yapıya katılmasını sağlamıştır. 1900'lerin ortalarında uzay teknolojilerinin gelişimine paralel olarak ortaya çıkan şişme strüktürler bu zamana kadar tasarlanmış farklı bir disiplin olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekanlar sınırlarını zorlayan, portatif, hareket edebilen, esnek ve geçişken tasarıma odaklı alanlara dönüşmüştür. Şişme sistemlerin kullanımı ile birlikte geçicilik, geçişkenlik ve taşınabilirlik kavramları, geleneksel çadır tipolojisine sahip portatif yerel mimarlık örnekleriyle ilişkili olarak mimari dilde yer almayı başarmıştır. Bu sistemler geleneksel sistemleri sorgulayan her tasarımcı için alternatif cevaplar üretebilmektedir.

PVC'den yapılan şişme sistemler, yumuşak, katlanabilir oluşuyla 1960'larda mimarlar tarafından, bağımsız mimarlığın temeli olarak kabul ediliyordu. Bu sistemler, özellikleri sayesinde yapılı çevreye zarar vermeden, istenilen zamanda, istenilen her yere kolayca nakledilip, entegre olabilmektedir. Şişme sistemler, hem geleneksel mimarlığa alternatif olması, hem de iklim değişimlerine hızla adapte olması, portatif özelliği bu sistemleri diğer yapım yöntemlerine göre ayırmaktadır (Önal ve Karakoç, 2019).

Özellikle son 30 yılda farklı malzemelerin mimaride kullanılması amacıyla tekstil ürünlerinin daha çok rekreasyon alanlarında bölücü nitelikte kullanılmaya başlanması, yapı malzemelerinin tekstil ürünleriyle birleştirilme fikrini ortaya çıkarmıştır. "Fonksiyonelliğiyle öne çıkan bu yüksek performanslı tekstil grubu her geçen gün geliştirilen lif teknolojisi sonucunda üretilen yeni kompozitleriyle daha da çeşitlenmekte ve tasarımlara kazandırdığı uygulama olanaklarıyla mimari ve iç mimariye çok büyük katkılar sağlamaktadır. Mimariyle tekstilin yüksek teknolojiye sahip endüstrisinin işbirliğinin malzemesi olarak görülen "architextile" ler akıllı tekstilleri, teknik tekstilleri "jeotekstiller, bina ve konstrüksiyon tekstilleri, membran örtüleri geniş bir grubu kapsamakta, farklı uygulama alanlarıyla mimaride kullanılmaktadır." (Gezer, 2008). Bölücü duvardan, geniş çatı örtülerine kadar geniş bir yelpazede yapıda kullanılmaya başlanan tekstil grubu, teknolojinin ilerlemesiyle beraber yüksek gerilmelere karşı oluşturduğu dayanımı ile ön plana çıkmaktadır.

2000’li yıllarla beraber yapıların isimlerini ne kadar sıradışı oluşuyla söz ettirmesi, daha önce az uygulama örneği olan tekstil grubunu da ilerleyen süreçte yapılarda daha çok görmemize olanak sağlamıştır. Dolayısıyla üretilen her yeni malzeme yapı formuna bir şekilde adapte ettirilerek yapıya ve çevresine faydalı olması üzerinde çalışılmıştır. Malzemenin yapıyla bütünleşirken, morfolojisini, iklimsel yapısını, yenilikçi ruhu, atomik yapısı gibi özellikleri mimaride ve iç mimaride yeni tasarımlara olanak sağlamıştır (Gezer, 2012). Çelik sistemlerden, tekstil malzemelere kadar uzanan hafif strüktür malzemeleri, yapının strüktürünü ve formundaki tasarım anlayışını bir bütün halinde değiştirip, farklı biçimlerde bizlere sunmaya devam etmektedir. Gelecekte de bizlere farklı sistemler, yapım yöntemleri ve yeni malzemeler sunacağı açıktır.

3.4.2. Hafif Strüktür Malzemeler Nelerdir

3.4.2.1. Çelik

“Çelik, %2’den az karbon ve az miktarda manganez, silikon, fosfor, kükürt ve oksijen içeren bir demir ve karbon alaşımıdır. Çeliğin özgül ağırlığı bünyesinde bulunan karbon oranına göre değişir. Sert çeliğin özgül ağırlığı 7.89 gr/cm^3 iken, normal çeliğin ise 7.85 gr/cm^3 ’tür.” (URL-2, 2022). Çeliğin tarihsel süreci, Demir Çağı’nın 4000 yıl öncesine kadar geriye gitmektir. Daha önce en çok kullanılan metal olan bronz, yerini daha sert ve daha dayanıklı demire bırakmıştır. Genelde yapıların üst örtüsü için geliştirilen eğri dökme demir strüktürler, 18. yüzyılın sonuna doğru yapılara girmeye başlamış, 19. yüzyılda Henry Bessemer’ın karbon içeriğini indirgemek için erimiş demire oksijen vermekten daha etkili bir yol bularak yapısal çeliğin önünü açarak işlemi hızlı ve ucuz bir hale getirmiştir. Şimdiye kadar doğal taş malzemeler kullanılarak inşa edilen tonoz sistemlerine göre, taşıyıcı strüktüründe kiriş üzerine gelen yük dağılımında önemli derecede bir fark sağladığı görülmüştür. “Puddel yönteminin geliştirilmesi ile birlikte daha az maliyet ile büyük miktarlarda dökme demir imalatı mümkün olmuştur. Dövülebilir nitelikte olan demir için geliştirilen hadde tekniği ve buhar makinesinin keşfi neticesinde, demir üretiminde kullanılan kas gücünün yerini makine gücüne bırakması ile aynı çapta profil ve büyük miktarlarda farklı uzunluklarda ve ebatlarda dökme demirden oluşan yapı elemanlarının sanayi tesisleri tarafından hızlı bir biçimde üretilmeleri mümkün olmuştur.” (Tekgüvercin, 2002).

Bu gelişmeler demir yolu ve yüksek çelik binaların inşasını başlatmıştır ve bu türde yapıların döneminin başlıca inşasını oluşturmuştur. “Kaynak demirinden” ve

“Döküm demirinden” Thomas ve Bessemer yöntemleri ile döküm çeliği geliştirilmiştir. 1811 yılında ilk defa kubbe yapımında demirin kullanılması Belanger ve Brunet tarafından gerçekleştirilmiştir. Dönemin kubbelerinin çoğu, aşağısında düz, yukarısında eğik çubuklardan oluşacak şekilde yarı kafes kirişlerden meydana gelmektedir. Dolayısıyla kubbeler, dairesel bir duvarla desteklenip, alt kısımda çekme halkasına ve tepedeki basınç halkasına bağlanmaktaydı. Sonraki denemelerde tasarıma bağlı kalarak, açıklıkların arttırılmak istenmesi, bağlantı halkalarının kapasitesini de arttırmıştır. 1851 yılında Londra’da düzenlenen Dünya fuarı için J. Paxton tarafından inşa edilen “Kristal Saray” (Şekil 3.1) yapısının kafes sistemi, dökme demir ile çelik yapı elemanlarının karışımı olacak şekilde ve dönemin imkanları doğrultusunda inşa edilmiştir.



Şekil 3.1. Kristal Saray (URL-3, 2019)

Hızlı söküm takım işlemleri, uzay kafes sistemlerini daha çok deneme ve daha hızlı geliştiren konstrüksiyon çalışmalarıyla kısa bir süre zarfı içinde birçok çatı modeli ve konstrüksiyon prensipleri geliştirilmesine imkan vermiştir. 1863 yılından günümüze kadar dünya üzerinde oldukça fazla “Schwedler Kubbesi” uygulanmıştır. “Föppl, Schwedler tarafından geliştirilen gevşek nitelikte olan çapraz elemanlar ile uygulanan örgü kafes kubbelerine karşı, ağ örgü tipi kubbeyi sadece üçgenler ile donatılmış ve katı çapraz elemanlar ile sağlamlaştırılmış olarak kafes kiriş konstrüksiyonunu ileri sürmüştür.”

19. yüzyıl ile beraber çelik üretim yöntemleri ile statik kavramının bilimsel olarak öğrenilmesinin sonucu gelişmeye devam etmiştir. Ortaya çıkan çelik malzemesi, köprüler ve çatı strüktürlerinde daha çok kullanılmıştır. Günümüzde ise bu üretim, yüksek fırınlarda

kok kömürü yakılarak demirin ergitilmesi ile ham demir elde edilmektedir. Thomas, Siemens-Martin, Bessemer gibi bilim adamlarının ısıtma işlem yöntemlerinden birini uygulayarak özel fırınlarda ham demirin arıtılıp, katkılanması sonucu sıvı haldeki çelik malzeme elde edilir. Sıvı haldeki çelik malzemesi “haddeleme” olarak isimlendirilen sıcak şekillendirme işlemine tabi tutulur ve istenilen en kesit özelliklerine sahip hadde ürünleri olarak üretilmektedir.

Çeliğin demirden farklı olarak yapısında %0,16-0,20 kadar karbon bulundurması, malzemenin yüksek dayanım ve sertlik miktarını arttırmıştır. Homojen ve izotrop bir malzeme olup, üretimi sıkı ve sürekli denetim altında gerçekleştirildiğinden güvenli bir malzemedir (Yıldırım, 2003). Aynı zamanda öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçük olduğundan yapıyı hafif malzemeler statüsünde kategorilize edilmesini sağlamıştır (Yıldırım, 2003). Çeliğin çekme dayanımı basınç dayanımına eşittir. Dolayısıyla bu özelliği sayesinde mimari tasarımlarda esnek tasarımları yapılabilir kılmaktadır. Kompozit beton ile karşılaştırıldığı zaman yaklaşık olarak yedi kat elastikliği yüksektir ve sünekler. Bu nedenle olası bir deprem anında deforme olmadan bütünlüğünü korumaktadır. Statik problemlere, dinamik etkilere ve titreşimlere uyumlu tepki vermektedir. Şehim sorunları olan taşıyıcı elemanların üretiminde daha ekonomik kesitler elde edilmektedir (Yıldırım, 2003). Hava koşullarına bağlı olmamasından montaj kolaylığı sağlaması ve az iskeleli inşaatı olanak vermesi, yapının inşa süresini de kısaltmaktadır (Yıldırım, 2003). Portatif yapısı sebebiyle kolay söküp, takılabilen çelik, geri dönüşüm ile yeniden de kullanılabilir. Manyetik yapısı sayesinde, atık yönetimi kapsamında çeliklerin atıklardan ayrışması da kolaydır. Dolayısıyla geri dönüşüm malzeme potansiyeli ile daha sürdürülebilir bir yapıya da olanak tanımaktadır. Çeliğin tamamıyla geri dönüştürülebilirliği, üretimine yatırılan kaynakların kaybolmamasını ve sınırsızca tekrar kullanılmasını sağlar (URL-2, 2022).

Çelik, yapılarda hadde ürünleri ve döküm ürünleri olarak iki şekilde kullanılabilir. Hadde ürün, sıvı haldeki çelik malzemesi, “haddeleme” olarak isimlendirilen sıcak şekillendirme işlemine tabi tutulur. İstenilen ölçüye ve özelliğe getirilebilir. Hadde çeliği I profil, L profil, T profil, U profil, Ray profil, özel profiller, lamalar, levhalar örnek verilebilir. Dökme çelik ise maksimum karbon içeriği (yaklaşık %0.75) olan demir içeren bir alaşımdır. Çelik dökümler, bir kalıp içindeki boşluğun sıvı çelik ile doldurulmasıyla üretilen katı metal nesnelerdir (URL-4, 2019). Döküm çelik ürünlere döküm fontlar, su çeliği, gri font, mafsallık ve mesnet parçaları örnek verilebilir (URL-5, 2017).

Günümüzde dayanımı ve geniş açık geçebilme özellikleri sayesinde geliştirilen son sistemlerden olan uzay kafes strüktürlerin ana malzemesi de çeliktir. Çeşitli uygulamalar kapsamında çatı strüktüründe, döşemede ve cephede uygulanabilmektedir. Uzay strüktürler; taşıyıcı elemanları, düğüm noktalarında, strüktür yüzeyindeki açılı birleşimlerde ve her yönde hareket eden yüklere karşı dayanıklı olan üç boyutlu taşıyıcı sistemlerdir (Tekgüvercin, 2002). Uzay kafes strüktürler doğru eksenli olmak üzere rijit bir sistem halinde sürtünmesiz mafsallarla birbirlerine bağlanmasıyla oluşturulurlar (URL-6, 2020).

Kronolojik olarak bakıldığında zaman Mero uzay kafes sistemi, en eski sistemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Dr. Ing. Max Mengerinhausen tarafından geliştirilen uzay kafes sisteminin düğüm noktaları ilk seri üretilen yapı bileşenidir. Ardından teknolojinin ilerlemesiyle geliştirilen Mero uzay kafes sistemi, şuan kullanılan uzay kafes sistemine evrilmiştir. Bu tür sistemlerde hiperstatiklik derecesi yüksek olduğu için, sisteme etkiyen yükler, elemanlar tarafından süratle ve her yönde paylaşılır. Bu tip sistemin elemanlarının mümkün olduğu kadar birbirlerine yakın çap ve uzunlukta elemanlardan oluşmaları ve bağlantı elemanı olarak uçlarında bir adet civatanın bulunması modüler sistemlerin doğmasına yol açmış, güvenli tasarımın yanında esneklik de elde edilebilmiştir. Fabrika, depo binaları, uçak hangarı, terminal binaları, otoparklar, benzinlik istasyonları, alışveriş merkezleri, spor salonu, kapalı spor alanlar, stadyum, sinema, tiyatro, konferans salonları, gösteri merkezleri, üst ve tüp geçitler, köprüler gibi geniş açıklık gerektiren yapılarda uzay kafes sistemi (Şekil 3.2) kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Uzay kafes strüktür (URL-7, 2009)

Uzay kafes sistemler üç ana grupta incelenir:

- İskelet sistemler,
- Yüzey sistemler,
- Asma (kablo veya membran) sistemler

Tüm sistemlerin verimli çalışması üzerine etkiyen tüm yükleri dağıtma ve iletme yeteneğiyle taşınmaktadır. Dolayısıyla sistemin üzerine etkiyen yük, tekil yük bile olsa, bağlantı konumlarından dolayı, uzaktaki bağlantı elemanlarına da etkimektedir. Sistemin hafif ve modüler yapısal özelliğe sahip olması kolaylıkla montajının ve demontajının yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Sistemler alt ve üst hatların arasındaki mesafe sayesinde sistemin arasında kalan boşlukların havalandırma ve tesisat borularının geçirilmesine olanak sağlamaktadır. Sistem elemanların düğüm noktalarında birleşme metotları çok çeşitli olmakla birlikte en uygun birleştirme metodu, dolu küreler üzerinde önceden açılmış olan deliklere boru elemanlarının uç kısımlarındaki civatalar yardımıyla bağlanmasıdır (Tekgüvercin, 2002). Uzay kafes sistemlerin hiperstatik sistemler olması, modüler şekilde büyüyebilen bir yapısı olması, hafifliği, montaj kolaylığı, standart elemanlardan oluşabilmesi, geniş açıklıkları geçilebilmesi, stabil sistemler olması, estetik kaygılarını giderilebilen çözümler sunması, nakliyesinin kolaylığı, ekonomik olması birçok avantajı vardır. “Dövülebilir nitelikte olan demir, yüksek derecede çekme mukavemetini sağlaması keşfi, eski ustaların, demir veya ağaç çubuklarını birbirilerine bağlanmaları ile deneme girişimlerinde bulunmaları, uzay kafes sistemlerin doğuşu olarak kabul edilmektedir.” (Tekgüvercin, 2002).

3.4.2.2. Katkılı Beton

Beton, genel olarak çimento, su, agrega ile katkı maddelerinin karışımından oluşan ve yapılarda en yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Betonun tarihçesine baktığımız zaman farklı amaçlarla da olsa yaklaşık olarak 5.000 yıldan beri kullanılmaktadır. Eski Mısırlıların kil harcını piramitlerin yapımında kullanması, günümüzdeki beton kavramının temelini oluşturmuştur. Günümüzde beton hem taşıyıcı eleman, hem de bir dekoratif öge olarak ortaya çıkar. Dayanıklılığı, yangına karşı direnci, su geçirmezliği, ekonomik üretimi, enerji verimliliği, yerinde imalat kolaylığı bakımından da beton başlıca tercih nedenlerindendir.

1848 yılında, beton ve demirin karıştırıldığı harcı ilk kullanan kişi Fransız çiftçi Joseph Louis Lambot, betonarmenin temellerini atmıştır (Çakmak, 2017). Betonarmenin ilk patentini 1855’de, çağdaş yapı sistemlerinin öncülüğünü yapan Fransız mühendisler

Coignet ve Monier tarafından alınmıştır (Görkem, 2009). Dolayısıyla zamanının yapılarına kıyasla daha yüksek bina inşasına olanak vermesi ve yüksek dayanımı ile mimar ve mühendislerin yapılarda çok sık kullandığı bir malzeme haline gelmiştir. Fakat günümüzde çok yüksek yapılarda maliyetinin yüksek oluşu, homojen bir yapısının olmamasından dolayı statik proje hesaplarında hata payına olanak vermesi, uzun inşaat süresi ve her hava koşulunda dökümü uygun olmaması, sürdürülebilir ve yenilenebilen bir malzeme olmaması, düşük çekme dayanımı, betonarmenin ağırlığına göre dayanımının düşük olması nedeniyle ağır yapı elemanı olarak değerlendirilmesi nedeniyle yüksek yapılarda kullanımı azalmıştır.

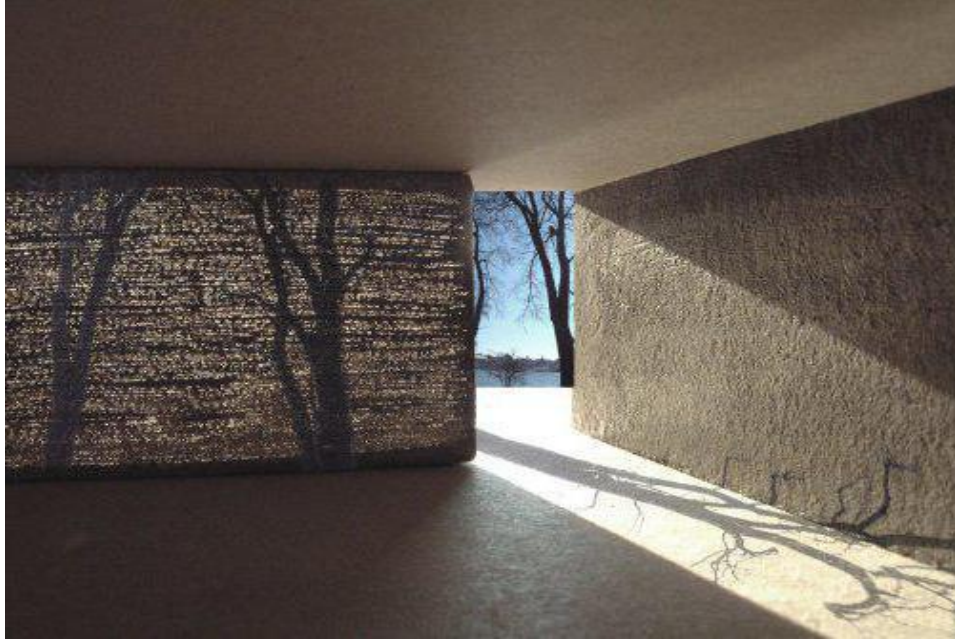
Özellikle dikey mimari anlayışı ile ilerleyen 1900'ler ve sonrası için yüksek yapı veya gökdelen tarzı yapılarda kolon ve duvar kalınlıklarının artması, yapı strüktürünü maliyetli, ağır ve dezavantajlı hale getirmektedir. Yüksek yapılaşmada taşıyıcı sistemin maliyeti, toplam maliyetin %20-30'unu kapsadığı için özellikle strüktürdeki malzeme seçimi önemli olmaktadır (Sev, 2001). Daha yüksek tasarlanan yapılarda çelik taşıyıcı sistemler yapıya alınarak, ekonomik ve mukavemeti daha yüksek yapılar ortaya çıkarılmıştır.

Günümüzde yapıya etkiyen gereksiz yüklerin azaltılması ve daha hafif yapı arayışları, ağır bir malzeme olarak bilinen betonu, laboratuvar ortamında gerekli katkı maddeleri kullanılarak daha hafif bloklar halinde tasarıma dahil edilmesini sağlamıştır. “Aynı zamanda beton yapımında kullanılan kum, çakıl veya çimentonun bir kısmı beton yapısında %75 oranında hava boşlukları meydana getirilerek veya geleneksel agregalar yerine hafif veya çok hafif agregalar kullanılarak, betonun birim hacim ağırlığı azaltılabilmekte, birim hacim ağırlığı 800 kg/m^3 'ten fazla, 2200 kg/m^3 'den düşük olan betonlar hafif beton olarak adlandırılmaktadır.” (Tuğrul ve Sev, 2015). Hafif beton, betonda hava kabarcıkların oluşturulması ya da hafif agregaların dahil edilerek ağırlığı azaltılıp, yoğunluğu düşürülmesi ardından basınçlı kapta fırınlanması ile elde edilmekte olup, betona göre daha yalıtımlı bir malzemedir. Akışkan yapısı, bulunduğu yüzeyde yüzey düzgünlüğü sağlayabilen, aynı zamanda içinde bulunan donatıyı tamamen kavrayarak korozyona karşı da koruyabilmektedir. “İçine çelik yerine organik fiberler katılarak 6-8 kat daha dayanımlı, aerodinamik, hafif, pürüzsüz, düşük gözenekli, zorlu hava koşullarına dayanıklı “ultra yüksek dayanımlı beton-ductal” gibi farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır” (Altun, 2007).

Günümüzde taşıyıcı hafif betonlar özellikle yapının zati ağırlıklığını azaltmak ve açıklıkların arttırılmasında kullanılmaktadırlar (Yazıcıoğlu ve Bozkurt, 2006). Taşıyıcı

hafif betonlar duvar, panel, çatı, köprü açıklıklarında kullanılmaktadır. Lydon, yüksek katkılı betonun basınç dayanımının içine konulan agreganın türüyle değişebileceğini ve betonun içindeki yoğunluğuna bağlı olarak artış gösterdiğini belirtmiştir (Topçu, 1997; Yaşar vd., 2003). Hafif agregaların kullanılması yapının ölü yükü azaltır ve betonun içinde kullanılması gereken demir donatı ihtiyacını da azaltmaktadır. Hafif beton kavramının geliştirilmesi ve malzemeye farklı maddeler eklenerek, tasarımların odak noktası haline getirilmesi, mimarlar tarafından deneysel bir alan yaratmıştır.

Macar Mimar Aran Losonczy tarafından geliştirilen yarısaydam beton (Şekil 3.3), beton içerisine cam liflerinin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Burada optik cam, malzemeye agrega gibi katılarak ışığın geçebileceği istenilen transpranlığı sağlamıştır. Farklı ebatlarda blok şeklinde üretilabilmektedir.



Şekil 3.3. Yarı saydam beton uygulaması (URL-8, 2017)

Basınç dayanımı betonun basınç dayanımına yakın olduğu için taşıyıcı olarak kullanabilmeye olanak tanımaktadır. 20 metreye kadar olan duvarlarda ışığı aynı oranda geçirebilmektedir (Kurzweil, 1999). Yüksek katkılı betonun farklı şekillerde karşımıza çıkması, dayanıklı ve uzun ömürlü olması, yerel olarak elde edilebilmesi, ısı depolama özelliğinin olması, zehirli gaz salımının az olması, ısı adası oluşturmaması, çok yönlü ve estetik olması gibi nedenlerle sürdürülebilir tasarımda tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir. Yüksek katkılı betonların bu özelliklerinden dolayı gelecekte de teknolojik gelişmeler paralelinde daha yüksek dayanımlı, hafif, sürdürülebilirlik özellikleri

kazandırılmış, nano malzemelerle zenginleştirilip stabilitesi artırılmış farklı beton malzemeleri de üretebilmek için çalışmalar hala devam etmektedir.

3.4.2.3. Çift Eğrilikli Cam Sistemler

“Cam, kristalleşmeden katı hale gelinceye kadar soğutulmuş, inorganik bir ergime ürünüdür.” (Sev vd., 2003). Camın genel olarak ana maddesi olan silikonoksitlerdir. Ancak germanyum, boron, fosfor ve arsenik gibi birçok kimyasal bileşenden de oluşabilmektedir. Mimarlığın geçmişten günümüze gelen yeterli ışık ve saydamlık kaygısı, geçirgen mekanların yaratılması, her daim ulaşılması gereken bir hedef olmuştur. Yapı endüstrisinin gelişiminde cam malzemesi, yapıları estetik açıdan geliştirmiş ve farklı tasarımlarında ortaya konulmasında bir başlangıç materyali haline gelmiştir. Camın yapılara dahil edilmeye başlanmasından bu yana malzemenin teknik özellikleri geliştirilerek yapıda %80-85 oranında yapının soğutmasındaki enerji tüketimini azaltarak daha verimli çalıştığı görülmüştür (Sönmez ve Kıasf, 2018). Bu doğrultuda geliştirilen camın optik özellikleri, ısısal özellikleri, teknik özellikleri ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle günümüzde çok çeşitli bir malzeme olarak yer almaktadır. Zaman içerisinde geliştirilen cam, içerisine farklı maddelerin eklenmesiyle çeşitlenmiştir. Günümüzdeki çağdaş yapıların enerji etkinliği kapsamında cam malzemesi önemli bir yer tutmakta ve verimli sonuçlar vermektedir. Camlar,

1. Basit cam,
2. Flotal cam,
3. Isıyla güçlendirilmiş cam,
4. Temperli cam,
5. Lamine cam,
6. Yalıtımlı cam,
7. Fotosensitif cam,
8. Fotokromik cam,
9. Kristalize cam paneller olarak sınıflandırılmaktadır (Sev vd., 2003).

Sanayi Devrimi öncesi incelendiği zaman, yapılar büyük çoğunlukla masif duvarlarla taşınılmaktaydı. Yapı endüstrisinin gelişmesiyle 19. yüzyılda dökme demir ve çeliğin kullanılmaya başlanması, ardından çerçeve sistemlerin oluşturulması, bu masif duvarlara olan bağımlılığı ortadan kaldırmıştır. Bu durum, taşıyıcı çerçevelerin arasındaki boşluğu değerlendirme imkanı vermiştir. Dolayısıyla tasarlanan bina cephelerinde özellikle cam kullanımı, hafif olmaları, estetik görünümleri, ışığı kırma özelliği, imalat ve

montajlarının kolay olması, iklime karşı direnci, kolay temizlenmesi ve diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha az yer kaplaması nedenleriyle kısa zamanda yapıların vazgeçilmez bir yapı kabuğu haline gelmiştir. Cam, gerçigen yapısıyla, mimaride sınır kavramını yeniden biçimlendirmiştir ve bu sayede yüzyıllar boyunca mimari tasarım üzerinde etkili bir malzeme olmuştur. “Düz camların yerine kullanılmaya başlanan renkli camlar, ısı ve güneş kontrol kaplamaları, temperleme, laminasyon, opaklaştırma, gaz doldurma gibi belirli işlemlerin uygulanmasıyla güvenlik, dayanıklılık, yalıtım açısından beton, mermer gibi malzemeler ile ölçüşebilecek hale gelmiştir.” (URL-9, 2011).

Yapılarda ilk olarak pencerelerde kullanılmaya başlanan mimari cam, insanların gün ışığını içeri almak amacıyla yapılara dahil edilmiştir. Tarihin gelişimi içinde ve özellikle orta çağ Gotik mimarlığında, kiliselerde renkli cam kullanımı görülmüştür. 16. yüzyılda belirli ebatlarda üretilebilen camlar, sadece kiliselerde değil, yerleşim binalarında da uygulanmaya başlanmıştır. Ardından 19. yüzyılın ortalarına doğru yaygınlaşmaya başlayan sera yapılarında, camın küçük parçalar halinde kullanılarak çok büyük mekanları örtebileceği gösterilmiştir. Endüstri devrimi ile birlikte camın demir ve çelik ile beraber kullanılmaya başlanması ile yapılarda daha geniş açıklıklar geçilirken, gün ışığından maksimum verim sağlanmış ve tasarımlar bu yönde geliştirilmiştir. Farklı niteliklerde kullanılmaya başlanan camlar, günümüzde genellikle bir taşıyıcı yardımı ile yapı kabuğunda bulunmaktadır. Fakat gelişen teknoloji ile farklı rekreasyon alanlarında, tarihi yapılarda uygulanan çağdaş yapı eklerinde, kendini taşıyan sistemlerin kolon, kiriş, döşemelerin de cam olarak tasarlanabildiğini görmekteyiz. Camın hafif yapı strüktürlerinde kullanılan diğer bir alanı da cephe sistemleridir. Her tasarıma göre farklı nitelikte kullanılarak yapının genellikle dış kabuk strüktüründe giydirme cephe (Şekil 3.4) olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.4. Giydirme cephe (URL-10, 2018)

Silikonlu giydirme cephe sistemleri, sistemin kendi taşıyıcı çerçevelerine yüksek dayanımlı özel silikon uygulanarak, camların yerleştirilmesiyle ortaya çıkan sistemlerdir. Kapaklı veya kapaksız olarak uygulanabilen bu sistemler, dört yönlü ya da iki yönlü taşıyıcı sistemleriyle taşınabilmektedir. Tırnaklı strüktürel silikonlu sistemler, yangın güvenliğinin ön planda tutulması istenen projelerde uygulanmaktadır. Yangın sırasında silikonların erimesi halinde camı tutma görevini tırnaklar üstlenmektedir. Yarı kapaklı strüktürel silikonlu cephe sistemlerinde kapaklar camın tutulmasını sağlarken, kapak olmayan tarafta boyu 1,20 metreyi aşan camlarda rüzgar yükünden sehim yaratabilecek kısımlarda camı tutucu klipsler kullanılmaktadır (URL-11, 2014).

Camın giydirme sistemlerinde, yapının cephelerini örtücü bir eleman olarak uygulanmaya başlanması, 20. yüzyılın sonlarında başlayan enerji krizi dolayısıyla yapılarda enerji etkinliği konusundaki kaygıları da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle yapıların havalandırma, aydınlatma gibi tesisat gereksinimlerini karşılarken sarf ettiği enerji miktarını azaltmak ve bu kapsamda camın üstlenebileceği görevler üzerinde yapılan çalışmalar geliştirilmiştir (URL-9, 2011). Camın performansının istenilen özellikler doğrultusunda (radyasyona karşı koruma, dayanımı, gürültüyü absorbe etmesi, ısı dengesi yaratması, doğru ışık kırılımı sağlaması gibi) üzerine uygulanan kaplamalar veya filmler camın özelliğini değiştirmektedir. Cam teknolojisindeki gelişmeler, cephelerde oluşturulan

bir filtre değil, aynı zamanda enerji de üretebilen ve güneş ışınlarına doğru yönlendirebilen bir sistem haline gelmiştir. Işığı yönetme ve özelliklerine göre camlar:

1. Yüzey Kaplamalı Camlar
2. Dikroik Kaplamalı Camlar
3. Low-e Kaplamalı Camlar
4. Sır Kaplamalı Camlar
5. Açısal Seçici Camlar
6. Geçirgenliği Değişebilir Camlar
7. Fotokromik (Işığa Duyarlı) Camlar
8. Termokromik (Isıya Duyarlı) Camlar
9. Elektrokromik Camlar
10. Gazokromik Camlar
11. Holografik Camlar olmak üzere sınıflandırılmaktadır (URL-9, 2011).

Yüzey kaplamalı camlar, camın yüzeyine metal ya da metal oksitten yapılmış ince tabakaların yerleştirilmesi ile yarı şeffaflık, yansıtıcılık, enerji üretimi ve yalıtım gibi farklı özellikler kazandırılan camlardır. Dikroik kaplamalı camlar, ışığı spektral renklere bölmekte ve belirlenen dalga oyundaki ışığı geçirip, diğer ışınları yansıtma özelliği olan camlardır. Bu sayede günün farklı zaman dilimlerinde değişken bir etki yaratmaktadır. Low-E kaplamalı camlar, diğer camlara oranla 3 kat daha fazla ısı korunumu sağlamaktadır. Soğuk ortama kaybedilen ısıyı azalmakta ve sıcak iç ortamdaki ısınn yüksek oranda korunmasını sağlamaktadır. Low-E camların yüzeyinde bulunan ışık geçirimine sahip kalın metal kaplama sayesinde, güneşten gelen kızılötesi ve UV ışınları yansıtılmaktadır. Sır kaplamalı camlar gün ışığının içeriye girerken dağıtılarak alınması prensibine dayanmaktadır. Cam yüzeyinin bir sır tabakası ile kaplanmasıyla elde edilen kaplamalı cam, aynı zamanda gün ışığının rahatsız etkilerinden korumaktadır. Açısal seçici camların özelliği gün ışığından dik gelen ışınları bu ışınları engelleyerek yataya yakın açıda gelen ışınları geçirmeleridir. Geçirgenliği değişebilir camlar, dışarıdaki iklim değişikliklerine adapte olarak, iç mekan koşullarının dengede kalmasını sağlamaktır. Farklı hava durumlarına göre şeffaf halden, yansıtıcı hale geçebilmektedir. Bu özelliği sayesinde ışık geçişini kontrol edebilir ve geçirgenlik durumunu değiştirebilmektedir. Dolayısıyla

büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlayıp, yapıda ısıtma ve soğutma sistemi gereksimini de azaltmaktadır. Üzerine kaplanan film tabakaları ve arasına yerleştirilen likit kristaller cama bu özelliği vermektedir. Dışarıdan gelen ışık, ısı ve elektriğe karşı yüksek derecede duyarlı olan cam, kendi optik koşullarını ortamın durumuna göre değiştirebilmektedir. Camın içerisindeki sıvı kristallerin düzenli hale geçmesi ile cam saydamlaşmakta, dağınık hale geldiğinde ise matlaşmaktadır. Fotokromik camlar, ışığa duyarlı camlar anlamına gelmektedir ve yapısındaki metallerin optik özellikleri sayesinde, gelen ışığın yoğunluğuna bağlı olarak, camın ışığı absorbe özellikleri de değişmektedir. Gelen ışık miktarının artması camın ışığı emme oranının artmasını sağlarken, azalması ise geçirgenliğinin değişmesini sağlamaktadır. Termokromik camlar, ısıya duyarlı camlar anlamına gelmektedir. Camın katmanları arasına sıkıştırılmış sıvı ya da jel, camın sıcaklığa bağlı olarak geçirgenliğini değiştirmektedir. Sıcaklık arttığı zaman camın saydamlığı ve netliği azalırken, sıcaklık azaldığı zaman netleşmektedir. Sistemin dezavantajı ise gelen gün ışığının iç mekana girişinin azalmasıdır. Elektrokromik camlar manuel olarak ya da yapının otomasyon sistemine bağlı olarak renkli durumdan, renksiz hale getirilebilmektedir. Sistem içindeki elektrik akımı camın optik değerlerinin değişmesini sağlamaktadır. Camın bu özelliği arasına sıvı kuvars film tabakası yerleştirilerek veya ince metalik bir filmi camın yüzeyine yerleştirmekle elde edilmektedir. Gazokromik camlar, elektrokromik camlarda kullanılan elektrik akımına karşılık kendi cam katmanları arasına hidrojen vererek sağlamaktadır. Hidrojenin yoğunluğuyla özellikleri değişen camın renk değeri değiştirilebilmektedir. Holografik camlar, camın arasında bir film tabakası üzerine uygun desenlerin işlenmesiyle lamine edilerek elde edilmektedir. Üzerine gelen güneş ışığının yansıtılmasını sağlarken, gök ışığını emen özelliktedirler.

3.4.2.4. Membran Sistemler

İnsanların barınma mekanlarından biri olan çadır, tarihi çok eskilere dayanan basit bir taşıyıcı strüktür olmasına rağmen günümüzde özellikle büyük açıklıklı stadyumlar, spor salonları, pazar yerleri gibi mekanlar çadır strüktüründen ilham alınarak tasarlanmaktadır. Çadır strüktüründe kullanılan malzemeler, ağaç gövdesi veya dalları iken, strüktürü örmesi istenen kaplama malzemesi olarak hayvan derilerinden yararlanılmıştır. İlerleyen dönemlerde çadırı örten üst örtüde keçe veya kumaş da kullanılmıştır (Varol, 2021). Günümüzde hafif strüktür malzemeler kapsamında destek malzemesi olarak çelik, alüminyum kullanılırken, örtü malzemesinin yerini de üzerinde dış etkilere karşı koruma tabakası olan, sentetik malzemeler almıştır. Teknolojideki ilerlemelerle artık germe

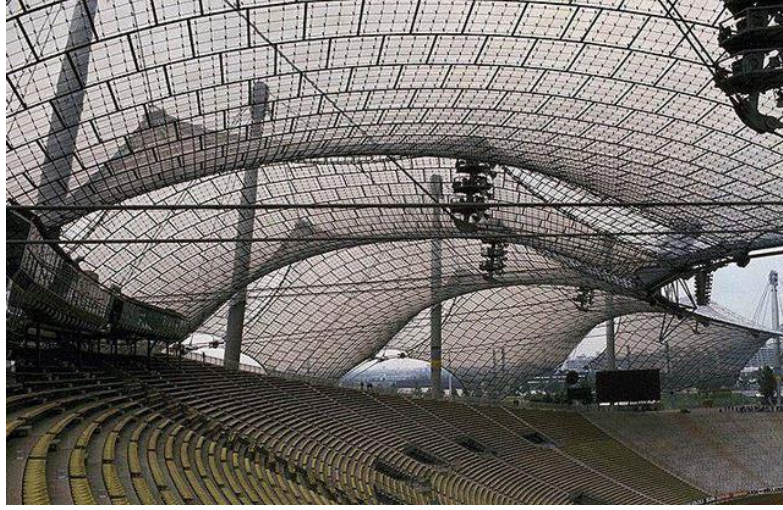
sistemler olarak yapı sektörüne dahil olan bu sistemler, yüksek teknoloji bir sistem olarak anılmaktadır. Çadır strüktüründen ilham alarak gelişen asma germe sistemler, çadırın basınç ve eğilmeye çalışan strüktüründen farklılaşmış ve sadece çekme yüküne göre tasarlanan germe yapı sistemi olarak ortaya çıkmıştır.

Modern germe yapıların öncüsü kabul edilen Frei Otto, 1950’li yıllarda tasarladığı, açıklıkları 25 metreyi geçmeyen fuar kanopileri, giriş kanopileri, dans alanları ile bu asma germe sistemlerin temelini atmıştır. O dönemlerde malzeme teknolojisinin yetersizliği, örtü malzemesinin yeterli mukavemeti gösterememesi, Otto’yu tasarımlarında kısıtlayan bir faktör haline gelmiştir (Dansık ve Şahin, 2016; URL-12, 2016). Otto’nun ilk çalışması sayılan, 1955 yılında Almanya’da Fuar Alanı için tasarladığı sistem olmasına rağmen en önemli çalışması olarak bilinen ve 1972 yılında Günther Behnisch ile birlikte tasarladığı, Münih Olimpiyat Stadyumu (Şekil 3.5) olmuştur (Dansık ve Şahin, 2016; URL-12, 2016).



Şekil 3.5. Münih Olimpiyat Stadyumu (URL-13, 2017)

Germe yapıların üst örtü malzemesinin göz ardı edilebilecek ağırlığı sayesinde geleneksel yapılara kıyasla daha hafiftir ve eğilme rijitliği yoktur. Asma germe sistemlerin düşey taşıyıcılarında genel olarak mafsallı kolon ve onların stabilitesini sağlayan halatlar ile tasarlanmaktadır. Otto’nun zamanın teknolojisini kullanarak tasarladığı hafif strüktür ağ sistemlerden (Şekil 3.6) hala günümüzde ilham alınmaya devam etmektedir.



Şekil 3.6. Otto'nun ağ sistemi (URL-13, 2017)

Germe yapıların ayakta kalabilmesi için yüzeyinde oluşacak gerilmeler ve yapının formu çok önemlidir. Esnek membran örtüleri veya halatlarla desteklenen sistemde, sadece çekmeye dayalı yapı elemanları kullanılmaktadır. Halat boşlukları arasına yerleştirilebilen plegsiglas malzemesi ile yapıda yüzey alanı az olan kaplamalar yaratılmaktadır. Dolayısıyla asma germe sistemlerin ayakta kalabilmesi ve hafif strüktürün yaratılması için kullanılan özel bir kumaş olan membran malzemesi, liflerden oluşan iplik dokumasıyla özel olarak elde edilmektedir (URL-14, 2020). Malzemenin üretiminde farklı yöntemlerle oluşturulan iplikler bir araya getirilir. “Liflerin birbirine paralel ve düz ya da döndürülerek birleştirilerek, dokuma ipliği haline getirilirler. Ancak döndürülerek oluşturulan dokuma iplikler, düz olarak oluşturulan ipliklere göre yük altında uzama miktarı daha fazla olacağından, eğilmeye karşı daha dirençli ve daha esnek olacaktır.” (URL-14, 2020). Genel olarak dokuma ipliğini oluşturan liflerin döndürülme miktarı, alanı, gerginliği ve dokuma yöntemine de bağlı olarak daha gergin veya daha gevşek dokumalar elde edilebilmektedir. Membran yapılarda kullanılan lifler; naylon, polyester, cam, PTFE ya da aramid olabilir (URL-15, 2009). Membran örtünün dışarıdaki etkilere açık yapısı nedeniyle su ve hava geçirmezliği sağlamak için kimyasal kaplama işlemleri uygulanabilmektedir. Dokuma ve kaplama arasındaki kimyasal yapışma ile iki malzeme bir bütün gibi davranmaktadır. “Membran dokumanın kaplama malzemesi olarak PVC, PTFE ve silikon kullanılmaktadır.” (URL-15, 2009). Ana kaplamaya ek bir kaplama yapılarak, örtüye farklı özellikler kazandırılabilir. Örtünün kendi kendini temizlemesi, ultraviyole dayanımının artırılması gibi özelliklerle dış etkilere karşı ek performanslar kazandırılabilir (Dansık ve Şahin, 2016).

3.4.2.5. Pnömatik Sistemler

Pnömatik sistemler bir veya daha fazla katmanlı membran tabakasından meydana gelen ve iç mekan ile dış mekan arasındaki basınç farkı yaratılarak taşınan sistemlerdir. Dolayısıyla pnömatik sistemler membran sınıflarında da yer alabilmektedir. Mimaride malzeme teknolojisinin hızla geliştiği 20. yüzyılda kullanılmaya başlayan pnömatik sistemler, genelde büyük açıklık geçilmek istenen, portatif mekanlar için tasarlanmıştır. Hafif olması, kolay söküm takım işleminin olması, maliyetinin az olması, esnek bir yapı olması, inşa süresinin kısa olması ve inşa edilirken ihtiyaç malzemelerinin az olması, iş gücünü azaltması, kolay taşınabilmesi ve en önemlisi afet durumundaki insanlara yeterli kaçış süresinin sağlanabilmesi gibi etmenler pnömatik sistemlerin tercih edilme nedenlerinin arttırmaktadır. Genelde geçici yapılarda karşımıza çıkan bu sistemler askeri birimler, spor birimleri ve depo birimleri gibi mekanlarda kalıcı olarak da inşa edilebilmektedir.

Sistemin oluşturulma ve taşınma prensibinde iç basıncın, dış basınca göre daha fazla olması gerekmektedir. Dolayısıyla şişme sistemler olduğundan genelde yapı formları kavislidir, düz yüzeyler elde edilememektedir. Şişirilen membranlar kar ve rüzgar gibi yükleri de direkt zemine aktarabilirler. Membran malzemesinden oluşan pnömatik sistemlerde farklı etkiler nedeniyle delik oluşması durumunda uzun sürede sönmesi, mekanda bulunan insanlar için yeterli tahliye süresi vermektedir. Aynı durum afet anında da geçerli olup, tahliye süresinin yeterliliği pnömatik yapıların güvenli yapılar olduğunu ortaya koymaktadır. İstenilen basınç düzeyine göre pnömatik sistemlerdeki membran tabakalar tek veya çift tabakalı olarak yapılabilmektedir. Tek tabakalı şişme sistemlerde (Şekil 3.7) alçak basınç sağlanırken, çift tabakalı olan sistemlerde (Şekil 3.8) yüksek basınç uygulanmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.7. Tek tabakalı şişme sistem (URL-16, 2019)

Tek tabakalı olan şişme sistemler fanlar yardımıyla tümüyle şişirilmektedir. Oluşturulan kapalı mekanlara giriş çıkışların hava sızıntısının engellenmesi adına kontrollü olarak sağlanması gerekmektedir. Tek tabakalı pnömatik sistemlerin dezavantajı, giriş çıkış esnasında hava sızıntısı olması ve ardından içerideki hava basıncın azalması nedeniyle sönebilmesidir. Bu nedenle hava sızıntısını azaltmak amacıyla şişme sistemleri basınç kontrollü çift kapılı olarak veya döner kapılı rüzgar sistemleri olarak tasarlanması uygundur. Çift tabakalı olan şişme sistemler de ise hava basıncı iki membran zar arasında oluşturularak şişmesi sağlanır (URL-17, 2019).



Şekil 3.8. Çift tabakalı şişme sistem (URL-18, 2017)

Yapının kabuğu haline gelen şişme sistemin avantajı giriş çıkış esnasında hava sızıntısı yaratmaması ve rüzgar kontrolü gerektiren kapı sistemlerine gereksinim duyulmamasıdır. Dolayısıyla iki membran arasındaki hava basıncı sayesinde şişen sistemde iç mekandaki hava normal basınç altındadır (URL-17, 2019).



Şekil 3.9. Tek tabakalı ve çift tabakalı sistem basınç karşılaştırması (URL-16, 2019)

3.4.2.6. Tekstil Sistemler

Mimari strüktürde tekstil, 20. yüzyılda asma germe sistemlerle beraber kullanılmaya başlanmıştır. Membran sistemlerle ilişkilendirilen tekstil sistemler, dokuma özelliklerinin değişimine göre geçirgenlik, esneklik ve dayanım gibi özellikleri de değişmektedir (Gezer, 2008). Tekstil ve mimarinin birlikteliği ile çağdaş çekme gerilmeli strüktürler tasarlanabilmektedir. Ayrıca hafif bir strüktür malzemesi olan tekstil, çağdaş yapılarda tercih sebebidir. Geometrik şekilde yapılabilmesiyle kendi sistemi içerisinde taşınabilen tekstil sistemler çeşitli katlama teknikleriyle de mimariye farklı bir yön vermektedir. Sadece yapısal ve statiksel avantajlarının yanı sıra estetik kavramı göz önüne alındığında da tekstil sistemler sadece kendi başına ön plana çıkmaktadır. Malzemenin fonksiyonelliğin ötesinde, görselliği ön planda tutularak yapılan uygulamalarında, tekstil malzeme yapı üzerini örtmek amacıyla çatı strüktüründe ya da cephe strüktüründe hareket, boyut ve görsellik kazandırılması yönüyle kullanılmaktadır. Tekstil malzemesini strüktürel bazlı ele aldığımız zaman Nox/Lars Spuybroek'in Hollanda'da Eindhoven yakınlarında oluşturduğu rekreasyon alanı olan, Son-O-House Ses Galerisi (Şekil 3.10), kendi sistemi içerisinde taşınan bir tekstil sistemdir. Yapının akustik fonksiyonu ile birleşmesi istenen mekan, tekstil malzemesiyle çözümlenmektedir (URL-19, 2018).



Şekil 3.10. Son-O-House Ses Galerisi (URL-20, 2018)

Aynı şekilde Burj Al Arab Oteli'nin yelkenli formdan ilham almasıyla (Şekil 3.11) cephedeki arasına yerleştirilen ve yelken bezini andıran tekstil, çift tabakalı PTFE kaplı elyaf kumaş olarak tasarlanmıştır. Tekstil kullanılmasının yapıya ışık kontrolünün sağlanabilmesi, hava girişlerine izin vererek yapı içerisindeki ılıman hava kontrolün sağlanması ve estetik açıdan aydınlatma sistemleriyle yüzeyine farklı cephe görselleri

verilebilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Statik olarak Burj Al Arab'ın hafif çelik yapı strüktürü hafif bez kumaşlarla bütünleşmiş ve yapıya fazla yük bindirilmesinin önüne geçilmiştir (URL-21, 2020).



Şekil 3.11. Burj Al Arab tekstil cephesi (URL-22, 2020)

3.4.2.7. Ahşap Sistemler

Ahşap sistemler, daha çok ızgara strüktür biçiminde taşınarak, sürdürülebilirlik, minimum malzeme gereksinimi, hafiflik, hızlı ve uygun maliyetli inşaya olanak tanınması, geniş açıklıklı mekanların oluşturulması gibi olumlu özellikleriyle çağdaş yapılara çözümler sunmaktadır (Naicu vd., 2014). Aynı zamanda hafif olmasına karşın eğilme momentlerine dayanıklı olan ahşap, kolay bükülebilen de bir malzemedir (Charest vd., 2019). 21. yüzyılda modelleme ve dijital tekniklerin gelişmesiyle ahşap ızgara sistemlerin hızla tasarlanması ve üretilmesi sağlanmıştır. Sayısal olarak (CNC), bilgisayarlı tasarımda (CAD), mühendislik hesaplamalarında (CAE), imalatta (CAM) gibi yazılımların gelişmesi üretim hızını ve dolayısıyla ahşap ızgara strüktürlü yapıların tasarımını arttırmıştır (Tang vd., 2013). Çağdaş yapılarda kullanılan ızgara ahşap strüktür tekniği, aslında tarih boyunca insanlar tarafından kullanılmıştır. Moğol çöllerindeki göçebe halkın barınma ihtiyaçları doğrultusunda kesişen esnek dallarla oluşturduğu sistem, günümüzdeki ızgara strüktür sisteminin doğuşu olarak kabul edilmektedir (Koç ve Gür, 2021). Üzeri hayvan derileriyle veya kumaşlar yardımıyla kapatılan göçebe çadırları, günümüzde de ilham alınarak kullanılan bir sistem haline gelmiştir.

Çağdaş mimaride 1964 yılında Alman mimar Frei Otto tarafından Stuttgart Teknik Üniversitesi'nde Hafif Yapılar Enstitüsü kurulmuş ve ahşap ızgara sistem çalışmaları yapılmıştır. Dolayısıyla ilk modern ahşap ızgara strüktürü çalışmaları yürütmesinden

dolayı Frei Otto modern ahşap ızgara strüktürlerin temsilcisi sayılmaktadır (Haddal Mork vd., 2016; Songel, 2020). Statik çalışma yönünden çelik uzay kafesden farklı olan ahşap ızgaralar (Şekil 3.12), uzay kafesteki mafsallı düğüm noktalarında basınç ve çekme dayanımı, ahşap ızgara sistemdeki sadece montaj yerlerinde gevşek bir mafsal gibi davranarak sağlar. Diğer kabuk tasarımlar her taraftan gelen yükleri karşılayabilirken, ızgara ahşap kabuk şeklinde tasarlanan yapılar, sadece kirişlerin eksenleri doğrultusundaki yükleri karşılayabilmektedir. Bu nedenle ızgara ahşap kabuklarda kayma blokları yerleştirmek, rüzgar yüküne karşı kirişlere ek bağlantılar atılması, düğüm noktalarına çapraz kablo bağlantısı eklemek ya da kirişler üzerine rijitliği artırıcı kaplama plakaları yerleştirmek gibi önlemler alınmaktadır (Koç ve Gür, 2021).

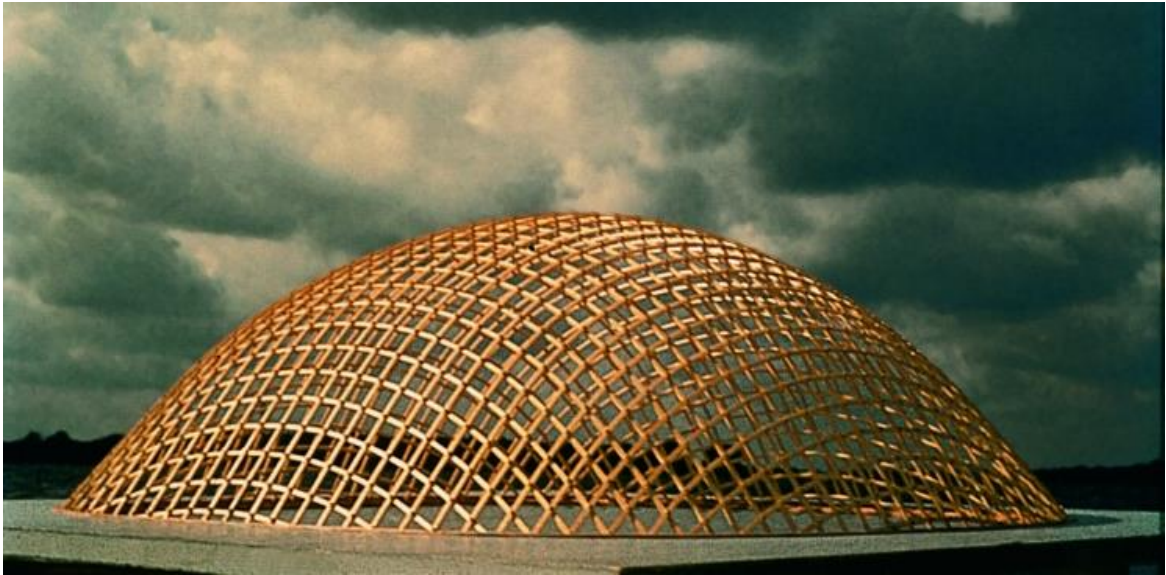


Şekil 3.12. Izgara ahşap strüktür (URL-23, 2020)

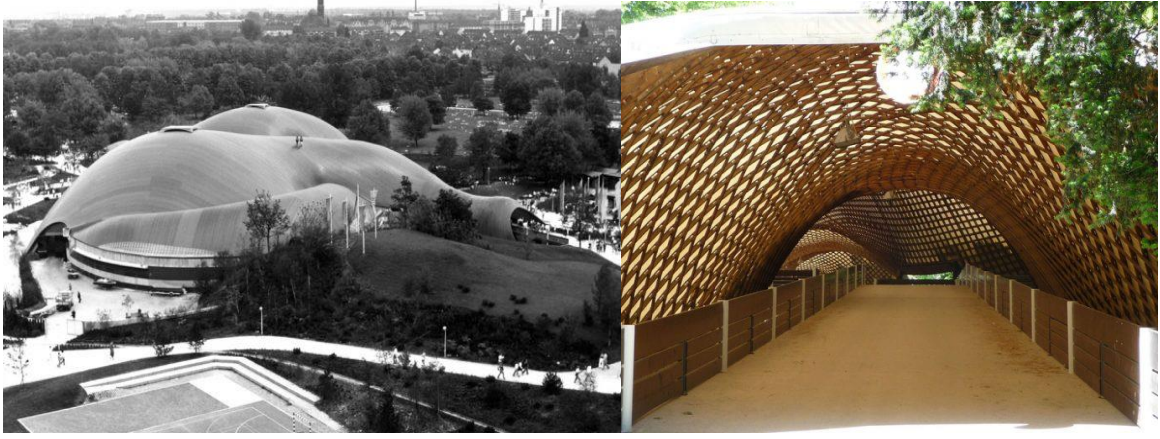
Geniş açıklıklar geçerken artan kiriş kalınlığının diğer taşıyıcı sistemlere göre az olması, estetik görünüm sunmaları, betonarme sisteme göre hafif olmaları, kullanılan malzeme miktarına göre ekonomik olmaları (Fritzsche, 2013), yerel ahşap malzemenin kullanılabilmesi, ara boşlukları sayesinde yeterli aydınlatmanın sağlanabilmesi ya da tesisatlar için yeterli boşluk sağlanabilmesi (Paoli, 2007), portatif olması, hızlı söküm takım işlemi olması, diğer malzemelere göre daha ekolojik olması gibi etmenler mimarların tasarımlarında ahşap ızgara strüktürlerini tercih etme nedenlerindendir. Doğal

bir malzeme olmasından dolayı günümüzde çok tercih edilen sistem, ahşabın fırınlanıp ardından kurutulması sonucunda taşıma kapasitesi arttırılarak, strüktür malzemesi olarak kullanılmaktadır. Elde edilen “tutkallı ahşap”, “kızıl ya da sarı çam esaslı tabakaların birbirine yapıştırılmasıyla meydana gelmektedir (Altun, 2007). Malzemenin eğilme ve bükülme performansı sayesinde daha çok geniş açıklık istenen ve eğrisel formlarda tasarlanan konferans salonları, oditoryumlar gibi mekanlarda daha çok kullanılmaktadır.

Ahşap ızgara sistemler, genellikle bir kabuk şeklinde yapıda var olarak, kendini taşıtmasını iki yönlü olarak dörtgen modülü şeklinde uygulanmalı ve basınç ile kesme kuvvetlerine dayanmalıdır. Rijit ahşap ızgara kabuk sistemler, ön üretimli olup, önceden fabrikalar istenilen boyuta getirilmiş ve delinmiş şekilde sahaya getirilmektedir. Ardından hızlı bir şekilde sahada parçaların birleştirilmesiyle yapı ortaya çıkmaktadır. Sistemin inşa edilme süresi, iklim şartları, arazinin koşulları ve büyüklüğüne bağlıdır. Rijit ahşap ızgara kabuklar halinde tasarlanan sistemler ise genellikle üç yönlü olarak üçgen modülü şeklinde tasarlanmakta ve montaj esnasında deformasyonu önleyen prefabrike elemanlardan meydana gelmektedir (Naicu vd., 2014). Bu alanda Otto’nun Essen Pavilion (Şekil 3.13) tek tabakalı ahşap ızgara kabukların ilk örneklerinden olup, sistem avantajları sayesinde mimarların bu alandaki çalışmaların hızını da arttırmış, 1975 yılındaki Multihalle Mannheim (Şekil 3.14) yapısı tasarımıysa ilk çift tabakalı ahşap ızgara kabuk sistemi olmuştur (Koç ve Gür, 2021).



Şekil 3.13. Essen Pavilyonu (URL-24, 2015)



Şekil 3.14. Multihalle Mannheim (URL-25, 2018)

Almanya'daki bu gelişmelerden sonra İngiltere'de Buro Happold tarafından tasarlanan Dünya Merkezi İngiltere'de inşa edilen ilk ahşap ızgara kabuklu yapı olmuştur. Sürdürülebilirlik ve geri dönüşümlü yapılar kapsamında önemli bir örnek olan Expo 2000 Hannover Japan Pavilyonu'nda (Şekil 3.15), ahşap kirişler yerine, geri dönüşümlü kağıtların tutkal yardımıyla katmanlar halinde yapıştırılmasıyla suya dayanıklı boru biçimindeki kütük kirişler haline getirilerek ahşap ızgara kabuk sistemini bir adım öteye taşımıştır. Elde edilen bu hafif strüktürün üzerinin membranla örtülmesi sayesinde yapı dışında kabuk benzeri bir form yaratılmıştır.



Şekil 3.15. Japon Pavilyonu (URL-26, 2017)

Multihalle Mannheim elastik ahşap ızgara kabukların en önemli örneklerindendir. Ardından sonraki yıllarda inşa edilen Centre Pompidou Metz, Toskana Thermal Bad Orb, Cite Musicale yapıları rijit ahşap ızgara kabukların en önemli örneklerinden olmuştur. Günümüzde ise bilgisayar teknolojileri sayesinde gelişmiş hesaplama ve üretim teknikleriyle rijit ahşap ızgara kabuk sistemlerin tasarlanması devam etmektedir. Elastik

ahşap ızgara kabuk sistemindeki tasarımda ve üretimdeki zorluklar nedeniyle yerini rijit ahşap ızgara kabuklara bırakmıştır (Liuti ve Pugnale, 2015; Haddad Mork vd., 2016).

3.5. Hafif Strüktürün Avantajları ve Tercih Edilme Nedenleri

Mimaride hafif strüktürler, teknolojinin yardımıyla bizlere ve çevresine daha faydalı olması ve yapıdaki sorunları en aza indirmek için üretilen hafifliği ile ön plana çıkarak, geniş tasarım yelpazesi sunan malzemelerdir. Dikey yapılaşmaya olanak tanınması, yapıda gereken hafifliğin sağlanması, yapıda dayanımın arttırılması, geniş açıklık geçilmesi, sürdürülebilirlik, tasarımsal esneklik, hafif strüktür malzemelerinin üretim amacıdır. Dolayısıyla günümüzde hem yapıya, hem de çevresine sağladığı katkılar sebebiyle projenin tasarım aşamasında hafif strüktür malzemeler daha çok tercih edilmektedir. İnşa edilen projeler, malzemeler yardımıyla yapı teknolojilerini de bir adım ileriye taşımıştır. Mimarideki bu yeni eğilimler, farklı form arayışlarını ve tasarımsal yaklaşımları da beraberinde getirmektedir. Formlar fonksiyonu takip eden organik, ekolojik, dinamik, esnek, taşınabilir, portatif, ekolojik metamorfozları esas alan yaklaşımları oluşturmuşlardır (Balmond ve Smith, 2002; Kubo ve Salazar, 2004; Leackh vd., 2004; Pilar, 2005; Ritter, 2007; Kronenburg, 2007). Bu yaklaşımlar hafif strüktür malzemelerle oluşturulmuş yapılara belirli avantajlar sağlamaktadır. Hafif strüktür malzemelerinin yapıya sağladığı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Sürdürülebilirlik avantajları
2. Yapısal/Statik avantajları
3. Enerji etkinliği kapsamında avantajları
4. Deprem Yüğü karşısında avantajları
5. Yangın karşısında avantajları
6. Afet sonrası avantajları

3.5.1. Sürdürülebilirlik Avantajları

Sanayi devriminin beraberinde getirdiğı kentlerdeki hızlı nüfus artışı, kontrolsüz kaynak ve enerji tüketimine neden olmuştur. Dolayısıyla doğal çevrede ve atmosferde oluşan tahribatlar, enerji ve kaynak tüketiminde büyük bir paya sahip olan inşaat sektöründe, sürdürülebilirlik ölçütlerini düşünerek yapıların tasarlanması gerektiğini göstermiştir (Tuğrul ve Sev, 2015). Bu bağlamda yenilenebilir, dinamik, değişken geometriye sahip yenilikçi malzemeler, yapı sektöründe enerji korunumu açısından anahtar rol oynamaya başlamıştır. Hızlı söküm takım yapılabilmesi, inşa süresinde kolaylık

sağlaması, esnek tasarıma olanak vermesi, portatif ve kolay nakledilebilen, strüktürel hafifliği sayesinde yapıda temel yükünü azaltan, tesisat kolaylığına imkan veren hafif strüktür malzemeler, sürdürülebilir yapı teknolojilerinin önemli bir basamağı haline gelmiştir.

Günümüz mimarlığı çevreyle ilişkili, sürdürülebilirlik kavramlarına öncelik veren ekolojik yaklaşımlara yönelmekte, tasarımlar da bu anlayış temel alınarak geliştirilmektedir. “Malzemenin yenilenebilmesi, geri dönüştürülebilmesi, düşük enerji tüketmesi, toksit olmaması, kendini onarması, değişime yatkın olması gibi özellikler, ekolojik mimarinin malzemeye dayalı tasarım boyutunu oluşturmaktadır.” (Gezer, 2012). Gelişen yapı endüstrisinin olanaklarıyla üretilen yenilikçi ekolojik malzemelerle gün ışığından maksimum verim alabilme esasına dayalı olarak ortaya çıkan ve enerjinin aktif ya da pasif olarak depolanabilmesi için “güneş mimarlığı” adıyla ön plana çıkan yaklaşım zamanla tüm tasarımlarda farkını ortaya koymuştur. Bu bağlamda enerji tasarrufu yapabilen, hatta kendi enerjisini üretebilen tasarım yaklaşımları yapılarla entegre olmaya başlamasıyla, ekolojik mimarinin de temelleri atılmıştır. Daha çok otomasyon alt bazlı olan sistemler, teknolojinin de yardımıyla akıllı yapı kavramıyla gündeme gelmeye başlamıştır. Teknolojinin gelişimiyle değişebilen ve uyum sağlayabilen akıllı yapılar, değişimlere tepki verebilen yapılar olarak tanımlanmaktadır. Binaların gün ışığı, havalandırma ve aydınlatma olarak kullandığı enerjiyi mümkün olduğunca kendi bünyesinde doğal, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak üretmesi, depolayabilmesi hedeflenmiştir.

Çelik strüktürün camla birlikteliği ile üretilen cephe kabuklarının tasarımları sayesinde yapı üzerinde rüzgar yükünün azalmasına katkıda bulunması ve ısıtma-soğutma, havalandırma sistemlerine gereksinimleri azaltarak, yapıların yılda %70’e yakın enerji tüketimini ve karbondioksit emilimini azaltması ve doğal havalandırmayı sağlayabilmesi çelik yapıların enerji etkinliği kapsamında büyük fayda sağlamaktadır. Aynı zamanda cephelerde kullanılan cam, sonsuz bir döngü içerisinde geri dönüştürülebilir bir malzemedir (URL-27, 2010). “Camın geri dönüşümüyle kum, soda ve kireç doğal kaynakları korunmasının yanı sıra enerji tüketiminde %25 azalma, hava kirliliğinde %20 azalma, maden atığında %80 azalma, su tüketiminde ise %50 azalma sağlanmaktadır.” (Savcı ve Dikmen, 2015). Aynı zamanda yapı malzemelerinin cephede ve çatıda biriken yağmur sularının depolanması ve ihtiyaç duyulan yerlerde kullanması sağlayarak, binalarda suyun kullanımı azaltılmaktadır. Bina cephelerinde, doğal havalandırma imkanı sağlayacak şekilde tasarımın gerçekleştirilmesiyle, mekanik sistem gereksinimi azalmaktadır ve hasta bina sendromunun yaşanması engellenmektedir.

Yenilikçi malzemelerle tasarlanan akıllı bina cephelerinde doğal aydınlatma ve doğal havalandırmanın sağlanmasıyla bina kullanıcılarının konforu artmaktadır (Sönmez ve Kıasif, 2018). Özellikle hafif strüktür malzemelerinden cam, yüksek katkılı beton ve membran sistemlerinde ısı tasarrufu sağlanması, ısıнын yapıda depolanması, dönüştürülmesi ve yeniden kullanabilmesi öne çıkarken, çelik ve tekstil sistemlerin yapıda kullanıldıktan sonra geri dönüştürülebilmesi ve farklı yapılarda yeniden kullanılabilmesi çevreye sürdürülebilir avantajlar sağlarken, yapıda da ekonomik avantajlar yaratmaktadır.

3.5.2. Statik Avantajları

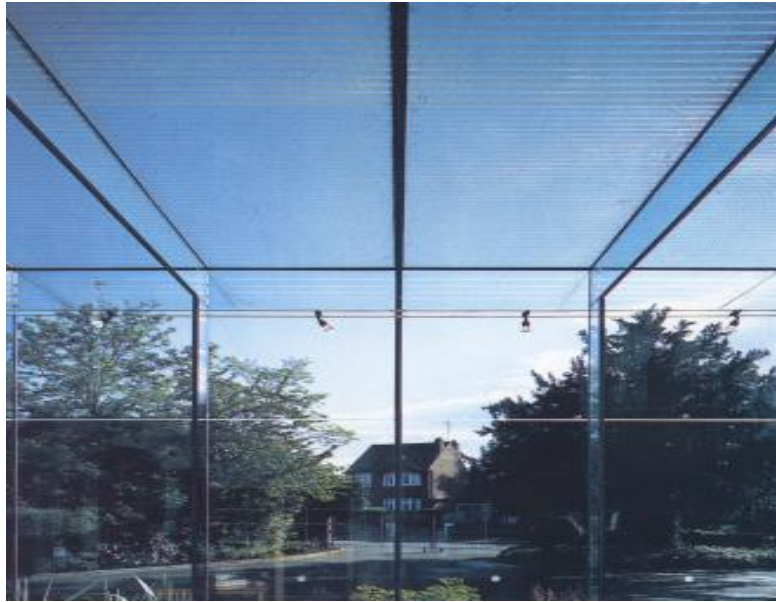
Çağdaş dönemde hafif strüktür malzemelerin doğuşu, kentlerin nüfus artışıyla dikey yapılaşmaya gitmesi, mimarların daha yüksek bina yapma yarışı gibi isteklerin getirdiği statik sorunlarıyla başlamıştır. Geleneksel sistemlerle yapıdaki yeterli açıklığın sağlanamaması, tasarımsal açıdan yeterli yüksekliğe çıkılabilecek dayanımın sağlanamaması ve yapıya gereksiz yük binmesi gibi statiksel sorunlar, mimarları hafif strüktür malzemelerini geliştirmeye ve tasarımlarında bu yenilikçi malzemeleri kullanmaya itmiştir. Çelik, yüksek katkılı beton, uzay kafes sistem ve ahşap strüktürlerin betonarme çerçeve sistemine göre daha hafif oluşu, aynı yapıyı betonarme ile yapıldığı zamana göre daha hafif yapı yükü oluşturmamasından dolayı yapıda biriken ölü yükü de azalmaktadır. Kolon sayısı daha az olduğu geniş açıklıkları geçmede öncü olan bu malzemeler, yapıda tasarımsal açıdan esneklik sağlamıştır. Bununla beraber afet durumlarında sistemin hafifliği ve yeterli tahliye süresinin sağlanması konusunda daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

Yapıya statiksel avantajların sadece çelik, yüksek katkılı beton, uzay kafes ve ahşap strüktürler kapsamında değil, cam strüktürler kapsamında da farklı statiksel çözümler geliştirilmiştir. Mimar Brenet Richard, Midlands Cam Müzesi'nin (Şekil 3.16) ek binasında kaplama ve strüktürel elemanların cam malzeme olarak seçerek (üst örtü, cephe kaplaması, kolon, kiriş) cam malzemenin sadece bir kaplama elemanı olarak değil, taşıyıcı eleman özelliğinde yapıda var olabildiği.



Şekil 3.16. Midlands Cam Müzesi ek yapı (URL-28, 2015)

Bu durum camın taşıyıcı eleman olması konusunda yeni bir tartışma konusu başlatmıştır. Yaygın araştırmalar ve deneyler sonucunda camın fiziksel özellikleri değiştirerek oluşturulan filigran camlar strüktürde taşıyıcı kolon, kiriş (Şekil 3.17) vasfında kullanılabilir (Tuğrul ve Sev, 2015).



Şekil 3.17. Cam Müzesi kirişleri (URL-28, 2015)

Buna Stuttgart Cam Kubbesi (Şekil 3.18) örnek verilebilir. Kubbe strüktürünün başka bir taşıyıcı strüktüre gereksinim duymadan 1 cm kalınlığında çift eğrilikli cam

panellerin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Kendi kendini taşıtabilen bir dayanıma sahip strüktür 8.5 metre açıklık geçebilmiştir.



Şekil 3.18. Stuttgart Cam Kubbesi (URL-29, 2009)

3.5.3. Deprem Yüğü Karşısındaki Avantajları

Yer altında bir anda ortaya çıkan enerjiyle sismik aktivelerin fay hatlarında çatlamlar ve kırılmalar yaratması sonucunda oluşan sismik dalgalanmaların oluşturduğu sarsıntılara deprem denmektedir. Depremin yarattığı sarsıntılar depremin yer kabuğundaki derinliğine, türüne ve büyüklüğüne bağlıdır. Depremin büyüklüğü moment büyüklük ölçeği veya Richter ölçeği ile belirlenmektedir. Dolayısıyla bu ölçeğe göre 3'ün altındaki büyüklükte olan depremler genelde hissedilmezken, 7 ve üstü büyüklükteki depremler yıkıcı olabilmektedir (URL-30, 2019). Depremlerdeki sismik dalgaların yarattığı sarsıntılar yeryüzündeki canlı ve cansız her şeye etki etmektedir. Ortaya çıkan sarsıntılar büyüklüğüne göre can ve mal kayıplarına ya da ciddi hasarlara neden olabilmektedir.

Yapılarda, zeminin deprem titreşimleri altındaki bir yöne olan hareketiyle, yapının kütlelerinin de atalet kuvvetleri ile buna karşı direnmesi sonucu dinamik nitelikteki deprem kuvvetleri oluşur. Bu etki zeminin ve üzerindeki yapının özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Temel zemini gevşek ve zayıf olduğu takdirde deprem esnasında yapının ağırlığı altında farklı oturmalarla maruz kalır. Deprem etkisi, deprem dalgalarının geçtiği zeminin özelliklerine ve üzerinde bulunan yapının statik özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterecektir. Büyüklüğü düşük olan depremlerde genelde taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında hasar gerçekleşmez, hatta içerisinde bulunan insanlar depremi hissetmezler. Orta büyüklükteki depremlerde taşıyıcı sistem hasar görmez, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında ufak çatlamlar gözlemlenebilir, yapı içerisinde bulunan insanlar için sarsıntı şeklinde hissedilir. Şiddetli depremlerde taşıyıcı sistem ve taşıyıcı

olmayan yapı elemanlarında büyük hasar gözlemlenebilir, insanlar için can ve mal kayıplarına yol açabilir.

Dolayısıyla deprem esnasında yapı ve yapıyı oluşturan elemanların deprem yüklerine karşı belirli bir dayanıma sahip olmaları gerekmektedir (Yıldırım, 2003). Dayanımın en güvenilir ölçüsü “taşıma gücü” kavramıdır. Dayanım ile beraber gelen yapının süneklik ve rijitlik kavramları, yapının depremde ayakta durabilme, deprem enerjisini sönümleyebilme kabiliyeti açısından önemli parametrelerdir. Sünekliği yapı bazında incelersek; yapının yük taşıma kapasitesinde bir azalma olmadan büyük deformasyon yapabilme özelliği olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla bir deprem anında yapının sünekliği büyük önem arz etmektedir. Yapıdaki süneklik, deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin sönümlenip, tüketilmesi ve yapının ayakta kalabilmesini sağlamaktadır. Yapı bazında rijitlik kavramı ise; yapının deformasyonlara karşı oluşturduğu dirençtir. Yer değiştirme veya burkulma hareketlerine karşı verdiği karşı etki olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda depreme dayanıklı bir yapı ancak yeterli süneklik ile yeterli rijitliğin sağlandığı zaman ortaya çıkmaktadır. Deprem yükleri kütle ile doğru orantılı olduğundan, yapıdaki yük arttıkça depremin kuvvet etkisi o derece fazla olacaktır. Dolayısıyla iki yapının dinamik nitelikleri aynı olsa dahi, ağırlığı biri diğerinden ne kadar fazla ise, ağır olan yapı, deprem yükünü daha fazla hissedecek ve daha fazla zarara neden olacaktır. Bu nedenle yapılan araştırmalar sonucunda hafif yapı kavramı hızla yaygınlaşmıştır ve günümüzde özellikle yüksek yapılar çoğunlukla hafif strüktürlerle taşınmaktadır. Yüksek yapıların taşıyıcı sisteminde kullanılan çelik, alüminyum ve ahşap malzemeleri, diğer bütün yapı malzemelerine göre daha hafif olmasından dolayı yüksek yapı strüktüründe daha fazla tercih edilmektedir. Çelik iskeletli bir yapının ağırlığı, betonarme yapıya göre %50-55 oranında daha azdır. Bu nedenle çelik yapıda deprem kuvvetlerinin etkisi yarı yarıya daha az olmaktadır. Çeliğin yüksek mukavemeti, betonarmeye göre daha küçük ve ekonomik kesitler ortaya çıkarmakta ve yapı yüksekliği arttıkça bu özellik daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır (Yıldırım, 2003). Yüksek katlı betonların deprem bölgelerinde gerekli katkı malzemeleriyle kullanılması yapıda yorulma, aşınma, çekme, çatlama sonrası yük taşıma dayanımını ve enerji yutma kapasitesini iyileştirmektedir.

3.5.4. Yangın Karşısındaki Avantajları

Zaman zaman yapılarda gerekli önlemlerin alınmaması, dış faktörler, dikkatsizlik, binadaki bakımların tam yapılmaması gibi birçok nedenler yangını tetiklemektedir. Bir yangının çıkması ve gelişmesi için üç elemanın birlikte bulunması gerekir; yanıcı bir

malzeme, oksijen ve bir ısı kaynağı. Bu nedenle çağdaş yapılarda yangın ihtimalini azaltmak, yangın esnasında yapı elemanlarındaki bozulmaları en aza indirmek, yapıya yeterli tahliye süresi kazandırmak için yapı malzemeleri ve kaplamaların dikkatli seçilmesi gerekir. Yapılardaki yangına dayanımın tanımı, "yangın yükü" ile ifade edilmektedir (URL-31, 2015). Belirli bir alan içerisinde bulunan yanıcı maddelerin 1 kilogramının yanması halinde ortaya çıkan ısıнын kilokalori olarak o alana bölünmesi ile bulunan yangın yükü, o mekanda bulunan maddelerin yanıcılığına, miktarına ve mekanın büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir (URL-31, 2015; Yazgan, 2020). Bir yapıda yangın esnasında taşıyıcı elemanların, taşıyıcı olmayan elemanların yıkılma yaşamadan, güvenli bir şekilde tahliye imkanı verebilmeleri oldukça önemlidir. Özellikle yapının döşemeler, kirişler, çatılar, duvarlar, dikmeler ve benzerleri gibi taşıyıcı elemanlarında yangın esnasında çökme yaşamaması gerekmektedir. Aynı zamanda dolgu malzemelerinin, kaplamaların, koruyucu yalıtım malzemelerin ve dekoratif elemanlarının da yangına dayanıklı olması istenir (Uysal, 2004).

Günümüzde taşıyıcı sistemlerde yangın dayanımını az olan çeliğin, gerekli işlemlerin uygulanmasıyla yangın dayanımı artırılarak, dayanımı betonarme yapılara eşdeğer düzeye getirilmektedir. Çünkü basit çelik yapılarda bile çok kolay alçı, sıva gibi farklı yalıtımlarla, yapının yangın dayanımını arttırmak mümkündür. Çelik yapıların yangına karşı yalıtımı sağlanırken, özel alaşımlı çeliklerin kullanılması, alüminyum silikat, çimento gibi yalıtım malzemelerini çeliğin üzerine püskürtülerek kapatılması gibi yöntemler kullanılmaktadır (Yıldırım, 2003). Yüksek katkılı betonlarda ise yüksek sıcaklığın etkileri normal betonla karşılaştırıldığında, hafif betonların birim ağırlıkları normal betonlardan %23'e varan oranlarda daha düşük olduğundan, ağırlık kaybının 400° – 800° C'lerde fazla iken, 1000° C'de düşük kalmış, 800° C ve 1000° C'lerde, katkılı ve katkısız hafif betonlar, bağıl olarak normal betonlardan daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir (Sancak ve Şimşek, 2006). Yüksek katkılı betonların boşluklu yapısı ve kullanılan hafif agregalar, malzemenin ısı geçirgenliğini de düşürmektedir. Bu nedenle, yapılaşmada birçok ülkede yüksek dayanımlı hafif beton üretimiyle kullanımı tercih edilmektedir (Floyd, 1986). Yüksek katkılı betonlarda pas payının artırılması ile donatının sıcaktan etkilenmesi engellemektedir. Membran ve tekstil sistemlerde malzemenin yangın direncini ölçmek için bazı yangın testleri uygulanmaktadır. Bu sayede membran ve tekstil sistem malzemelerini yangın sınıflarına ayırarak, alev yürütmez olarak tabir edilen malzemeler kullanılır. Yapı elemanlarının yangına karşı dayanıklı malzemelerden üretilmesi, mekanı belli bir süre yangın yüküne karşı gerekli tahliye süresini sağlamaktadır.

3.5.5. Afet Sonrası Avantajları

Afet bölgelerinde deprem, yangın, sel gibi durumlarda insanlara barınma ihtiyacını hızlı bir şekilde sağlayabilmek için geçici veya kalıcı olarak yapılaşmak ve tekrar edebilecek afet durumlarına karşı dayanıklı yapılar inşa edilmelidir. Afet bölgelerinde, konut gibi geçici barınma ihtiyacını hızlı şekilde sağlayacak prefabrike üretilmiş, ekonomik hafif çelik sistemler uygulanmaktadır. Sistemde, çerçeve strüktür yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı çerçeve sistem, yapı yüklerine moment iletecek şekilde rijit bağlanarak birlikte hareket etmesi sağlanırken, duvarlar gibi taşıyıcı olmayan bölücü duvarlar prefabrike hafif beton elemanlar, cam, giydirme cephe, metal paneller olarak tasarlanabilir. Strüktürel etkinliği kapsamında geniş açıklıklı geçici afet toplanma ve afet barınma alanları, konvansiyonel çelik yapım yöntemleri için uygun bir çözümdür. Konut gibi küçük açıklıklı, az katlı veya müstakil şekilde oluşturulan afet yapılarında bu sistemlerin uygulanması daha maliyetli kalacağından, hafif çelik yapım sistemleri daha ekonomik ve etkin sonuçlar sağlamaktadır. Eğer afet sonrası yapılaşmada hafif çelik ile oluşturulan üç kattan daha yüksek olması planlanan yapılaşmada strüktürel zorlanmalar yapıyı yıpratılabileceğinden, kompozit ahşabın ve çeliğin birlikte kullanılmasıyla strüktür güçlendirilmektedir (Ekinci vd., 2005). Aynı zamanda çelik ve ahşabın birleşmesiyle hafif ve daha ekonomik yapılaşma sağlanabilir. Özellikle çeliğin hafif olmasına rağmen yüksek dayanıma sahip olması, Türkiye gibi deprem bölgesi olan ülkelerdeki yapılaşma için çok önemlidir.

Hafif çelik üretiminin kolay olması ve konvansiyonel çeliğe göre daha ekonomik kalması, hafif çeliğin tercih nedenlerindendir. Aynı şekilde konvansiyonel çelik sistemlerin prefabrikasyon olması ve özenli denetimlerden geçmesi, konvansiyonel çeliğin afet sonrası yapılaşmada teşvik edilmesi gereken malzemelerdendir. Afet sonrası yapılaşmadaki başka bir faktör yapılaşmanın sürdürülebilir olması, geçici yapılar ise kısa sürede inşa edilmesi gerekmektedir. Örgütlenme, afet senaryosu analizlerinin yapılması ve bu senaryolara uygun şekilde bölge verileri girilerek, bölgeye ait yer seçimi, tasarım, üretim ve depolama gibi eylem planlarının uygulanması gerekmektedir.

Afet sonrası aşamalar ise nakliye, kurulum, kullanım ve kullanım sonrası önemi esas alınarak tasarlanan yapılarda malzeme seçimi çok önemlidir. Doğal çevrenin zarar görmemesi, güvenli bir malzeme olması, geri dönüşüm potansiyelinin yüksek olması ve üretimin tasarıma uygun şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlanmalıdır. Olası bir afette kullanılmaya hazır ön üretimli veya bölgede üretimi sağlanabilir mekanlar yaratılması

amacıyla kolay söküm takım işlemlerinin sağlanması afet sonrası geçici yapılaşma için önem arz etmektedir. Afet sonrası geçici birimlerin tasarımlarının afetlerde kullanıcı gereksinimleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen, hızlı kurulabilen, yüksek maliyet gerektirmeyen, enerji etkin tasarımlar olması önemlidir. Afet sonrası geçici yapılaşma dışında hasar gören binalarda tamirat işlemleri de gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla tamiratla yeniden kullanıma elverişli olan yapılarda yapısal güçlendirme ile çoğunlukla sorunlar ortadan kaldırılabilir. Doğru tamiratlar gerçekleştirildiğinde çelik bir yapıda çelik iskelete hiçbir ek yük yüklenmeden eski sağlamlığına tam olarak kavuşmakta ve bina eskisi kadar güvenli kullanılabilir. Aynı zamanda çelik yapı, şantiyede hızlı ve hava koşullarından büyük ölçüde bağımsız montaj imkanı sunmasından, yapısal güçlendirme süresi bakımından hız kazanımı sağlamaktadır. Çelik için iklim şartlarına bağlı kalınmaması, betona göre inşa süresindeki bekleme süresini ortadan kaldırır. Bu sayede afet sonrası bölgelerde hızlı kurulum ve dayanım bakımından çelik malzeme bir alternatif olabilmektedir.

Pnömatik sistemlerin istenilen her bölgeye kurulabilme olanağı ve aynı zamanda hızlı kurulum nakliye ve montaj kolaylığı sayesinde afet bölgelerinde bir başka geçici mekan olarak kullanılabilir. Özellikle hafif strüktür malzemelerden çelik ve membran malzemelerin bizlere sunduğu kolaylıklar afet sonrası geçici yapılaşmada etkili olduğu görülmüştür. Ön üretimli hafif betonlarsa çoğunlukla deprem bölgelerinde kalıcı yeni yapılar inşa etmek için tercih edilirler.

3.6. Mimari Tasarımda Hafif Strüktür

3.6.1. Tarihi Yapılarda Uygulanan Hafif Strüktür Ek Yapılar

Geçmişten günümüze gelebilen yerleşim alanları veya kalıntılar, tarihi çevreyi oluşturmaktadır. Tarihi çevreler bulundukları dönemlerin yaşam tarzlarını, mimari geleneklerini yansıtan, aynı zamanda benzer kültür ve sosyoekonomik özellikleri barındıran alanlardır. Tarihi yapı ise önceki dönemlerde inşa edilmiş ve günümüze kadar ayakta kalmış yapıtlara denmektedir. Zaman içerisindeki sosyokültür şartlarındaki değişiklikler, bilinçsiz yanlış müdahaleler, ekler, yanlış restorasyon çalışmaları, konuyla ilgili yetersiz eğitim gibi uygulamalar nedeniyle tarihi yapının geçmişiyle bağı kopmaktadır (Arabacıoğlu ve Aydemir, 2007). Dolayısıyla tarihi yapılara, kendi işlevleri veya yeni işlevlendirme kapsamında, gerekli müdahaleler sağlanarak gelecek kuşaklara aktarılması gerekmektedir.

Tarihi ve yapıyı koruma gereksinimi, yapıların daha uzun ömürlü olması adına, tarih süresince önemli bir konu olmuştur. Ekonomik, kültürel, simgesel, pragmatik, duygusal gibi birçok düşünceye ve bununla birlikte sahip olunan değerleri kaybetme kaygısıyla ortaya çıkmıştır. Bu değerlerin sahip oldukları sosyal, ekonomik, teknik ve estetik bilgilerin geleceğe aktarılabilmesi üzerinde durulması gereken önemli bir konu olarak gündeme gelmektedir (Feilden, 1982; Kiper, 2006). Özgün işlevlerini, günümüzdeki koşullarda yerine getiremeyen tarihi yapılar, varlığını ve işlevini gelecek kuşaklara aktarabilmesi için yeniden işlevlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla tarihi yapıların günümüzdeki mekanlara adapte edilmesi, yeniden işlevlendirilmesi veya tarihi yapıların kalıntılarının bütünlenmesi gibi fikirler, yapının yeni ek almasına neden olur.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber mimarlar ve mühendisler yeni malzemeler üzerinde daha çok durmuş, yapıda geniş açıklık geçilerek yapının yükünü fazla arttırmayacak yeni yapım teknolojilerine başvurmuşlardır. Bu sayede tasarlanan hafif strüktür malzemeleri, yapıların yükünü azaltırken belli başlı tasarımsal yaklaşımlarını da yapıya eklemiştir. Tarihi yapılarda yapılan yeni eklerin, yeni yapım yöntemleriyle yapıya eklenmesi kavramı günümüzde sıkça kullanılan mimari tasarımlardandır. Karşıtlık-zıtlık, gibi yaklaşımlarla ortaya çıkan hafif strüktür malzemeler, tarihi yapıya yeni tasarımlar, bakış açıları ve formlar kazandırmıştır. Tarihi yapıların günümüzdeki mekanlara adapte edilmesi, yeniden işlevlendirilmesi veya tarihi yapıların kalıntılarının bütünlenmesi gibi fikirler, yapının yeni ek almasına neden olur. Bazen de tarihi çevre korunumu veya gelecek kuşaklara aktarımı çerçevesinde, yapıların yıkılması ya da başka sebeplerden dolayı yapı boşluklarının kullanıma yeniden açılması tartışılıp, yeni yapı eklenmektedir. Her iki durumda da ortaya konan yapı, eski doku üzerine yeni bir katman niteliğindedir.

Günümüzde çağdaş toplumlarda, tarihin sürekliliği ve bütünlüğünün korunması için onu korumak kadar yeniliğin ve değişimin hızını yakalamak, teknolojinin imkanlarından faydalarak, yapıya entegre ederken, “sosyal yaşantının devamlılığını sağlama” da önem teşkil etmektedir. Bu bağlamda, tarihi dokunun fiziksel değişimini belirleyen mimari tasarım uygulamaları tarihi kentsel mekanın bütünlüğüne direkt olarak etki etmektedir. Dolayısıyla günümüzde tarihi çevrelerin işlevi, gerekli müdahale yöntemlerini gerçekleştirirken, yapının kültürel kimliğini ve değerini koruyup, gelecek nesillere aktarılmasına araç olmaktır. Teknolojik gelişmeler, fiziksel ortamın kimlik değişimine neden olurken, ortamın kültürel değerlerini ve tarihini yok edebilmektedir. Tarihi çevreler bulunduğu dönemin ihtiyaçlarına göre yeniden işlevlendirilmeli, yeni yapı ve ekler

günümüz yaşamına dahil edilmelidir. Bu sayede tarihi bilinci korumaya katkıda bulunarak kentin sürekliliği de sağlanmış olur. Mine Tanaç Zeren ek kavramının neden yapılması gerektiğini iki gruba ayırmıştır:

- 1- Tarihi yapının yeniden işlevlendirilmesiyle yeni bir ek mekan gereksiniminin ortaya çıkması; örneğin güvenlik klübesi, wc, gişeler, danışma gibi mekanlar eklerin yapıya bağlanması kaçınılmazdır.
- 2- Tarihi yapının bozulan veya hasar gören kısımlarının estetik kaygılar çerçevesinde işlevsel ya da strüktür problemleri nedeniyle çağdaş ekle tamamlanması gerekmektedir.

Hafif strüktürler, daha az malzemeyle yapıdaki gereksiz yüklenmeleri önleyerek, daha geniş açıklıkları geçebilmeleri, güneşi ve doğal havalandırmayı kullanarak yapıya sürdürülebilir enerji dönüşümü sağlamaları, malzeme etkinliği kapsamında geri dönüşüm potansiyeli taşımaları gibi özelliklere sahiptirler. Tarihi mekanları güçlendirme veya yeniden işlevlendirme kapsamında tarihi yapılara yapılan ekler genelde “Parazit Mimari”, “Karşılık-Zıtlık” adı altında hafif strüktür malzemeler ile şekillenmektedir. Hafif strüktür malzemelerinin tarihi yapıya doğru müdahalesinde, yeni üretim teknolojileriyle tarihi yapılara eklenmesi, yapının dış formunda altlık oluşturup, tarihi yapıyı ön plana çıkartılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda tasarımsal açıdan yeni bir vurgu yaratarak, geçirgen ve geçişken alanlar yaratması, tarihi mekana algıların çekilmesini sağlamaktadır. Hafif strüktür, kullanılan mekanda, mekanın algılanma biçimini etkiler, yapım teknolojisinin farklılığı zıtlık yaratarak yapının ekle bütünleşmesi hedeflendirilir ve tarihi yapıyı daha sürdürülebilir kılarak, gelecek nesile aktarılması sağlanır.

3.6.1.1. Coal Drops Yard

Yer: Londra, Birleşik Krallık

Mimar: Heatherwick Studio

Ek Uygulama Yapım Yılı: 2018

19. yüzyılda Londra’da kömürün aktarılmasını sağlamak için kanal kenarına kemer, depo ve ofislerden oluşan yapılar topluluğu inşa edilmiştir (Öztürk ve Koramaz, 2020). O dönemde önemli endüstriyel faaliyetlerin gerçekleştiği yapılar, zamanla işlevlerini yitirip farklı amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli endüstri yapısı ve demiryollarından oluşan bölge yıllar boyunca şehrin içindeki suç oranı yüksek tehlikeli alanları oluşturmuştur.



Şekil 3.19. Coal Drops Yard (URL-32, 2017)

Kömür taşımacılığı için kullanılan depolar, ambarlar ve gazometrelerin endüstriyel mirasının yok olup gitmemesi, lokasyonunun şehir merkezine yakın ve ulaşımındaki önemli konumu ile potansiyele sahip alanın, atıl kalmaması gerektiği düşüncesiyle dönüşüm süreci başlatılmıştır (Şekil 3.19). Londra içi ulaşımında aktarımların yapıldığı, şehrin büyük metro istasyonlarından King's Cross İstasyonu ile Avrupa şehirleriyle bağlantının kurulduğu St. Pancras Uluslararası Tren İstasyonu ve Eurostar gibi önemli ulaşım noktalarına yakın bir konumdadır. Büyük bir kentsel dönüşüm projesi olan King's Cross Central Gelişim Projesi kapsamında bölgede bulunan önemli ulaşım ağlarını güçlendirmiş, ticari, kültürel, eğitim ve kamusal alanlar olarak yeniden tasarlanmış ve atıl kalmış mekanlarda sosyal ve ekonomik canlılık hedeflenmiştir. Viktorya Dönemi'ne ait kömür depoları ise alışveriş, kültür, eğlence merkezi olarak yeniden işlevlendirilmiştir (Argent, 2001). Geçmişte ticarete önemli rol oynayan yol, kanal ve demiryolunun kesiştiği bir noktada bulunması kullanımını şekillendirmiştir. 1851'de inşa edilen Doğu Kömür Deposu üzerinde üstü geniş açıklıklı ahşap çatı olarak tasarlanmıştır. Bitişik viyadüklerden oluşan uzun ve kapalı yapı 48 birimden oluşmaktaydı. Kömür taşıyan trenler raylarla alana girip çıkar ve depolama kısmına malzeme bırakırlardı (Öztürk ve Koramaz, 2020). Çeşitli sirkülasyon alanlarıyla (iskele, avlular, viyadükler gibi) alanlar birbirine bağlanmaktaydı. Dolayısıyla Doğu Kömür Deposu endüstri mirası açısından ikinci derece tescilli yapının ulaşım açısından da önemi farklıdır (Argent, 2001). Batı Kömür Deposu, 1860'ta, Doğu Kömür Deposu'na benzer tasarım anlayışı ile inşa edilmiştir.

Yapının dış duvar ve kemerleri, binanın iç hacimlerinin fonksiyonel tasarımıyla ilk yapıdan ayrılır niteliktedir. Depolar II. Dünya Savaşı'na kadar olan süreçte belirli firmalar tarafından üretim ve depo yeri olarak kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sonrası dönemde karayolu taşımacılığının artması, demiryoluyla yolcu ve mal sayısının azalmasıyla, bazı

binalar depo olarak kullanılmıştır. 1983 yılında büyük bir yangın çıkarak yapı kullanılmaz hale gelmiş ve terk edilmiştir. Kullanılmayan depolar, 1980'lerin başlarından itibaren genellikle yasadışı partiler için kullanılmaya başlanmış, doğu kömür deposunun gece kulübüne dönüştürülmüş. Dolayısıyla zamanla bu yolla ticaretin önemini kaybetmesiyle yoğun endüstriyel faaliyetin yapılmadığı yapılar için yeni işlevler bulunmuştur. 2002 yılında bölgenin lokasyonu ve ulaşım olanaklarına yakın olmasıyla bir faaliyet merkezine dönüştürülmek, ticari, kültürel, sosyal alanlar oluşturularak kamusal alan niteliğinde düzenlemek istenmiş ve bununla ilgili dönüşüm çalışmalarına başlanmıştır. Dönüşümde hedeflenen yapıların kendi özgünlüğünü koruması, bölgenin potansiyelinin ön plana çıkarılması ve farklı fonksiyonlarla günün her saatinde canlı bir mekan olması hedeflenmiştir (Argent, 2001).

Aynı zamanda dönüşüm projesi, bölgedeki işletmelerin, ziyaretçilerin, çevrede yaşayan halk için de bir kalkınma planı olarak görülmüştür. King's Cross Central Dönüşüm Projesi 2001 yılında planlanmaya başlamış, 2018 yılında da Coal Drops Yard etabı tamamlanmıştır. King's Cross Central dönüşüm projesi kapsamındaki kömür depoları, Londra merkezli ünlü mimarlık ve tasarım firması Heatherwick Studio tarafından mağaza, restoran, kafe ve performans alanları ile ziyaretçilere farklı bir deneyim sunan bir alışveriş merkezi ve kamusal alan olarak yeniden işlevlendirilmiştir. Çevresindeki Granary Meydanı ve Regents Kanalı'nı birbirine bağlayan bir meydan ya da kamusal mekan olarak tasarlanarak, çevresiyle de bağlantı kuran bir yapıya sahiptir.

Yapının yeniden işlevlendirirken, tarihi yapının dokusu ve bütünlüğünün korunması proje için çok önemli olmuştur. Hafif çağdaş malzemelerle oluşturulan çatı eklentisi (Şekil 3.20), yapıyı formuyla meydanın odağı haline getirmektedir. Mevcuttaki yapısal elemanlara mümkün olduğunca dokunulmadan korunması esas alınmıştır. "Victoria Dönemi'ne ait plakalarla kaplanan yapı, 52 adet taşıyıcıyla desteklenen kıvrımlı çatı, 19. yüzyıla ait yapıların dokusuyla bütünleştirilmiştir. 9.290 metrekaarelik alanda restoran, bar ve kafe gibi birimler oluşturulmuştur." (URL-33, 2018; URL-34, 2018). Binanın benzersiz karakterini ifade eden dökme demir sütun, kirişler, zaman içinde eklenen rampa, yük asansörleri, asma kat pencereleri, bacalar, tuğla bölmeler depo olarak kullanıldığı dönemin izlerini taşımaktadır.

Tasarım sürecinde, teknolojinin yardımıyla yapının strüktürü üzerinde yapılan analizlerle yeniden işlevlendirme için doğru projelendirme yapılmıştır. Bununla birlikte alçak tavanlı katlar projeden çıkarılmıştır. Güney zeminde orijinal ahşap zemin tamamen korunurken, kuzeyde zemin beton dolgu ve çelikte yeniden inşa edilmiştir (Bateman vd.,

2019). Viyadükler korunup restore edilmiş, mağaza vitrinlerini oluşturmaları için hafif cam sistemler montelenmiştir. Mekanları birbirine bağlayan sirkülasyon elemanları yapıya eklenmiş, sokak hissi vererek, alandaki sirkülasyon akışkanlığı ve geçirgenliği yeniden ele almıştır. Dolayısıyla oluşturulan her alan çok sayıda girişe sahiptir.



Şekil 3.20. Çatı eklentisi (URL-35, 2019)

Cephede cam yansıtıcı panellerin kullanımı yapıya zıtlık yaratırken, tarihi dokuyu da dışa yansıtmaktadır. Aynı zamanda alandaki dolu boşluk ilişkisine dikkat çekerek, şeffaflık algısı yaratılmıştır. Bu şeffaflık algısı ziyaretçileri aşağı, yukarı, içeri ve dışarı doğru yönlendirip mekanları birbirine bağlayan çok sayıda sirkülasyon elemanı ile sokak hissi vererek, dönüşüm projesinin geçirgenliği ile beraber kapsayıcılığını vurgulamaktadır (URL-31, 2015). Dinamik etki vermesi ve endüstri mirasının devamı niteliğinde atfedilen çelik materyaller yapının güçlendirilmesini sağlarken, aynı zamanda sirkülasyon elemanlardaki kullanımıyla mekana erişilebilirlik özelliğini eklemiştir. Ortada iki çatının kıvrılarak birleştirilmesiyle oluşturulan heykelsi üçüncü katın tamamı tek birim için tasarlanmıştır. 1.850 metrekarelik mekanda tavan yüksekliği 2,8 ile 8 metre arası değişmektedir (Öztürk ve Koramaz, 2020). Çatı birleşimindeki statiksel zorluk, iki bina arasında A çerçeve yaratılarak çözülmüştür.



Şekil 3.21. Çatı altı meydan (URL-35, 2019)

Coal Drops Yard'da en çok kullanılan çelik malzeme ile çatı strüktürünü, mevcut tarihi yapıya bindirmek yerine kendi kendine taşıtmıştır. Çatıda kullanılan membran paneller, tarihi yapının mevcut dokusunun devamı niteliğindedir. Aynı zamanda çatıda güneş açıklıklarının kullanılması ve şeffaf doku, yapı içerisinde güneş ışığından maksimum verim alması sağlanmıştır. Yeni formlara sahip çatı, teknik aşamalar doğrultusunda, kendi kendini taşıtabilecek şekilde tasarlanmıştır ve yapılardan bağımsız olarak oluşan strüktürü sayesinde üst örtünün altında kapalı ve açık mekanlar (Şekil 3.21) oluşturulabilmiştir. Coal Drops Yard'ın ek yapısının tasarımı, Viktoryen endüstriyel mimarisinin ve yarattığı dokuyu kente çağdaş formlarıyla (Şekil 3.22) yeniden kazandırmaktadır (URL-36, 2019).



Şekil 3.22. Coal Drops Yard geri dönüşümü (URL-35, 2019)

3.6.1.2. Convent de Sant Francesc

Yer: Santpedor, İspanya

Mimar: David Closes

Ek Uygulama Yapım Yılı: 2011

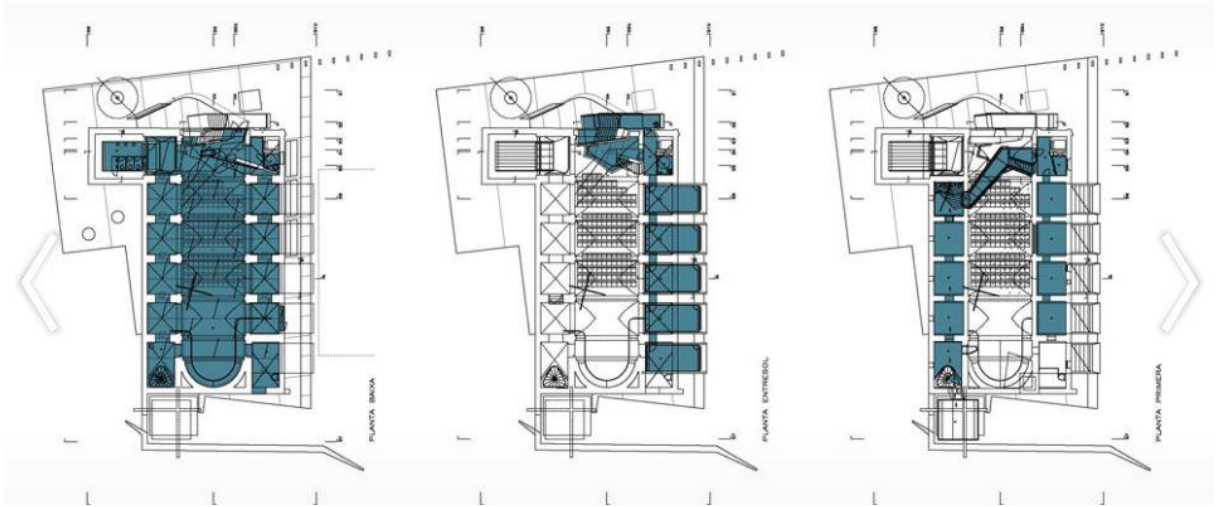
1721-1729 yılları arasında Fransiskan rahipler tarafından inşa edilen Sant Francesc Manastırı İspanya Santpedor'da bulunmakta, 1835 yılına kadar manastır olarak kullanılmaya devam edilen 285 metrekarelik alana sahip bir yapıdır (URL-37, 2021). Tonozlar ve kalın sütunlardan oluşan yapının ana malzemesinde taş kullanılmıştır. 1835 yılında yağmalanarak, yıkılmış ve harabe haline dönüşmüştür. Atıl halde bırakılması ve bölge için tehlike arz etmesinden dolayı, hükümet tarafından 2000 yılında yıkılmıştır. Çevre duvar kalıntılarının tasarımcılar için yeni bir düşünce olması, 2011 yılına kadar süren planlamalar ile Katalan Mimar David Closes tarafından yeniden işlevlendirilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Convent de Sant Francesc çağdaş yapı eki (URL-38, 2012)

David Closes, Sant Francesc Manastırı tadilatlarında geleneksel taş dokuyu tamamen koruyup, mekanın kendi özgünlüğüne saygılı bir şekilde hafif çağdaş malzemeleri uygulamıştır. Dolayısıyla yenilikçi malzemeler ile yapının dayanımı, rijitliği arttırılmıştır. Yenilikçi malzemelerle oluşturulan ve farklı hizmetler sunabilmesi için merdiven, rampa gibi çeşitli sirkülasyon elemanlarının hem yapının tarihi dokusuna zarar vermemek, hem de dinamik bir efektin yaratılması için yapının dış cephesine entegre

olmuştur (URL-37, 2021). Ayrıca bu birimlerin tarihi yapıda var olan geleneksel malzemeye karşılık, günümüzde kullanılan çağdaş, modern bir malzeme olan cam ve çelik kullanımının tercih edilmesi, yapıda karşıtlık-zıtlık tasarımsal yaklaşımı ile ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır. Geleneksel ve çağdaş malzemelerin uygulama bakımından zıtlığı karşısında, tasarımsal açıdan uyum yakalamıştır. Taş gibi opak bir malzemenin yanında, cam gibi şeffaf bir malzemeyi kullanarak dışavurumcu bir etki ve dinamiklik yaratılmıştır. İspanya'nın Santpedor kasabasında Sant Francesc manastırının kilisesine yeni çağdaş eklentilerle yapının oditoryum ve çok amaçlı salon niteliğinde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Tavan kısmının yıkılması, kiliseye doğal ışığın büyük ölçüde alınmasını sağlayarak, yapının iç mekanlarını aydınlatmıştır. Bu durum tarihi yapıda enerji etkinliği kapsamında da önemli bir nokta haline gelmektedir. Çelik ve doğal taşın birleşiminden oluşan binada yaratılan dairesel merdiven ve rampa sistemi bir mekandan diğerine sirkülasyon oluşturmaktadır. Yapının yenilenmesi, entegre edilen çağdaş hafif strüktür malzeme sistemleri kilisenin orijinal unsurlarını farklılaştırmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Farklılaşan bölümler (URL-38, 2012)

İç mekanda, malzeme ve biçimle zıtlık oluşturulurken, dairesel kemer ve tonozların iç mekanda, keskin ve köşeli hatlardan oluşan dinamik merdiven uygulaması ile birliktelik sağlanmıştır. Yapının tarihi değerlerine saygıyla hareket edilerek, hiçbir müdahalede izler ve döküntüler gizlenmemiştir. Dolayısıyla kilise içindeki doluluk ve boşluk oranını korumak için bu hacimler, bütünleşik mekan formunu koruyacak şekilde cam cephe sistemleri tasarlanmıştır. Şeffaf materyalin tercih edilmesi, yapı içine ışığı alırken (Şekil 3.25), binaya gereksiz yük yüklememekte ve dış mekanı yapı içerisine dahil etmektedir.

Işık girişleri için, apsisin kuzey yönündeki büyük bir ışıklık, nefin içinden çan kulesi manzaralı bir ışıklık, ana şapel açıklığı tercih edilmiştir ve müdahalede bulunulmamıştır.



Şekil 3.25. Yapıda doğal ışık girişleri (URL-38, 2012)

Aynı zamanda çeliğin kullanılması (Şekil 3.26), yapının strüktürel açıdan güçlenmesini sağlamıştır. Yapılan eklenti, binaya, onu geliştiren ve bu antik manastıra yeni çağdaş formuyla değer katarak koruması hedeflenmiştir.



Şekil 3.26. Tarihi yapı ve çelik (URL-38, 2012)

3.6.1.3. King's Cross İstasyonu Batı Yolcu Salonu

Yer: Londra, İngiltere

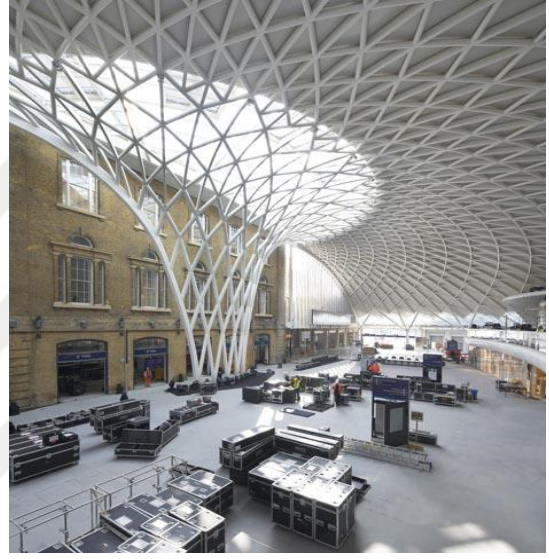
Mimar: John McAslan and Partners

Ek Uygulama Yapım Yılı: 2012

King's Cross Tren İstasyonu (Şekil 3.27) 1852 yılında Londra'da hizmet vermeye başlamıştır (URL-39, 2017). Birinci sınıf koruma kapsamına giren 160 yıllık yapı, Britanya'nın en büyük ulaşım yapılarından biridir.



Şekil 3.27. King 's Cross İstasyonu
(URL-40, 2018)



Şekil 3.28. Ağaç benzeri strüktür
(URL-40, 2018)

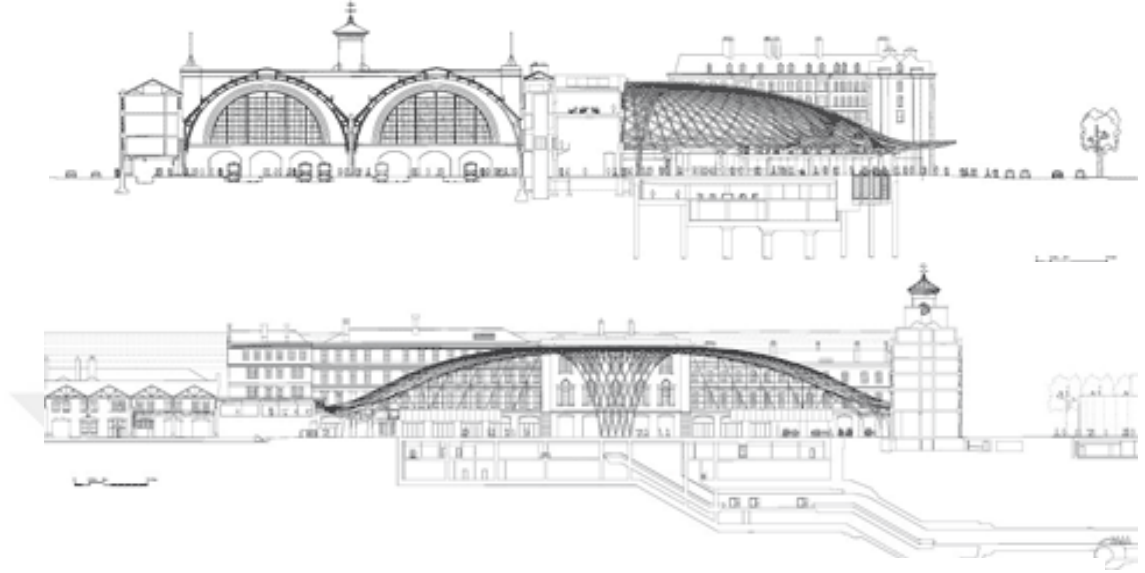
Yeniden işlevlendirilmesi ve çağdaş formların alana dahil edilmesinin istenmesiyle yeniden tasarlanan Batı Yolcu Salonu, 15 yıllık planlamanın ardından 2012 yılında halka açılmıştır. Yeniden işlevlendirilmesi kapsamında Batı Yolcu Salonu tasarımının, en yüksek noktası 20 metre olup, 150 metre uzunluğuna yayılmakta, malzeme olarak cam, alüminyum ve çelikten oluşan hafif strüktür malzemeleri ile biyomimikri tasarımın ağaç benzeri strüktürü (Şekil 3.28) tasarımında yapıda kabuk benzeri bir üst örtü olarak tasarlanmıştır.

John McAslan and Partners tarafından tasarlanan ve Arup tarafından mühendisliği gerçekleştirilen yapı 7.500 metrekarelik, 16 elik konik merkezli ağaç form kolonundan oluşan Avrupa'nın en büyük tek açıklıklı istasyon yapısı haline geldi. Batı İstasyonunun orijinal tuğla duvar cephesini değiştirmeden ve ona fon niteliğinde olacak ağdaş malzeme yapıya entegre olmuştur. Yeni eklenti yapıya 67 dönümlük yeni alanlar kazandırırken, taşıyıcı sistemini çelikle sağlayıp, bu elik materyale uygun renge boyarak tarihi yapının önüne geçmemesi hedeflenerek, bir fon oluşturması istenmiştir. Diğer hacimlerle geçit hatları, yeni platformlar ve yay köprüleriyle bağlanan eklenti, yapıdaki sirkülasyonu rahatlatır niteliktedir. st örtü (şekil 3.29), beşik tonozlu cam tavanının 1.400 adet fotovoltatik panel ile kaplanmasıyla istasyonun enerji etkinliği kapsamında tedariğini tamamlamaktadır.



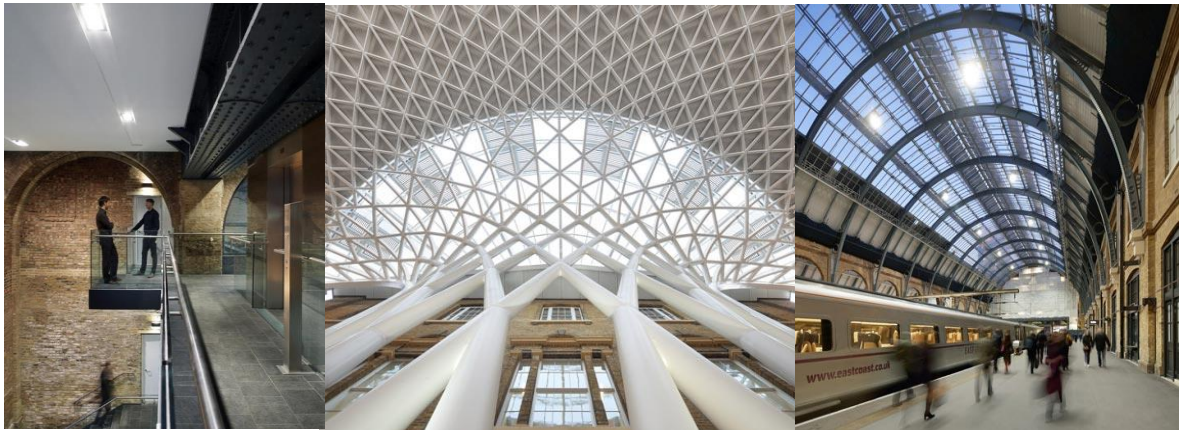
şekil 3.29. atı st rts (URL-40, 2018)

Çelik üst örtü, tarihi yapının ilgi odağı haline gelirken, mevcut yapının önüne geçmeyen, bir örtü niteliğinde binaya bağlanmaktadır. Beyaz renk fon şeklinde tasarlanan eklenti, mevcut tarihi yapının tarihi değerlerine saygılı şekilde yerleşmiştir.



Şekil 3.30. Sirkülasyon (URL-41, 2012)

Üst örtüde kullanılan cam materyalleri alana doğal ışığın geçmesini sağlayarak, yapının karanlık görüntüsünden kurtulmasına yardımcı olmaktadır. Daha çok şeffaf ara malzemelerin seçilmesi, alandaki sirkülasyonun (Şekil 3.30) geçirgenliğini ve ulaşılabilirliğini (Şekil 3.31) arttırmaktadır. Ticari ve ofis birimlerine çelik asma kat eklentileri ile insanlar daha fazla alanda tutmaktadır.



Şekil 3.31. Geçirgen ve ulaşılabilir mekanlar (URL-42, 2012)

3.6.1.4. Kassel Fridericianum

Mimar: Haus-Rucker-Co

Yer: Kassel, Almanya

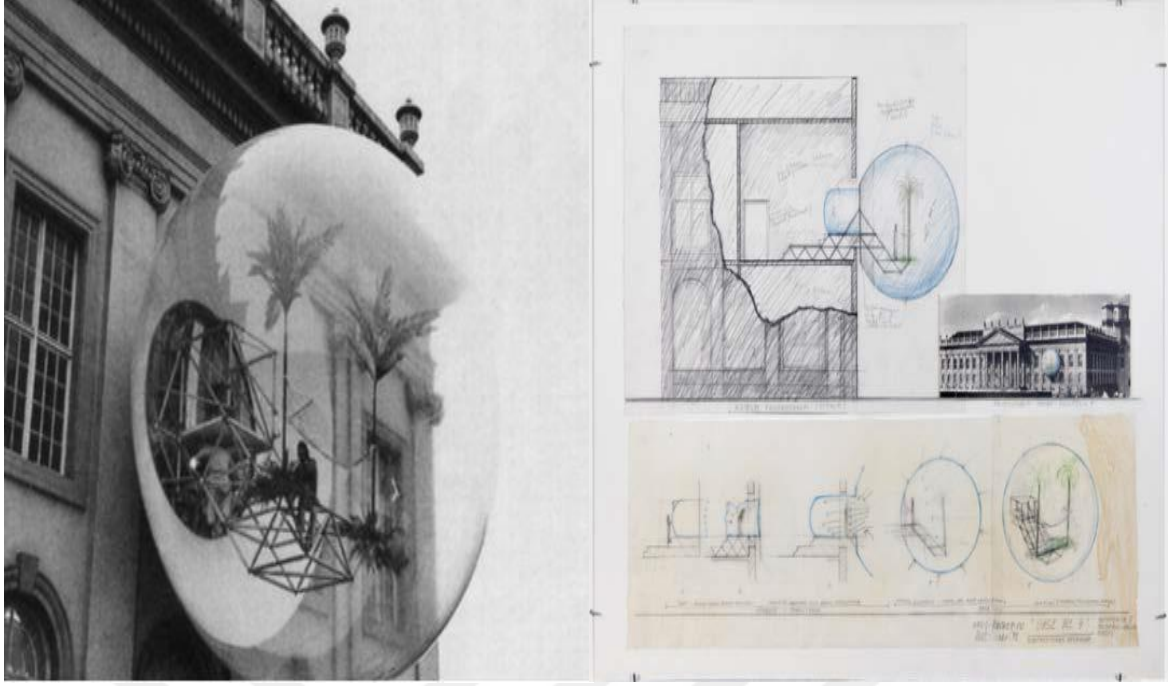
Ek Uygulama Yapım Yılı: 1972

1779 yılında yapımı tamamlanan otel, Avrupa'nın en eski halk müzelerinden biridir. Yapı, 1972 yılından beri Almanya'da her beş yılda bir gerçekleştirilen "Documenta 5" sergisi için tasarlanan, Kassel Fridericianum'un (Şekil 3.32) ön cephesindeki pencereden dışarıya doğru serginin bir fonkiyonu olarak seyir alanı yaratılmış, pnömatik sistemle şişirilmiş (URL-43, 2022). 8 metre çapındaki şeffaf bir küre olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.32. Kassel Fridericianum pnömatik ek (URL-44, 2012)

Pnömatik hücrenin bir başka adı "Oasis No.7" olarak isimlendirilip, şeffaf PVC folyo küre (Şekil 3.33), yapının penceresinden standart çelik boru profillerle cepheye sabitlenmiş, cepheden kısa bir mesafede rampaya boru şeklinde bir çelik halka takılmıştır.



Şekil 3.33. Pnömatik ek (URL-45, 2022)

Halka, bir hava pompası kullanılarak pencereden dışarıya doğru hava kompresörüyle şişirilen küreyi oluşturan PVC folyo kabuk, eklentinin dış desteğini oluşturmuştur. Sekiz metrelik şeffaf küreye yapı içerisinden çelik sistemli bir geçit diğer bir eklenti ile geçilebilmektedir (Alioğlu, 2018).

3.6.1.5. Londra Doğa Tarihi Müzesi Darwin Merkezi

Mimar: CF Moller Mimarlık Ofisi

Yer: Londra

Ek Uyguluma Yapım Yılı: 2009

Londra Doğa Tarihi Müzesi'nin (Şekil 3.34) mevcut kapasitesinin arttırılması ve ihtiyaçları doğrultusunda tarihi yapıya bağlanması istenen eklenti için açılan yarışmada 2001 yılında CF Moller Mimarlık Ofisi tarafından yapılan tasarım kazanmıştır ve uygulanmaya başlanmıştır (URL-46, 2017).



Şekil 3.34. Londra Doğa Tarihi Müzesi eki (URL-47, 2008)

Doğa Tarihi Müzesi'nin ilk yapısı 19. yüzyılda Alfred Waterhouse tarafından Yeni Romanesk üslupta yapılan anıtsal bina olup, barındırdığı 70 milyon bitki ve hayvan fosili, kaya ve mineral türleri ile dünyadaki en önemli müzelerden olmuştur (URL-46, 2017). Taşıyıcı strüktürü çelik olan Romanesk yapının hem iç hem de dış cephesinde kullanılan tuğlanın yüzeyi, doğa tarihini barındırmak ve sergilemek için inşa edildiğini anlatan, hayvan ve bitki motifleri işlenmiş olan bir yüzeye sahiptir. İlk etapta sadece Zooloji, Palaentoloji, Entomoloji, Mineroloji ve Botanik bölümlerinden oluşan müze, koleksiyonunu giderek arttırmasıyla yeni ek binalar ve sergi alanlarına ihtiyaç duymuştur. İhtiyaçları kapsamında yapılan yarışmada seçilen yeni ek yapı olan Darwin Merkezi, 2009'da tamamlanarak hizmete açılarak, 17 milyon hayvan ve 3 milyon bitki türünden oluşan koleksiyonu barındıran hem müze, hem araştırma merkezi olarak çok amaçlı hizmet vermeye başlamıştır.

Yapının içinde dışarıdan görülebilebilen kalın, yüksek katkılı beton panellerle bir koza elde edilmiştir. Doğanın küresel ısınma nedeniyle korunması gerektiği metaforunun bir görseli olan içteki yapı, fildişi sıva ile eğri yüzeyli, beton kabuktan oluşmuştur. Yapıda mekan kurgusu ve işlevinin yarattığı birliktelik sağlanmıştır. İçeride oluşturulan bu koza (Şekil 3.35), şeffaf dış cepheden de izlenebilmektedir. 60 metre uzunluğunda, 12 metre genişliğinde ve 30 cm kalınlığında, 3.500 metrekareye ulaşan iç kozadaki sirkülasyon, içeride çalışan araştırmacıları engellemeden, gözlemlene imkanı vermektedir (URL-46, 2017).



Şekil 3.35. Koza formu (URL-47, 2008)

Yüksek katkılı beton kabuk (Şekil 3.36), yapının opaklığını ve ağırlığını hissettirmesini hedeflerken, görünenin aksine hafiftir. Koza imgesinin yaratıldığı alan, köprülerin karşısındaki açıklıklar sayesinde ziyaretçileri alanın içine çekip, yapıyı, laboratuvarları izleyebilmeyi sağlıyor. Koza yapısının, dış mekanda Natural History Museum'a entegre olan çift eğrilikli cam ve çelik kabuktan görünmesi, kullanıcıların ilgisini çekip, Bu deneyim, 2009'un Eylül'ünde tamamlanmasından sonra bu dokuz katlı kozayı ziyaret edecek olan geleceğin bilim insanlarına ilham vermesi için, bilimsel çalışma alanları, sergi salonu ve 3,5 kilometre uzunluğundaki koleksiyon raflarının görülebileceği bir izleme alanında yaratılmış ve daha çok insanın alana girmesi sağlamıştır.



Şekil 3.36. Yüksek katkılı beton kabuk (URL-47, 2008)

3.6.2. Çağdaş Yapılarda Hafif Strüktür

Mimarlar, mühendisler ve tasarımcılar yapıların proje safhasından önce tasarımları için ilham alacak bir nokta ararlar. Tasarımın bu ilk adımı, diğer gelecek aşamaları da direkt olarak etkilediğinden, projeyi yönlendiren tasarımsal süreci için de önemli bir adım olmaktadır. Özellikle fosil yakıt tüketiminin arttığı 20. yüzyıl içerisinde yapı için enerjiyi, en verimli şekilde kullanılmasını amaç edinmek, tasarımcıları biyolojiye iterek, projelerinde doğanın kendi strüktüründeki enerji etkinliğini temel almışlardır. Dolayısıyla biyolojiden ilham alınarak oluşturulan bu biyomimikri tasarımsal yaklaşım, günümüzde yapı tasarımında sıkça tercih edilmektedir.

Biyomimikri terimi, Antik Yunanca'da "yaşam" anlamına gelen "bios" ve "taklit etmek" anlamına gelen "mimesis" kelimelerinden gelmektedir (URL-46, 2017; Inner, 2019). "Biyomimikri, doğanın modellerini, sistemlerini, oluşum süreçlerini ve elementlerini inceleyen ve elde ettiği bilgilerden taklit ederek insanların problemleri ve ihtiyaçlarına çözüm üreten bir tasarım disiplini." (Benyus, 1997). Biyomimikri, 1963 yılında bir bilim dalı olmaya başlamış ve bu güne dek özellikle yapı tasarımlarında gelişmiştir. Her gün yeni bir özelliğiyle ortaya çıkan yapı malzemelerinde daha etkin bir konu olan biyomimemis yaklaşımı, yapılara entegre olurken, direkt olarak malzemeden bağımsız olarak bir tümel sistemle de karşımıza çıkmaktadır. Biyomimesis ya da biyomimikri olarak adlandırılan bu yaklaşımın yapılardaki tasarım yaklaşımı gün geçtikçe geliştirilmektedir ve hala geliştirilmeye devam edilmektedir. Janine M. Benyus'a göre biyomimikrinin ilkeleri şu şekildedir;

- Gün ışığında çalışma,
- Yalnızca ihtiyacı olan enerjiyi kullanma,
- Formları fonksiyona dönüştürme,
- Tüm atıkları geri dönüştürme,
- İş birliğini ödüllendirme,
- Çeşitliliği sağlama,
- Yerel uzmanlık gerektirme (bölgeye uygun tasarım),
- Gücünün sınırlarını zorlama (Benyus, 1997).

Bitki, hayvan ve böcek gibi canlı hücreleri, hücre toplulukları ve organizmaları incelenerek, araştırmalar sonucu elde edilen verilerin, mimarlık ve mühendislik alanlarında kullanılması için yürütülen çalışmalar doğanın, en az kaynak kullanımı ile en iyi sistemi oluşturma çabasıyla tasarlanmaktadır. Doğanın enerjiyi biçimlendirme şeklini

yapılarımızın içine alırken, tasarım yaklaşımındaki formlarının da doğadan ilham alınması kaçınılmazdır. Biyomimetik bu yaklaşımlar, tasarımsal açıdan yapının bulunduğu çevreye, formuna ve yapı iskeletine yansıyabilmektedir. “Doğada gözlemlenen “ölçek”, “işlev” ve “oluşum süreçleri” insan yapımı strüktürlerden farklı olmasına rağmen, malzeme, enerji korunumu, hafiflik ve bu hafifliğe rağmen sahip oldukları dayanıklılığın pek çok mimara ve mühendise esin kaynağı olduğunu bilinmektedir.” (Arslan ve Sorguç, 2004). Dolayısıyla canlıların biyolojik formları artık tasarımlarda yer bulurken, enerji etkinliği kapsamında da mimaride önemli yerler tutmaya başlamıştır. Biyolojik organizmaların vücut enerjilerini ve doğadan aldıkları enerjiyi sönmüleme, onu kullanma ve dönüştürme olayları yapılara örnek teşkil etmeye ve referans olmaya başlamıştır. Biyomimetik tasarım yaklaşımlarında ele alınan mimari strüktürler,

- 1- Ağaç benzeri strüktürler,
 - 2- İskelet benzeri strüktürler,
 - 3- Ağ benzeri strüktürler,
 - 4- Pnömatik strüktürler,
 - 5- Kabuk benzeri strüktürler
- olmak üzere beş ana sınıfa ayrılmıştır.

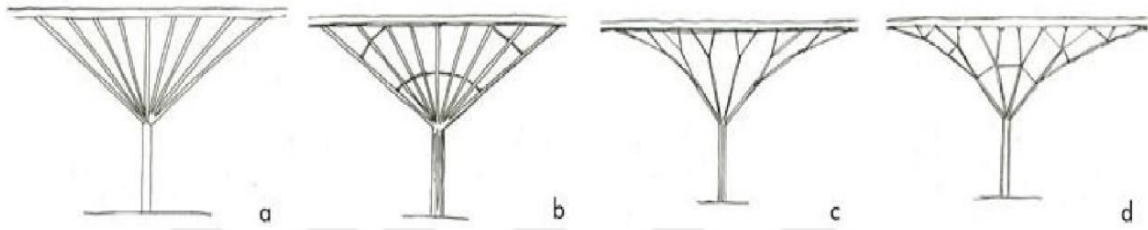
3.6.2.1. Ağaç Benzeri Strüktür

Ağaçlar, tarih boyunca, insan hayatında mimari ve strüktürel amaçlı birçok önemli görev üstlenmiştir. Mimarlık tarihi incelendiğinde ağaç benzeri strüktürler (Şekil 3.37) Gotik tarzdaki kaburgalarda gözlenmektedir.



Şekil 3.37. Ağaç benzeri strüktür (URL-48, 2018)

20. yüzyıl ve sonrasında teknolojinin gelişmesiyle mühendisler ve mimarlar doğadaki dallanmış strüktürleri temel alarak daha hafif strüktürler inşa edebilmişlerdir (Yeler, 2012). Aynı zamanda ağacın dallanmış strüktürü az miktarda malzeme gerektiren ve ince dallar tarafından arttırılabilen bir yük taşıma kapasitesine sahip olduğundan sapma miktarı az olan somutlaştırılmış bir yol ağıdır. Kings College Şapeli ve La Sagrada Familia yapılarına girdiğimizde, kolonların sanki yukarıya uzanan ağaç dalları şeklinde olduğu fark edilmektedir. Yapılan anketlerde insanlar, bu alanlara girdiklerinde ormanda yürüyormuş hissiyatı verdiğini söylemişlerdir.



Şekil 3.38. Frei Otto dallanma teorisi (URL-49, 2018)

Frei Otto'nun Dallanma Teorisi (Şekil 3.38) bunu en iyi açıklayan çalışmalardandır. Almanya'daki Stuttgart Havaalanı Yolcu Terminali'nin (Şekil 3.39) üst örtüsünü taşıyan çelik kolon formları, bu teoriden yararlanmış ağaç benzeri strüktürlerin en iyi örneklerindendir. Yapının eğimli üst örtüsü, 12 adet ağaç formu benzeri çelik strüktür tarafından taşınmaktadır.



Şekil 3.39. Stuttgart Havaalanı yolcu terminali (URL-50, 2017)

3.6.2.1.1. Masdar Genel Merkezi

Yapım Yılı: 2008 – 2012

Yer: Abu Dhabi

Mimari Tasarım: Adrian Smith ve Gordon Gill

Strüktür Türü: İskelet

Strüktür Malzemesi: Betonarme ve Çelik

Esin Kaynağı: Ağaç

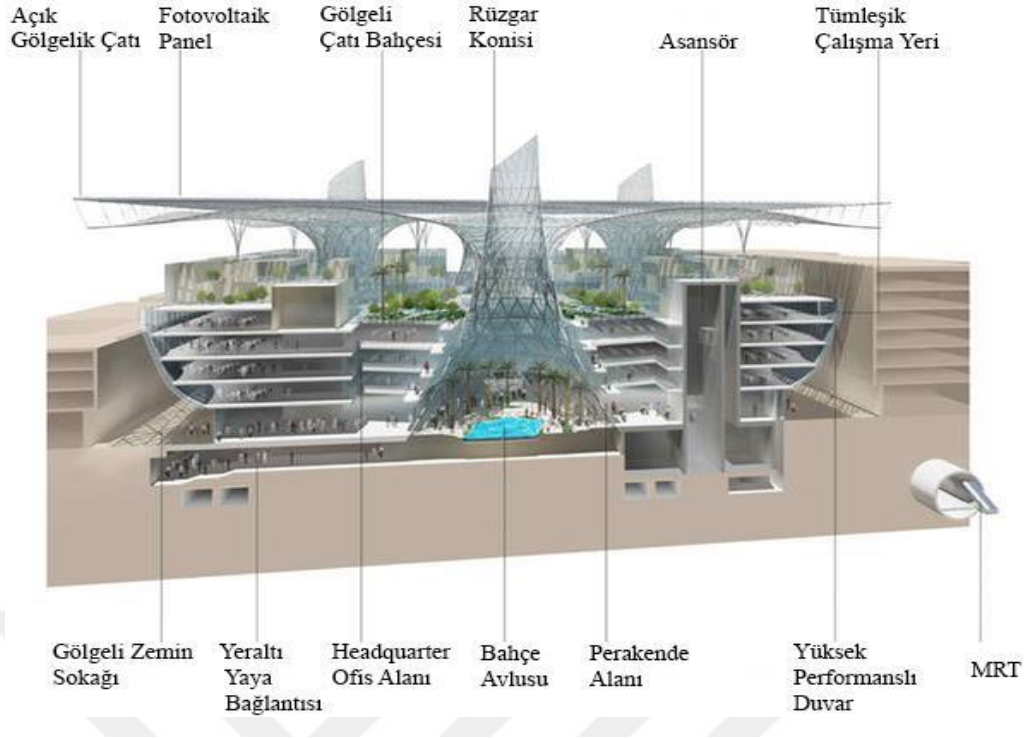
Biyomimikri Düzeyi: Organizma

Biyometrik Strüktür Türü: Ağaç Benzeri

Masdar Genel Merkezi (Şekil 3.40), karbon nötr, sıfır atık geliştirme olan Masdar şehrinin en önemli parçasıdır. Yapımına 2008 yılında başlanan ve 2012 yılında tamamlanan, peyzajı da dahil olmak üzere toplam 134.662 metrekare alana sahip Masdar Genel Merkezi, 7 kattan oluşmaktadır. Dünyanın ilk karma kullanımlı sürdürülebilir yapısı olarak tasarlanan proje, ticaret birimleri, konut alanları, açık bahçeler, ibadet salonu gibi kullanım birimlerine (Şekil 3.41) sahiptir (URL-51, 2008).



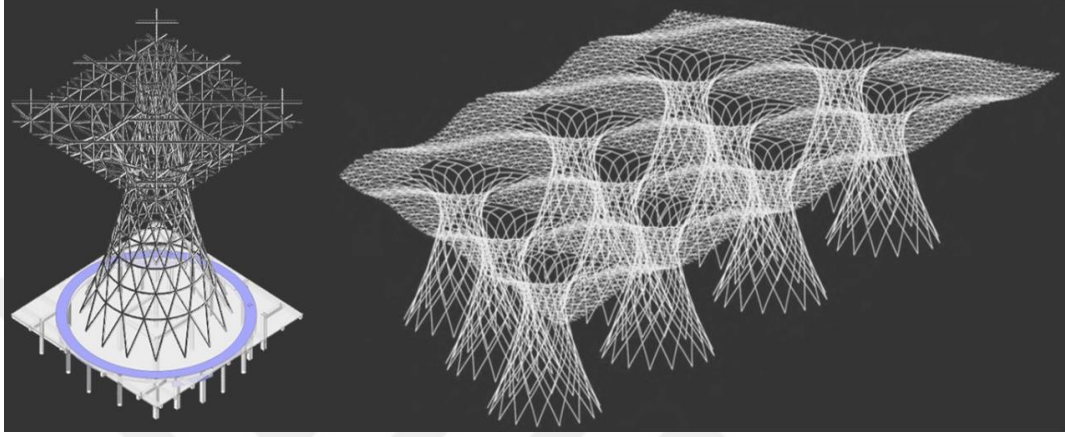
Şekil 3.40. Masdar Genel Merkezi (URL-52, 2022)



Şekil 3.41. Kullanım birimleri kesiti (URL-53, 2010)

Birleşik Arap Emirlikleri, Abu Dhabi dışındaki inşaatın ilk aşamalarında olan Masdar Genel Merkezi, tükettiğinden daha fazla enerji üreten dünyanın ilk büyük ölçekli pozitif enerjili binası olarak tasarlanmıştır. Başlıca özellikleri arasında dünyanın en büyük güneş paneli üst çatı örtüsü üzerinde yer alır ve doğal havalandırma sağlayan, iç mekanlara doğal gün ışığı geçirimi olan çatı kanopisi için yapısal destek sağlayan 11 yükselen koni benzeri yapı yer almaktadır. Camla çevrili rüzgar konileri yapı için önemli bir görev üstlenmektedir. En üstte, eğrisel çatı rüzgar (Şekil 3.42) yüküne yapısal destek sağlarken, aralarındaki boşluklarla sıcak havayı binanın dışına çeker ve çatıdan aşağıdaki ofis katlarında gün ışığından da maksimum verim alınmasını sağlar. Aynı zamanda zeminde birer avlu oluşturan bu koniler, açık ve kapalı kamusal alanlar yaratmaktadır. Bazı koniler, batıdaki büyük plazada giriş veya bahçe görevi görür. Aynı şekilde, çatının binayı gölgeleyecek şekilde tasarlanması, serin bir ortam yaratarak, klima ihtiyacını azaltmaktadır. Planlar, çatının Abu Dhabi çölündeki yoğun güneş enerjisini toplayacak ve güce dönüştürecek 290.000 metrekarelik bir fotovoltaik diziyle kaplanmasını gerektiriyor. Dolayısıyla LEED Platinum belgesine sahip yapı, aynı büyüklükteki karma kullanımlı binalardan %70 daha az su ve benzer iklimdeki bir yapıya göre daha düşük enerjiyi tüketecek şekilde tasarlanmıştır (Ercan, 2018).

Yapımında sürdürülebilir ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılmış olup, kullanılan kereste %100 sürdürülebilir nitelikte ve alüminyum %90 oranında geri dönüştürülmüş bileşen içermektedir. Düşük karbon içeriğine sahip, öğütülmüş granüle cüruf çimentosundan yapılan beton, geleneksel betondan daha yüksek dayanım sağlayacak şekilde kullanılmıştır.



Şekil 3.42. Eğrisel çatı strüktürü (URL-54, 2010)

Dikdörtgen bir plana sahip yapı, iskelet ağaç benzeri bir strüktür (Şekil 3.43) tarafından taşınmaktadır. Yapının üst bölümünde örtü görevi gören çatının dalgalı formu, yüksek dayanım sağlaması ve tasarıma esneklik sağlayabilmesi için çelik olarak düşünülmüş, bu durum aynı zamanda strüktürel performansını da kolaylaştırmıştır.



Şekil 3.43. Masdar ağaç benzeri strüktür (URL-55, 2014)

3.6.2.1.2. Oriente Tren İstasyonu

Yapım Yılı: 1998

Yer: Lizbon, Portekiz

Mimari Tasarım: Santiago Calatrava

Strüktür Türü: İskelet

Strüktür Malzemesi: Çelik

Esin Kaynağı: Palmiye Ağacı

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

Biyomimetik Strüktür Türü: Ağaç Benzeri Strüktür

Lizbon tren istasyonu projesi (Şekil 3.44), 1998 Evrensel Fuarı için ana planın bir parçasıdır. Şehir merkezinden beş kilometre uzakta, Tagus nehri yakınında bir bölgede yer almaktadır. Yapımına 1993 yılında başlanan ve 1998 yılında tamamlanan 25 metre yüksekliğindeki Oriente İstasyonu Binası, toplam 2 kattan oluşmaktadır. Calatrava projesi, çeşitli seviyelerde organize edilmiş iki ana bölümden oluşmaktadır (URL-56, 2015). Yapı uzunlamasına galerilerle birbirine bağlanan tren istasyonu ve ulaşım (otobüsler, metro, taksiler, havaalanı servisleri, otopark), kamusal ve ticari alan birimlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.44. Oriente Tren İstasyonu (URL-57, 2018)

Calatrava yapının strüktürünü oluştururken, bitkilerin statik yüklere nasıl karşı koyduğunu incelemiş, gövde ve dallanma sistemlerinden esinlenerek tasarladığı elemanları taşıyıcı sistemlerde kullanmıştır (Zeytun, 2014). Tasarımlarındaki çıkmaları ağaç dallanmalarından, kolonları ise mantar soyutlamalarından yola çıkarak tasarlanmıştır (Selçuk ve Sorguç, 2007). İstasyon binasının üst örtüsü uzaysal çelik kafeslerden oluşmaktadır. Yaprak yüzeyindeki sinirleri anımsatması için yapısal elemanlar beyaza boyanmıştır. Yapı sadece camla kaplıdır, bu nedenle gün ışığı tüm gün boyunca istasyonun içerisini aydınlatmaktadır (Ercan, 2018). Akşamları ise aydınlatmalar, camların eğimli kullanılmasıyla ışığın iç mekana orantılı bir şekilde dağıtımını sağlanmaktadır. Kullanılan başlıca strüktürel malzemeler çelik, yüksek dayanımlı beton ve camdır. Yapının üst örtüsünde kare formlu ön üretimli kolon başlıkları kullanılmıştır. Kaburga kemerli bağlantılar ve keskin, ince kesitlerin kullanımı, palmiye ağacını (Şekil 3.45) anımsatmaktadır.



Şekil 3.45. Palmiye Ağacı kolon tasarımı (URL-58, 2014)

3.6.2.2. İskelet Benzeri Strüktürler

Strüktürel sistemlere en iyi referans olan kavramlardan biri de insan ya da hayvanların iskelet sistemleridir. Çünkü kemiğe benzer biçimde tasarlanan yapılar, inşaat malzemesini optimize etmekte ve inşaat iskeletinde gerekli sağlamlık ve tasarımsal esneklik sağlanmaktadır (Selçuk ve Sorguç, 2009). Bu vücut sistemleri incelendiğinde strüktürel yapısı yüksek oranda yük taşıyabilme kapasitesine sahip olduğu, rijit ve karmaşık sistemler olmasına rağmen hafifliğiyle ön plana çıkmaktadır. O nedenle hem dayanıklı hemde hafif yapısıyla esas alınan kaburga kemikleri, yapıların temel strüktürel elemanlarında ilham noktası olmaya da açıktır (Ercan, 2018). Nitekim Eiffel Kulesi

tasarlanırken insan vücudundaki en hafif ve en güçlü kemik olan femurdan ilham alınarak tasarlanmıştır. Aynı şekilde Londra'daki Gherkin Kulesi, Venüs bitkisinin süngerimsi iskelet yapısından ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 3.46). "Venüs bitkisi süngeri, su altında parlak ve zarif bir kafes benzeri dış iskelete sahiptir. Gherkin Kulesi mimarı Norman Foster, yapıyı tasarlarken bitkinin korunaklı kafes yapısının yanında zarif ve parlak olmasından ilham almıştır." (Ercan, 2018). Yapının biyomimetik strüktürü venüs bitkisinin geometrik yapısı ve katmanlı dış formundan esinlenilerek oluşturulan iskelet benzeri strüktürdür.



Şekil 3.46. Gherkin Kulesi ve Venüs Bitkisi (URL-59, 2021)

Buna benzer şekilde, tasarımlarında çoğunlukla kuşların iskeleti ve kanat strüktürlerinden esinlenen Mimar Calatrava, 2001 yılında tasarladığı Milwaukee Sanat Müzesi'nin (Şekil 3.47) ortadaki sütununun martının omurgasından ve diğer kısımlarında ise martının kanatlarından hareketle tasarımını şekillendirmiştir. Yapıdaki asma germe ve üst örtü taşıma sistemi bu iskelet sistemi benzetmesiyle taşınır (URL-60, 2019).



Şekil 3.47. Milwaukee Sanat Müzesi (URL-61, 2006)

3.6.2.2.1. Turning Torso

Yapım Yılı: 2005

Yer: Malmö, İsveç

Mimari Tasarım: Santiago Calatrava

Strüktür Türü: Konsol döşemeli ve dış omurgalı

Strüktür Malzemesi: Yüksek Katkılı Beton ve çelik

Esin Kaynağı: İnsan Omurgası

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

Biyomimetik Strüktür Türü: İskelet Benzeri Strüktür

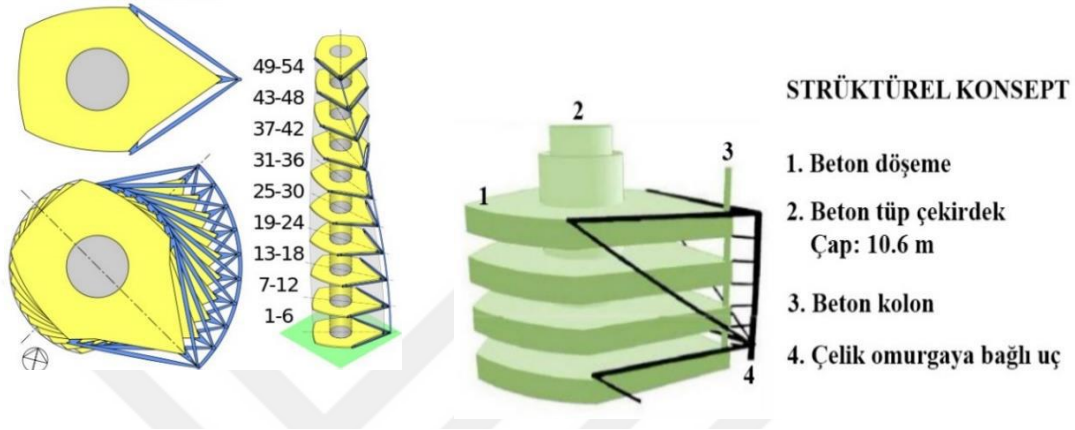
İsveç'in Malmö kentinde bulunan ve İsveç ile İskandinav ülkelerindeki en yüksek gökdelen olan Turning Torso (Şekil 3.48), AB'deki en yüksek konut binası ve Avrupa'daki en yüksek ikinci konut yapısıdır. İsveç'in Malmö kentinde 2001 yılında yapımına başlanan ve 2005 yılında tamamlanan Turning Torso, 190 metre yüksekliğinde 54 katlı bir konut yapısıdır (URL-56, 2015).



Şekil 3.48. Turning Torso (URL-62, 2007)

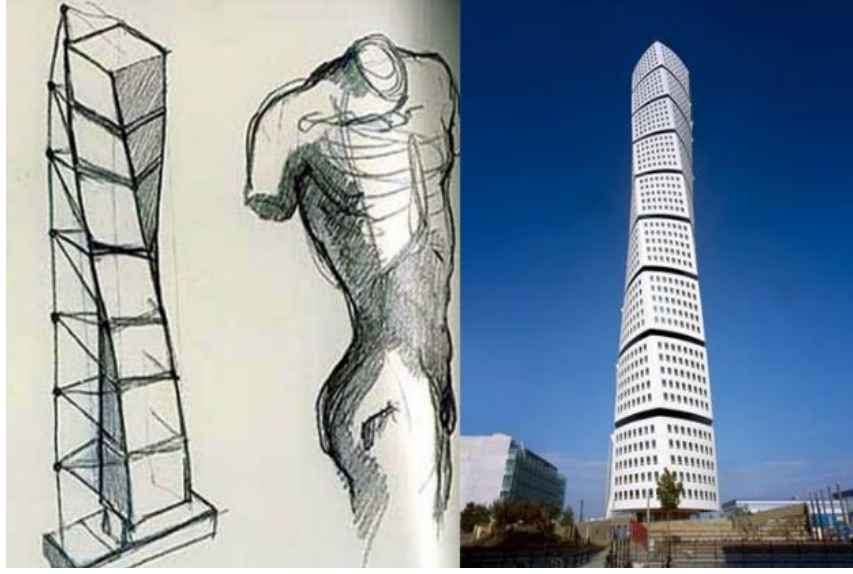
Yapı bir dış çelik çerçeve tarafından desteklenen dikey çekirdeğin etrafında dönen düzensiz bir beşgen şeklinden oluşmaktadır. Yapının ilk iki katı ofis ve diğer katlar konut olarak kullanılmakta olup, toplam 147 adet konut birimi bulunmaktadır. Üst üste bindirilmiş 9 adet küpten oluşan ve her bir küp kendi içerisinde 5 kata sahip olan yapı, katların birbiri üzerinde 5 derece döndürülmesiyle dönel bir form kazanmıştır. Ayrıca tüm küpler arasında birer kat farklı amaçlar için kullanılmak üzere konferans salonu, manzaralı

odalar, spor alanları şeklinde tasarlanmıştır. Yapı en alt kattan en üst kata kadar kendi eksenini etrafında 90° dönmektedir (Ercan, 2018). Turning Torso'nun taşıyıcı sistem strüktürü (Şekil 3.49) omurga kemiklerinden ilham alarak, başlıca elemanı ana omurgayı oluşturan, planın merkezinde bulunan, dairesel bir forma sahip yüksek katkılı betonarme perde duvarlı bir çekirdektir.



Şekil 3.49. Strüktürel omurga konsepti (URL-63, 2019)

Çekirdek, iskeletin omurga vazifesi gören, iç çapı 10.6 metre olan bir boru gibi tasarlanmıştır. Yapıyı taşıyan büyük boyutlu çekirdekten başka, destekleyici eleman olarak dışta çelik bir kafes tasarlanmıştır. Binanın ön yüzünü çevreleyen sade dış iskelet, 90 cm çapa kadar konik beyaz çelik borulardan yapılmıştır. Beton çevre kolonunu takiben, dış iskeletin tek direği, esas olarak yatay ve eğimli borularla her modül arasında kuleye sabitlenmektedir. Her katın köşesine yerleştirilen bu kafese ait çelik kolonlara, yatay ve çapraz çelik elemanlar bağlanarak dış iskeleti oluşturmaktadır (URL-64, 2012). Bu şekilde burulma hareketi olup, ana görevi etkili olan rüzgar yükü başta olmak üzere yatay yüklere karşı yapının dayanımını artırmaktadır. Omurga benzetimi (Şekil 3.50) sayesinde kolonlar çevresel dikey yükleri alırken, Calatrava'ya göre, etrafındaki dış iskelet rüzgar direnci sağlıyor ve binanın titreşimlerini azaltıyor (URL-65, 2004).



Şekil 3.50. Omurga benzetimi (URL-63, 2019)

3.6.2.3. Ağ Benzeri Strüktürler

Yapıların biyomimetik sınıflandırılmasında ağ benzeri strüktürler, doğadaki canlı davranışlarından ve onların yuvalarından ilham alınarak tasarlanan strüktürlerdir. Hafiflikleriyle birlikte yüksek yük taşıma kapasiteleri dolayısıyla yapıların taşıyıcı sistemlerine ilham kaynağı olmuştur. "Ağ benzeri strüktürler, yük taşıyıcı özelliklerinde membran özelliği sergiler ve yük taşıma kapasiteleri son derece yüksektir. İnsan yapımı membran strüktüre sahip olan çadırların doğadaki bu ağ benzeri strüktürlerle benzer olduğu düşünülebilir." (Arslan ve Sorguç, 2004). Çadır yapısından günümüzdeki asma germe yapılara geçişteki strüktürel süreçte daha çok tercih edilen ağ benzeri strüktürler, bir sistemde karşılaşılan başlıca kuvvetlerinden olan çekme gerilmelerine odaklanarak yeni tasarım yaklaşımları oluşturulmuştur. Aynı zamanda geniş açık alanların geçilmesiyle, geleneksel yöntemlerden daha kolay inşa ve daha uygun fiyata yapım maliyeti sağlanmıştır.

3.6.2.3.1. Münih Olimpiyat Stadı

Yapım Yılı: 1972

Yer: Münih, Almanya

Mimari Tasarım: Frei Otto ve Günther Behnisch

Strüktür Türü: Asma-Germe

Strüktür Malzemesi: Çelik

Esin Kaynağı: Örümcek Ağı

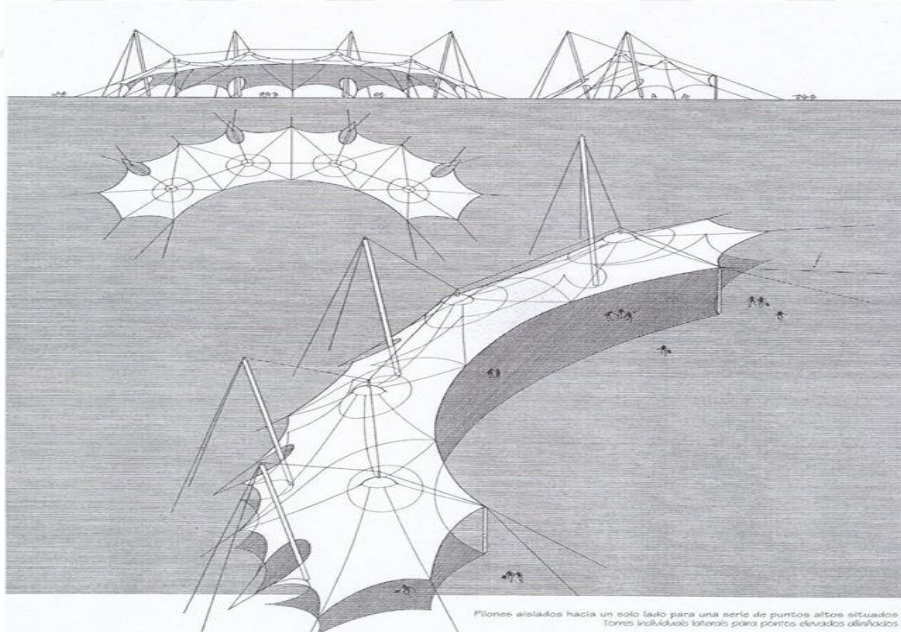
Biyomimikri Düzeyi: Organizma ve Davranış

Biyomimetik Strüktür Türü: Ağ Benzeri Strüktür



Şekil 3.51. Münih Olimpiyat Stadı (URL-66, 2017)

Münih Olimpiyat Stadyumu (Şekil 3.51), Olimpiyapark Spor Kompleksi'nde bulunan yapılardan biri olup, tesis içinde bulunan yapıların tümü örümcek ağını andıran ağ benzeri strüktür olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.52).



Şekil 3.52. Ağ benzeri strüktür (URL-66, 2017)

Yapıda organizma ve davranış düzeyinde biyomimikri yaklaşımı görülmekte olup, çatı örtüsü örümceklerin çalılar üzerinde oluşturduğu ağlara benzeyen stadyum yapısı toplam 75.000 metrekare alana ve 69.300 kişi kapasitesine sahiptir (URL-67, 2017).

Yapıda, minimum taşıyıcı ile geniş bir açıklık geçilmek istendiği için taşıyıcı sistemi asma germe strüktür olarak düşünülmüştür. Ağ görünümlü tesis, II. Dünya Savaşı'nda oluşan oyukların üzerine inşa edilmiştir. Yapının çatı strüktürü 8 adet kablo ağı biriminden oluşmaktadır. Çift eğrilikli öngerilmeli çelik kablo ağının rüzgar yükünü emme potansiyeli yüksektir. En yükseği 36 metreye çıkan 8 adet kolonun desteklediği çelik asma germe sistem, yarı geçirgen bir beyaz membran ile kaplanmaktadır. Çatı örtüsünde saydam pleksiglas paneller ile güneş ışığı altında parlamakta, gökyüzünü ve çevreleyen peyzajın rengini yansıtmaktadır (URL-67, 2017). Halat destekli oluşturulan sistemler günümüzde hala kullanılmakta ve esnek mekan tasarımına olanak tanımaktadır (Dansik ve Şahin, 2016). Münih Olimpiyat Stadyumu'nun örümcek ağı benzetiminin (Şekil 3.53) tasarımı matematik hesaplarına dayalı bilgisayar desteği ile sağlanmıştır. Bu özelliği yönünden ilk bilgisayar destekli strüktürel asma germe sistem olarak da tanımlanmaktadır.



Şekil 3.53. Örümcek ağı benzetimi (URL-68, 2016)

3.6.2.4. Pnömatik Strüktürler

Pnömatik strüktürler, doğada canlı veya cansız farketmeksizin ilham alınan strüktürlerden biridir. Pnömatik strüktürler, gerginliğe dayanıklı, esnek bir örtünün iç mekan ile dış mekan arası basıncın değiştirilmesiyle oluşturulan bir sistemlerdir. Üst örtüsü ve dolgusu yapının yük taşıyıcı strüktürü olarak değerlendirilmektedir. Hayvan veya bitki hücreleri, bunların hücre zarlı ve çeperli yapısı pnömatik sistemlerin esin kaynağıdır. Sıvıların yüzey geriliminin mukavemeti ile kabarcıklar oluşturması ve damla formunu yaratması pnömatik sistemdir. Buna aynı şekilde hava kabarcıkları da örnek gösterilebilir. Yüzey alanı minimuma indirgenen bir kabarcığın şekli, asgari oranda bir malzmeden

oluşur. Dayanıklı olmanın yanı sıra, bu hafif ve esnek strüktürler çok iyi düzeyde plastiklik özelliğe sahiptir (Al Hussaini, 2005). Bu sistemler yapıda kolonlar, kirişler, duvarlar, zeminler ve kaplamalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tokyo’da Forster tarafından tasarlanan Big Egg Dome Stadyumu’nun (Şekil 3.54) çatı strüktürü pnömatik bir sistemdir. Benzer şekilde Grimshaw tarafından tasarlanan Ulusal Uzay Merkezi (Şekil 3.55) ise yapının cephe duvarları olarak karşımıza çıkar. Pnömatik sistemlerin avantajları:

1. Çok büyük boyutlarda üretilebilmeleri,
2. Çok fonksiyonlu alanlar oluşturabilmesi,
3. Yumuşak, yuvarlak formu,
4. Hafif ve kolay taşınır olması,
5. Onarılabilir ve yeniden kurulabilir olması,
6. Düşük maliyetle yüksek oranda enerji tasarrufu sağlaması,
7. Estetik bir görünüme sahip olması olarak sıralanabilir.



Şekil 3.54. Big Egg Dome Stadyumu
(URL-69, 2010)



Şekil 3.55. Ulusal Uzay Merkezi
(URL-70, 2021)

3.6.2.4.1. Eden Projesi

Yapım Yılı: 2001

Yer: St. Austell, Cornwall, İngiltere

Mimari Tasarım: Nicholas Grimshaw

Strüktür Türü: Pnömatik Şişme Sistem

Strüktür Malzemesi: Çelik, ETFE

Esin Kaynağı: Sabun Köpüğü, Su Kabarcığı

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

Biyomimetik Strüktür Türü: Pnömatik Strüktür

Eden Projesi, (Şekil 3.56) İngiltere’de Cornwall’de 2001 yılında yapılmış dünyanın en büyük serası olma özelliği taşıyan tekstil yapısıdır (İnner, 2019). "St. Austell’de eski bir maden ocağının eğimli yüzeylerinin kullanılmasıyla ve çevrenin teknolojik kontrolüyle inşa edilmiş ve bu yönüyle de dünyanın en büyük bitki örtüsünü barındıran yapısını oluşturmuştur." (Alioğlu, 2018). Yapının form tasarımı su kabarcığından ve sabun köpüğünden ilham alınarak, pnömatik bir strüktür ile taşınmıştır. Polen tanecikleri, karbon molekülleri gibi doğanın altıgenler ve beşgenlerden oluşan geometrik şekillerinin işlevselliğine odaklanarak, dış cephe tasarımı aynı geometrik şekiller maksimize edilerek geniş yüzey alanı çözüme ulaşmıştır. Yüzeydeki altıgen formun boyutlarında cam panel üretiminin hem maliyetli, hem yapıya bindirilecek yük dolayısıyla daha uygun, hafif ve güçlü bir polimer olan ETFE kullanılmıştır. ETFE yastıkların ağırlığı 2 ile 3.5 kg/m² arasında değişmektedir (Alioğlu, 2018). Kullanılan hava yastıkları, her kubbede 5-11 metre arasında değişen boyutlarda altıgen çelik strüktüre uygulanmıştır.



Şekil 3.56. Eden Projesi (URL-71, 2015)

Cam panellerin maksimum boyutundan 7 kat büyük olabilmesinin yanında çift cam sisteminin yüzde bir ağırlığında olması sebebiyle strüktürel hafiflik bakımından ağırlığı azaldığı için daha az çeliğe ihtiyaç duyulmuştur. Daha az çelik kullanımı, alana daha fazla güneş ışığı girmesini sağlayarak, yapıdaki ısı tasarrufuna da katkıda bulunmuştur. ETFE’nin geliştirilmiş yalıtım özellikleri yapıyı ısıtmak için gerekli olan enerjiyi önemli derecede azaltmaktadır. Geri dönüştürülebilen bu malzeme, aynı zamanda içeriğinin kışın daha sıcak, yazın ise daha serin kalmasına yardımcı olmaktadır. Yarıçapları 18-65 metre

arasında olan sekiz kesişen kubbe şeklinde araziye bir sabun köpüğü zinciri (Şekil 3.57) gibi yerleştirilmiş, bu yönüyle de en küçük yüzey alanında en büyük hacim sağlanmıştır.

Buckminster Fuller'ın polimer teknolojisi ile bilgisayar modellemeyi birleştirdiği bu proje, özellikle ETFE hava yastığı sistemleri için tasarlanmıştır. En zorlu rüzgarlar karşısında, hava yastığının dış katmanında folyonun kalınlaştırılmasıyla ya da yastık içerisindeki şişkinliğin arttırılarak koruma sağlanabilmektedir. Kar yükü ve rüzgar basıncına karşı yastığın baskılara maruz kalmayan en iç tabakasındaki bombe %15'e çıkartılmıştır. Yastıkların şişkinliği yoğun kar veya fırtına anında değiştirilebiliyor olması, yapıdaki esnek ve değişebilir formu ortaya çıkarmaktadır. Her bir ETFE hava yastığında folyoların sayısı, kalınlığı, şekli ve her yastığın taşımak zorunda olduğu yüke göre şişkinlik oranı değişebilmektedir. Yapıdaki seçilen malzemeler, yapım metotları ve enerji kullanımında sürdürülebilir kalkınma ilkeleri gözetilmiştir. Sera yapısı içerisinde bitkileri sıcak tutmak için çelik yapı üstünde bulunan altıgen yastıklar, ETFE'nin iki katmanı arasında havayı tutarak iyi bir yalıtım malzemesi olma özelliği taşırlar. Her yıl yaklaşık iki milyon ziyaretçiyi kendine çeken yapı, balıkçılık ve madencilik endüstrilerindeki faaliyetleri arttırarak ekonomik katkı da sağlamaktadır. Sadece inşaat aşamasında yaklaşık 500.000 ziyaretçiye ev sahipliği yapmış ve bahçeler açıldıktan sonraki ilk iki ayda 400.000 kişi botanik ve mimariyi görmeye gelmiştir (URL-72, 2010).



Şekil 3.57. Sabun köpüğü formu (URL-73, 2021)

3.6.2.4.2. Ulusal Su Sporları Merkezi

Yapım Yılı: 2008

Yer: Pekin, Çin

Mimari Tasarım: Chris Bosse, Rob Leslie-Carter

Strüktür Türü: Uzay Kafes

Strüktür Malzemesi: Çelik ve ETFE

Esin Kaynağı: Su Kabarcığı

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

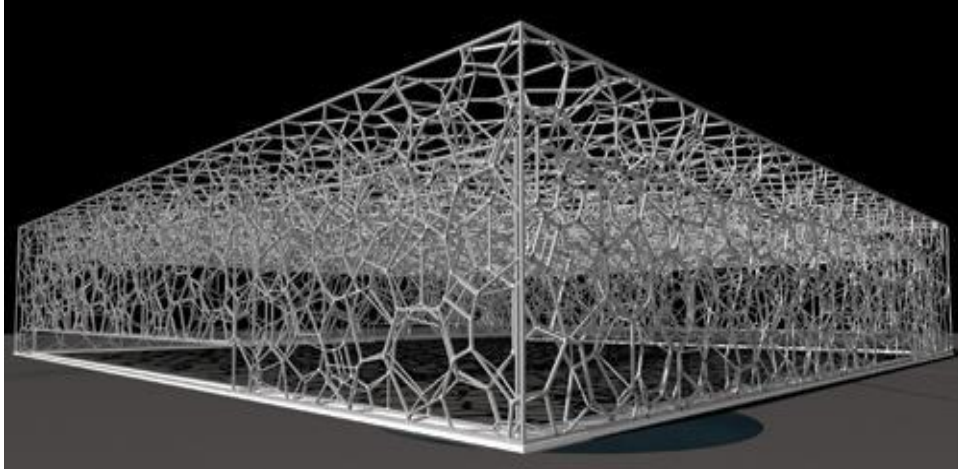
Biyometrik Strüktür Türü: Pnömatik Strüktür

Pekin’de yer alan diğer bir adıyla Su Küpü olarak anılan Ulusal Su Sporları Merkezi, (Şekil 3.58) kabuğundaki verimliliği en üst düzeye çıkarmak için Eden Projesi’nde olduğu gibi ETFE hava yastığı sistemleriyle enerji etkin yeni nesil yapılara örnek teşkil etmektedir. Çelik boruların arasına ETFE malzemesi ile su kabarcığının geometrisinden esinlenerek inşa edilmiştir (URL-74, 2018).



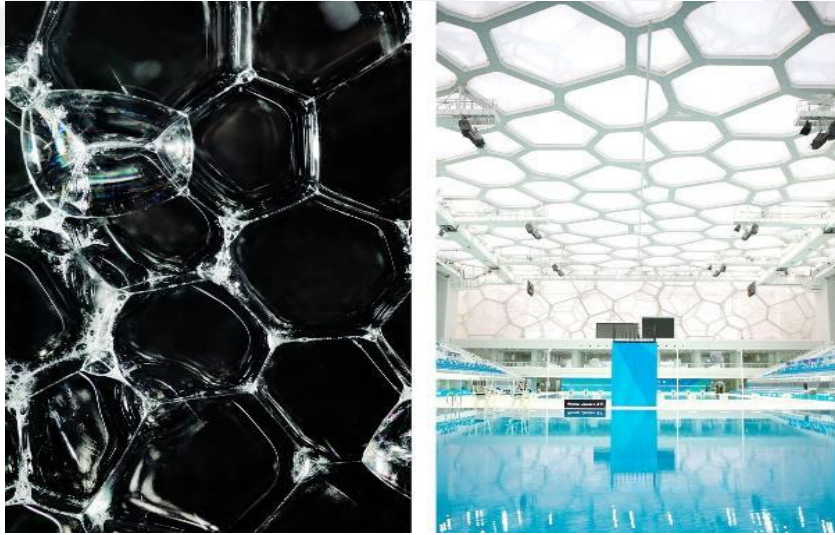
Şekil 3.58. Ulusal Su Sporları Merkezi (URL-75, 2018)

Arup mühendislik yapının strüktürel tasarımını (Şekil 3.59) 19. yüzyılda İskoçyalı fizikçi William Thomson ile Belçikalı fizikçi Joseph Plateau tarafından başlatılan, daha sonra İrlandalı profesörler Denis Weaire ve Phelan’in sabun köpüğü geometrisinin (Şekil 3.60) temeline dayandırarak tasarlanmıştır (Le Cuyer, 2008).



Şekil 3.59. Strüktürel tasarımı (URL-76, 2008)

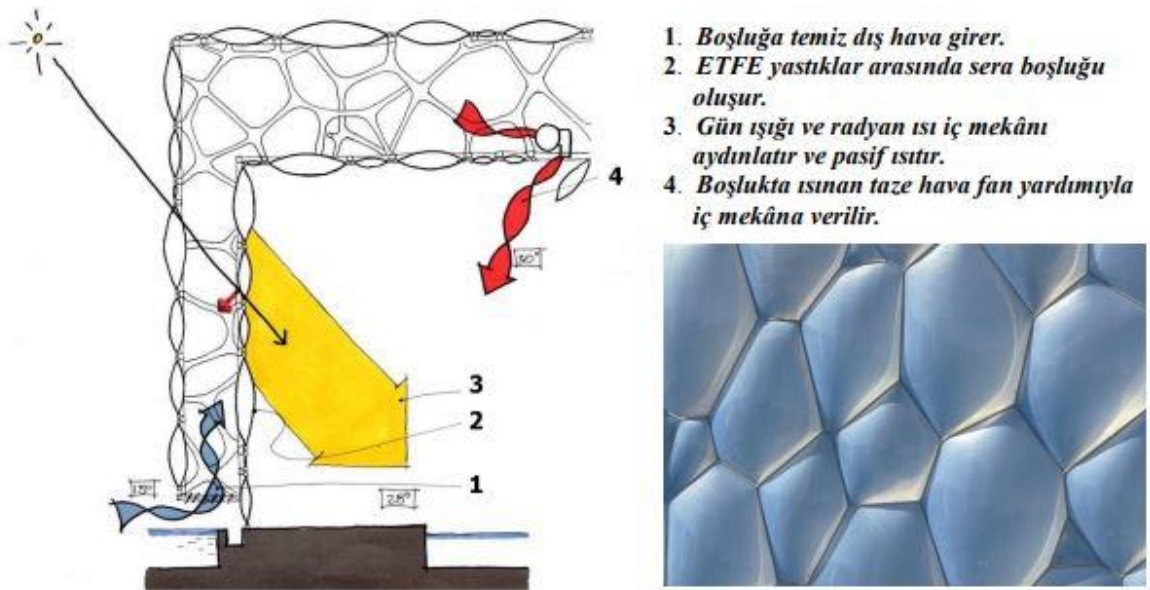
Yapının toplam kullanım alanı 70.000 metrekare olup, 177 metre uzunluğunda, 177 metre genişliğinde ve 31 metre yüksekliğinde küp şeklinde bir kafes biçimindedir (URL-77, 2010). Çelik uzay çerçevesinden oluşan yapının 100.000 metrekarenin üzerinde ve Eden Projesi'nde kullanılan ETFE tabakasının üç katından daha fazla kullanılmasıyla, dünyanın en büyük ETFE kaplı yapısı haline gelmiştir (URL-78, 2022).



Şekil 3.60. Sabun köpüğü geometrisi (URL-79, 2015)

Yapıda 22.000 adet çelik malzeme ve onların 12.000 adet düğüm noktası bulunmaktadır (Menges, 2006). Arup şirketi tarafından geliştirilen bir analiz programı kullanılarak tasarlanan sistemde, her bir cephe modülü bir strüktür olarak değerlendirilmiş olup, her strüktürün kendi içinde en az kütleye sahip olması hedeflenmiştir. Strüktürün duvar kalınlığı 3,6 metre ve çatı kalınlığı 7,2 metre olup, 6.500 ton çelikten oluşmaktadır.

Yapının membran strüktüründe 3.000 şişme yastık bulunmaktadır. Hava yastıkları da ayrıca akustik bir görev üstlenerek, özellikle içerideki havuzun yarattığı gürültüyü emmektedir. Cephe strüktürü aynı zamanda kolonlara yükü taşıyan kirişler vazifesi görmektedir. Rüzgar yüklerine dayanıklı ve mevsimsel yalıtımın sağlanması için düşük basınçla şişirilen pnömatik ETFE yastıklar, hafif bir çelik strüktür tarafından desteklenen alüminyum çerçeveler içine geçirilmiştir. Kullanılan bükülebilir çeliğin özelliklerinin yanı sıra küçük kısımların boyutlandırılması, bölgede uygulanması gereken deprem şartnamelerini karşılamaktadır. Cephede cam materyalinin yerine 6-8 tabaka arasında değişen geri dönüşümlü ETFE'nin uygulanmasıyla yapıda ısı yalıtımıyla birlikte, içeriye daha fazla ışık ve ısı geçişi sağlanarak, enerji maliyetlerinde %30'luk bir azalma sağlanmıştır. ETFE hava yastıkları sayesinde güneş enerjisinin %20'si muhafaza edilerek ısıtılma sağlanmaktadır. Aynı şekilde %90 oranda ışık geçirimini sağlayan ETFE örtü, gün ışığını içeriye alarak, %55 oranında aydınlatma enerjisinden ve havuz suyunun da ısıtılmasından tasarruf edilmektedir. Çağdaş hafif malzemelerinin enerji etkinlikleri faydasına dayanarak, "Pekin'in toplam karbon emisyonunda sıfır net büyüme" ve "yeşil" bir spor merkezini hayata geçirmek üzere inşa edildi (URL-78, 2022). Aynı zamanda ETFE'nin dış cephede kullanılması, istenilen ışık seviyesi ile yapının görselini değiştirilebilmektedir. ETFE, yarı saydamlık, radyasyonun yüksek absorpsiyonu ve düşük UV absorpsiyonu gibi özel niteliklere sahiptir. Malzeme, kendi kendini temizleme ve güneş ışığının bozunma etkilerine karşı dayanıklıdır (URL-74, 2018).



Şekil 3.61. Havalandırma sistemi (URL-80, 2006)

Yapının havalandırma sistemi (Şekil 3.61) çok önemli bir görev üstlenmektedir. Özellikle mevsim geçişlerinde dış cephede tasarlanan hava deliklerin yardımıyla dışarıdaki havanın iç mekana alınması, tesisat maliyetlerini düşürmüştür. Dışarıdan gelen havanın kabuklar arasındaki transferi esnasında ısınması ve havuzun olduğu alana girmesiyle iç mekanda ılıman ve nemli bir hava etkin olmaktadır. İklim şartlarına göre dış cephede bulunan kapaklar açılıp, kapatılabilmektedir.

3.6.2.5. Kabuk Benzeri Strüktürler

"Kabuklar, minimum malzeme kullanımı, yüksek dayanım, büyük açıklık kapasiteleri ve mekan oluşturma özellikleriyle doğada ve teknolojiye en yaygın ve en verimli strüktürler arasındadır." (Ercan, 2018). Kabuksu sistemler, salyangoz, istiridye gibi deniz canlılarının doğal geometrik formu ve barınak kapasitesinden esinlenmiştir. Kabuk yapıları, belirgin kesit kalınlığını aşmayan, basınç ve çekmeye dirençli elemanlardan oluşan, taşıyıcı ve iletici elemanların bir bütün olarak ele alındığı sistemler olarak tanımlanabilir. Kabuk strüktürler, çoğunlukla kavisli yüzeyleri ve çok hafif ince strüktürleri ile yeri kaplayabilen, hacim oluşturan yapı elemanlarıdır. Destek noktaları dışında ekstra taşıyıcıya ihtiyaç duymazlar ve bu özellikleri sayesinde büyük açıklıklar geçebilmektedirler (Yeler, 2015). Jorn Utzon tarafından tasarlanan Sydney Opera Binası ve Felix Candela tarafından tasarlanan L'Oceanogràfic Binası kabuk benzeri (Şekil 3.62) strüktürlerin ünlü örneklerindendir.



Şekil 3.62. Sydney Opera Binası ve L'Oceanogràfic Binası kabuk benzeri strüktürü
(URL-81, 2017)

3.6.2.5.1. Aldar Gökdeleni

Yapım Yılı: 2010

Yer: Abu Dhabi, BAE

Mimari Tasarım: MZ Architects

Strüktür Türü: Çekirdek ve Diagrid

Strüktür Malzemesi: Yüksek Dayanımlı Beton ve Çelik

Esin Kaynağı: İstiridye Kabuğu

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

Biyomimetik Strüktür Türü: Kabuk Benzeri Strüktür

"Dünyanın ilk dairesel gökdeleni" unvanına sahip olan Aldar Gökdeleni (Şekil 3.63), 110 metre yükseklikte, dar ve iç içe geçme camla birbirine bağlanan 25 katlı, yarı küresel bir binadır. Fonksiyonu ofis olarak tasarlanan Aldar Gökdeleni'nin toplam kullanım alanı 61.900 metrekaredir. Abu Dhabi için anlamı olan deniz tarağı kabuğundan esinlenerek tasarlanmıştır. Sadece 25 katlı olmasına rağmen, 40 katlı bir kule ile aynı alana sahiptir. Yapının taşıyıcı sistemi çekirdek ve cepheye yerleştirilen çelik diagriddir. Yapı çift çekirdeğe sahip olup, bu çekirdekler, yüksek dayanımlı betonarme perde duvarlardan oluşmaktadır. Yapının merkezinde perdelerden oluşan iki adet yüksek dayanımlı betonarme çekirdek bulunmaktadır.



Şekil 3.63. Aldar Gökdeleni (URL-82, 2012)

Binanın aerodinamik forma sahip olmasının amacı, rüzgar yüklerinin etkilerini en aza indirmektir. Aldar Gökdeleni'nin cephesine yerleştirilen diagrid çelik, üzerine gelen yükleri güçlü kirişlerinden ve bağlantı noktalarından çekirdeklere doğru aktarmaktadır (Savaşır ve Tuğrul, 2019). Yapıda toplam 6.400 ton çelik ve 25.000 metreküp beton malzeme kullanılmıştır. Aldar Genel Merkezi binası, The Building Exchange tarafından

“En İyi Fütüristik Tasarım” ödülü ve Silver LEED dahil olmak üzere birçok ödül kazanmıştır. Yapısal olarak tesislerde hafif alüminyum paneller, ahşap çerçeveli ve ayarlanabilir aksesuarlardan oluşan airodek sistemi kullanılmıştır. İki adet beton çekirdek, farklı hizmetleri bir araya getirerek yükselen hacimlerin yapısal kirişlerini oluşturmaktadır. 25 metrelik konsol tasarımına sahip yapı strüktüründe, Birleşik Arap Emirlikleri’nde türünün ilk örneği olan elmas şekilli çelikten karmaşık bir dış cephe geliştirilmiştir. Sistem, çelik yapının cephedeki etkisini en aza indirmeye yardımcı olur. Diagrid sistem, estetik görünümü zenginleştirirken, iç kolon ihtiyacını azalttığı için kullanıcılar için esnek bir tasarıma olanak vermektedir.

Aldar Gökdeleni’nde kullanılan cam, çelik, beton malzemelerinin çoğu geri dönüşümlü malzemedir. Abu Dhabi’deki çelik, beton ve cam gibi geri dönüştürülebilir türden malzemelerden oluşan ilk çevre dostu resmi binalardan biridir. Yapının neredeyse tümünün cam ile kaplanması, her bir katın çevresine yayılmış toplantı alanları ve ofisler için doğal ışığından maksimum verim alınmasına yardımcı olarak, binanın verimliliği %82 olarak sınıflandırılmış ve bu sayede zemin alanı için en verimli tasarım olmuştur.

3.6.2.5.2. Multihalle Mannheim

Yapım Yılı: 1975

Yer: Mannheim, Almanya

Mimari Tasarım: Frei Otto ve Carlfried Mutschler

Strüktür Türü: Izgara ve Grid Strüktür

Strüktür Malzemesi: Ahşap ve Çelik

Esin Kaynağı: Organik Form

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

Biyomimetik Strüktür Türü: Kabuk Benzeri Strüktür

Mannheim Multihalle (Şekil 3.64), 1975 yılında Frei Otto ve Carlfried Mutschler’in Federal Bahçe Sergisi için tasarlamış olduğu çok amaçlı bir salon yapısıdır (URL-83, 2018). Tasarımında fütüristik bir görüntü sergilemesi istenen yapı, kıvrımlı organik formda, az materyal ile inşa edilmiştir.



Şekil 3.64. Multihalle Mannheim (URL-83, 2018)

Yapıyı en önemli kılan tasarım kendi kendini taşıtan ahşap kafes strüktür (Şekil 3.65), dünyanın en geniş ahşap kafes strüktürü olmakla birlikte aynı zamanda en büyük konsoludur. Bu sebeple yapı “Mannheim Harikası” ünvanı almıştır. Yapının iç hacimleri elverişli şekilde konumlanmıştır. Dolayısıyla sadece kabuksal yapısı değil, insanlara birçok değişik yönden hizmet verebilecek mekanlar tasarlanmıştır. Mannheim Multihalle’ı, Otto, “Gridshell” adı verilen strüktürüyle elde etmiştir. Tasarımlarından önce küçük ölçekli maketlerle modellemeler yapmış, ardından uygulamaya geçilmiştir. Sadece yapı kabuğunun estetiği değil, aynı zamanda ışık ve atmosfer gibi faktörleri de yapısına dahil etmiştir.



Şekil 3.65. Kafes strüktürü (URL-83, 2018)

Otto’nun Gridshell strüktürü dayanımını ikili eğrilikli yapısından alan ızgara biçiminde tasarlanan, ahşap ve çelik strüktürdür. Yüzey çevre uzunluğunun önemli olduğundan, kendi ölü yükünü taşıyabilecek ve hesaplanan yatay ile düşey ek yüklere karşı dayanabilecek dayanımın sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle Otto, önceden

tasarladığı maketlerde, yapıdaki gerçek malzemelerin ağırlığını asmıştır. Otto ve ekibi yapının ekstra dayanım göstermesini istedikleri için yapıya üçgen çerçeveler ve ek ızgara çerçeveleri eklemiştir. Maketlerdeki dayanımdan yola çıkarak uygulanmaya başlanan Mannheim Multihalle oldukça geniş bir alana sahip olmasından ve dönemin teknolojik kaynaklarının yetersizliğinden, inşa süresi uzun sürmüştür. Mannheim Multihalle, esnek mekanlar yaratabilmesiyle uzun yıllar boyunca farklı sergi alanlarına, atölyelere, gösteri mekanlarına ve restoran alanlarına hizmet vermiştir. Geçici olarak inşa edilmiş yapı, mimari önemi nedeniyle kalıcı olarak kalması kararlaştırılmış ve 1988 yılında da koruma altına alınmış (URL-80, 2018).

3.6.2.5.3. Odate Jukai Dome Parkı

Yapım Yılı: 1997

Yer: Akita, Japonya

Mimari Tasarım: Toyo Ito

Strüktür Türü: Izgara ve Grid Strüktür

Strüktür Malzemesi: Ahşap ve Çelik

Esin Kaynağı: Deniz Kabuğu

Biyomimikri Düzeyi: Organizma

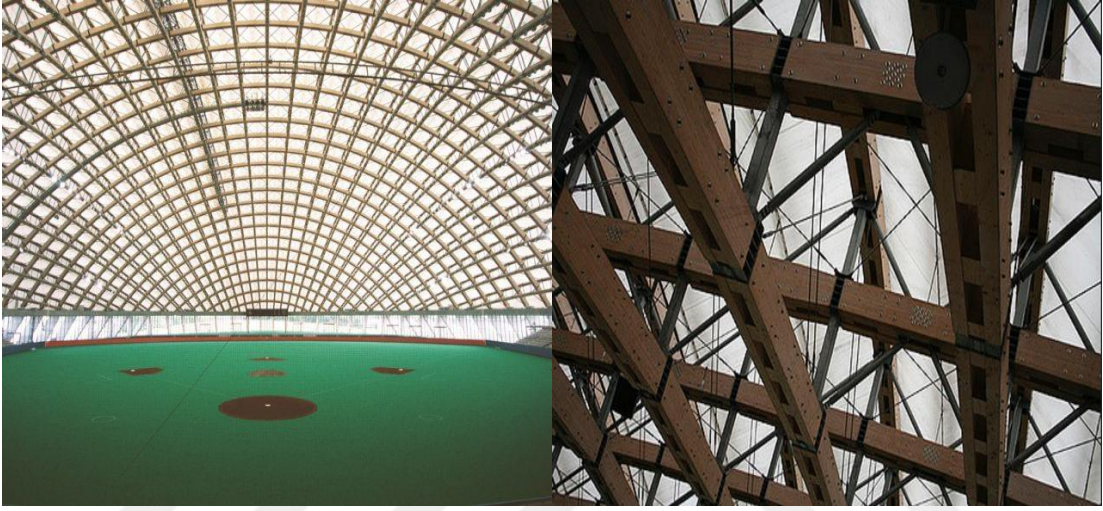
Biyomimetik Strüktür Türü: Kabuk Benzeri Strüktür

1997 yılında Japonya'nın Akita kentindeki Toyo Ito tarafından tasarlanan Odate Jukai Dome (Şekil 3.66), çelik ve ahşabın birlikte uygulandığı strüktürüyle, dönemin sınırlanını zorlayan bir spor yapısıdır.



Şekil 3.66. Odate Jukai Dome Parkı (URL-84, 2018)

Kubbe konstrüksiyonu, ahşap ızgara sistemiyle sağlanmış ve 52 metre yüksekliğinde, 178 metre uzunluğunda, 157 metre genişliğinde kolonsuz geniş bir alan yaratılmıştır (URL-84, 2018). Üst kubbesinin zemin kotundan başlamaması, yapıda zemin üzerinde uçuyormuş hissini vermiştir. Strüktür üzeri devasa bir örtü malzemesiyle kaplanmıştır, bu sayede yapıda geçirgenlik (Şekil 3.67) ve şeffaflık algısı yaratılmıştır. Zemin kotundan yüksek olan kubbe, çelik kolonlarla taşınmakta, çelik arası boşluklar cam malzemesi ile kapatılmaktadır.



Şekil 3.67. Geçirgen kabuk (URL-84, 2018)

Yapıda ahşabın yerel malzeme olarak kullanılması (bölgede yetiştirilen sedir ağacından elde edilmesi) yapım süresini kısaltmış, ulaşım ve yapım kolaylığı sağlamış, enerjide tasarruf yapılmıştır. 25.000 adet lamine ahşabın üretilip, birleştirilmesi açısından ciddi bir inşaa veriminin sağlanması, yine yerel malzemenin kullanılmasıyla elde edilmiştir (URL-84, 2018). Kubbenin tırtıklı yapısı, bölgenin rüzgar yüküne göre tasarlanmıştır. Bölgenin iklim şartlarının etkisini yapı üzerinde en aza indirgeyen çatı formu, havalandırma ve mekan içerisindeki iklim kontrolünün de kalitesini arttırmaktadır. Örtünün ışık geçirgen yapısıyla, mekan içerisinde gün ışığından maksimum verim alınarak, enerji tasarrufu sağlanırken, yapının emisyonunu azaltmaktadır. Dolayısıyla Ito, sağlık açısından da mekanın kalitesini arttıran mekanlar tasarlamıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Örneklerin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamındaki örneklere baktığımızda (Tablo 4.1-4.2), hafif strüktür malzemelerin tarihi yapılara uygulanan ek uygulamalarında ve modern geniş açıklıklı yapıların proje ve uygulamalarında kullanıldığı saptanmıştır. Aynı şekilde tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi, güçlendirilmesi kapsamındaki müdahaleler de hafif strüktür malzemeler ile sağlanmıştır. Yapıya katkıları göz önüne alındığında, hafif strüktür malzemelerin tasarımların temel elemanı olduğunu görmekteyiz. Mimarlıkta en önde gelen strüktürel sorunlardan birinin büyük açıklıkların geçilmesi olduğundan, hafif ve etkin strüktürler ortaya koymada doğadan yararlanmak, büyük önem taşımaktadır. Özellikle yığma duvarlardan, iskelet sistemlerine geçiş, çok katlı yapılaşmaya temel hazırlamış, ardından çeliğin mukavemet özelliklerinin geliştirilmesi ve üretiminin kolaylaşması ile çerçeve sistemlerde kullanılarak yapı yüksekliklerinin ve açıklıklarının evrimi hızla ilerlemiştir. Gerek yapının kendi davranışı, gerek dış yükler, gerekse çevresel faktörlerle ortaya çıkan sorunların çözümündeki temel kısım taşıyıcı sistemin tercihidir. Seçilen taşıyıcı sistemin uygun bir biçimde kullanılmasıyla daha etkili ve maliyeti daha az yapılar oluşturulabilir. Dünya genelinde dikey yapılaşmadan dolayı yapının yükseldikçe ağırlaşmasıyla statik sorunlarının oluşması ve taşıyıcı sistem seçeneklerinin azalması, hafif strüktür malzemeler ile taşıyıcı sistemlerin inşa edilmesini sağlamıştır. Yüksek ve geniş yapılaşmada gereken hafifliğin sağlanması daha yüksek ve daha geniş yapıların uygulanabilirliği açısından önemli olmaktadır. Bu sayede yapılardaki statik kolaylık ve aynı zamanda tasarımsal esneklik sağlanabilmiştir.

Günümüzde genelde yüksek yapılarda veya geniş açıklıklı çağdaş yapılarda seçilen hafif strüktür malzemeler, taşıyıcı sistemde diğer malzemelere göre (betonarme, tuğla gibi) daha fazla dayanım sağlaması, daha az kolon ile daha geniş açıklıkların geçilebildiği tasarımlara imkan vermesi ve büyük yapılardaki maliyetin azaltması mimarlar mühendislerin tercih sebeplerindendir. Yüksek yapılardaki rüzgar yükünü en aza indirmek için eğimli formların uygun maliyetlerle tasarlanmak istenmesi de hafif strüktür malzemeleri ile mümkündür. Hafif strüktür malzemelerinin tarihi yapılarda taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi, yapının yeniden işlevlendirilmesi, yeni birimlerin oluşturulurken kendi sistemi içerisinde taşıtılarak tarihi yapıya yük bindirilmeden yapının çözümünün sağlanması, tarihi yapılardaki avantajları olarak irdelenmiştir. Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesinde yapının tarihi dokusuna benzer nitelikte ve onları yansıtıcı zıt

materyaller kullanılabilmekte ya da yapıya tamamen zıt ve dış cephesinin şeffaflığını arttırarak daha ulaşılabilir mekanlar sunan kontrast zıtlık tasarımsal yaklaşımını da oluşturabilmektedir. Yapıdaki çelik malzemeler, tarihi yapıya fon niteliğinde veya devami niteliğindeki uygun renklere boyanarak ön plana çıkarılabilmektedir. Kullanılan cam materyalleri, genelde tasarımsal esnekliği, geçirgen mekanları ve ulaşılabilir mekanlara olanak sağladığı için, formu tasarımsal odak haline getirmektedir. Aynı zamanda yapının daha fazla gün ışığı almasına izin vererek, daha aydınlık ve enerji etkin mekanlar yaratılmaktadır.

Hafif strüktür malzemelerin günümüz yapılarında kullanılması, yapıya karşı tasarımsal yaklaşımlarını da beraberinde getirmiştir. Çağdaş yapılarda kullanılan hafif strüktür malzemeler çoğunlukla, istenilen tasarımsal esnekliğin sağlanabilmesi için tercih edilmektedir. Tasarımsal esnekliğin sağlanması için biyomimikri tasarımı kullanan çağdaş yapılar, doğanın strüktürünü ve formunu bizlere yansıtmaktadır. Organizmalar, organizmaların davranışları, canlı cansız doğa ürünleri gibi örnekler tasarımcılara ilham kaynağı olmaktadır. Doğanın formlarının yapı formuna taşınabilmesi için kullanılması gereken esnek malzemeler, hafif strüktür malzemeler ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla incelenen örneklerdeki tarihi yapılarda kullanılan hafif strüktür malzemelerin karşıtlık-zıtlık, çağdaş yapılarda ise biyomimikri tasarımsal yaklaşımlarını benimsediği saptanmıştır. Hafif strüktürlerin ilham kaynağı olan tarihi dokular, organizma, organizmaların davranışları veya ekosistem olarak tespit edilmiştir. Mevcut yapılardaki hafif strüktür malzemelerinin yapının tasarımında tercih edilirken tasarımda yapılacak:

- enerji etkinliği kapsamı,
- sürdürülebilirlik kapsamı,
- geniş açıklıkları minimum yüzey alanı ile geçmek,
- rüzgar yönü ve konumu,
- tarihi yapıların güçlendirilmesi ve yeniden işlevlendirilebilmesi

gibi etmenler göz önünde tutulmuştur. Bu bağlamda mimari ve strüktürel tasarımlarda biyomimetik yaklaşımların yarar sağladığını görmekteyiz (Ercan, 2018). Örneklerin strüktür türlerine ilişkin incelemesi yapıldığında, çok katlı yapılarda en çok çekirdek-diagrid ya da çerçeveli sistemlerin tercih edildiği, geniş açıklıklı yapılarda ise genellikle uzay kafes strüktürlerin kullandığı belirlenmiştir. Örnekler, strüktür malzemeleri açısından incelendiğinde, çok katlı yapıların tasarımında, en çok çeliğin kullanıldığı anlaşılmıştır.

Tablo 4.1. Tarihi yapılarda uygulanan hafif strüktür eklerinin karşılaştırılması

MİMARİ ÖZELLİKLER			STRÜKTÜREL ÖZELLİKLER			
YAPI ADI	YAPIM YILI/YER	YAPIM AMACI/ TÜRÜ	STRÜKTÜR TÜRÜ	KULLANILAN MALZEME	TASARIMSAL YAKLAŞIMI	AVANTAJLAR
Coal Drops Yard	2018/ Londra İngiltere	Yeniden işlevlendirme/ kamusal mekan	Çerçevesiz Sistem, Konsol	Çelik, Cam, Kompozit Panel	Zıtlık Yaklaşımı	-Tarihi yapı güçlendirilmiştir. -Kendi sistemi içerisinde taşınmıştır. -Gün ışığından maksimum verim sağlanmıştır. -Sirkülasyonu artırıp, yapıyı bölgenin odak noktası haline getirmiştir.
Convent de Sant Francesc	2011/ Santpedor İspanya	Yeniden işlevlendirme/ Kültür Merkezi	Çerçevesiz Sistem	Çelik, Cam, Yüksek Katlı Beton	Kontrast-Zıtlık yaklaşımı	-Şeffaflığın çoğu alanda kullanılması gün ışığından maksimum verimin alınmasını sağlamıştır. -Geçirgen mekanlar sağlamıştır. -Yapıya yük bindirilmemiştir. -Yapının güçlendirilmesini sağlamıştır.
King Cross Tren İstasyonu Batı Yolcu Salonu	2012/ Londra İngiltere	Yeni alan kazandırma/ Yolcu salonu	Uzay Kafes Sistem	Çelik, Cam, Alüminyum	Zıtlık yaklaşımı	-Yeni alan kazandırmıştır. -Avrupa'nın en geniş açıklığı geçilen yapı ünvanını almıştır. -Çatı örtüsünün üstü fotovoltaik panellerle kaplanarak, yapının enerji ihtiyacı karşılanmıştır. -Uygun renge boyanarak tarihi yapıya fon oluşturulmuştur.
Kassel Fridericianum	1972/ Kassel Almanya	Rekreasyon Alanı	Şişme Sistem	PVC Folyo, Çelik	Zıtlık yaklaşımı	-Yapıyı dönemin odak noktası haline getirmiştir. -İnsanları yapının içine davet etmiştir.
Londra Doğa Tarihi Müzesi	2009/ Londra İngiltere	Yeni alan kazandırma/ Müze	Çerçevesiz Sistem	Çelik, Cam, Yüksek Katlı Beton	Zıtlık yaklaşımı	-Yeni alan kazandırmıştır. -Geçirgen mekanlar yaratılmıştır. -Tarihi yapıya fon oluşturup, yapıyı ön plana çıkarmıştır. -İnsanları yapının içine davet etmiştir.

Tablo 4.2. Çağdaş yapılarda hafif strüktür malzemelerin karşılaştırması

MİMARİ ÖZELLİKLER				STRÜKTÜREL ÖZELLİKLER			
YAPI ADI	YAPIM YILI/YERİ	YAPI TÜRÜ	STRÜKTÜR TÜRÜ	KULLANILAN MALZEME	TASARIMSAL YAKLAŞIMI	AVANTAJLAR	
Masdar Genel Merkezi	2012/ Abu Dhabi, Birleşik Arap Emirlikleri	Genel Merkez	Uzay Kafes Sistemi	Çelik, Cam	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-Dünya'nın en büyük güneş paneli dizisine olan yapı olmuştur. -İlk büyük ölçekli pozitif enerjili yapı olmuştur. -Doğal ışıktan maksimum verim sağlanmıştır. -Doğal havalandırma sağlamıştır.	
Oriente Tren İstasyonu	1998/ Lizbon, Portekiz	Tren İstasyonu	Uzay Kafes Sistemi	Çelik, Cam, Yüksek Katkılı Beton	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-Şeffaflığıyla geçiren mekanlar yaratılmasını sağlamıştır. -Gün ışından maksimum verim alınmasını sağlamıştır.	
Turning Torso	2005/ Malmö, İsveç	Konut	Çerçevesiz Sistem	Çelik, Yüksek Katkılı Beton	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-Avrupa'nın en yüksek 2. konut binasıdır. -Tasarımı sayesinde rüzgar yükünü azaltılmıştır.	
Münih Olimpiyat Stadı	1972/ Münih, Almanya	Stadyum	Asma Germe	Çelik, Membran, Pleksiglas Panel	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-Geniş açıklık en az taşıyıcı ile taşınmıştır. -Esnek ve portatif bir yapıdır.	
Eden Projesi	2001/ Cornwall, İngiltere	Sera Yapısı	Şişme Sistem	Çelik, ETFE	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-Dünya'nın en büyük tekstil yapısıdır. -ETFE kullanılması yapının ağırlığını azaltmış ve çeliğe daha az ihtiyaç duyulmuştur. Bu sayede daha fazla gün ışığı yapıya alınmıştır. -Isı tasarrufu sağlanmıştır. -En küçük yüzey alanıyla en büyük hacim elde edilmiştir. -Portatif ve yüksek derecede esnek bir yapıdır.	

Tablo 4.2. Çağdaş yapılarda hafif strüktür malzemelerin karşılaştırması (Devam)

MİMARİ ÖZELLİKLER			STRÜKTÜREL ÖZELLİKLER			
YAPI ADI	YAPIM YILI/YERİ	YAPI TÜRÜ	STRÜKTÜR TÜRÜ	KULLANILAN MALZEME	TASARIMSAL YAKLAŞIMI	AVANTAJLAR
Ulusal Su Sporları Merkezi	2008/ Pekin, Çin	Spor Merkezi	Şişme Sistem, Uzun Kafes Sistem	ETFE, Çelik, Alüminyum	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-En büyük ETFE kaplı yapıdır. -Isı yalıtımı ve akustik sağlanmıştır. -Daha fazla gün ışığından yararlanılmıştır.
Aldar Gökdeleni	2010/ Abu Dhabi, Birleşik Arap Emirlikleri	Ofis Yapısı	Çekirdek ve Diagrid Sistem	Yüksek Katkılı Beton, Çelik, Alüminyum, Cam	Biyomimikri Tasarım Yaklaşımı	-İlk daire gökdelen ünvanını almıştır. -Formu sayesinde rüzgar yükünü azaltılmıştır. -İç kolonları ortadan kaldırmıştır. -En iyi fütüristik tasarım ve silver leed almıştır. -Geri dönüşümlü malzeme kullanılmıştır.
Multihalle Mannheim	1975/ Mannheim, Almanya	Çok Amaçlı Mekan	Ahşap Kafes Sistemi	Ahşap, Çelik	Organik Tasarım Yaklaşımı	-En geniş ahşap strüktür yapısı olmuştur. -Esnek mekanlar sağlanmıştır. -Portatif bir mimarisi vardır.
Odate Jukai Dome Parkı	1997/ Akita, Japonya	Spor Merkezi	Ahşap Kafes Sistemi	Ahşap, Çelik, Cam, Membran	Organik Tasarım Yaklaşımı	-Lokal ahşap malzeme kullanıldığı için enerjiden tasarruf edilmiştir. -Yapım sürecinde süre verimliliği sağlanmıştır. -Kolonsuz bir şekilde geniş açıklık geçilmiştir.

4.2. Gelecek Dönem Hafif Strüktür Tasarım Yaklaşımlarına Bir Bakış

Günümüzde daha çok çağdaş yapılarda yaygın olarak kullanılan hafif strüktür malzemeler, henüz deneme aşamasında olan ve belirli alanlarda kullanılabilen, akıllı malzemelere öncülük edebilir. Nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin yapı endüstrisinde geliştirilmesiyle farklı sıcaklıklarda genişleyip, daralabilen "biçim-bellek alaşımları", elektrik verilerek genişleyip daralabilen malzemeler, manyetik özelliklere göre değişip biçimlenebilen "manyeto-striktif malzemeler", malzemenin içerisine yerleştirilen fiber hatlarla malzemenin duyarlılığını arttırarak malzemeler arası ışık, ses ve renk değişimi sağlayan, hatta kendi kendini çoğaltabilen akıllı malzemeler üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Dave, 2001). "Gelecekte bina dokusunun, bilgisayarda verilen komutlara bağlı olarak değişkenlik kazanabileceği, maddenin katı, sıvı, gaz fazları arasında değişim yapabileceği, kimi zaman opak ve katı, kimi zaman şeffaf ve akışkan olabileceği öngörülmektedir." (Altun, 2007; URL-85, 2008). Dolayısıyla malzemenin atomik yapısına ve genetik birlikteliğini ortaya çıkaran tasarımlar geleceğe yön verebilir. Mimar Greg Lynn'nin mimari ve genetik birlikteliğinden yola çıkarak oluşturduğu embriyolojik evler projesiyle (Şekil 4.1), her modülün birbirinden farklı karakterde değişip, biçimlenebilen ev kombinasyonları sunmaktadır. Biyomimikri tasarimsal yaklaşımıyla, canlının anne karnındaki evrelerinden yola çıkarak tasarlanan projede, alüminyum omurga ile çelik kirişle taşınarak, çelik panellerle dış örtüsü oluşturulmaktadır. Yapı formu ve iç mekan bölümleri değişen şartlarla ihtiyaçlar doğrultusunda değişebilmektedir (Çakır ve Aksoy, 2005).



Şekil 4.1. Embriyolojik evler projesi (Çakır ve Aksoy, 2005)

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, yapılarda kullanılan hafif strüktür malzemeler incelenerek, hem tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi, hem de çağdaş yapı tasarımında, yapının strüktürü ve formuna olan etkileri değerlendirilmiştir. 20. yüzyıl ve sonrasında Sanayi Devrimi'nin etkisiyle hızla gelişmeye devam eden teknoloji, yapı sektörünü de etkilemiştir. Dolayısıyla teknolojinin yardımıyla gelişen yapı endüstrisi, özellikle proje safhasında yaşanan tasarımsal sınırlamalara çözüm olacak yenilikçi malzemeler üretmiştir. Daha geniş açıklıklı, daha yüksek ve daha sürdürülebilir yapı tasarımı yarışı içerisinde, hafiflik ve dayanım konusunda yaşanan sorunlar, mimar ve mühendisleri, hafif strüktür malzemeleri tasarımlarında kullanmaya teşvik etmiştir. Çelik, cam, katkılı beton, ahşap, pnömatik sistemler, membran ve tekstil sistemler olarak sınıflandırılan hafif strüktür malzemeler, geleneksel malzemelere göre yapılara sağladığı avantajlar sebebiyle, genellikle büyük yapıların tasarımında daha fazla tercih edilmektedir. Yapıya sağladığı dayanımı, hafifliği, tasarımsal esnekliği, geri dönüşümlü malzemeye olanak vermesi, nakliye ve kurulum kolaylığı gibi avantajları sayesinde günümüzde daha işlevsel ve sürdürülebilir yapılar tasarlanmaktadır.

Yapıların taşıyıcı sistemine veya formuna entegre olan yenilikçi malzemeler, mimaride yeni bir dil ve tasarımsal yaklaşımı da beraberinde getirmektedir. Tarihi yapıların güçlendirilmesi ve yeniden canlandırılması amacıyla eklenen yapı ekinde veya günümüz mimarisinde sıkça görebileceğimiz hafif strüktür malzemeler, bu çalışma kapsamında incelenen örneklerde görüldüğü üzere; tarihi yapılara zıtlık tasarımsal yaklaşımıyla yaklaşırken, çağdaş yapılarda doğayı gözlemleyerek biyomimikri tasarımsal yaklaşımı ile yapıyla bütünleşmektedir. Günümüz mimarisinde form, strüktür ve malzemelerin doğayı gözlemleyerek, insan ve çevreyle daha uyumlu sürdürülebilir, esnek ve enerji etkin yapılar tasarlandığı görülmüştür. Aynı zamanda hafif strüktür malzemelerin hızlı çözümler sunması, atıl yapıların güçlendirilmesinde veya afet sonrası hızlı barınma ihtiyacının sağlanmasında da kolaylıkla uygulanabilmektedir. Hala üzerinde çalışılan hafif strüktür malzemeler geliştirilerek, yapı endüstrisinde her gün yeni bir adım katedilmektedir. Günümüzde bulundukları ortama göre şekil alıp, kendi biçimini değiştiren mekanların oluşumuna imkan sağlayan yapı malzemeleri üzerinde çalışılmaktadır. Dolayısıyla gelecekte, bulunduğu ortamın özelliklerine göre moleküler yapısının değişip, daha esnek ve insana daha uyumlu yenilikçi malzemeler üretilmesi ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Al Hussaini, K. D., 2005. *Design in Nature and Architecture*, Carleton Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Ottawa, Ontario, Canada.
- Alioğlu, T., 2018. *Tekstil Esaslı Malzemelerin Mimaride Kabuk Tasarımında Kullanımı Ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi. İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Altun, T. D. A., 2007. Geleceğin Mimarlığı: Bilimsel-Teknolojik Değişimlerin Mimarlığa Etkileri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 77-91, İzmir, Türkiye.
- Argent, St. George, 2001. Principles for a Human City. https://www.kingscross.co.uk/media/Principles_for_a_Human_City.pdf (Erişim Tarihi: 17.05.2022).
- Arslan, S., Sorguç, G. A., 2004. *Similarities in Structures in Nature and Man-Made Structures: Balmond C., Smuth J., 2002, Informal, Prestel Verlag, Münih, Berlin.*
- Arslan, S., Sorguç, G. A., 2004. "Similarities in Structures in Nature and ManMade Structures: Biomimesis in Architecture", *2nd International Design and Nature Conference Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, 45-54, Rodos, Yunanistan.
- Arabacıoğlu, F. P., Aydemir, I., 2007. Tarihi çevrelerde yeniden değerlendirme kavramı, *Megaron*, 2(4), 204-212, İstanbul, Türkiye.
- Bateman, S., Chambers, S., Clark, E., Hill, R., Lenk, P., Tattersall, S., Walton, J., 2019. A Victorian Heritage Site Adapted For 21st-Century. *London The Arup Journal*, (1), 4-13. London, İngiltere.
- Benyus, J. M., 1997. *Biomimicry: Innovation Inspired by Natur*, New York City: Harper Collins Publishers.
- Charest, P., Shepherd, P., Harris, R., Potvin, André, Demers, C., Ménard, S., 2019. Patchwork Gridshells: Using Modularity to Facilitate Prefabrication and Simplify Construction, *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 60, 176–188.
- Çakır, M., Aksoy, M., 2005. Mimarlık Genetik İle Buluşunca, *Yapı Dergisi*, Sayı: 288, 55-60.
- Çakmak, A., 2017. Yapı Malzemesinin Tarihsel Gelişimi Ve Mimarlığa Etkileri, *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, 5(1), 41-54.
- Dansık, F., Şahin, M., 2016. *Germe Sistemlerin Yapısal Tasarım İlkeleri*, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Dave, B., 2001. Atomik Değişimler, *XXI*, Sayı:8, ss.96-97.

- Detail: Zeitschrift für Architektur and Baudetail, 2001. Uluslararası Mimarlık Dökümantasyon Enstitüsü GmbH&Co.KG, *Eden Project in St Austell*, 41, 868-872.
- Ekinci, S., Eşsiz, Ö., Elemanlar, S. K., 2005. *Deprem Bölgelerinde Hafif Çelik Yapım Sistemleriyle Üretilen Konutların Uygulanabilirliği*, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye.
- Ercan, S. K., 2018. *Biyomimetik Strüktürlerin Örneklerle İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Feilden, M. B., 1982. Conservation of Historic Buildings Technical Studies in the Arts, Archaeology and Architecture, *ButterwordScientific*, London, İngiltere.
- Floyd, O. A., Nilson S. H. and Salvador, M., 1986. Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete, *ACI Journal*, pp. 606-613.
- Fritzsche, J. C., 2013. *Gridshell Efficiency Optimization Optimizing Efficiency Form- & Grid-Configuration Through Iterative Approximation And Minimization Strain Energy*, Yüksek Lisans Tezi. Eindhoven Teknik Üniversitesi, Eindhoven, Hollanda.
- Gezer, H., 2008. Üretim Alanında Tekstil Ve Mimari Arasındaki Etkileşim, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(13), 21-50, İstanbul, Türkiye.
- Gezer, H., 2012. Malzemenin Gizil Güçlerinin Mimariye Katkısı, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(20), 97-118.
- Görkem, S. E., 2009. *Yüksek Dayanımlı Betonarme Döşeme Davranışlarının Plastik Mafsal Çizgileri Yöntemine Göre İncelenmesi*, Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Haddal Mork, J., Dyvik, S., Manum, B., Ronnquist, A., Labonnote, N., 2016. *Introducing The Segment Lath-A Simplified Modular Timber Gridshell Built In Trondheim*, Norveç.
- İnner, S., 2019. Biyomimikri Ve Parametrik Tasarım İlişkisinin Mimari Alanında Kullanımı Ve Gelişimi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, *Uluslararası Hakemli Tasarım Ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 01, Sayı 01.
- Kılınç, G. A., Sev, A., 2020. Ekonomik ve Teknolojik Faktörlerin Yüksek Ofis Yapılarının Ortaya Çıkışı ve Gelişimi Üzerindeki Etkisi, *Mimarlık ve Yaşam*, 5(1), 161-179, Kocaeli, Türkiye.
- Kiper, P. H., 2006. Küreselleşme Sürecinde Kentlerin Tarihsel Kültürel Değerlerinin Korunması, *İstanbul: Sosyal Araştırmalar Vakfı-9*, Küreselleşme Dizisi- 4, İstanbul, Türkiye.
- Koç, S., Gür, N. V., 2021. Mimaride Etkin Strüktürler Olarak Ahşap Izgara Kabuklar, *Mimarlık ve Yaşam*, 6(2), 349-369.

- Kronenburg, R., 2007. *Flexible Architecture That Responds To Change*, Laurence King Publishing, Londra.
- Kubo, M., Salazar J., 2004. *Verbs, Architecture Boogazine*, Aktar, Barselona, İspanya.
- Kurzweil, R. 1999. *The Age Of Spiritual Machines*, Viking Press.
- Leackh, N., Turnbull D., Williams C., 2004. *Digital Tectonics*, Wile-Academy, *Artmedia Press Ltd*, Londra, İngiltere.
- Le Cuyer, A., 2008. *ETFE Technology and Design*, Birkhauser Yayınevi.
- Liuti, A., Pugnale, A., 2015. *Erection Of Post-Formed Gridshells By Means Of Inflatable Membrane Technology*, Melbourne, Avusturalya.
- Menges, A., 2006. *Manufacturing Diversity*, AD Architectural Design, Techniques and Technologies in Morphogenetic Design.
- Mestan, A., 2019. *Açık Ofis İç Mekan Tasarımının Kullanıcıların Algısal Değerlendirmeleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Naicu, D., Harris, R., Williams, C. J. K., 2014. *Timber gridshells: Design methods and their application to a temporary pavilion*, Quebec City, Canada.
- Önal, M. B., Karakoç, E., 2019. *Giyilebilir Mimarlık: Dönüşebilen bir Mimari Prototip*, XIII. *Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*, Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Kocaeli, Türkiye.
- Özer, B., 2009. *Kültür Sanat Mimarlık*, YEM Yayın, s.175, İstanbul, Türkiye.
- Öztürk, S. S., Koramaz, E. K., 2020. *Endüstri Mirasının Yeniden İşlevlendirilmesi Ve Londra Coal Drops Yard Alışveriş Merkezi Örneği*, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(1), 121-135.
- Paoli, C., 2007. *Past and Future of Grid Shell Structures*, Yüksek Lisans Tezi. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Cambridge, Amerika Birleşik Devletleri.
- Pilar Echavarria M., 2005. *Portable Architecture And Unpredictable Surrounding*, Structure Publishing Carles Broto, Barselona, İspanya.
- Ritter, A., 2007. *Smart Materials In Architecture*, Birkhauser, Berlin, Almanya.
- Sancak, E., Şimşek, O., 2006. *Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı Ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri*, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), Ankara, Türkiye.
- Savaşır, K., Tuğrul, F., 2019. *Yüksek Yapılarda Çelik Karkas Taşıyıcı Sistem Yerine Çelik Diagrid Kullanımının Avantajları*, 5. *Çelik Yapılar Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye.

- Savcı, S., Dikmen, Ç. B., 2015. İnşaat Sektöründe Geri Dönüşüm Kaynağı Olarak Cam Malzemelerin Yeniden Kullanımı, *2.Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, Türkiye.
- Selçuk, S. A., Sorguç, A. G., 2007. Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), s.451-459, Ankara, Türkiye.
- Selçuk, S. A., Sorguç, A. G., 2009. Origamics in architecture: A medium of inquiry or design in architecture, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009/2, 26:2, s.235-247.
- Sev, A., 2001. *Türkiye ve Dünyadaki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi*, Doktora Tezi. Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.90 – 448, İstanbul, Türkiye.
- Sev, A., Gür, V., Özgen, A., 2003. *Cephenin Vazgeçilmez Saydam Malzemesi Cam*, 2. Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi, 6-8, Ankara, Türkiye.
- Sobek, W., Bergmann, C., Haase, W., 2012. *Hafif Yapı Elemanları Tasarımı: Stuttgart Üniversitesi Hafif Strüktürler ve Kavramsal Tasarım Enstitüsünün Güncel Çalışmaları*, Ege Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye. Çeviren: Yenal Akgün.
- Songel, J. M., 2020. Sustainability Lessons From Vernacular Architecture In Frei Otto's Work: Tents And Gridshells, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIV-M-1-2, s.233 – 240.
- Sönmez, B., Kiasıf, G. Ç., 2018. Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Bağlamda Akıllı Cephe Sistemlerinin Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkileri, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 63-98, İstanbul, Türkiye.
- Tang, G., Chilton, J. C., Beccarelli, P., 2013. *Progressive Development of Timber Gridshell Design*, Analysis and Construction, s. 1387.
- Tekgüvercin, Z. D., 2002. *Uzay Kafes Sistemler; Tarihi Gelişim, Güncel Durum*, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Tuğrul, F., Sev, A., 2015. Geleceğin Sürdürülebilir Yapı Teknolojilerine Bir Bakış: Hafif Strüktürler, *2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, Türkiye.
- Uysal, A., 2004. *Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri*, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Varol, O. İ., 2021. *Günümüz Mimarisinde Kullanılan Etfе Örtü Sistemleri ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Yaşar, E., Atis, C. D., Kılıç, A., Gülşen, H., 2003. *Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash*, Materials Letters, No. 57, s.2267-2270.
- Yazgan, M. T., 2020. Değişik Katlarda Çıkan Yangın Sonucunda Çelik Yapıların Dayanımlarının Araştırılması, *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 19-33, İstanbul, Türkiye.
- Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., 2006. Pomza Ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), Ankara, Türkiye.
- Yeler, M. G., 2012. *Mimarlıkta Biyomorfizm*, Doktora tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.
- Yıldırım, S. G., 2003. *Hafif Çelik Taşıyıcılı Endüstrileşmiş Konutlarda Tasarım Verileri*, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yılmaz, F., 1998. *Yüksek Binalarda Taşıyıcı Sistem Etkinliği*, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Zeytun, B. U., 2014. *Mimari Tasarımda Biyomorfik Yaklaşımlar*, Yüksek Lisans Tezi. Yakınoğlu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, Kıbrıs.
- URL-1, 2011. *Mimarlık ve strüktür*. <http://www.doganhasol.net/mimarlik-ve-struktur.html> (Erişim Tarihi: 09.05.2022).
- URL-2, 2022. *Çeliğin tarihçesi*. <https://www.etnacelik.com.tr/celigin-tarihcesi/> (Erişim Tarihi: 09.05.2022).
- URL-3, 2019. *Kristal Saray*. https://www.researchgate.net/figure/Crystal-Palace-1851_fig2_330984041 (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-4, 2019. *Çelik ürünleri*. <https://celik.data.blog/dokme-celik-uretimi-ozellikleri-ve-kompozisyonu/> (Erişim Tarihi: 09.05.2022).
- URL-5, 2017. *Çelik yapılar*. https://kipdf.com/elk-yapilar-i-dersnotlari_5b22d433097c47e5648b4b17.html (Erişim Tarihi: 09.05.2022).
- URL-6, 2020. *Uzay kafes sistemler*. <https://avesis.itu.edu.tr/resume/downloadfile/komurcus?key=12c756f7772544d5b9f0-b08b12f86b8d> (Erişim Tarihi: 09.05.2022).
- URL-7, 2009. *Uzay kafes sistemleri*. <http://www.yapkat.com/Urun.asp?UrunID=101&FirmaID=4299> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-8, 2017. *Saydam beton tasarımı*. <https://insapedia.com/saydam-beton/> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).

- URL-9, 2011. *Özellikli camların mimaride kullanımı*. https://www.cativecephe.com/yayin/656/ozelliklicamlarinmimaridekullanimi_19491.html#.Ynpw4fNBzIU (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-10, 2018. *Giydirme cephe nedir*. <https://www.projedefirsat.com/haber/giydirme-cephe-nedir> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-11, 2014. *Silikonlu cepheler*. http://www.aluwall.com/pdf/Strukturel_Silikonlu_Sistemler.pdf (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-12, 2016. *Germe sistemlerin yapısal tasarım ilkeleri*. <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2016/tekil/fevzi-dansik/5fevzi-dansik.pdf> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-13, 2017. *Münih Olimpiyat Stadyumu*. <https://www.arkitektuel.com/munih-olimpiyat-stadyumu/> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-14, 2020. *Membran nedir*. <http://propermembran.com/membran-nedir/> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-15, 2009. *Tekstil mimarlığı*. <http://www.fabricart.com.tr/technical-informations/textile-architecture/> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-16, 2019. *Membran sistemler ve çeşitleri*. <https://insapedia.com/membran-sistemler-ve-cesitleri/> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-17, 2019. *Membran sistem ve çeşitleri*. <https://insapedia.com/membran-sistemler-ve-cesitleri/> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-18, 2017. *Şişme yapılar*. <http://www.artoftent.com/tr/urunlerimiz/sisme-yapilar/> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-19, 2018. *Son-O-House by NOX/Lars Spuybroek*. <https://parametric-architecture.com/son-o-house-by-nox-lars-spuybroek/> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-20, 2018. *Son-O-House*. <https://www.evdh.net/sonohouse/> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-21, 2020. *Burj El Arab*. <https://archi101.com/yapilar/burj-el-arab/> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-22, 2019. *Burj al Arab Dubai Hotel*. <https://www.e-architect.com/dubai/burj-al-arab-tower> (Erişim Tarihi: 06.06.2022).
- URL-23, 2020. *Ahşap strüktür tasarımı*. <https://mimarobot.com/tasarim/tasar%C4%B1m-%C3%B6rnekleleri/photos/4196/ah%C5%9Fapstr%C3%BCkt%C3%BCrtasar%C4%B1m%C4%B1> (Erişim Tarihi: 07.06.2022).

- URL-24, 2015. *Essen Pavilyon*. <http://www.freiotto.com/Boegen.html#> (Erişim Tarihi: 07.06.2022).
- URL-25, 2018. *Multihalle Mannheim*. <https://www.arkitektuel.com/mannheim-multihalle/> (Erişim Tarihi: 07.06.2022).
- URL-26, 2017. *Japon Pavilyon EXPO 2000 Hannover*. <https://en.wikiarquitectura.com/building/japan-pavillion-expo-2000-hannover/> (Erişim Tarihi: 07.06.2022).
- URL-27, 2010. *Toplum, çevre ve atıklar*. <https://9lib.net/article/atiklar-çevre-atiklar-dönüştürülmüş-malzemelerden-üretilen-ürünlerin-kullanımı.q05pv46l> (Erişim Tarihi: 16.05.2022).
- URL-28, 2015. *Broadfield House Cam Müzesi*. <http://www.spirit-architects.london/broadfield-house-glass-museum> (Erişim Tarihi: 07.06.2022).
- URL-29, 2009. *Stuttgart Cam Kubbesi*. https://www.researchgate.net/figure/Stuttgart-Glass-Dome-CMU-Architecture-2009_fig3_328007176 (Erişim Tarihi: 07.06.2022).
- URL-30, 2019. *Deprem nedir deprem klavuzu*. <http://imranli.gov.tr/deprem-nedir-deprem-klavuzu> (Erişim Tarihi: 16.05.2022).
- URL-31, 2015. *Çelik yapıların yangına karşı korunması*. <http://endurans.com.tr/ceлик-yapilarin-yangina-karsi-korunmasi/> (Erişim Tarihi: 16.05.2022).
- URL-32, 2017. *Coal Drops Yard*. <https://www.heatherwick.com/project/coal-drops-yard/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-33, 2018. *Coal Drops Yard*. <https://www.dezeen.com/2018/10/26/thomas-heatherwick-studio-coal-drops-yard-shopping-centre-kings-cross-architecture/> (Erişim Tarihi: 18.05.2022).
- URL-34, 2018. *Coal Drops Yard Heatherwick Studio*. <https://www.archdaily.com/904676/coal-drops-yard-heatherwick-studio> (Erişim Tarihi: 18.05.2022).
- URL-35, 2019. *Coal Drops Yard*. <https://www.arkitektuel.com/coal-drops-yard/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-36, 2019. *Coal Drops Yard*. <https://www.arkitektuel.com/coal-drops-yard/> (Erişim Tarihi: 18.05.2022).
- URL-37, 2021. *İşlevsel dönüşümde yaratıcılık*. <https://yapidergisi.com/islevsel-donusumde-yaraticilik/> (Erişim Tarihi: 18.05.2022).
- URL-38, 2012. *Convent de Sant Francesc*. <https://www.archdaily.com/251389/convent-de-sant-francesc> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).

- URL-39, 2017. *King's Cross Tren İstasyonu*. https://tr.wikipedia.org/wiki/King%27s_Cross_Tren_%C4%B0stasyonu (Erişim Tarihi: 18.05.2022).
- URL-40, 2018. *King's Cross İstasyonu*. <https://www.e-architect.com/london/kings-cross-station-transformation> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-41, 2012. *Western Concourse at King's Cross by John McAslan + Partners*. <https://www.dezeen.com/2012/03/14/western-concourse-at-kings-crossbyjohnmcaslanpartners/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-42, 2012. *King's Cross İstasyonu*. <https://www.archilovers.com/projects/52748/gallery?360054> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-43, 2022. *Oase No.7*. <https://architectuul.com/architecture/oase-no-7> (Erişim Tarihi: 20.05.2022).
- URL-44, 2012. *Kassel Fridericianum*. <https://tr.pinterest.com/pin/190136415494265777/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-45, 2022. *Kassel Fridericianum*. https://media.architectuul.com/architecture/5201101caa2045919cfb6f9a6d7b5f76_large.jpg (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-46, 2017. *Biyomimikri ile tanışmış mıydınız*. <https://netvent.com/biyomimikri-ile-tanismis-miydiniz/> (Erişim Tarihi: 23.05.2022).
- URL-47, 2008. *Doğa tarihi kozaya girdi*. <http://mimdap.org/2008/09/dodha-tarihi-muzesi-kozaya-girdi/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-48, 2018. *King's Collage Şapeli*. <https://www.alamy.com/the-interior-of-the-kings-college-chapel-in-kings-college-cambridge-the-organ-is-shown-along-with-the-huge-vaults-image239386575.html> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-49, 2018. *Frei Otto dallanma teorisi*. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=Jf3HBTJ6CNY_fkBCDW4zA&no=N-09gWxk9I4f0N22iLOoNw (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-50, 2017. *Stuttgart Havaalanı*. <https://www.rikysongsu.com/blog/2017/4/26/stuttgart-airport> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-51, 2008. *Masdar Genel Merkezi*. <https://archinect.com/soyounglee/project/masdar-headquarters> (Erişim Tarihi: 23.05.2022).
- URL-52, 2022. *Masdar Genel Merkezi*. http://smithgill.com/work/masdar_headquarters/ (Erişim Tarihi: 08.06.2022).

- URL-53, 2010. *Masdar Genel Merkezi*. <https://tr.pinterest.com/pin/588423507564995662/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-54, 2010. *Masdar Genel Merkezi*. <https://www.carboun.com/sustainable-design/masdar-headquarters-the-first-positive-energy-building-in-the-middle-east/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-55, 2014. *BIM*. <https://nocloudinthesky.wordpress.com/author/vidhy4/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-56, 2015. *Santiago Calatrava*. https://calatrava.com/projects/bce-place-galleria-heritage-square-%20toronto.html?view_mode=gallery,% (Erişim Tarihi: 23.05.2022).
- URL-57, 2018. *Oriente Tren İstasyonu*. <https://www.flickr.com/photos/22746515@N02/46355810802> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-58, 2014. *Oriente Tren İstasyonu*. <https://arqmodernalisboa.wordpress.com/2014/12/09/estacion-gare-do-orientel/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-59, 2021. *Gherkin Kulesi*. <https://tr.pinterest.com/pin/390054017707504037/> (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-60, 2019. *Santiago Calatrava*. <https://www.archdaily.com/531290/spotlight-santiago-calatrava> (Erişim Tarihi: 23.05.2022).
- URL-61, 2006. *Milwaukee Sanat Müzesi*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Milwaukee_Art_Museum_1_%28Mulad%29.jpg (Erişim Tarihi: 08.06.2022).
- URL-62, 2007. *Turning Torso*. <http://mimdap.org/2007/08/hsb-turning-torso/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-63, 2019. *Turning Torso Kulesi*. <https://volkanatabey.com.tr/turning-torso-tower-sanatin-insaat-sektoruyle-bulusmasi/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-64, 2012. *Turning Turso structure*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turning_Torso_structure.svg (Erişim Tarihi: 23.05.2022).
- URL-65, 2004. *Turning Turso*. <https://edoc.site/turning-torso-malmo-pdf-free.html> (Erişim Tarihi: 23.05.2022).
- URL-66, 2017. *Münih Olimpiyat Stadyumu*. <https://www.arkitektuel.com/munih-olimpiyat-stadyumu/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).

- URL-67, 2017. *Münih Olimpiyat Stadyumu*. <https://www.arkitektuel.com/category/projeler/kamusal/spor/> (Erişim Tarihi: 24.05.2022).
- URL-68, 2016. *İnşaat mühendisliğinin faydaları ve uygulamaları*. <https://theconstructor.org/structures/tensegrity-structures-benefitsapplications/14181/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-69, 2010. *Pnömatik yapısal sistemler*. <https://pneumaticstructuralsystems.wordpress.com/about/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-70, 2021. Ulusal Uzay Merkezi. <https://www.pinterest.de/pin/324611085648680369/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-71, 2015. *Eden Projesi*. <https://gaiadergi.com/dunyanin-en-buyuk-serasi-eden-projesi/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-72, 2010. *Tensegrity structures-benefits and applications in civil engineering*. <https://buildingskins.wordpress.com/2010/01/13/eden-project-near-st-austell/> (Erişim Tarihi: 26.05.2022).
- URL-73, 2021. *Dünyanın en büyük serası: Eden Projesi*. <https://www.milliyet.com.tr/emlak/dunyanin-en-buyuk-serasi-eden-projesi-63220> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-74, 2018. *Tekstil esaslı malzemelerin mimaride kabuk tasarımında kullanımı ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi*. <https://9lib.net/article/sporlar%C4%B1merkezik%C3%BCp%C3%BCteksti%CC%71-esasli-malzemeleri%CC%87nmi%CC%87mari%CC%87de-tasariminda.8ydvolly> (Erişim Tarihi: 27.05.2022).
- URL-75, 2018. *Ulusal Su Sporları Merkezi*. <https://www.dreamstime.com/photos-images/beijing-olympic-park.html> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-76, 2008. *Su kübü*. <https://www.arkitera.com/haber/su-kubu/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-77, 2010. *Beijing Ulusal Su Sporları Merkezi*. <https://www.alarko-carrier.com.tr/Upload/Newsletter/c45b05ac-a436-40f9-9602-b21870477024.pdf> (Erişim Tarihi: 27.05.2022).
- URL-78, 2022. *Pekin Ulusal Su Sporları Merkezi*. https://stringfixer.com/tr/Beijing_National_Aquatics_Centre (Erişim Tarihi: 27.05.2022).
- URL-79, 2015. *Doğadan ilham alan 14 akıllı buluş: biyomimikri*. <https://www.bloomberg.com/news/photoessays/20150223/14smartinventionsinspired-by-nature-biomimicry> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).

- URL-80, 2006. *Su kübü mühendisliği*. <https://architectureau.com/articles/practice-23/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-81, 2017. *Sydney Opera Binası*. <https://listelist.com/ikonik-yapilar/> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-82, 2012. *Aldar Gökdeleni*. <https://forum.donanimhaber.com/al-raha-plaji-abu-dabi-al-dar-merkez-binası-nasil-insa-edildi-2006-2010--66081144> (Erişim Tarihi: 09.06.2022).
- URL-83, 2018. *Mannheim Multihalle*. <https://www.arkitektuel.com/mannheim-multihalle/> (Erişim Tarihi: 13.05.2022).
- URL-84, 2018. *Odate Dome*. <https://www.arkitektuel.com/odate-dome/> (Erişim Tarihi: 14.05.2022).
- URL-85, 2008. *Nanoteknoloji ve mimarlık*. <http://ninel.blogspot.com/2008/11/nanoteknoloji-ve-mimarlk.html> (Erişim Tarihi: 30.05.2022).



