



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

**MİMARİ STRÜKTÜRLERDE CANLILARIN
SİSTEMLERİNİN VE DENEYİMLERİNİN YANSIMA
BİÇİMLERİNİN İRDELENMESİ**

Melike ÇETİNER

BURDUR, 2023

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

**MİMARİ STRÜKTÜRLERDE CANLILARIN
SİSTEMLERİNİN VE DENEYİMLERİNİN YANSIMA
BİÇİMLERİNİN İRDELENMESİ**

Melike ÇETİNER

Danışman: Prof. Dr. Sevim ATEŞ CAN

BURDUR, 2023

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Mimari Strüktürlerde Canlıların Sistemlerinin ve Deneyimlerinin Yansıma Biçimlerinin İrdelenmesi”** 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.

10 / 02 / 2023

(İmza)

Melike ÇETİNER

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Sevim ATEŞ CAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen annem Nihal KAYA, babam Metin KAYA, kardeşim Hayri KAYA ve yüksek lisans tezimi yazma sürecimde her an yanımda olan eşim İsmail ÇETİNER ve varlığıyla beni onurlandıran kızım Öykü Nida ÇETİNER'e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2023

Melike ÇETİNER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Strüktür Kavramı	6
2.1.1. Strüktürel Gereksinimler	7
2.1.1.1. Denge Durumu	7
2.1.1.2. Geometrik Stabilite (Kararlı Olmak)	8
2.1.1.3. Yeterli Dayanım ve Rijitlik	10
2.1.2. Mimaride Strüktür Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	11
2.1.2.1. Endüstri Devrimi Öncesi Strüktürel Gelişme	11
2.1.2.2. Endüstri Devrimi Sırasındaki Strüktürel Gelişme	13
2.1.2.3. Endüstri Devrimi Sonrası (Çağdaş) Strüktürel Gelişme	14
2.1.3. Mimaride Strüktür Sistemlerinin Sınıflandırılması	15
2.1.3.1. Geleneksel Sistemler	15
2.1.3.2. Yığma Sistemler	15
2.1.3.2.1. İskelet Sistemler	16
2.1.3.3. Çağdaş Sistemler	18
2.1.3.3.2. Asma Germe (Kablo) Sistemler	18
2.1.3.3.2.1. Tek kablolu sistemler	20
2.1.3.3.2.2. Çift kablolu sistemler	21
2.1.3.3.2.3. Kablo ağı sistemleri	23
2.1.3.3.3. Kabuk ve Katlanmış Plak Sistemler	24
2.1.3.3.3.1. Kabuk sistemler	24
2.1.3.3.3.2. Katlanmış Plak Sistemler	26
2.1.3.3.4. Uzak Kafes Sistemler	27
2.1.3.3.5. Pnömatik Sistemler	29
2.2. Biyomimikri Kavramı	30
2.2.1. Biyomimikri Kavramı Tanımı ve Etimolojisi	31
2.2.1.1. Yaşamın Dokuz Prensipleri	34
2.2.1.2. Model, Ölçüt ve Kılavuz Olarak Doğa	35
2.2.1.3. Biyomimikri Pratiğini Bilgilendiren Tasarım Spirali	35
2.2.2. Biyomimikri Tasarım Yaklaşımları	36
2.2.3. Biyomimikrinin Aşamaları	39
2.2.4. Biyomimikri Kavramının Tarihçesi	41
2.2.4.1. Kavram Öncesi Biyomimikri (Antik Çağ-Rönesans)	41
2.2.4.2. Rönesans Dönemi'nde Biyomimikri	44
2.2.4.3. 1784-1870 Yılları Arasında Biyomimikri (Endüstri I-Buharın Gücü)	46

2.2.4.4. 1870-1969 Yılları Arasında Biyomimikri (Endüstri II-Elektrik ve Seri Üretim)	48
2.2.4.5. 1960-2015 Yılları Arasında Biyomimikri (Endüstri III- Bilgisayar ve Otomasyon)	49
2.2.4.6. 2015 Yılı Sonrası Biyomimikri (Endüstri IV- Yapay Zekâ)	52
2.3. Biyomimikri Kavramı Üzerinden Mimarlık Üretmek	54
2.3.1. Yapı Tasarımında Biyomimikrik Yaklaşımlar	55
2.3.1.1. Bitkisel (Fitomorfik) Biçimlenme	55
2.3.1.2. Hayvansı (Zoomorfik) Biçimlenme	61
2.3.1.3. İnsansı (Antropomorfik) Biçimlenme	64
2.3.1.4. Mikroskobik (Mikromorfik) Biçimlenme	70
2.3.1.5. Organizmaların Yaşam Ortamlarına Dayalı Biçimlenme	73
3. MATERYAL VE YÖNTEM	76
3.1. Materyal	76
3.2. Yöntem	76
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR	77
4.1. Biyomimikrinin Strüktür Tasarımına Yansıması	77
4.1.1. Stuttgart Havalimanı	77
4.1.2. Oriente Tren İstasyonu	80
4.1.3. Pancho Stadyumu	83
4.1.4. Sec Armadillo Binası (Clyde Oditoryum)	86
4.1.5. The Gherkin (30 St Mary Axe)	89
4.1.6. Pekin Ulusal Stadyumu	92
4.1.7. Gardens By the Bay- Supertrees	94
4.1.8. Warp Skyscraper	99
4.1.9. Los Manantiales Restaurant	101
4.1.10. The Metropol Parasol	104
4.1.11. La Sagrada Familia	107
4.1.12. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu	113
4.1.13. 3Ts in the Mississauga Gökdeleni	118
4.1.14. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu	121
4.1.15. Kral Abdullah Araştırma Merkezi	125
5. SONUÇ	129
KAYNAKLAR	133

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Devrilme ve denge durumunun kâğıt üzerinden gösterimi	8
Şekil 2.2. İki boyutlu çerçeve ve üç boyutlu sistemin gelen yükler ile kararlı olma halini koruyamaması (a) ve İki boyutlu çerçeve ve üç boyutlu sistemde çerçeveye eklenen diyagonal elemanların gelen yükler ile kararlı olma durumunu desteklemesi.....	9
Şekil 2.3. (a)Sırasıyla diyagonal eleman, rijit diyafram ve rijit bağlantı ile çerçevenin kararlı duruma ulaşması, (b) bir dizi çerçeve arasından bir tanesinin desteklenmesi ile dengeye ulaşma, (c) rijit diyaframla sistemin dengeye ulaşması ve (d) çerçeve dizisinin minimum destek sayısı ile dengeye ulaşması	9
Şekil 2.4. Yük uygulanan cisimlerde oluşan tepki kuvveti	10
Şekil 2.5. Strüktür elemanı üzerinde yükten dolayı oluşan basınç ve gerilme durumları ...	10
Şekil 2.6. Coalbrookdale Severn Irmağı köprüsü, Abraham Darby, 1779, Coalbrookdale	14
Şekil 2.7. Kemer, tonoz ve kubbe örneği	16
Şekil 2.8. Ahşap, çelik ve betonarme sistem örnekleri	17
Şekil 2.9. İtalyan Kongre Merkezi – iç mekân görünüşü.....	18
Şekil 2.10. Asma germe sistemler simetrik ve asimetrik yüklere göre ağ sistemi şekli	19
Şekil 2.11. Birbirinden bağımsız çalışan tek kablo sistem.....	20
Şekil 2.12. Dulles Havalimanı dış cephe ve iç mekân tek kablo askı sistem detayı	21
Şekil 2.13. Çift kablolu sistemlerde yüklerin aktarımı.....	21
Şekil 2.14. Çift kablolu sistemlerin çalışma mekanizması.....	22
Şekil 2.15. Denver Uluslararası Havalimanı	23
Şekil 2.16. Düzlemsel kablo ağlarında geometrik kavramlar	23
Şekil 2.17. Hacimsel (uzay) kablo ağlarında geometrik kavramlar	24
Şekil 2.18. Ingalls Buz Hokeyi Binası	24
Şekil 2.19. Sydney Opera Binası.....	26
Şekil 2.20. Katlanmış plak sistemler	26
Şekil 2.21. Tek katlanmış plak sistemlerde plak, giriş makas etkisi	27
Şekil 2.22. U.S. Air Force Academy Public Affairs	27
Şekil 2.23. Uzak kafes sistemini oluşturan ögeler	28
Şekil 2.24. Haydar Aliyev Kültür Merkezi yapım aşaması ve binanın bitmiş hali.....	29
Şekil 2.25. Pnömatik sistemlerin uygulama alanları	30
Şekil 2.26. Velcro ve tasarıma öncülük eden dikenli bitki.....	33
Şekil 2.27. Biyomimikri örnekleri.....	33
Şekil 2.28. Biyomimikri Tasarım Spirali	35
Şekil 2.29. Biyomimikri temelli tasarım yaklaşımı süreçleri.....	37
Şekil 2.30. Biyomimikri temelli tasarım yaklaşımlarındaki alan dönüşümleri ve sürecin genel aşamaları	38
Şekil 2.31. Biyomimikrinin Seviyeleri.....	40
Şekil 2.32. Antik Çağ'da kavram öncesi biyomimikri.....	42
Şekil 2.33. Antik Çağ'da savaş kıyafetlerinin tasarımında biyomimikri örnekleri.....	43
Şekil 2.34. Leonardo da Vinci'nin çizdiği homo-quadratus	45
Şekil 2.35. Leonardo da Vinci'nin biyomimikri tasarımlarına ait maketler	45
Şekil 2.36. 1-Nilüfer çiçeği kaburga benzeri lif dizilimi ve 2-Kristal Saray.....	47

Şekil 2.37. René Binet tarafından Paris 1900’de dünya sergisine yapılan anıtsal giriş için tasarım	48
Şekil 2.38. 1- WABOT-1 (1972), 2- WABOT-2 (1984).....	51
Şekil 2.39. Endüstri Devrimi süreçleri	54
Şekil 2.40 Yunan Mimarisinde fitomorfik sütun örneği ve Mısır Mimarisinde fitomorfik sütun örneği	56
Şekil 2.41. Vitruvius’un kitabında yer alan Fitomorfik sütun başlıkları çizimleri.....	57
Şekil 2.42. Viollet le Duc tarafından çizilmiş yaprak eskizi ve Nikolaus Pevsner tarafından çizilmiş Art Nouveau akımında etkili olan bitki desenleri	57
Şekil 2.43. Sirkeci’de Vlora Han cephe detayı	58
Şekil 2.44. Mobilyada kullanılan Fitomorfik tasarım	58
Şekil 2.45. Victor Horta tarafından 1892-93’te inşa edilen ve eğrisel botanik formlarıyla tanınan Brüksel'deki Tassel Evi.....	59
Şekil 2.46. Altın oranın görüldüğü örnekler.....	59
Şekil 2.47. Partenon Tapınağı altın oran	60
Şekil 2.48. Bahai Tapınağı	61
Şekil 2.49. Hierapolis Arkeoloji Müzesi yarı insan yarı hayvan mitolojik figür ve Yakutiye Medresesi kartal, aslan ve hayat ağacı figürü	62
Şekil 2.50. Bomarzo Canavar Parkı	63
Şekil 2.51. Jacques Lequeu’nun inek şeklinde tasarladığı mandıra	63
Şekil 2.52. World Trade Center (WTC) İstasyon Binası’na ait eskiz ve bina dış cephe fotoğrafı	64
Şekil 2.53. World Trade Center (WTC) İstasyon Binası iç mekân fotoğrafları.....	64
Şekil 2.54. Tholos mezar yapısına ait plan ve kesitler	66
Şekil 2.55. Malta’da bulunan ‘Tanrıça’ heykeli (1) ve Mnajdra Tapınağı planı (2).....	66
Şekil 2.56. Mnajdra Tapınağı	67
Şekil 2.57. Antik Çağ mimarisinde kadın formu: karyatid örneği	67
Şekil 2.58. Francesco’nun Antropomorfik oranlara göre yaptığı plan (1) ve cephe eskizi (2)	68
Şekil 2.59. Francesco’nun Antropomorfik oranlara göre yaptığı sütun başlıkları eskizi....	68
Şekil 2.60. Friedrich Kiesler’in Antropomorfik Endless House projesine ait eskizler ve proje modeli	69
Şekil 2.61. Uyluk kemiği yapısı ve Eiffel Kulesi.....	69
Şekil 2.62. Dancing House	70
Şekil 2.63. Chengdu Nanobiyomedikal Teknoloji ve Zar Biyolojisi Enstitüsü	71
Şekil 2.64. Arı gözü, c60 molekülü, ışınılar, Fuller’in Expo67 jeodezik kubbesi, jeodezik kubbe çalışma eskizi	71
Şekil 2.65. Eklem bacaklıların lif yapısı ve morfolojik biçimlenme ve tasarımsal hesap analizleri	72
Şekil 2.66. Araştırma sonucu tasarlanan pavilyon	72
Şekil 2.67. Stockholm öneri şehir kütüphanesi cephesi ve strüktürel ağı	73
Şekil 2.68. Kırılmaç yuvası ve Kubbeli Harran evleri	74
Şekil 2.69. Dokumacı kuşu yuvası ve Robin Hill Country Park içerisinde yer alan dokumacı kuşu yuvası taklidi proje	75
Şekil 4.1. Stuttgart Havalimanı dış cephe fotoğrafı ve iç mekân görünümü.....	78
Şekil 4.2. Taşıyıcı kolonların strüktürel şeması ve umbellet sistematigi	79
Şekil 4.3. Ağaç şeklinde taşıyıcı kolonlar ve kesit.....	80
Şekil 4.4. Palmiye ağacı ve yaprak damarları biçimsel öykünme.....	81
Şekil 4.5. Betonarme ve çelik strüktür damarlanma ve geometri	82
Şekil 4.6. Stadyum üst örtüsünü taşıyan betonarme ve ahşap taşıyıcılar ve sistem kesiti ..	85

Şekil 4.7. Stadyuma ait iç mekanlar ve dış cephelerde de ahşap strüktürün ağaç morfolojisi devam etmektedir	85
Şekil 4.8. Sec Armadillo Zoomorfik cephe	87
Şekil 4.9. Sec Armadillo inşaatı strüktürel detaylar	88
Şekil 4.10. Sec Armadillo inşaatı fotoğrafı	88
Şekil 4.11. The Gherkin bina formuna ilişkin rüzgâr diyagramı.....	89
Şekil 4.12. The Gherkin bina fotoğrafı ve bina formuna ilişkin eskiz	90
Şekil 4.13. Binanın dış cephe formu ve merkezi çelik taşıyıcı sistemi ile tipik kat planı... 91	
Şekil 4.14. Pekin Ulusal Stadyumu bina fotoğrafı ve cephe detay fotoğrafı	93
Şekil 4.15. Pekin Ulusal Stadyumu strüktür diyagramı ve cephe detay fotoğrafı.....	94
Şekil 4.16. Gardens By The Bay (1) ve Bay South Garden (2) vaziyet.....	95
Tablo 4.20. Gardens By the Bay hakkında biyomimetik bilgiler.....	95
Şekil 4.17. Supertrees peyzaj yerleşimi üç boyutlu görseli.....	96
Şekil 4.18. (a)Supertrees gece-gündüz diyagramı, (b) güneş ışığı ve yağmur suyu kullanım diyagramı ve (c) ağaç strüktürlerin üst görünümü.....	97
Şekil 4.19. Supertrees.....	98
Şekil 4.20. Dört farklı büyüklükteki ağaç strüktürlerinin çekirdek-temel ve çelik dış kaplama ve dikey bahçe diyagramı	98
Şekil 4.21. Yapının insan anatomisinden yola çıkılarak tasarlanmış bölümlerini gösteren diyagram (1) ve yapı kesiti ile kesitleri (2,3).....	100
Şekil 4.22. Yapı konsepti (1) Yapı strüktürü (2) Yapı cephesi (3) Yapı enerji üretimi (4)	101
Şekil 4.23. Los Manantiales Restaurant Yapı kabuğunu gösteren fotoğraf (1) ve Yapı sistemini anlatan kesit ve görünüş (2)	102
Şekil 4.24. Betonarme kabuk detay fotoğrafı (1) yapı kabuğu ve mesnet noktaları plan (2)	103
Şekil 4.25. The Metropol Parasol binası meydan görünüşü.....	104
Şekil 4.26. The Metropol Parasol yapısının mantar gövdesi hiflerine benzeyen taşıyıcı ve üst örtüsü.....	105
Şekil 4.27. The Metropol Parasol betonarme çekirdek ve ahşap taşıyıcı inşası.....	107
Şekil 4.28. The Metropol Parasol ahşap birleşim detayları.....	107
Şekil 4.29. La Sagrada Familia devam eden inşa faaliyetleriyle birlikte kuleleri.....	109
Şekil 4.30. La Sagrada Familia dış cephesinde kullanılan antropomorfik ve fitomorfik örnekler	109
Şekil 4.31. La Sagrada Familia iç mekân ağaç görünümlü sütunlar ile ormandaki ışık süzülmesinin tasvir edildiği iç mekân görselleri	110
Şekil 4.32. La Sagrada Familia iç mekân ağaç görünümlü sütunlar ve ağaç formundaki sütunlar ile taşınan çinili tonoz.....	112
Şekil 4.33. Sırasıyla kule, sütun ve neflerde beton kullanımı	112
Şekil 4.34. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu	113
Şekil 4.35. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu Calatrava'ya ait eskiz ve tren istasyonu fotoğrafı	115
Şekil 4.36. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binasının Calatrava'ya ait eskizleri.....	115
Şekil 4.37. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binasının fotoğrafları.....	116
Şekil 4.38. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binasının temel taşıyıcı çelik ve beton kemerlerini gösteren maketler.....	117
Şekil 4.39. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binası kesit ve çelik sistem 3d çizim	117

Şekil 4.40. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu iç mekân ve dış cephe strüktürü	117
Şekil 4.41. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu demir yolu bölümü taşıyıcı sistem maketi.....	118
Şekil 4.42. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu demir yolu bölümü taşıyıcı sistemi	118
Şekil 4.43. 3Ts in the Mississauga Skyline strüktürel sistem oluşum diyagramı	120
Şekil 4.44. 3Ts in the Mississauga Skyline 3D model (1) ve yağmur sistemi diyagramı (2)	121
Şekil 4.45. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu (URL-78, 2023).....	123
Şekil 4.46. Pop-Up Bowooss Bionic Research Pavilion 3d strüktür diyagramı	124
Şekil 4.47. Pop-Up Bowooss Bionic Research Pavilion yapım aşaması (1) ve ahşap kabuk birleşim detayı	124
Şekil 4.48. Kral Abdullah Araştırma Merkezi bal peteği formu hava fotoğrafı	126
Şekil 4.49. Kral Abdullah Araştırma Merkezi bal peteği formu fotoğraf ve ağaç görünümlü çelik sütunlar.....	127
Şekil 4.50. Yapının strüktürünü gösteren yapı inşaat fotoğrafları	128

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Kabuk sistemlerin sınıflandırılması	25
Tablo 2.2. Tasarımda Biyomimetik Yöntem	40
Tablo 2.3. Endüstri I Dönemi teknolojik dönüşüm	46
Tablo 2.4. Endüstri II dönemi teknolojik dönüşüm.....	48
Tablo 2.5. Endüstri III Dönemi teknolojik dönüşüm.....	49
Tablo 2.6 Endüstri IV dönemi teknolojik dönüşüm	52
Tablo 4.1. Stuttgart Havalimanı hakkında genel bilgiler.....	77
Tablo 4.2. Stuttgart Airport hakkında biyomimetik bilgiler.....	78
Tablo 4.3. Stuttgart Airport hakkında strüktürel bilgiler.....	79
Tablo 4.4. Oriente Tren İstasyonu hakkında genel bilgiler	80
Tablo 4.5. Oriente Tren İstasyonu hakkında biyomimetik bilgiler	81
Tablo 4.6. Oriente Tren İstasyonu hakkında strüktürel bilgiler	82
Tablo 4.7. Pancho Stadyumu hakkında genel bilgiler	83
Tablo 4.8. Pancho Stadyumu hakkında biyomimetik bilgiler	83
Tablo 4.9. Pancho Stadyumu hakkında strüktürel bilgiler	84
Tablo 4.10. Sec Armadillo Binası hakkında genel bilgiler	86
Tablo 4.11. Sec Armadillo Binası hakkında biyomimetik bilgiler.....	86
Tablo 4.12. Sec Armadillo hakkında strüktürel bilgiler	87
Tablo 4.13. The Gherkin Binası hakkında genel bilgiler	89
Tablo 4.14. The Gherkin Binası hakkında biyomimetik bilgiler.....	90
Tablo 4.15. The Gherkin Binası hakkında strüktürel bilgiler.....	91
Tablo 4.16. Pekin Ulusal Stadyumu hakkında genel bilgiler	92
Tablo 4.17. Pekin Ulusal Stadyumu hakkında biyomimetik bilgiler	92
Tablo 4.18. Pekin Ulusal Stadyumu hakkında strüktürel bilgiler.....	93
Tablo 4.19. Gardens By the Bay hakkında genel bilgiler.....	94
Tablo 4.20. Gardens By the Bay hakkında biyomimetik bilgiler.....	95
Tablo 4.21. Gardens By the Bay hakkında strüktürel bilgiler	97
Tablo 4.22. Warp Skyscraper hakkında genel bilgiler	99
Tablo 4.23. Warp Skyscraper hakkında biyomimetik bilgiler	99
Tablo 4.24. Warp Skyscraper hakkında strüktürel bilgiler.....	100
Tablo 4.25. Los Manantiales Restaurant hakkında genel bilgiler	101
Tablo 4.26. Los Manantiales Restaurant hakkında biyomimetik bilgiler	102
Tablo 4.27. Los Manantiales Restaurant hakkında strüktürel bilgiler.....	103
Tablo 4.28. The Metropol Parasol hakkında genel bilgiler	104
Tablo 4.29. The Metropol Parasol hakkında biyomimetik bilgiler	105
Tablo 4.30. The Metropol Parasol hakkında strüktürel bilgiler	106
Tablo 4.31. La Sagrada Familia hakkında genel bilgiler.....	107
Tablo 4.32. La Sagrada Familia hakkında biyomimetik bilgiler.....	108
Tablo 4.33. La Sagrada Familia hakkında strüktürel bilgiler.....	111
Tablo 4.34. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu hakkında genel bilgiler	113
Tablo 4.35. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu hakkında biyomimetik bilgiler	114
Tablo 4.36. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu hakkında strüktürel bilgiler	116
Tablo 4.37. 3Ts in the Mississauga Gökdeleni hakkında genel bilgiler.....	118

Tablo 4.38. 3Ts in the Mississauga Skyline hakkında biyomimetik bilgiler	119
Tablo 4.39. 3Ts in the Mississauga Skyline hakkında strüktürel bilgiler	120
Tablo 4.40. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu hakkında genel bilgiler	121
Tablo 4.41. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu hakkında biyomimetik bilgiler	122
Tablo 4.42. 3Ts in the Mississauga Skyline hakkında strüktürel bilgiler	123
Tablo 4.43. Kral Abdullah Araştırma Merkezi hakkında genel bilgiler	125
Tablo 4.44. Kral Abdullah Araştırma Merkezi hakkında biyomimetik bilgiler	125
Tablo 4.45. Kral Abdullah Araştırma Merkezi hakkında strüktürel bilgiler	127
Tablo 5.1. Tez kapsamında incelenen yapılara ait değerlendirme kriterleri	130



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

FTF	: First Things First (Önce Öncelikler)
ICOGRADA	: International Council Design (Uluslararası Tasarım Konseyi)
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Mimari Strüktürlerde Canlıların Sistemlerinin ve Deneyimlerinin Yansıma
Biçimlerinin İrdelenmesi**

Melike ÇETİNER

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Sevim ATEŞ CAN

Şubat, 2023

Doğa kendi içerisinde büyüyen, değişen, olgunlaşan, dönüştüren ve yok eden yapısıyla kendi sistemini mükemmel bir şekilde işleten en iyi öğreticidir. Bu kapsamda insanoğlu yaşamını idame ettirebilmek amacıyla tarihsel süreçte her zaman doğanın öğretilerine başvurmuş ve yaşamına uyarlamıştır. İlerleyen süreçte nüfusun kalabalık olması ve endüstrinin insan hayatına girmesiyle insanın yaşamı değişime uğramış ve zamanla dünyayı tüketim hızı artmıştır. Günümüze yaklaştığımızda ise tüketim ivme kazanmış ve dünya oldukça hızlı bir değişim sürecine girmiştir. Yakın geçmişte irdelenmeye başlanan dünyada kaynakların yok olması konusu ise yeni kavramlar ve çözüm yollarının bulunması için adım atılmasına öncülük etmektedir. Henüz çok yeni bir kavram olan biyomimikri de bu dönem içerisinde yer tutan popüler çözüm odaklı kavramlardandır. Doğadan referans alınarak doğanın davranış ve biçimlerini taklit eden yapı tasarımı günümüze doğru artmakta ve çalışmalar günümüzde oldukça karmaşılaşmaktadır. Bu kapsamda seçilen örnek yapılar biyomimetik benzetim, yaklaşım, dönem, biyomimikri düzeyi ve strüktürel özellikler açısından tablolastırılarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: biyomimikri, biyomimetik, strüktür, doğa

SUMMARY

Master Thesis

Examination of the Reflections of the Systems and Experiences of Living Beings in Architectural Structures

Melike ÇETİNER

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

Supervisor: Prof. Dr. Sevim ATEŞ CAN

February, 2023

Nature is the best teacher that operates its system perfectly with its structure that grows, changes, matures, transforms and destroys within itself. In this context, human beings have always applied to the teachings of nature in the historical process and adapted them to their lives in order to survive. In the following process, with the crowded population and the introduction of industry into human life, human life has changed and the speed of consumption has increased over time. As we approach today, consumption has gained momentum and the world has entered a period of rapid change. The issue of the extinction of resources in the world, which has started to be examined in the recent past, leads to steps to be taken to find new concepts and solutions. Biomimicry, which is still a very new concept, is one of the popular solution-oriented concepts in this period. Building design, which imitates the behavior and forms of nature by taking nature as a reference, is increasing towards the present day and the studies are getting quite complex today. In this context, selected sample structures were evaluated in terms of biomimetic simulation, approach, period, biomimicry level and structural features.

Keywords: biomimicry, biomimetics, structure, nature

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun kavramsal olarak mimarlığı üretme eylemi oldukça geç dönemlerde gerçekleşmiş olsa da eylem olarak mimarlık, insanın yaşamını idame ettirme zorunluluğundan dolayı, insanlığın vücut bulduğu andan itibaren var olan bir olgudur. İnsanoğlu en başından itibaren ilkel yaşamda temel ihtiyaçlarını karşılarken zamanla doğadan birçok şeyi taklit etmiş ve kendi yaşamına uyarlamıştır. Yaşam alanının üretimi gereklilik arz etmekteyken zamanla fikir üretilen, tasarlanan, sorgulanan, dönüşen bir disipline dönüşmüştür.

İlk insanlar barınma ihtiyaçlarını karşılamak için, doğrudan doğanın sunduklarını kullanarak mağaralarda, topladıkları doğal malzemelerle derme çatma yaptıkları yaşam alanlarında yaşamışlardır. Teknolojik imkanların olmadığı bu dönemlerde doğanın imkanlarını maksimum düzeyde gözlemleyerek ve deneyimleyerek kullanmışlardır. Doğadan kasıt ise doğanın içinde barındırdığı insan dışındaki, doğal döngüde mükemmel şekilde işleyen tüm ekosistemdir. Örneğin; Eskimo kabilelerinin yaşam alanı olan igloların tasarım prensibi yine doğa kaynaklıdır. İgloların tasarım prensibi; bir ayının kışın uyku için karların içerisine yaptığı yuvanın derinlik, giriş yönü gibi faktörlerin gözlemlenmesine dayanmaktadır. Temel fikir doğanın doğal döngüsü içerisinde yaşayan ayının içgüdüsel olarak yaptığı yuvanın yani ayının deneyiminin, insan gözlemi sonucunda mekân tasarımına biçimsel olarak yansıtılmasıdır.

Barınak probleminin her geçen gün irdelenmesi, yaşam şekillerinin değişmesi, toplu yaşama geçilmesi vb. olaylar kentsel oluşumları hızlandırmış ve güçlendirmiştir. Kentsel oluşumların hızlanması ve güçlü tüketimlerin olması ise doğanın sorunsuz işleyişi içinde problemler yaratmaya başlamıştır. Kendi kendine işleyebilme yetisine sahip olan devasa fabrika, dışarıdan gelen müdahaleler ile zamanla kendi döngü yetisini kaybetmeye başlamıştır.

Gelişen değişen toplumlar ile birlikte insanların yaşam alanlarının nasıl değiştiğine, kentlerin nasıl oluştuğuna dair sosyal bilimciler tarafından farklı teoriler ortaya atılmıştır. Bu teoriler hidrolik, ekonomik, askeri ve dinsel teorilerdir. Hidrolik teorilere göre gerçek uygarlıkların ortaya çıkmasında toprak ve iklimin artı ürün elde etmede pozitif katkı sağlayacağı bölgelerdir. Bu bölgeler tarımsal açıdan sulu tarımda iş birliğini zorunlu kılar, toprak yoğun şekilde işlenir. Ekonomik olarak kent oluşum teorilerine bakıldığında ise kent

bir pazar merkezidir ve ekonomik sürecin odak noktasıdır. Askeri açıdan kent oluşum teorilerinde ise kent toplumun savunma merkezi olarak görülmektedir. Dini olarak oluşum teorilerine göre kentlerin oluşumu dini inanışlara bağlıdır. Kentler dinsel açıdan önem arz etmekle birlikte insanların toplu halde olabileceği merkezlerdir (Falay, 1985).

İnsanoğlunun barınma, korunma ihtiyacı binlerce yıldır süregelen ancak günümüze kadar çok farklı fikir eklentileri alan bir disipline dönüşmüştür. İhtiyaç doğrultusunda başlayan barınma gereksinimi; dinsel, tarımsal, ticari, ekonomik gerekçelerle yerleşik hayata geçiş ile kentsel bir gelişim alanına dönüşmüş ve bununla birlikte mimari üretim mecrası kazanarak evrimleşmiştir.

Barınma kavramı, mekânsal tasarım problemine dönüşmüş ve tarım devriminde büyük bir değişime uğrayan barınma yaklaşımı ikinci büyük adım olan Sanayi Devrimi'nin sebep olduğu İtalya'da 20. yy'da karşımıza çıkan Fütürizm akımıyla da oldukça büyük bir değişime uğramıştır (Çakmaklı, 2020). Endüstrileşme ve makineleşmenin büyük devrimine şahit olan insanların yaşam alanlarında kayda değer değişiklikler olmuştur. Bununla beraber 21. yy'da teknolojinin çok hızlı şekilde ilerlemesi sonucunda ise insanların tasarlanmış ürün ve mekânların/kentlerin içinde doğması, temelde adapte olduğumuz doğal yaşam ortamının azalmasına, doğa kavramının göz ardı edilmesine sebep olmuştur (Seymenoğlu ve Yenen, 2018). Yapay bir dünyaya gözümüzü açan canlılar olarak, doğal olanı yok etme girişimimiz de bilinçli ya da bilinçsizce artmaktadır

1.1. Amaç ve Kapsam

Doğa sürekli bir değişim ve dönüşüm sürecindedir. Canlılar değişen yaşam şartları karşısında ya ayak uydurmakta ya da yok olmakta ve sonuçta bir tehlike ile karşı karşıya kalmaktadır. Doğanın sistemi, milyonlarca yıldır karşılaştığı problemleri çözebilme yetisine sahip ve kendi içerisinde döngüsü olan bir sistemdir. İnsanlar doğal yaşam ortamında henüz için çok başındayken, öğrenmeye daha yetkin ve muhtaçken bilgi birikimi arttıkça, yaşam döngüsünün işleyişini göz ardı edip doğaya ve doğal işleyişe de sırt çevirmeye başlamıştır. İnsanoğlu doğadan korunmak adına, doğal olanı düşüncesizce kullanarak doğayı tahrip etmiş ve bu durum doğal sistem döngüsünün bir zaman sonra hata vermesine sebep olmuştur. Doğanın sisteminde oluşan aksaklıklar için akıl çağıyla birlikte farkındalık oluşmuş ve bu konudaki araştırma ve çalışmalar birçok disiplinde yer bulmuştur.

Doğanın yıkımının/tahribatının en fazla olduğu alan mimari-kent tasarımı olarak tanımlanabilir. Kentler, teknoloji ve sanayi ile birlikte, insanların yaşamsal döngüleri için ana merkez haline gelmiştir. Kentlerin bilinçsizce gelişimi ise doğal olanın geri dönüşsüz

yok olmasına neden olmaktadır. Aslında doğa ve mimarlık birbirinden ayrılamaz bir bütün olarak görülmelidir. İkisi arasında sistemsel, strüktürel, çevresel olarak benzer ilişkilerden söz edilebilir. Ekosistem, en küçük yapı taşından en büyüğe doğru birbiriyle ilişki içerisinde ve en küçük yapı taşındaki değişiklik büyük bir birimi etkileyebilir. Aynı şekilde mimarlık için de benzer durumdan söz edilmesi mümkündür. Aynı zamanda her iki kavram da bir yaşam alanının ve yaşamın işleyişinin tarifidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde yaşamın devamlılığının sağlanması ve sürdürülebilir olması büyük önem kazanmaktadır. İnsanların oluşturduğu yaşam alanlarının da tıpkı doğanın temelinde olduğu gibi doğal döngüye uyum sağlayabilmesi ve şartlara göre evrimleşebilmesi, bunu yaparken de etkin enerji kullanımını, maksimum faydacı yaklaşımın mimarlık kavramını zedelemeyen yapılması da büyük önem ve ustalık istemektedir.

İnsanoğlu varoluşundan itibaren yaşam alanları tasarlarlarken doğanın işleyişini form-biçim-strüktür olarak incelemiş ve bunları gözlemleyerek canlı ya da cansız varlıkların sistemlerinden ve deneyimlerinden edindiği ilkeleri kendi yaşamına uyarlamıştır. Günümüzde ise teknolojinin hayatımızda büyük bir yer kaplaması ve teknolojinin etkin kullanımının faydacı olanaklar sunmasıyla birlikte, tasarım yaklaşımında ekoloji, sürdürülebilirlik kavramları ortaya çıkmıştır. Bu kavramların önem kazanmaya başlaması ile birlikte 1957’li yıllardan bu yana ise doğa referansı ile tasarlanan ürünlerde “bio” takısı kullanılmaya başlanmıştır (Yıldız, 2020).

Tüketimin hızla arttığı mimari alanda doğaya olan tahribat artmakta ve canlıların yaşam alanlarının sistematiği bozulmaktadır. Doğaya verilen zarar için bir farkındalık hareketinin içeriğini tanımlayan sürdürülebilirlik ve ekoloji gibi kavramların yanında ‘biyo’ takısıyla disiplinler arası çalışmalar için yeni kavramlar türemiştir. Tez çalışmasında; ‘biyo’ ön takısıyla kavramsallaşmış olan, doğa referanslı tasarımı anlatan ‘biyomimikri’ kavramı üzerinden bir araştırma yapılmıştır. Canlıların doğada oluşturduğu sistem ya da kendi biyolojik sistemleri ile doğa içerisinde içgüdüsel deneyimleri sonucunda ürettikleri yaşam ortamlarının işleyişinin mimariye aktarımı ve strüktürel anlamda yansımaların nasıl karşılık bulduğuna dair örneklerin incelenmesi tezin içeriğini oluşturmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, strüktür ve biyomimikri kavramlarının tanımları, kavramların tarihsel gelişim süreçleri ve kavramlara mimari açıdan yaklaşım ve bu yaklaşımlara konu olan mimari örnekler incelenmiştir. Biyomimikrik yaklaşımın, organizmaların form ve yaşam alanlarına dayanarak, strüktür kavramı ile birlikte mimari örnekler üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde mimarlık ve strüktürün birbirinden ayrı düşünülmemeyeceği ve doğanın

referansı ile tasarlanan mimari örneklerin, yeni yapılacak olan çalışmalara ve uygulamalara yol gösterici olması ve ışık tutması hedeflenmektedir.



2. GENEL BİLGİLER

Hayatta kalabilmek için en basit yol değişen, gelişen, tepki veren yani olması gerektiği gibi yaşayan çevre koşulları dikkate alınarak bu koşullara en uygun ve en güçlü birey olmaktan geçmektedir. Yaşam koşullarının sürekli olarak olumlu ya da olumsuz biçimde değiştiği hesaba katıldığında doğanın bitmek bilmeyen bir değişim/uyum sürecinde olduğu gerçeği göz önündedir (Özen, 2016).

Yüzyıllardır devam eden doğanın değişen koşullara uyum süreci günümüzde mükemmel şekilde işleyen doğal sistemlerin incelenerek, bu sistemlerin tasarımlara yansıtılması konusunda araştırma-üretme uygulama alanına yeni bir bakış açısı oluşturmuştur. Bu bağlamda, doğada var olan strüktürlerin mimari tasarımlara yansması sonucunda biyomimikri-biyomimetik-biyomimesis vb. isimlerle anılan yeni bir alan doğmuştur. Doğadan alınan bu anatomik ya da işlevsel referanslar tasarımlarda metaforik bir yaklaşım oluşturmuştur.

Doğa, mimarlık için bir varoluş evreni sunmaktadır. Bu eylemi gerçekleştiren bir yaşam katmanı olmaktan ziyade, kendisi bizzat mükemmel bir tasarım olan doğa, her daim yaşayan, değişime uğrayan, üreten ya da yok eden eylemlerin oluşum sebebidir. Bu da mimarlık algısının aslında doğanın tasarımının küçük bir kopyası şeklinde olduğu fikrini oluşturabilir. Doğa, kendi evreni olduğu gibi içinde yaşayan milyonlarca canlının da kendi içindeki evrenini barındırır. Tüm bu uyum; işlev, form, strüktür vb. birçok unsurun bir araya gelmesiyle oluşan bir yaşam alanıdır. Mimarlığa da doğanın minyatürü gibi baktığımızda, kalıplaşmış tasarım görüşlerinin dışında, kendi işleyişinde doğadan referanslar alınmasının kavramsal farkındalıklar hareketleri için bir uygulama alanı olduğu görülebilir. Bu şekilde mimari tasarım süreci, ekoloji ve sürdürülebilirlik kavramları çerçevesinde, doğa referanslı tasarım (biyomimikri) fikri ile gerek strüktürel, gerek işlevsel anlamda doğa ile uyumlu şekilde bir üretim mecrasına dönüşebilecektir.

İnşa etme kavramı görsel bir yaşam evreni oluşturmanın çok ötesinde birçok disiplinin ortaklaşa kurguladığı bir eylemi ifade etmektedir. Bu eylemin başta kurgulayıcıları mimarlar olarak görünse de yapının strüktürel çözümlerinde inşaat mühendisleri göz ardı edilemez. Tasarım bir sürecin başlangıcı olarak rol alsın da bu tasarımın işlevliği, ayakta kalabilmesi-strüktürel yapısı- en önemli problem haline gelmektedir.

Doğanın varoluşsal inşası ve süreci aynı zamanda mimarlık ve strüktürel kurgunun birbiri ile ilişkisidir. Doğayı anlamaya çalışmak ve tasarım yaparken doğadan referanslar almak yani biyomimikriyi mimariye dahil etmek, doğanın hem işlevsel hem de strüktürel

kurgusunun anlaşılabilmesi ile mümkün olabilecektir. Strüktür, reel var oluşun görsel olarak anlamlandırılabilirdiği yegâne unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.1. Strüktür Kavramı

Strüktür kavramı çeşitli bilim dallarında genel olarak bir bütünü oluşturmada, görev yüklenmiş parçaların düzeni anlamına gelmektedir (Demirkan, 2006). Strüktür sözcüğü Latince ‘Stuare’ kökünden gelen ve İngilizce karşılığı ‘Structure’ olan, Türkçe’de ise ‘inşa etmek- üst üste yığmak’ anlamına gelen kavramı karşılamaktadır. Aynı zamanda ‘Sternere’ (Germek, yaymak) kavramı ile bağlantısı da vardır. Sözlük açıklamasında ise “Belirli bir düzen şemasına bağlı, bağımsız elemanlarla bir bütün teşkili”, “Bir nesnenin ayrışık parçalarının düzeni” veya “Bir bütünün genel niteliğini belirleyen parçaların birbirleriyle olan ilişkileri” şeklinde tanımlamalara sahiptir. Burada yer alan üç tanımlamanın özünde bahsedilen konu ise parçaların temelde var olması ve bu parçaların bir araya gelmesiyle bir bütünü oluşturmaları ana fikridir (Gürel, 1968).

Strüktür kavramının açıklanmasında biçim sözcüğüne değinmek de gereklidir. Biçim bir tasarı olarak var olandır. Sistemi belli olan ancak üretildiği malzeme ve tekniğine de ayrışan bir tasarım olarak kabul edebiliriz. Örneklendirmek gerekirse bir su kabı tasarımı olarak var olan ancak üretilmesi için malzemenin niteliğine doğrudan bağlı olmayan, üretildiği malzeme ve bu malzemenin üretim tekniğinden ayrışarak tasarım olarak var olandır. Biçim, malzemeyi salt malzeme olmaktan kurtarıp ayağa kaldıran bir düzendir. Bu düzen kendini yaşatacak, ayakta durmasını sağlayacak bir iskelete gereksinim duyar. İşte bu iskelete, yani biçimi ayakta tutacak olan sisteme “strüktür” adı verilmektedir. Yani biçim bir bütün olarak düşünüldüğünde strüktür bu bütünün alt düzeni olarak yer alan, biçim kalıbı şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Malzemenin tekil olması gibi bazı durumlarda strüktür ve biçim birbirinden ayırt edilmez durumdadır. Bunun da örneklendirilmesi gerekirse bir cam bardak bu örneklendirmeye uygun olacaktır. Ancak sistem karmaşıklıkla strüktür soyutlaşan bir sistem olarak, malzeme ve yapım yöntemlerinden bağımsız olmadan ele alınabilir (Kuban, 1989).

Demirel (2017), strüktür kelimesinin anlamı olarak “çatki” kavramını kullanmıştır. Yani aslında çatki, birbirine uç uca çatılarak bir araya getirilmiş örüntü kavramını ifade etmektedir. Her şeyin birbiriyle uç uca getirilerek bir sistem -örüntü- oluşturmaları, var olan her şeyin bir strüktüre sahip olduğu anlamına da çıkmaktadır. Çatılarak oluşturulan strüktür kavramının temel amacı bir sistem oluşturmak ve bunu ayakta tutmaktır. Çatki ile

oluşturulan bu örüntüler ise cisimlerin algılanmasını ve onların hacimlerinin tanımlanmasını sağlamaktadır (Özdil, 2021).

Strüktür için yapılan tanımlamaların ortak noktası bir sistem oluşturma üzerinedir. Strüktür kavramı tesadüf sonucu ortaya çıkan bir kavram değildir. Yapının hem inşai sürecini hem de anlamsal realiteye eşlik eden olmazsa olmaz elemanını ifade etmektedir. Eğer ortada bir yapı (konstrüksiyon) varsa strüktür de vardır. Yani mimarlık strüktüre doğasında muhtaçtır. Yapının ayakta kalabilmesi, malzeme ve yer ile ilişkilendirilebilmesi açısından, küçük detaydan bütüne gidene dek mimarlık için strüktürel varlık gereklidir (Akın, 2014).

Strüktür bazen yapının bütünü, bazen yapının parçası, bazen de görünen kabuk içerisinde kaybolan ancak her şekilde yapının bütününden ayrı düşünülmeyen yapının temel taşı olarak kabul edilebilir. Yapıda göz ardı edilen ancak yapının sistemini oluşturan strüktür tasarımı, dönemin teknolojik imkanlarının doğrultusunda değişmekte ve gelişmekte olup, mimari tasarım olanaklarını her geçen gün genişletmektedir.

2.1.1. Strüktürel Gereksinimler

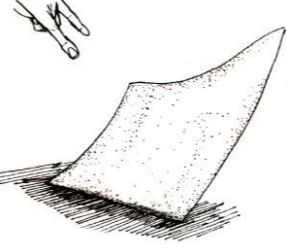
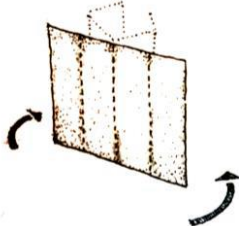
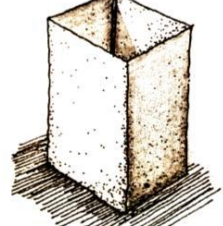
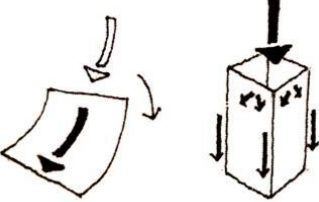
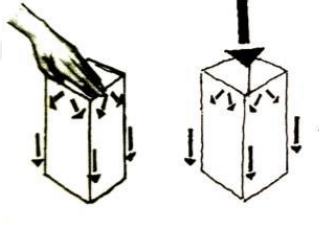
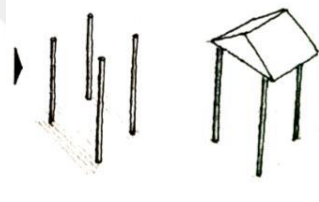
Bir binaya uygulanan yüklerin, gerekli mukavemeti sağlayabilmesi açısından binanın strüktürel olarak sahip olması gereken dört özellik vardır. Bu özellikler; denge durumu, geometrik stabilite (kararlı olmak), yeterli dayanıma sahip olmak ve yeterli rijitliğe sahip olmaktır (Macdonald, 2001).

Strüktür kavramının doğasına girildiğinde ise matematik kısmı da dahil olmaktadır. Ancak strüktürel gereksinimler olarak bahsedilen denge durumu, kararlı olmak, yeterli dayanıma sahip olmak, yeterli rijitliğe sahip olmak kavramları, matematiksel sorunsallaştırmadan daha uzakta, basit örneklendirmelerin yer aldığı kavram açıklamaları olarak yer almaktadır.

2.1.1.1. Denge Durumu

Yapılar uygulanan yüke karşı bir denge durumu oluşturarak ayakta durma yeteneğine sahiptirler. Denge, cisimlerin kendi sahip oldukları yükler ile ölü, hareketli, yanal vb. diğer karşılaşılabilecek tüm yüklerin eşit bir şekilde zemine aktarımıdır. Strüktür sistemlerinde, denge durumunu anlatabilmek amacıyla, kâğıt ile yapılan basit bir dengeye ulaşma durumu Şekil 2.1’de yer almaktadır. Şekilde yer alan sıralı anlatımda, cisim, denge, yük zemine paylaşım yoluyla aktarıldığı zaman mümkün olmaktadır. 6 görselin yer aldığı şekilde, kâğıdın belirli bir denge durumu kurulamadığında (üzerine etkiyen yükleri zemine eşit

şekilde aktaramadığında) ve kâğıdı etkileyen yüklerin ya da kendi ağırlığının eşit şekilde zemine aktarımının yapıldığında oluşan denge durumu yer almaktadır. Kâğıdın katlanma bölgelerinde oluşan yoğun yük iletiminden referansla da 6. görsel yapıyı temsilen oluşturulmuş dört kolonlu strüktüre benzetilebilir. Kâğıt örneği yükün zemine aktarımında oluşturulmuş basit bir örnek olarak görülebilir (Özdil, 2021).

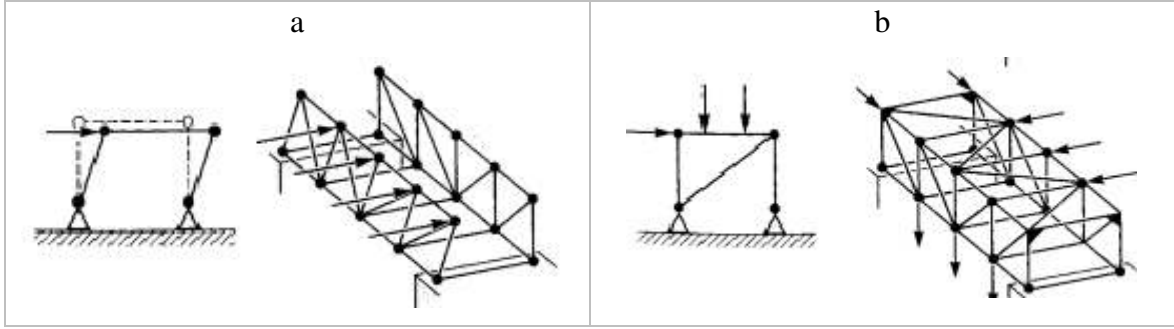
		
Kâğıt şekildeki gibi bırakıldığında kendi ağırlığını zemine “dengeli” olarak aktaramadığı için devrilecektir	Kâğıt dörde katlanarak yük aktarımı kenarlar arasında eşit şekilde paylaştırıldığında “denge” durumuna ulaşmış olur	Kâğıdın denge durumu
		
Devrilme-denge konumunda yük durumu	Şeklin üzerine etkileyen yükü zemine iletmesi	Yükün zemine iletildiği kısımlardan hareketle ortaya çıkan strüktür

Şekil 2.1. Devrilme ve denge durumunun kâğıt üzerinden gösterimi (Özdil, 2021)

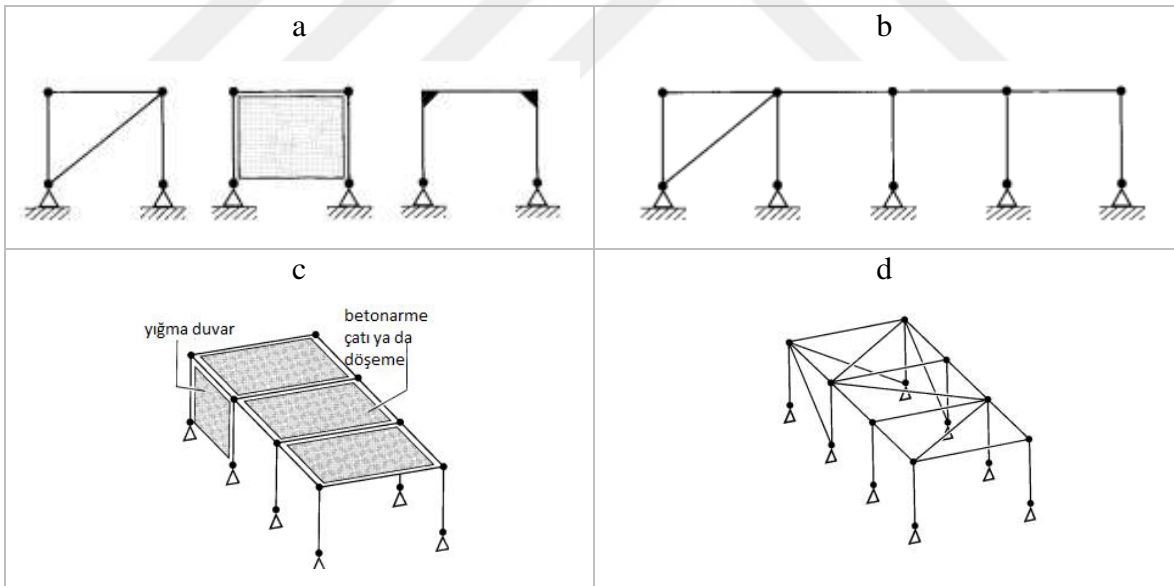
2.1.1.2. Geometrik Stabilité (Kararlı Olmak)

Geometrik stabilité (kararlı olmak) özelliği, yapı elemanlarının yüke direnmek amacıyla birlikte hareket etmesini sağlayan ve yapının geometrisini koruyan özelliktir. Şekil 2.2’de stabilité ve denge arasındaki ayrım gösterilmektedir. İki boyutlu bir çerçeve ve üç boyutlu sistem örnek olarak seçilmiştir. Çerçeve ve sisteme yerçekiminin yükü etkisi altında iken bir denge durumu söz konusu olmaktadır. Ancak yanal bir yükün etki etmesi

durumunda çerçevenin ve sistemin geometrisi bozulursa, stabil olma durumu söz konusu olmayacaktır. Elastik çerçeve sisteminin kararlı hale getirilmesi için bir diğer yöntem de Şekil 2.3'te yer aldığı gibi rijit diyafram yerleştirmek olacaktır. Ayrıca bir dizi çerçeve arasından bir tanesinin desteklenmesi sistemi dengede tutacaktır (Macdonald, 2001).



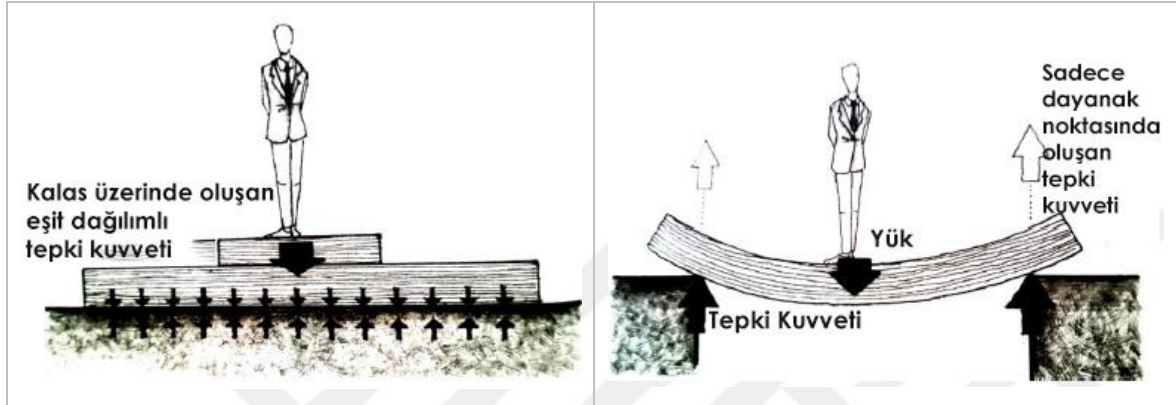
Şekil 2.2. İki boyutlu çerçeve ve üç boyutlu sistemin gelen yükler ile kararlı olma halini koruyamaması (a) ve İki boyutlu çerçeve ve üç boyutlu sistemde çerçeveye eklenen diyagonal elemanların gelen yükler ile kararlı olma durumunu desteklemesi (Macdonald, 2001)



Şekil 2.3. (a)Sırasıyla diyagonal eleman, rijit diyafram ve rijit bağlantı ile çerçevenin kararlı duruma ulaşması, (b) bir dizi çerçeve arasından bir tanesinin desteklenmesi ile dengeye ulaşma, (c) rijit diyaframla sistemin dengeye ulaşması ve (d) çerçeve dizisinin minimum destek sayısı ile dengeye ulaşması (Macdonald, 2001)

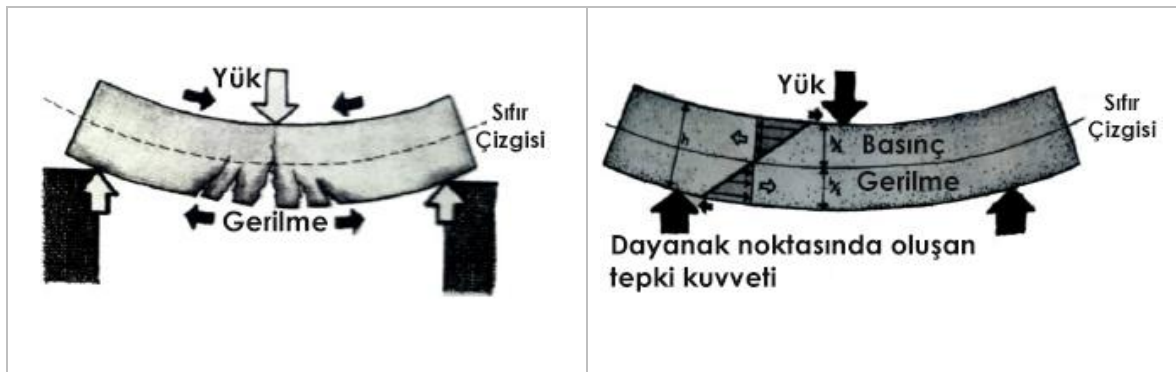
2.1.1.3. Yeterli Dayanım ve Rijitlik

Bir yapıya yük uygulandığında, o yapıyı oluşturan yapı elemanları tarafından iç kuvvet oluşmaktadır. Uygulanan kuvvet neticesinde, yükün zemine iletildiği noktalarda yani temelde ise oluşan iç kuvvete karşılık bir dış direnç yani bir tepki kuvveti oluşmaktadır. Şekil 2.4'te de yer aldığı üzere yapı elemanlarının oluşturduğu iç kuvvet ve tepki kuvvetinin dengelenmesi cisimlerin zemin üzerinde durabilmesini sağlamaktadır (Demirel, 2017).



Şekil 2.4. Yük uygulanan cisimlerde oluşan tepki kuvveti (Demirel, 2017)

Yapıya yük uygulandığında oluşan iç ve dış kuvvetlerden dolayı meydana gelen basınç ve gerilim seviyelerinin kabul edilebilir düzeyde olabilmesi için, yapının yeteri kadar dayanımı ve rijitliğinin olması gerekmektedir. Şekil 2.5'te de yer aldığı gibi asıl öne çıkan durum strüktürü oluşturan materyalin mukavemetidir. Materyalin yeterli kesit ve boyda olması materyal mukavemeti açısından önemlidir. Yeterli kısmını belirlemede ise minimum açıklık, derinlik oranları vb. ile strüktürel hesaplamalar esas olmaktadır (Macdonald, 2001).



Şekil 2.5. Strüktür elemanı üzerinde yükten dolayı oluşan basınç ve gerilme durumları (Demirel, 2017)

2.1.2. Mimaride Strüktür Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Strüktür kavramı mimaride sadece taşıyıcı bir sistem olmanın ötesine geçerek, sınırları da zorlayarak, gelişen bir yapım sistemi haline dönüşmektedir. Bunun temel nedeni ise elbette ki teknolojinin ilerlemesi, yapım sistemlerinde oluşan yenilikler ve gelişmeler ile malzemelerin etkin ve yeni kullanım alanlarının oluşmasıdır. Yani mimari tasarımlarda tasarımın kendisini oluşturan ya da tasarımın arka planında da kalsa tasarıma biçim kazandıran strüktür kavramı her geçen gün yeni gelişim alanları bulmaktadır.

Sürekli gelişen ve yeni teknolojiler ile kendine yön bulan strüktür kavramı, tarihi süreç içerisinde üç önemli gelişme dönemi içerisinde incelenebilir (Gündoğ, 2007).

1. Endüstri Devrimi Öncesi Strüktürel Gelişme
2. Endüstri Devrimi Sırasındaki Strüktürel Gelişme
3. Endüstri Devrimi Sonrası (Çağdaş) Strüktürel Gelişme

2.1.2.1. Endüstri Devrimi Öncesi Strüktürel Gelişme

İnsanlar barınma ihtiyaçlarını Endüstri Öncesi Devir’de, doğada kolay şekilde bulabildikleri taş, ahşap gibi doğal malzemeleri kullanarak oluşturdukları strüktür ile karşılaşmışlardır. Daha sonralarda kendi basit teknolojileri ile üretmiş oldukları tuğla, kerpiç gibi malzemeleri barınma ihtiyacı için bir barınak yapmada kullanmışlardır. İlk mimari strüktür örnekleri ise mağaraların içlerinin oyulması ile oluşturulan ya da basit bir şekilde oluşturdukları ahşap strüktürlerdir (Tanyeli, 1993).

Demir, malzeme olarak M.Ö. 27. yüzyılda Mezopotamya’da karşımıza çıkmaktadır. Süngerimsi ve saf içeriği sayesinde ısıtılıp kolay dövülmesi ve şekil alması demiri çeşitli aletlerin yapımında önemli bir malzeme haline getirmiştir. M.Ö. 2000 yıllarında Hititler’in çeşitli aletlerini demirden yaptıkları, ayrıca harçsız kesme duvarlarda kenet demiri olarak kullandıkları ve ahşap kapıları demirlerle birbirine monte edip çiviledikleri görülmektedir (Çakmak, 2021). Antik Yunan’da karşımıza çıkan demir ise, yapılarda taş blokları birbirine bağlayan kenet elemanı olarak kullanılması ile mimarlıkta aktif şekilde ilk kullanım örnekleri olarak görülmektedir. Ancak Antik Yunan’da demir bağlayıcı eleman olmaktan başka bir işlev kazanamamasından dolayı, strüktür sisteminin temel elemanı olamamıştır. Demirin strüktürün temel elemanı olamayıp, bağlayıcı eleman olarak kullanılması 15. ve 16. yüzyıllara değin sürmüştür. Bu da Endüstri Dönemi’ne denk gelmektedir. 15. ve 16. yüzyıllardan sonra ise kemer, tonoz gibi strüktürel elemanların mesnet noktalarında, gergi olarak kullanılmasıyla, demir, bağlayıcı bir eleman olmaktan çıkmıştır. Demirin bu

kullanımının örneklerini ise Türkiye'deki cami ve medrese avlularında yer alan revaklarda görmek mümkündür (Tanyeli, 1993).

Osmanlı mimarisinde, tavanda demir kirişlerin yer aldığı ve bu kirişlerin arasını dolduran tonozların bulunduğu 'volta' döşeme sistemi kullanılmıştır. Süleymaniye Camii buna örnek gösterilebilir. Aynı tarih aralığında S. Pietto Kubbesi'nin 41 m'den fazla olan açıklığı da demir çemberlerle çevrilmiştir. 1595 yılında yayınlanan 'Machinae Novae' adlı kitapta F. Veranzio tarafından, ilk kez sadece demirden oluşan köprü tasarımına yer verilmiş ancak bu köprü gerçekleştirilmemiş bir tasarım olarak kalmıştır. Ancak yaklaşık 900 yıl öncesinde Çinliler tarafından demir zincirli ve ahşap tabliyesi olan köprülerin yapıldığı da bilinmektedir (Tanyeli, 1993).

Betonun yapı malzemesi olarak kullanımı ise Romalılara kadar uzanmaktadır. Örtü sistemlerinde kullanılan malzeme içeriğinde kireç, su puzzolan, kiremit kırığı ve kum yer almaktadır. Tüm bu malzemelerin bir araya gelip prizini alması sonrasında ise taşıyıcı özellik kazanan beton malzeme ortaya çıkmaktadır. M.S. 72-80 yıllarında yapılan Colosseum yapısının büyük kısmı beton malzeme tekniği ile inşa edilmiştir ancak betonun kullanıldığı en önemli yapı M.S. 120 yıllarında Romalılar tarafından inşa edilen Pantheon'dur. Yapımında 42 metrelik açıklık beton bir strüktür ile geçilmiştir (Gökçe, 1977).

Endüstri Devrimi Öncesi Dönem, Paleolitik Çağ'dan, Göçebe Uygarlık ve Tarımsal Uygarlık dönemlerini de kapsayan M.S. 1700'lere kadar uzanan süreçte -çeliğin yüksek dereceli fırınlarda üretimine geçişi- doğanın halihazırda insanoğluna sunmuş olduğu ahşap, taş gibi doğal malzemelerin sonradan basit tekniklerle elde edilebilen kerpiç ve tuğlaya dönüştüğü süreci kapsamaktadır. Bu dönemde insanoğlunun hazır bulduğu ya da kolay bir şekilde işleyip ürettiği malzemelerle yaptığı basit çatılmış çadırlar, üst üste yığılmış taşlar ya da mağaralar mimari strüktürlerin ilk örnekleri olarak kabul edilebilir. Bu spontane sistemler şu şekilde sıralanabilir:

- Oyulmuş sistemler (mağara)
- Çatılmış sistemler (çadır, kulübe)
- Yığma sistemler (tümülüs, dolmen)
- Karma sistemler (hendek ev),

İnsanoğlunun yapısal malzemeyi işleme ve kullanma becerisinin artmasıyla da sonraki dönemlerde ilk etkin strüktürler olan "lentolu sistemler, kemer-tonoz-kubbe sistemler ve iskelet sistemler oluşmuştur (Gökçe, 1977).

2.1.2.2. Endüstri Devrimi Sırasındaki Strüktürel Gelişme

1700'lü yıllara gelindiğinde, çeliğin yüksek dereceli fırınlarda işlenebilmesiyle birlikte meydana gelen Endüstri Devrimi beraberinde yeni bir dönemin başlamasına sebep olmuştur. Endüstri Devrimi ile birlikte mimari anlamda yeni strüktürel gelişmeler meydana gelmiştir. Artan iş hacmiyle birlikte yeni malzeme kullanım alanı oluşturan çelik ve beton bu dönemde öne çıkmaktadır. Çelik ve betonun kullanımı Endüstri Devri açısından gelişmeyi olumlu yönde etkileyen önemli faktörlerden biri iken bir diğeri de dünya sergileri ve ilk gökdelenlerdir (Gökçe, 1977).

Rönesans Dönemi ardından bilimsel olarak yeni gelişmelerin çok fazla olduğu, yeni yapım malzemelerinin çıktığı 17. yüzyıl, günümüz mimari gelişmelerinin temelini atılması açısından önemlidir. Dövme demir, cam, çelik üretim teknolojileri, sentetik maddeler, plastik üretim teknolojileri, üretim ve ulaşım araçları, su ve atık su sistemleri, ısıtma-havalandırma sistemleri Endüstri Devrimi için zemin hazırlayan farklı disiplinlerdeki gelişmelerdir. Tarımsal üretim yapan bir toplumun endüstriyel üretime geçişini ve dünyaya bakış açısını değiştiren bir dönem olmuştur. Bu dönemde mimarlık algısı yapılaşma ve şehircilik olarak da geleneksel düşünce yapısını değiştirmeye başlamıştır. Endüstri Devrimi 18 ve 19. yüzyıllarda Fransa ve İngiltere'de ortaya çıkıp tüm Avrupa ülkelerine yayılmış ve burjuva sınıfının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Toplum yapısının ve işleyişinin değişmesiyle doğal olarak tarım toplumu mimarisi de değişerek endüstriye dayalı farklı biçim ve teknikteki mimarinin oluşmasının temelleri atılmıştır (Demirkan, 2006).

Zengin sanayiciler ve tüccar grubunun mimarlıkta yansıması yine eski üslupların taklidi şeklindedir. Yeni makineler ile eski çağlardan kalma süslemeler taklit edilmeye başlanmıştır. Ucuz, gösterişli, çabuk üretilen fabrika ürünleri ve aynı zamanda geçmiş üslupların karışımından oluşan bir mimarlık ortamı oluşmuştur. Ayrıca 1907 yılında kömür, demiri eritmede kullanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde de dökme demir mühendisler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. 1776-1779 yılları arasında İngiltere'de tamamı demir strüktürden oluşan köprü tasarlanıp inşa edilmiştir (Şekil 2.6) (Demirkan, 2006).



Şekil 2.6. Coalbrookdale Severn Irmağı köprüsü, Abraham Darby, 1779, Coalbrookdale
(Serdar, 2023)

Chicago’da 1871 yılında meydana gelen büyük yangın sebebiyle insanların büyük çoğunluğu evsiz kalmış ve kısa sürede şehrin yeniden inşa edilmesi gerekmiştir. Yaşanan felaket sebebiyle çok sayıda hafif bina ihtiyacı dolayısıyla çelik iskelete sahip ilk gökdelenler ortaya çıkmıştır. Çelik malzemenin kullanılmasıyla geleneksel malzemelerden farklı olarak basınç ve çekmeye karşı oldukça yüksek mukavemet gösteren bir malzeme mimari ve strüktürel tasarım unsuru olmuş ve tasarımsal olarak yeni bir boyut kazandırmıştır (Baalawi, 2018).

1824 yılında J. Aspdin tarafından portland çimentosu bulunmuştur. Portland çimentosunun basınca dayanımı oldukça yüksek olan bir yapı malzemesi olması, kalıba dökülerek işçilik yönünden kolay uygulanabilir olmasıyla beton yapı alanına girmiş ve sahip olduğu özellikler sayesinde tercih edilebilir olmuştur. Bunun yanında betonun kalıp içerisine dökülerek uygulanması ve kalıp içerisine çekmeye dayanımı yüksek malzeme olan demir yerleştirilmesi sonucu betonarme kavramı oluşmuş ve strüktür üretiminde yeni bir boyut ve teknik kazanılmıştır (Gökçe, 1977).

2.1.2.3. Endüstri Devrimi Sonrası (Çağdaş) Strüktürel Gelişme

Hennebique 1900’lerin başında betonarme sisteminin gelişmesinde önemli rol oynamıştır. 1909 yılında inşa edilen AEG Türbin Fabrikası ise malzemenin ideolojikleşerek dönemin baş rol oyuncularından biri olmasına sebep olmuştur (Demirkan, 2006). İskelet sistemler 20. yy’da da günümüzde de önemli rol oynamaktadır. Malzeme boyutları ve açıklık geçme kapasiteleri belirli sınırlar içinde kalmaktadır. Kolon ve kirişler, düşey ve yatayda oluşturdukları hücresel kuruluş ile planlamayı etkilemekte hatta cephelyi de oluşturabilmektedir. Cephede iskelet sistemin mimariye etkisi üç başlık altında toplanabilir:

- Düşey elamanların (kolonların) sürekliliği sonucu düşey etki,
- Yatay elamanların (kirişlerin) sürekliliği sonucu yatay etki,
- Tüm taşıyıcı elemanların aynı etkinlikte tutulması sonucu oluşan nötr etki (Gökçe, 1977).

Yapı malzemelerinin alanının genişlemesi ile birlikte yapılarda form, taşıyıcı strüktürel elemanlar ve geniş açıklıkların geçilmesi gibi mimari tasarım olanakları artmıştır. Çelik, cam ve betonarme kullanımı geleneksel sistemlerinin önüne geçmiştir. Endüstri Devrimi Dönemi'nde ilk örnekleri görülen çelik gökdelenlerin tasarımında en yüksek, en enerji verimli olanı yapmak gibi simgesel ve işlevsel tasarım unsurları oluşmuştur (Ali ve Moon, 2007).

Günümüz teknolojisi ile sürdürülebilirlik ve ekoloji kavramlarının da etkisiyle teknolojik çalışmalar oldukça önem kazanmış, disiplinler arası etkileşimler artmış ve ekolojik mimari kapsamında malzeme teknolojisine ve strüktürel çalışmalara yönelme hız kazanmıştır.

2.1.3. Mimaride Strüktür Sistemlerinin Sınıflandırılması

2.1.3.1. Geleneksel Sistemler

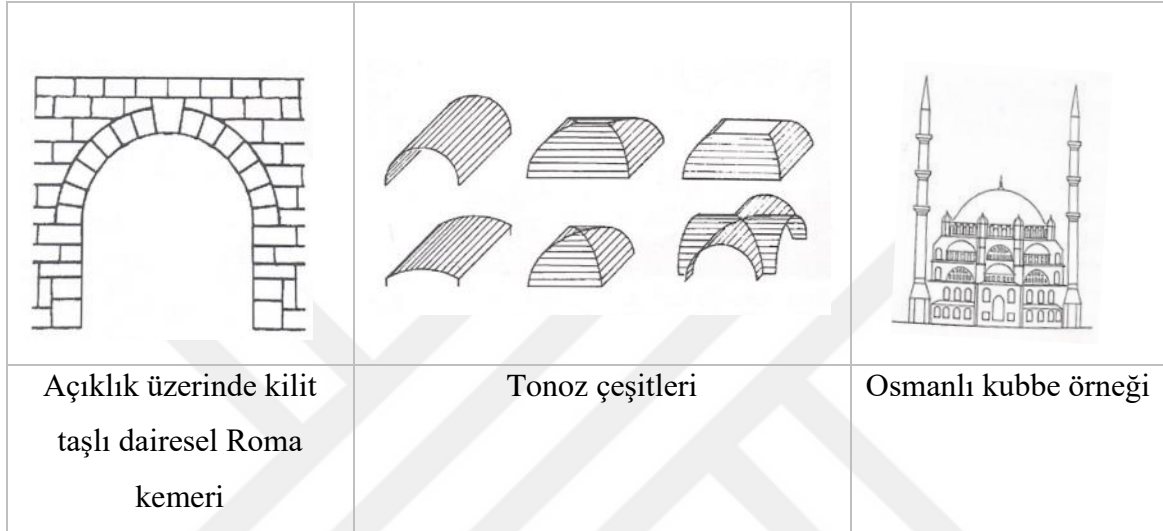
Geleneksel sistemler yığma ve iskelet sistemler olarak incelebilir.

2.1.3.2. Yığma Sistemler

Taşıyıcı elamanların üst üste getirilip bağlayıcı bir eleman ile bütünleştirilerek oluşturulmasıdır. Çekme gerilmesine dayanıksız olduğundan geniş açıklıklar yığma sistemler ile geçilememektedir. Yığma sistemdeki yatay ve düşey elamanlar mekânın sınırlarını oluştururken aynı zamanda taşıyıcı görev üstlenmektedir. Yığma sistemlerde hâkim olan gerilme türü basınçtır. Düşey taşıyıcılar ise taş, kerpiç, tuğla gibi yapısal elemanlar kullanılarak oluşturulur. Yük aktarımı, taşıyıcı sistemin geometrisi çizgisel, düzlemsel ya da hacimsel olsa da tek doğrultuda, tepeden mesnetlere doğrudur. Yapının taşıyıcı sistemi ile örtücü ve bölücü elemanları çakışmaktadır. Eski çağlarda yapı üstünün örtülmesi ancak ahşap gibi çekmeye dayanıklı bir malzeme ile mümkün olmuştur. Ancak taş gibi malzemeler, kemer, tonoz ve kubbe gibi konstrüksiyonların geliştirilmesi sayesinde üst örtü elemanı olarak yığma sistemlerde kullanılmıştır (Türkçü, 2017).

Yapının sınırlı taşıma gücünü artırmak için kemer kullanılmıştır. Kemer, eğri kiriş gibi çalışır. Taş gibi küçük boyutlu yapı elemanlarının bir araya gelmesiyle geniş açıklıkların

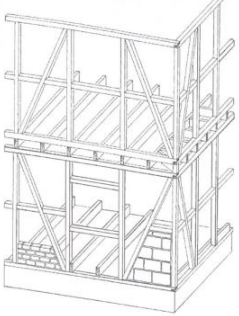
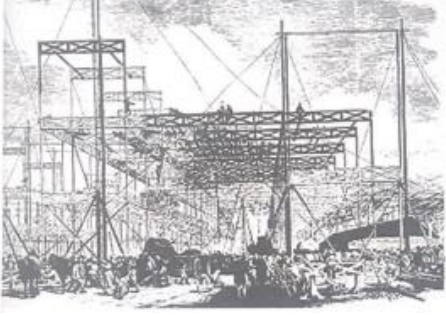
geçilmesine olanak verebilir. Dikdörtgen plana sahip mekanların üstlerinin kapatılmasında kullanılır. Kemerlerin bir araya gelmesiyle, kendi düzleminde dik doğrultuda ya da çapraz olarak ötelenerek tonoz oluşur. Kubbe için kemerin düşey ekseninde döndürülmesiyle oluşturulmuş sistem diyebiliriz. Taş ya da tuğla gibi yapı malzemelerinin yapının üstünde küre biçiminde dizilerek mekânın üstünü örttüğü yapı sistemidir (Gündoğ, 2007). Kemer kubbe ve tonoz yapım elemanları Şekil 2.7’de basit şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kemer, tonoz ve kubbe örneği (Türkçü, 2017)

2.1.3.2.1. İskelet Sistemler

Yapının taşıyıcı sistemi, mahremiyet alanını belirlerken, örtücü ve taşıyıcı elemanların statik görevler açısından birbirinden ayrıldığı sistemlerdir. İskelet ya da karkas sistem olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemde taşıyıcı ve örtücü elemanlar birbirinden ayrılarak geniş tasarım imkanları sunmaktadır. Bu sistemlere doğadan en iyi örnek canlıların iskelet sistemleridir (Türkçü, 2017). Taşıyıcı sistem oluşturmada ahşap, betonarme ve çelik malzeme tasarım bağlamında geniş olanaklar sunmaktadır (Şekil 2.8).

		
Ahşap iskelet sistem	Crystal Palace çelik iskelet sistem	Betonarme sistem

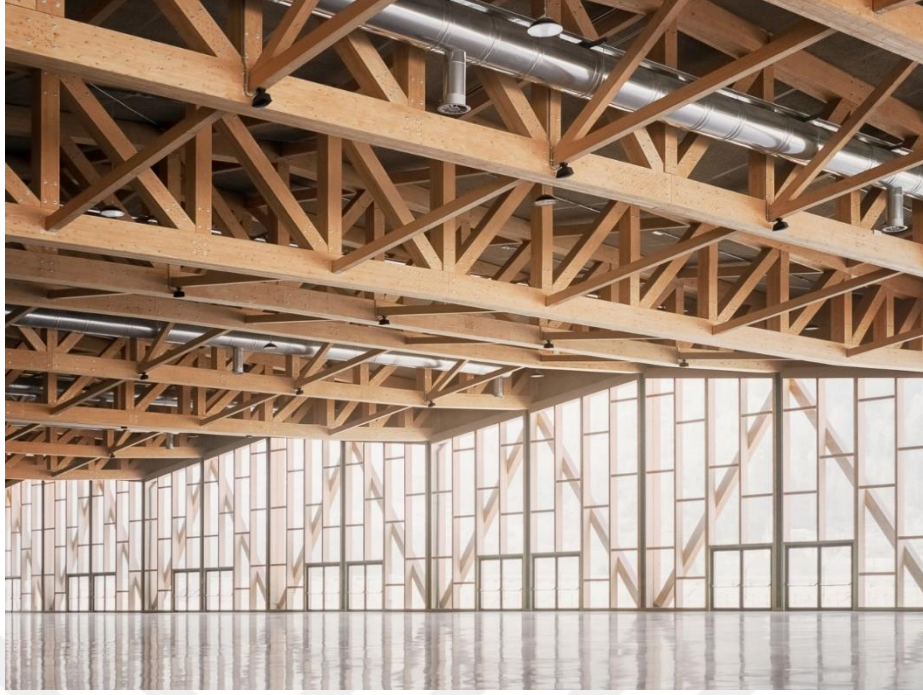
Şekil 2.8. Ahşap, çelik ve betonarme sistem örnekleri (Türkçü, 2017)

Yığma sistemde taşıyıcının aynı zamanda mekân bölümlenmesinde kullanılan elamanlar olması, açıklıkların geçilmesinde kısıtlılığa neden olurken, iskelet sistemlerinde bu açıklıklar geçilebilmiştir. İskelet sistemler, binanın yüksekliği ya da genişliğindeki oran arttıkça, yığma sisteme oranla daha az malzemeye ihtiyaç duyularak inşayı sağlarlar (Gündoğ, 2007).

Sistemi oluşturan elemanlar “taşıyıcı” ve “örtücü” gibi farklı görev tanımlarına sahip olurlar. İskelet sisteminin ilk örnekleri ağaç dallarından yapılmıştır. Ağaç dallarından yapılan sistem üzerine hayvan postu örtülerek çamurla sıvanan kulübeler ilk örneklerdir. Ahşap hem basınç hem çekme dayanımı olmasından dolayı dikme, kiriş, kuşak ve payanda olarak kullanılmıştır (Gökçe, 1977).

İskelet sisteminde yapı elemanları yapıyı taşıyan ve taşınan elemanlar olarak iki grupta irdelenebilir. Yatay ve dikey taşıyıcı sistemler (kolon ve kiriş) iskelet sisteminin en temel iki taşıyıcı elemanlarıdır. Kolon ve kirişler yatay ve düşeyde yük aktarımını sağlarken tasarım açısından da yığma yapılara göre oldukça geniş bir alan sunmaktadır. Bu şekilde yığma yapılarda yapımı zor olan yüksek yapılar ve geniş açıklıklarda çözüme ulaşılmış, yığma yapıların bina inşasında neden olduğu olumsuzluklar aşılmıştır.

İskelet sistem yapıları, Şekil 2.9’da İtalya’nın Agordo kentinde, mimarlar Emanuele Bressan ve Andrea Botter tarafından tasarlanmış olan İtalyan Kongre Merkezi, ahşap strüktür örneği olarak gösterilebilir.



Şekil 2.9. İtalyan Kongre Merkezi – iç mekân görünüşü (URL-1, 2022)

2.1.3.3. Çağdaş Sistemler

Çağdaş sistemlerde asma-germe sistemler, kabuk ve katlanmış plak sistemler, uzay kafes sistemler ve pnomatik sistemler yer almaktadır.

2.1.3.3.2. Asma Germe (Kablo) Sistemler

Literatürde, asma germe sistemler için farklı tanımlar yer almaktadır. İngilizcesi Tengerity olan sözcük kökeni; ‘tension’ (çekme) ve ‘integrity’ (bütünlük) kelimelerinin birleşiminden meydana gelmiştir. Kısaca asma germe sistemler, çekme ve basınç ile çalışan elemanlar tarafından oluşan gerilme bütünlüğüdür (Üzer, 2015).

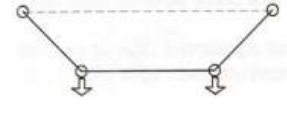
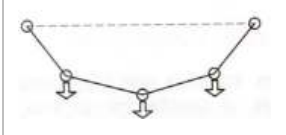
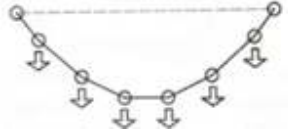
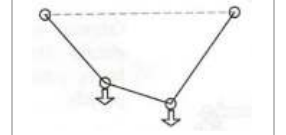
Asma germe sistemler için tarihsel sürece bakıldığında geçmişte Kızıldereli ya da Bedevi çadırlarının ilkel birer örnek olduğu görülmektedir. Günümüzde yer alan asma germe sistemlerindeki membran ve çelik halat, uzay kafes gibi malzeme ve sistemlerin yerine geçmiş dönemlerde keçe ya da deri örtü malzemeleri ile ip, halat gibi malzeme ve sistemlerin birlikte kullanıldığı bilinmektedir (Tuğrul ve Sev, 2015).

Asma germe sistemler, strüktürel formun dengede kalmasını sağlayarak ön germe oluşturmayı hedeflemektedir. Asma germe sistemlerde geleneksel sistemlerin aksine küçük kuvvet-denge farklılıklarından dolayı tüm sistemin formu etkilenmektedir. Yani, strüktürde kuvvet dağılımının dengeli olması sonucu sistem ayakta kalabilmektedir (Varol, 2021).

Asma germe sistemler saf basıncın oluşturduğu yük ile çalışan rijit yapı elemanlar ile saf çekmenin oluşturduğu etki ile çalışan esnek yapı elemanlarının oluşturduğu sistemlerdir. Asma germe sistemler bir başka deyişle kablo sistemler olarak adlandırılmaktadır. Asma germe sistemler için öncü örnek olarak Endüstri Devrimi Öncesi'nde yapılmış olan ilkel asma köprüler verilebilir (Gökçe, 1977).

Asma germe sistemlerde, sistemi etkileyen ana yükler, ankraj noktaları arasında yer alan gerilmiş durumdaki çekme halatları tarafından taşınmaktadır. Bu yapılar, sadece çekme dayanımı olan ve ağırlığı ihmal edilecek kadar az düzeydeki halat ya da membran örtülerin kullanılmasıyla oluşmaktadır. Asma germe sistemler ya da kablo sistemlerin özelliği sistemin sağladığı geometrik form zenginliğidir (Erten, 2022).

Kablo sistemlerinin avantajları; yüksek dayanım, yapı elemanlarının çekmeye dayanımı esnasında burkulmanın olmaması ve bundan dolayı da malzemenin ince yapıya sahip olabilmesidir. Bunun yanında en önemli avantajlarından biri de kablo sistemin yalnızca çekme etkisi altında olması dolayısıyla yapılardaki geniş açıklıkların ekstra taşıyıcı kolonlara ihtiyaç duyulmadan geçilebilmesidir. Büyük açıklıkları geçmede etkili olmasının en önemli yapısal sebebi ise, geleneksel çelik sistemlere oranla 10, gövdesi dolu olan iskelet sistemlere oranla 100-150 kata kadar hafif yapılarının olmasıdır. Ayrıca kablo sistem üzerinde kullanılan tekstil ürünü tabakanın (çelik ipliği ile güçlendirilmiş ince membran) kesit kalınlığının oldukça ince olması (1-3 mm) strüktürlerin hafifliğinde oldukça önemli bir etkinlik alanına sahiptir. Ayrıca yapım aşamasında kalıp ya da iskele gibi sistemler oldukça az kullanılmaktadır. 40 m ve üstü açıklıklar için ekonomik olma düzeyi orantılı olarak artmaktadır (Gündoğ, 2007). Kablo sistemlerde temel taşıyıcı strüktür kablodur. Kablo sistemlerinde sarkma yüksekliği oluşmakta ve bu sarkmanın artmasıyla kablolarda oluşan çekme kuvveti azalırken, tepki kuvveti de küçülmektedir. Yükler simetrik olduğunda kablo sistemi ters kemer şeklini almaktadır (Şekil 2.10).

			
İki noktada simetrik yük poligon	Simetrik noktasal yükler	Simetrik noktasal yükler	Asimetrik noktasal yükler

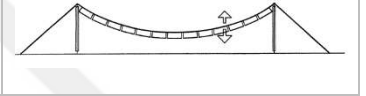
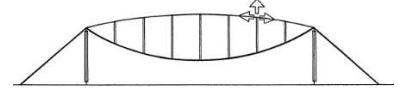
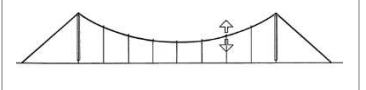
Şekil 2.10. Asma germe sistemler simetrik ve asimetrik yüklere göre ağ sistemi şekli (Erten, 2022)

Kablo sistemler üç başlık altında incelenebilir.

- Tek kablo sistemler
- Çift kablo sistemler
- Kablo ağı sistemleri

2.1.3.3.2.1. Tek kablolu sistemler

Tek kablolu sistemler; sabit noktalar arasında birbirine paralel şekilde asılan kablo sistemlerinin meydana getirdiği tek tabakalı yerleşimdir. Dışarıdan gelecek olan etkiler ile iç kuvvetlerin etkisi ise kablonun geometrik formunu oluşturur. Sistemde yer alan taşıyıcı kablolar tıpkı asma köprülerdeki gibi basınç elemanı üzerinden geçerek ankraj kütesine bağlanır (Türkçü, 2017). Tek kablo sistemler rüzgâr gibi etkilerin oluşturduğu titreşim ve kaldırma kuvvetlerine karşı dikkatli şekilde tasarlanması gereken sistemlerdir (Engel, 2013). Bununla alakalı sistemlerin stabil hale getirilmesi Şekil 2.11’de basit şekilde anlatılmıştır.

		
Gergi kablolarının, rüzgârın kaldırma kuvveti, titreşim ve üzerine etkiyen yüklere karşı tepkisi		Gergi kablolarına sabit ve simetrik yük uygulanmasıyla dengeye ulaşma
		
Ters kemer şeklinde güçlendirilerek dengeye ulaşma	Kabloya ters yönde kablo uygulaması ve aralarına destek sağlanmasıyla dengeye ulaşma	Kablolarla zemin arasında destek oluşturularak dengeye ulaşma

Şekil 2.11. Birbirinden bağımsız çalışan tek kablo sistem (Engel, 2013)

Tek kablolu sistemlerde sadece düşey yükler göz önünde bulundurularak tasarım yapılmıştır. Rüzgâr gibi dış kuvvetlerin etkisiyle sistemde dalgalanma olmaması için özellikle ters tonoz formunda olması gerekmektedir (Gökçe, 1977). Bu sisteme örnek olarak Washinton’da yer alan ve Eero Saarinen tarafından tasarlanan Dulles Havalimanı (Şekil 2.12) gösterilebilir.

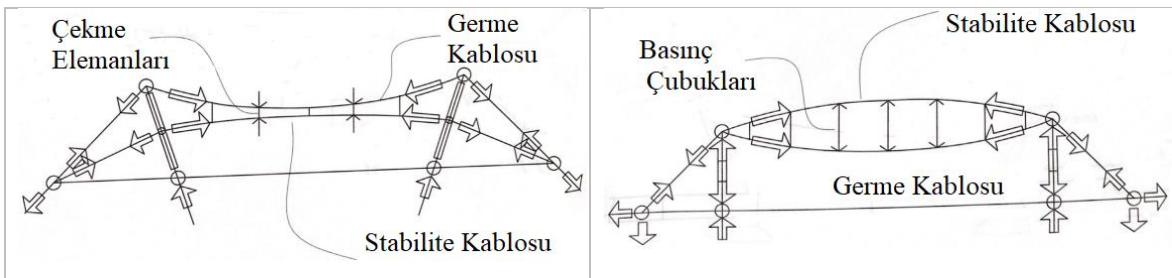


Şekil 2.12. Dulles Havalimanı dış cephe ve iç mekân tek kablo askı sistem detayı (URL-2, 2022)

2.1.3.3.2.2. Çift kablolu sistemler

Tek kablolu sistemlerde hareketli yükler ya da rüzgâr gibi dış etkiler strüktür sisteminde dalgalanma gibi eğilimlere ya da deformasyonlara neden olmaktadır. Bundan dolayı sisteme çoğu zaman ağır bir kaplama yapılması gerekli olduğundan çift kablo sistemlerinin icadı zorunlu hale gelmiştir (Türkçü, 2017).

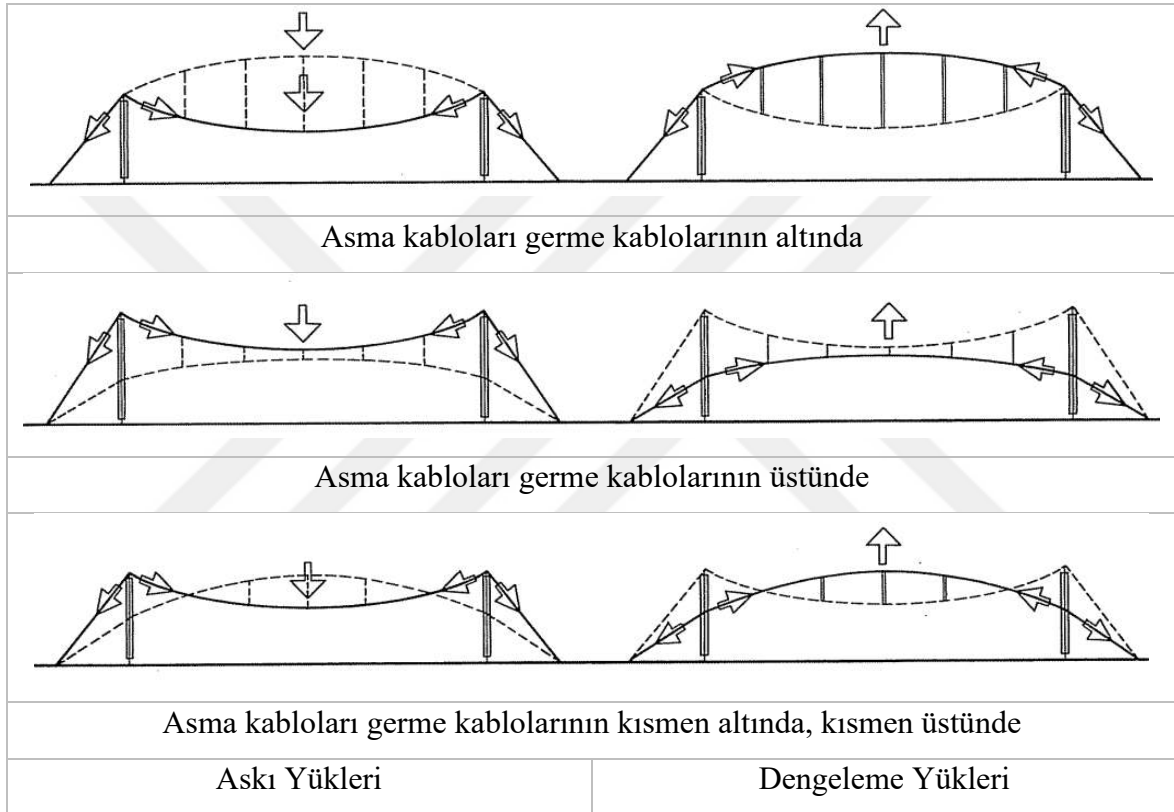
Sistemde tek kablolu strüktürlerde olduğu gibi düşey yükleri alan asma kablosu bulunmaktadır. Aynı zamanda hareketli yükler ya da rüzgâr gibi etkilerin oluşturacağı dalgalanma ve deforme oluşturacak asimetrik kuvvet etkilerini kaldırabilmek amacıyla, sistemin denge ve stabilitesini sağlayacak germe kablosu yer almaktadır. Tek kablo sistemdeki olumsuzluklar göz önünde bulundurularak sistemi stabil bir hale getirmek amacıyla, birincil kablolar (germe kablolarına) ek olarak ters eğrilik ve aynı düzlemde ikinci kablo (stabilite kablosu) ilavesi çift kablolu sistemleri oluşturmuştur. Gergi kablosu ve stabilize kabloları arasına yerleştirilmiş olan destek elemanlarının çekme ve basınç karşısında çalışması Şekil 2.13'te gösterilmektedir (Erten, 2022).



Şekil 2.13. Çift kablolu sistemlerde yüklerin aktarımı (Erten, 2022)

Çift kablolu sistemlerde ana taşıyıcı kablolar yani gergi kabloları ile ikincil kablolar yani stabilite kabloları arasında üç çalışma mekanizmasından söz edilebilir. Bunlar; (Gökçe, 1977).

- Asma kabloları germe kablolarının altında (bağlantı elemanları rijit)
- Asma kabloları germe kablolarının üstünde (bağlantı elemanları fleksibl)
- Asma kabloları germe kablolarının kısmen altında, kısmen üstünde (bağlantı elemanları rijit ve fleksibl) (Şekil 2.14)



Şekil 2.14. Çift kablolu sistemlerin çalışma mekanizması (Engel, 2013)

Çift kablolu sistemlere örnek olarak Denver Uluslararası Havalimanı verilebilir (Şekil 2.15).

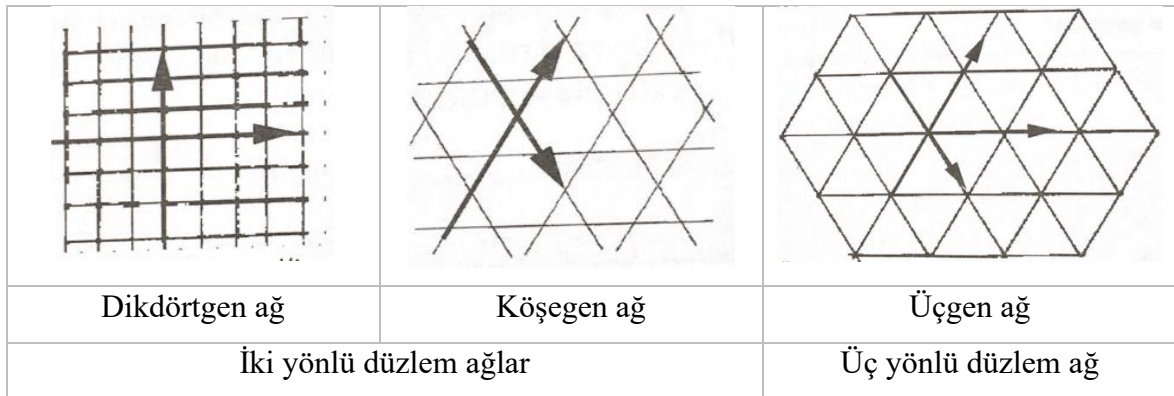


Şekil 2.15. Denver Uluslararası Havalimanı (URL-3, 2022)

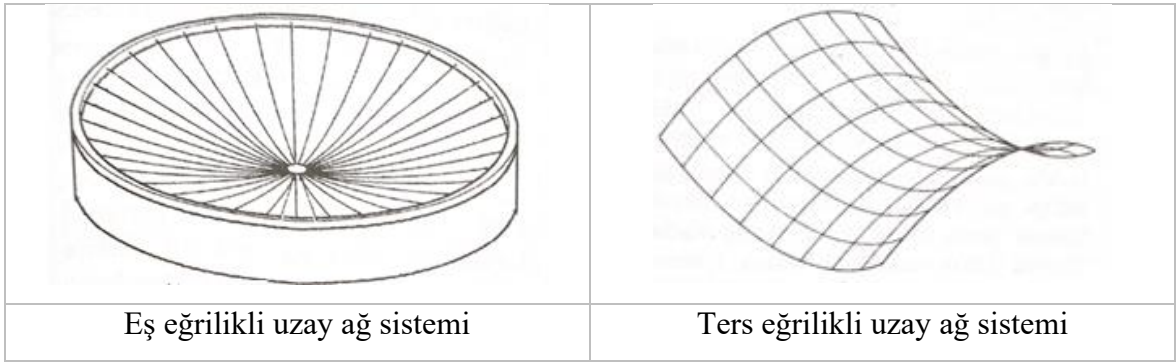
2.1.3.3.2.3. Kablo ağı sistemleri

Bir yüzeyde kesişen çizgilerin oluşturduğu geometrik düzene ağ denir. Kablo ağı sistemi de birbirini kesen kablolardan oluşan taşıyıcı sistemlerdir. Uzay kafes ve kablo sistemlerde, sistemin geometrik olarak uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla ağ kavramı sıklıkla kullanılmaktadır. Kablo ağı sistemler de ağ kavramı mantıyla bir yüzey üzerinde yayılarak birbirini kesen kablolardan oluşmaktadır (Gündoğ, 2007).

Kablo ağı sistemleri düzlem üzerinde (düzlem ağ) ya da eğri bir yüzey üzerinde (uzay ağ) olarak ayrılabilirler. Kablo ağlarda düzlem ağlar için dikdörtgen, köşegen ve üçgen olmak üzere üç farklı geometrik tanımlama yapılabilir (Şekil 2.16). Uzay ağlar da ters veya çift eğrilikli olarak ayrılabilirler ancak, çift eğrilikli olanlar daha yaygın ve daha dirençlidir. Tek ve çift eğrilikli olanlar da eş veya ters eğrilikli olabilirler (Şekil 2.17) (Türkçü, 2017).

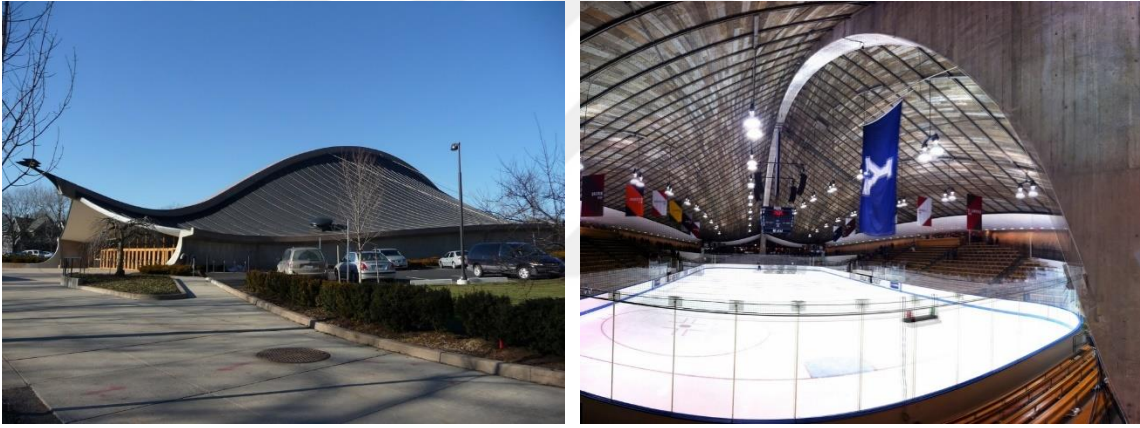


Şekil 2.16. Düzlemsel kablo ağlarında geometrik kavramlar (Türkçü, 2017)



Şekil 2.17. Hacimsel (uzay) kablo ağlarında geometrik kavramlar (Türkçü, 2017)

Kablo ağı sistemlerine örnek olarak ABD’nde 1958 yılında yapımı tamamlanmış olan Ingalls Buz Hokeyi Binası verilebilir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Ingalls Buz Hokeyi Binası (URL-4, 2022)

2.1.3.3.3. Kabuk ve Katlanmış Plak Sistemler

2.1.3.3.3.1. Kabuk sistemler

Kabuk yapılar üç boyutlu eğri yüzeyler ile tanımlanmış, dış etkenlere karşı dirençli strüktür sistemleridir. Kabuk sistemler, form-aktif sistemler yani kabuk ve membran sistemler gibi yapıya gelen yükler altında form değiştirmezler, bu yüzden form-pasif strüktürler olarak anılmaktadırlar. Kabuk sistemler sürekli bir yüzeyi tanımlarken, bu yüzey boşluksuz ya da kafes ağ veya ızgara şeklinde de olabilir. Kabuk sistemler serbest biçimli, matematiksel-geometrik ya da analitik kabuklar ve formdan elde edilen kabuklar olarak tasarlanabilir. Serbest biçimli kabuklar, bilgisayar programları ile oluşturulan heykelsi kabuklardır. Analitik kabuklar, doğrudan analitik hesaplara dayanarak oluşturulan

kabuklardır. Formdan elde edilen kabuklar ise doğada var olan formlardan etkilenecek tasarlanan kabuk yapılarıdır (Adriaenssens vd., 2014).

Bir kabuk yapıda, yapının geometrik şekli yapının strüktürel verimliliğinde etkilidir. Yani bir kabukta meydana gelen gerilmenin büyüklüğü, kabuğun şeklinin gelen kuvvetleri ne denli akışkan bir şekilde ilettiğiyle alakalıdır. Bu da tasarımda biçim üretmek için belirli bir süreci gerektirmektedir (Li vd. 2017).

Kabuk sistemler, yapının taşıyıcı sistemi olarak görev yaparken aynı zamanda bina için bir örtü oluştururlar. Bu sistemler tarih boyunca taş ya da tuğla benzeri yüksek basınç dayanımına sahip yapı malzemeleri kullanılarak yığma yapılarda geniş açıkları geçmek için kemer, kubbe, tonoz gibi yapı elemanı olarak karşımıza çıkmıştır (Cevizci ve Kutucu, 2017).

Kabuk sistemler rijit, basınç, çekme ve eğilmeye karşı dayanımı yüksek olan strüktürel sistemlerdir. Kabuk sistemler eğriliklerine göre Tablo 2.1'deki gibi yüzey geometrileri esas alınarak iki ana grupta sınıflandırılabilir (Gündoğ, 2007).

Tablo 2.1. Kabuk sistemlerin sınıflandırılması (Gündoğ, 2007)

Eğriliklerine göre sınıflandırma	a) Tek eğrilikli kabuklar	
	b) Çift eğrilikli kabuklar	Eş eğrilikli
		Ters eğrilikli
		Eş ve ters eğrilikli kombinasyonu
	c) Serbest biçimli kabuklar	
Yüzey geometrileri esas alınarak sınıflama	a) Dönel yüzey geometrili kabuklar	

Kabuk sistem yapıya örnek olarak, Danimarkalı mimar Jørn Utzon tarafından 1973 yılında tasarlanmış olan, Sydney-Avustralya'da yer alan Sydney Opera Binası örnek olarak verilebilir (Şekil 2.19).

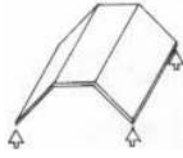
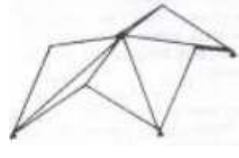


Şekil 2.19. Sydney Opera Binası (URL-5, 2022)

2.1.3.3.2. Katlanmış Plak Sistemler

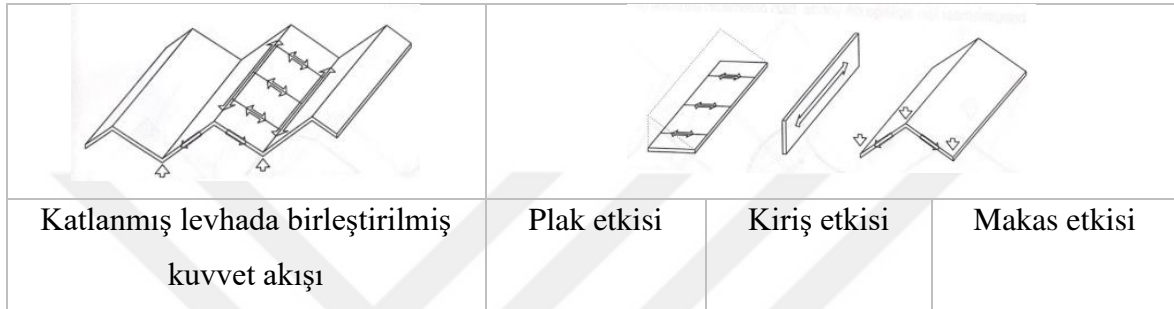
Katlanmış plak sistemler, sistemden alınan kesitin en az bir tanesinin kırık çizgi görünümünde olduğu, çalışma sisteminin statik açıdan plak ve perde çalışmasına benzediği yüzeysel sürekli sistemlerdir. Sistem parçası olan her bir düzlemsel yüzey, kendini etkileyen yükü kesitin alt noktasında olan düşey strüktür elemanlarına iletmektedir. Bu ara yüzeyler, katlanmadan kaynaklı en alt ve en üst noktalarda kiriş gibi görev almaktadırlar. Bu sistemde tek yönde, çift yönde, paralel, ışınsal ya da çapraz katlama sistemiyle form oluşmaktadır (Gökçe, 1977).

Katlanmış plaklarda, plak kalınlığını belirleyen gerilme türü eğilmedir. Düzlemsel yüzeylere etki eden kuvvetler uzun kenara doğru iletilmektedir. Katlanma şekillerine göre plaklar gruplandırıldığında, üçgen prizmatik katlanmış plak, çokgen prizmatik katlanmış plak ve piramidal katlanmış plak olarak üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.20). Yüzeye etki eden kuvvetin dik bileşenleri, yüzeyde eğilme etkisi oluşturmaktadır (Türkçü, 2017).

		
Üçgen prizmatik katlanmış plak	Çokgen prizmatik katlanmış plak	Piramidal katlanmış plak

Şekil 2.20. Katlanmış plak sistemler (Türkçü, 2017)

Katlanmış plak sistemlerde ince ve enli plaklar yanal yüzey boyunca rijit bir şekilde birleştirilmiştir. Bu plakların açısı yanal burkulmaya karşı koyarak, her bir yüzeyin kiriş gibi davranmasını da sağlamaktadır. Aynı zamanda katlanmış plaklarda plak, kiriş ve makas etkisini birlikte görmek mümkündür (Şekil 2.21). Sistemde daha az malzeme ile geniş açıklıkların geçilmesine imkân verilmektedir. Bu haliyle ekonomik bir çözüm olanağı da sunmaktadır. Kabuk sistemlere oranla, geometrilerinin düz olması kalıp giderlerinin de az olmasında etkilidir (Erten, 2022).



Şekil 2.21. Tek katlanmış plak sistemlerde plak, kiriş makas etkisi (Erten, 2022)

Katlanmış plak sisteme örnek olarak SOM tarafından tasarlanan U.S. Air Force Academy Public Affairs binası örnek olarak verilebilir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. U.S. Air Force Academy Public Affairs (URL-6, 2022)

2.1.3.3.4. Uzay Kafes Sistemler

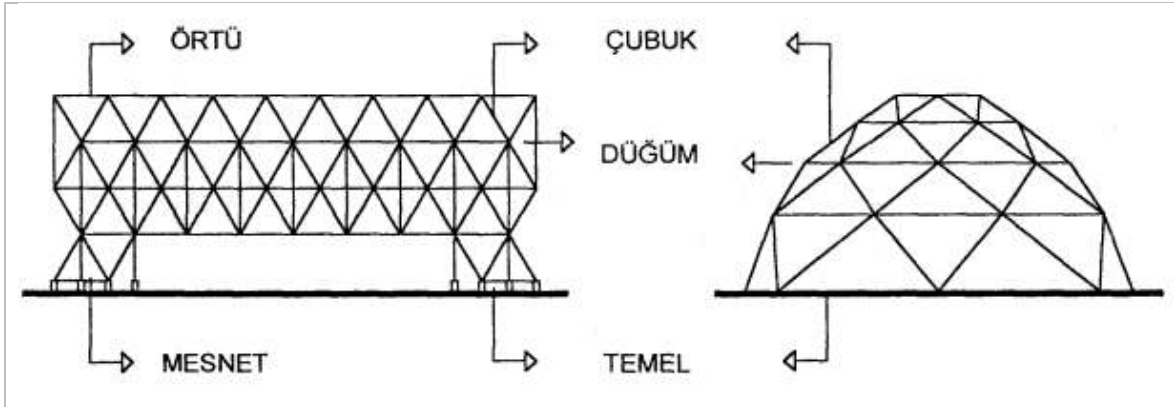
İki boyutlu bir düzlemde, düzleme gelen yüklerin düzlem içerisinde aktarılmasını sağlayan sistem kafes sistem olarak adlandırılır. Uzay kafes sistem ise düzlemler içerisinde, sisteme gelen yükleri, yer alan çubuklar ve bağlantı (düğüm) noktalarından dağıtan üç boyutlu taşıyıcı sistemdir. Uzay kafes olarak adlandırılmasındaki sebep ise, sistem

içerisindeki yüklerin uzay boşluğunu anımsatan dağılma mekanizmasından kaynaklanmaktadır (Savaşır ve Tuğrul, 2014).

Uzay sistemlerini etkileyen yükler basınç ve çekme kuvvetleridir ve sistemin geçmiş olduğu açıklıklar oldukça geniştir. Kemer, çerçeve, kabuk sistemlerin açıklıklarını geçmekte kullanılabilir. Sistem bir bütün olarak çalışmakta ve gelen yükü dengeli bir şekilde sisteme yayan bir kafes şeklindedir. Kafes sistem mekânın tasarım olanaklarını neredeyse sınırsız kılmaktadır. Eğilmeye karşı direnç gösteren strüktürlere oranla, uzay kafes sistemler, daha etkin ve daha ekonomiktir. Yapısal performansı yüksek olan sistem, boşluklu yapısıyla geniş açıklıkları geçerek hafif bir yapı inşa edilmesini de sağlamaktadır (Engel, 2013).

En basit uzay kafes strüktürü oluşturmak için tek düğüm noktasında birleşen üç düzlem olması gereklidir. Sistemin devamında ise ilave düğüm noktası ve tekrar üç düzlem kurularak sistematik bir şekilde devamlılığı sağlanır. Bu şekilde kurulan uzay kafes sistemlerinin oluşmasını sağlayan öğeler (Gülsün, 2002);

- Çubuklar
- Düğüm noktaları,
- Mesnetler,
- Temeller,
- Örtü gereçleri'dir (Şekil 2.23)



Şekil 2.23. Uzay kafes sistemini oluşturan öğeler (Gülsün, 2002)

Uzay kafes sistemlere örnek olarak Zaha Hadid tarafından tasarlanmış, yapımı 2007'de başlayıp 2012'de Azerbaycan-Bakü'de tamamlanmış olan Haydar Aliyev Kültür Merkezi verilebilir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Haydar Aliyev Kültür Merkezi yapım aşaması ve binanın bitmiş hali (URL-7, 2022)

2.1.3.3.5. Pnömatik Sistemler

Pnömatik kelimesinin kökeni Yunanca “pneuma” yani “havanın solunması” kavramına dayanmaktadır. Anlam olarak hava ile dolu olan ya da basınçlı havanın sayesinde işlevsel hale gelen herhangi bir şeyi anlatmaktadır. İlk olarak sabun köpüğünden esinlenerek gaz, sıvı, köpük ya da atık malzemeden oluşturulan, kapalı membran olarak adlandırılan ve hem örtme hem de taşıma işlevlerini barındıran sistem modellerinden yaygın kullanım alanına sahip olan gaz (hava) modelleridir. Sistemin dengede kalma mantığını oluşturan düşünce iç ve dış mekân arasında basınç farkını kullanarak ön gerilme oluşturmak ve sistemin dengelenmesini sağlayarak binayı meydana getirmektir. Sistem gerilmeye elverişli ve geçirgen olmayan membranın içerisinde yer alan hava ile taşıyıcı hale gelmesi ile oluşmaktadır. Ancak sistemin dezavantajlarından biri ısı değişimi, güneş, rüzgâr ya da yağışlar gibi çevresel koşulların sistem basıncını doğrudan etkilemesidir. Bu sebepten dolayı pnömatik sistemli yapılarda strüktürel devamlılık ve dengenin sağlanabilmesi amacıyla basınç kontrolü sağlayan sistemler kurulmaktadır (Bal, 2022).

Pnömatik sistemlerde mimari estetik kaygısının yanında tasarlanmış olan şekil, membranın geometrisinin uyarlanabilirliği ve sistemin yüzey gerilmesinin büyüklüğü yani sistemin statik davranışı açısından önemlidir. Pnömatik sistemlerde sistemin her noktasında eş basınç etkisinde gerilmesinin sağlanması gerekmektedir. Bu yüzden pnömatik sistemlerde sistemin biçim tasarımı önemlidir (Gündoğ, 2007).

Pnömatik sistemler uygulama alanlarına göre üç gruba ayrılır (Türkçü, 2017):

- Taşıyıcı strüktür olarak,
- Yardımcı strüktür elemanı olarak
- Kalıp elemanı olarak (Şekil 2.25).

Taşıyıcı Strüktür	Yardımcı Strüktür Elemanı	Kalıp Elemanı
		
Ontario's Celebration Zone Pavilion (URL-8, 2023)	Stadiums in Minnesota-Minnesota Metrodome (URL-9, 2023)	Pnömatik sistemin şişirilmesi ile oluşturulan kalıp (URL-10, 2023)

Şekil 2.25. Pnömatik sistemlerin uygulama alanları

2.2. Biyomimikri Kavramı

Doğanın kendi içerisinde değişimini, dönüşümünü sağlayan koşullar oluşmuş ve doğa bu koşullara mükemmel şekilde uyum sağlamayı başarmıştır. İçinde barındırdığı canlıların etkinlik alanı olan sistem, yaşayıp değişime uğrayan ve bu değişimlerde kendini yenileyen, devam eden süreçte de hem üreyen hem de yok olabilen bir sistem oluşturmaktadır. Bu haliyle varoluş evreninde mükemmel olarak tanımlayabileceğimiz bir statüye sahiptir.

Sürekli kendi koşullarına göre yaşamı şekillendiren, karşılaştığı problemlere çözüm üretip, tepki veren doğa, insanların varoluşundan itibaren referans aldığı bir örnek olmuştur. Aynı zamanda insan doğaya muhtaç bir varlıktır ve onun koşullarını dikkate almak zorundadır. Doğanın işleyişinden referanslar alan insanoğlu doğanın mükemmelliği karşısında hayran kalmış ve bu sebepten doğayı detaylı incelemeye de başlamıştır.

Doğa örüntü olarak nitelendirilen kendi sistemine sahiptir. Bu örüntüler ilk başta form olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanlar örüntüleri, bu örüntülerin işleyişini, evrimini, problemini ya da çözümünü ilk olarak form olarak algılayabilmektedirler. Yani yaşam tarzlarında doğadan gördükleri örneklerle, kendilerine alan oluşturmuşlardır. Buna örnek olarak, kırlangıçların yapmış olduğu yuva tekniğinden ilham alarak, insanların yaşam alanı inşa etmeleri verilebilir.

İnsanlar yaşamın en başından itibaren doğanın sunduklarının farkındadır. Doğa her zaman büyük bir dehaya sahiptir ve insanoğluna bu konuda yol gösterici olmuştur. İnsanların mağaraya sığınmaları, topraktan ev yapmaları, çalılardan sığınacak bir barınak yapmaları, hayvan derilerini kullanmaları örnek olarak gösterilebilir. Bu da insanoğlunun en başından

itibaren bilinçsizce yaptığı taklitlerin, günümüzde anlamlı ve bilinçli yapma çabalarının da aslında doğayı öğrenmenin bir zorunluluk olduğunu da göstermektedir.

Günümüzde sürdürülebilirliğin etkisi, teknolojinin gelişmesi, malzeme kullanımında daha ekonomik, dayanıklı arayışların olması ya da farklı tasarım yargılarının oluşmasıyla birlikte, doğanın işleyişi içerisinde yer alan sistemler üzerinde yapılan araştırmalar ve bunları günlük yaşama uyarlama çabaları oluşmuştur. Özellikle teknoloji bu konudaki en önemli faktördür. Çünkü zaten insanlığın en başından itibaren var olan doğanın dehası, birçok deneyim, gözlem ve teknolojik unsurların sağladığı avantajlarla günümüzde daha önemli bir referans olmaya başlamıştır. Doğanın bu kadar tüm alanlardaki tasarımlarda ilham kaynağı olarak yer alması da karşımıza biyomimikri, biyomimesis, doğa referanslı tasarım gibi kavramları çıkarmaktadır.

2.2.1. Biyomimikri Kavramı Tanımı ve Etimolojisi

Biyomimikri kavramı etimolojik olarak; Biyo (yaşam) ve Mimikri (benzetim) terimlerinden oluşmaktadır. Biyomimikri doğadan referanslar alarak, doğanın ürettiği çözümleri, insan problemleri ve ihtiyaçları için kullanan bir disiplin olarak tanımlenebilir. İnsanların doğadan esinlenerek üretmiş olduğu tüm mekanizma, sistem, işlev vb. tasarım mecralarından hepsi için kullanılan bir tabir olarak ifade edilebilir. Doğadan öğrenip, aktarmayla oluşan biyomimikri, kelime olarak yeni bir oluşumdur (İleritürk, 2016).

Biyomimikri kavramı insanların problemlerini çözmek için doğanın modellerine, sistemine, prensip ve ortaya çıkma sürecine çalışan ve oluşan elementleri inceleyen, sonra kendi sistemlerine uyarlayan veya bu tasarımlardan veya süreçlerden esinlenen yeni bir bilim dalı olmaya adaydır. Tam olarak teknoloji veya biyoloji değildir: biyolojinin teknolojisidir (Benyus, 1997).

Biyomimikri yaklaşımı ilk olarak D'arcy Thompson (1917) tarafından, On Growth and Form adlı kitabında doğal formların sadece var olmaktan öte matematiksel bir açıklamasının da olabileceğine değinilmiştir. Büyüme ve biçim kavramları matematiksel bir bakış açısına dayandırılmıştır. Bu kapsamda canlıların biçim, form ve mekanik ile bağdaştırılarak incelenmesi gerektiğini, canlı vücudunun anlaşılabilmesi için ise matematiğin kullanılması gerekliliğini savunmuştur (Constantakis, 2002).

1950 yılında, Biyomimetik kelimesi Amerikalı bir akademisyen olan Otto Schmitt tarafından bulunmuş ve Otto Schmitt biyomimikri kelimesini biyolojiden teknolojiye transfer yapmak olarak kullanmıştır. 1960 yılında Jack Steele tarafından doğadaki mevcut sistemin ve metotların kopyalanmasıyla, modern teknolojiye kullanılması anlamında

biyonik kelimesi üretilmiştir. 1974 yılında kelime Websters sözlüğüne girmiştir. Sözlükte ise, “biyolojik olarak üretilen malzeme ve maddelerin (enzimler veya ipek) ve biyolojik mekanizma ve süreçlerin (protein sentezi veya fotosentez) oluşum, strüktür veya işlevlerinin yapay mekanizmalar üretmek için taklit etme çalışması” olarak tanımlanmıştır. 1982 yılında ise biyomimikri terimi ortaya çıkmıştır. Terim, 1997 yılında Janine Benyus tarafından çıkarılan “Biomimicry: Innovation Inspired by Nature” adlı kitabıyla biyomimikri kavramı önem kazanmıştır (İleritürk, 2016).

Biyomimikrinin temelinde, bilim insanları, mucit ve sıradan insanlar için doğanın işleyişini kullanmayı teşvik eden bir düşünce biçimi yatmaktadır. Bu düşünce, doğanın süregelen düzen ilkelerini uygulayarak, bütün türlerin gelişimine katkı sağlayacak çeşitli araştırmalarla sunulabilmektedir. (Lee, 2011)

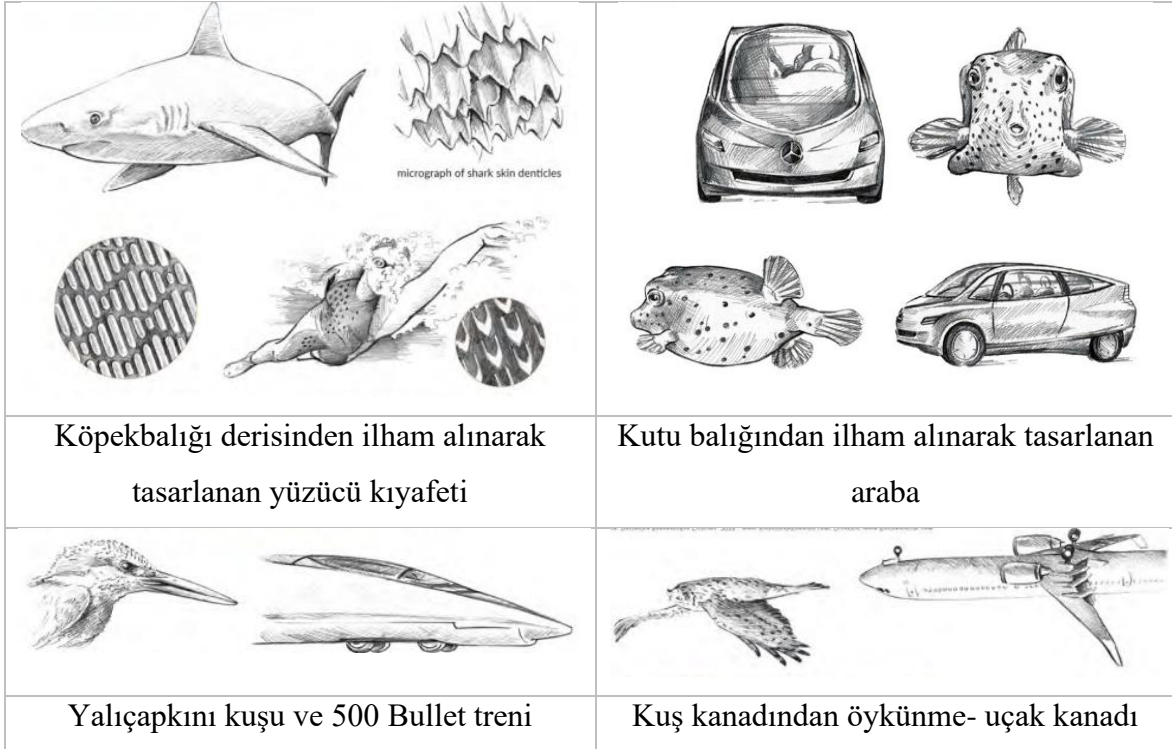
Doğa insanlara sunmuş olduğu güvenilirlik, sürdürülebilirlik, kendi içerisindeki uyum, enerjiyi ihtiyacı olduğu kadar kullanma, kendi kendini kirletmeme gibi özellikleriyle mükemmel bir fabrikadır. Yüzyıllarca süren doğa düzeni, gerektiğinde değişip dönüşüme uğrama süreçleri bunu kanıtlamıştır. Doğanın bu özelliği de tüm alanlarda önemli bir tasarım öncüsü olarak biyomimikride kullanılmaktadır (Karabetça, 2018). Günümüz gelişen teknolojiyle, disiplinler arası çalışmaların da önem kazanması faktörüyle, doğa, yaşam, yenilik, değişim, biyoloji, tasarım vb. kavramlarının öncülüğünde çok farklı üretim alanları oluşmaya başlamıştır.

Bilimin önem kazanması ve insanın düşünce yapısının değişmesi ile daha derin inovasyonlar ve ilhamlara yönelik tasarımlar neticesinde biyomimikri kavramı önem kazanmıştır. Biyomimikri kavramı yaşamış olduğumuz çağın bilgi çağı olması ve bilimsel verilerin hızlı yayılmasına bağlı olarak hızla yayılan bir terim olmuştur. Terimin hızlı yayılmasındaki bir diğer öncül kavram ise ekoloji ve sürdürülebilirlik kavramlarıdır. İnsanların Dünya’nın hızla tüketilen kaynakları için çözüm arayışı biyomimikri kavramını günümüzün popüler kavramlarından biri haline getirmiştir. Kavram olarak popüler olmadan önce var olan biyomimetik tasarımlardan bir tanesine örnek olarak, 1948 yılında icat olan, birçok alanda kullanılan, dayanıklı, sağlam ve birleştirici bir tasarım olan Velcro verilebilir (Şekil 2.26) (Dündar, 2019).



Şekil 2.26. Velcro ve tasarıma öncülük eden dikenli bitki (Dündar, 2019)

Köpekbalığının sürtünmeyi azaltarak hızına katkı sağlayan derisi, yüzücü kıyafeti tasarımına referans olmuştur. Speedo Aqualab tarafından kullanılan yüzücü kıyafeti, yüzücünün hızını artıran antibakteriyel bir tasarım olmuştur. 2004 yılında Mercedes tarafından kutu balığı referans alınarak tasarlanan araçta, balığın güç ve çarpma güvenliğini azaltmadan aynı zamanda yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Japonya’da 500 Bullet treninde, tren tünelden geçerken oluşacak olan atmosfer basıncının etkisini ortadan kaldırmak amacıyla, trenin önü için yalı kuşu gagasından bir öykünme karşımıza çıkmaktadır. Uçak kanadının tasarımında ise kuş kanadı formundan esinlenilmiştir (Şekil 2.27) (Wahl, 2016).



Şekil 2.27. Biyomimikri örnekleri (Wahl, 2016)

İlk bakışta biyomimikri karmaşık bir fikir değildir, temel olarak savunduğu fikir “doğanın bilinçli öykünmesi” olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu kavram sadece sürdürülebilir ya da yeşil etiketi altında değerlendirilemeyecek kadar da kapsamlıdır. Biyomimikri, kişilerin hapsediği endüstriyel moderniteye karşı çıkan, organizma ya da ekoloji düzeyinde araştırmaların ve analizlerinin yapılarak, doğanın kendi işleyişi içerisindeki çözümlerinin irdelenmesini baz alan bir farkındalık uygulamasıdır. Doğa her zaman bir problemle karşılaşmıştır. Bu problemler doğanın doğal işleyişi gereği olan ve doğanın çözüm bulma yetisinin olduğu sorunlardır. Ancak insanoğlu içinde yaşadığı doğaya, doğayla mücadele halinde birçok zarar vermekte ve doğanın kendi içerisinde çözümleyemeyeceği problem alanı oluşturmaktadır. Oysaki doğa kendi problemini dışarıdan insana dair müdahale olmadığı sürece çözen ve mükemmel işleyen bir sisteme zaten sahiptir. Bunun için insanın doğaya zarar vermemek ve geri dönüşümü mümkün olmayan tahribatları oluşturmamak için doğayı öğretici olarak değerlendirmesi gerekmektedir. Günümüzde doğadan referans alınarak birçok tasarım yapılmaktadır, ancak hala doğanın yapmış olduğu zarafet ve enerjinin minimum düzeyde kullanımı yeteri kadar sağlanamamıştır. Bu yönüyle doğadan referans alınan çalışmaların önemi artmaktadır (Fisch, 2017).

Biyomimikri bir doğal sistem işleyiş mekanizmasının yapay sistemlere uyarlanması amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. Burada uyarlanan noktalar ise belirli kurallar dahilinde doğadaki sistem, davranış ve biçimsel örüntülerdir (Özen, 2016).

Genel yaklaşım olarak Biyomimikri üç başlık altında toplanabilir (Benyus, 1997).

- a) Yaşamın dokuz prensibi
- b) Model, ölçüt ve kılavuz olarak doğa
- c) Biyomimikri pratiğini bilgilendiren tasarım spirali

2.2.1.1. Yaşamın Dokuz Prensibi

- Doğanın devamlılığı güneş ışığıyla sağlanmaktadır.
- Doğa sadece ihtiyaç duyduğu kadar enerji kullanmaktadır.
- Doğada form ve işlev birbirine uymaktadır.
- Doğa her şeyi geri dönüştürmektedir.
- Doğa çeşitliliğe bağlıdır.
- Doğa iş birliğini ödüllendirmektedir.
- Doğa yerel ustalığı talep etmektedir.
- Doğa ihtiyaç fazlasını engellemektedir.

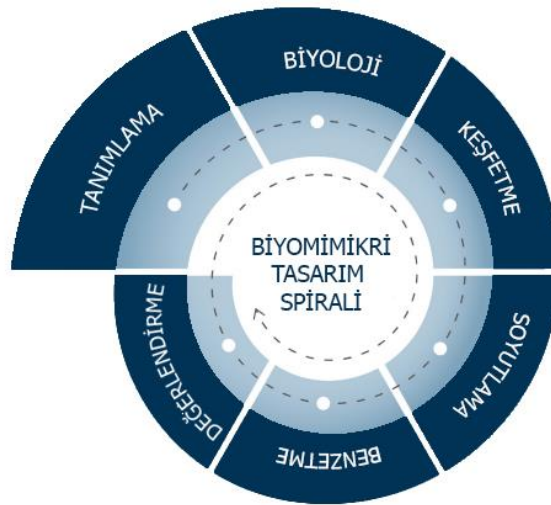
- Doğa gücün sınırlarını zorlamaktadır (Benyus, 1997).

2.2.1.2. Model, Ölçüt ve Kılavuz Olarak Doğa

- Model olarak doğa; Doğada var olan örneklerin araştırılması ve bu örneklerin referansı ile tasarım ve üretim yapılmasıdır.
- Ölçüt olarak doğa; Ekolojik sınırlar çerçevesinde yapılan üretimlerin doğruluğunu sorgulamaktadır.
- Kılavuz olarak doğa; Doğanın özünü anlamayı hedefleyen, doğadan ne aldığımızdan çok, öğretilerine odaklanan kavramdır (Benyus, 1997).

2.2.1.3. Biyomimikri Pratiğini Bilgilendiren Tasarım Spirali

İnsanların “biyomimikri” kavramını anlayabilmeleri, öğrenmeleri ve uygulayabilmeleri için, insanlara sağlıklı bir gezegen için doğadan ilham alan çözümler yaratma gayesiyle, 2006 yılında Janine Benyus, Bryony Schwan ve Dayna Baumeister tarafından kurulan Biyomimikri Enstitüsü bir tasarım spirali oluşturmuştur. Spiral içeriğinde Biyomimikri uygulayıcısı tarafından öncelikle tanımlama gerçekleşip, dönüştürme, keşfetme, benzetme, değerlendirme ve biyomimikriye dönüş aşamaları yer almaktadır. Spiral biyomimetik tasarımın gerçekleşme aşamalarını ele alarak, sonucunda hedefin istediği çözümlmeye ulaşp ulaşmadığına bakılmasını sağlamaktadır. Bu yüzden tasarım aşamalarını anlatmak için spiral kullanılmıştır (Şekil 2.28). Ancak spiral sadece tasarım aşamasını anlattığından tasarım öncesi süreç de önemlidir.



Şekil 2.28. Biyomimikri Tasarım Spirali (Biomimicry Institute, 2017)

Biyomimikri tasarım spiriline göre tanımlama, biyoloji, keşfetme, soyutlama, benzetme ve değerlendirme aşamalarının detaylı açıklaması şu şekildedir (Biomimicry Institute, 2017):

1-Tanımlama (Tasarım fonksiyonunu sorgulama)

Tasarımın sahip olması istenilen kriterlerin belirlenmesi ve başarı için gerekli kriterleri ifade eder.

2-Biyoloji (Biyolojiden dönüşüm)

Tasarım çözümünün ele alınması ve tasarımın temel işlevleri belirlenir. Bu işlev karşılığında doğadan tavsiye istenir.

3-Keşfetme (Doğadaki modelleri keşfetmek)

Tasarımın belirlenen işlevleri için doğanın modelleri (organizmalar ve ekosistemler) çözüm bağlamında keşfedilir ve tasarıma yönelik biyolojik strateji belirlenir.

4-Soyutlama (Doğanın stratejilerine benzet)

Belirlenen biyolojik strateji bağlamında tasarım referansının temel özellik ve mekanizmasının dikkatli bir şekilde incelenmesi ve özelliklerin nasıl işlediğine dair bulguların ifade edilmesidir.

5- Benzetme (Verileri konsepte dönüştür)

Tasarım stratejisine yönelik oluşturulan bulgular arasındaki ilişkiler, kalıplar ya da anahtar kavramların üzerinde durularak elde edilen verilerle tasarım konseptinin geliştirilmesidir.

6-Değerlendirme (Tasarımını yaşam prensiplerine göre karşılaştır)

Geliştirilen tasarım konseptinin, ilk başta belirlenen kriterlere uygunluğunun değerlendirilmesi ve istenilen çözüme kavuşup kavuşmadığının irdelenmesidir. Uygun olmaması durumunda ise önceki aşamalara tekrar dönüş yapıp yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.

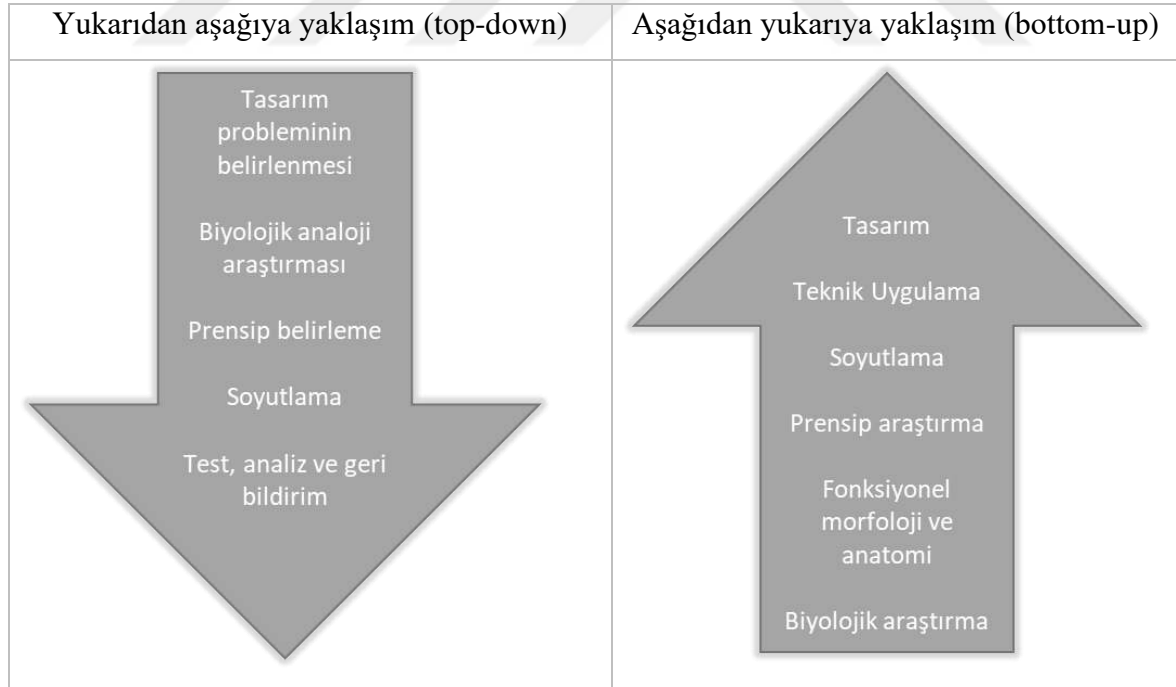
2.2.2. Biyomimikri Tasarım Yaklaşımları

Biyomimikri bir tasarım süreci olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda bu sürece yönelik yaklaşımlar iki kategori şeklinde incelenmektedir. Bu kategorilerin ana başlıkları yukarıdan aşağıya yaklaşım (top-down) ve aşağıdan yukarıya yaklaşım (bottom-up) şeklindedir (Şekil 2.29) (Radwan ve Osama, 2016).

Yukarıdan aşağıya yaklaşım (top-down); insanın ihtiyaçlarının ya da var olan problemin tanımlanması ve diğer organizmalardan ya da ekosistem davranış veya işlevinden

ihtiyaç ya da problemi çözme yollarının aranmasıdır. Yani biyolojiye bakarak tasarımıdır (Amirudin, 2018). Problemden biyolojiye (Baumeister, 2014), tepeden aşağı (Speck ve Speck, 2008), analoji yoluyla biyomimetik (Gebeshuber ve Drack, 2008), problem temelli (Helms, Vattam ve Goel, 2009), teknoloji öncülüğünde (ISO/TC266, 2015) olarak tanımlamaları yer almaktadır (Öztoprak, 2020). Temelinde hepsinin anlattığı durum aynıdır. Asıl önemli olan durum tasarımcının problemini doğru anlayabilmesi ve problem için en doğru organizma ya da ekosisteme yönelebilmesidir.

Aşağıdan yukarıya yaklaşım (bottom-up); bir organizmanın ya da ekosistem davranışı veya işlevinin insan yaşamına-tasarımlara aktarılmasıdır. Yani biyolojiyi etkilemektir (Amirudin, 2018). Biyolojiden tasarıma (Baumeister, 2014), aşağıdan tepeye (Speck ve Speck, 2008), tetikleme yoluyla biyomimetik (Gebeshuber ve Drack, 2008), çözüm temelli (Helms, Vattam ve Goel, 2009), biyoloji öncülüğünde (ISO/TC266, 2015) şeklinde tanımlanabilmektedir (Öztoprak, 2020). Tüm bu başlıklar yine aynı durumu ifade etmektedir. Bu anlayışta var olan bir probleme çözüm arayışına girmek için doğadan yardım alınmış ya da daha önceden var olan bir araştırmadan bağımsız olarak doğadaki çözümleri doğrudan bir tasarıma dönüştürmek amaçlanmaktadır.



Şekil 2.29. Biyomimikri temelli tasarım yaklaşımı süreçleri (Amirudin, 2018)

Biyomimikride tasarım yaklaşımları iki aşamada ele alınmaktadır. Bunlardan birincisi bir problem üzerinden yola çıkarak çözüm üretmek ve çözümü tasarıma

dönüştürmek, ikincisi ise doğada var olan organizma düzeyindeki tasarımları yaşamımıza aktarmak adına yapılan tasarımlardır. İki tasarım yaklaşımında da biri baştan sona, diğeri sondan başa doğru ilerleyen benzer bir süreç takip edilmektedir. Yaklaşımında izlenen adımlar ise şu şekildedir (Amirudin, 2018);

Problemi tanımla: Bu aşamada fonksiyon ve bağlam tanımlanır.

Problemi soyutla: Tasarımla alakalı problem doğanın prensiplerine uyarlanır. Problemin tekrardan tanımlanması sağlanır.

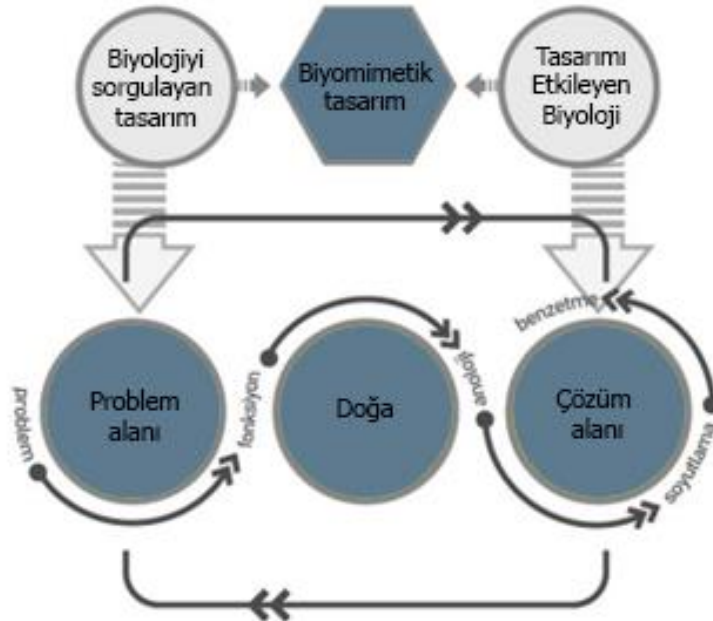
Biyolojik analogileri araştır: Probleme uygun doğadan örnekler araştırılır.

Biyolojik çözüm tanımla: Doğadan referans alınan örnekler analiz edilir ve bunlar arasındaki benzerliklerden çözüm elde edilir.

Prensip aktar: Doğadan ulaşılan bilgi soyutlanır ve kavrama dönüşür, bu kavram problem alanına aktarılır.

Prensip uygula: elde edilen kavram problemle bağdaştırılır ve uygunluğu test edilir.

Biyomimikri temelli tasarım yaklaşımının sunduğu süreçte, birbirleri arasında geçiş olan üç temel alan vardır. Bu aşamalar problem alanı, çözüm ve doğa alanıdır. Bu alanlar arasındaki birbirine geçişi destekleyen aşamalar ise problemin tanımlı, keşif-araştırma ve çözüm geliştirmedir (Öztoprak, 2020) (Şekil 2.30).



Şekil 2.30. Biyomimikri temelli tasarım yaklaşımlarındaki alan dönüşümleri ve sürecin genel aşamaları (Öztoprak, 2020)

2.2.3. Biyomimikrinin Aşamaları

Benyus (1997), biyomimikrinin aşamalarını üç grupta incelemiştir. Bunlar:

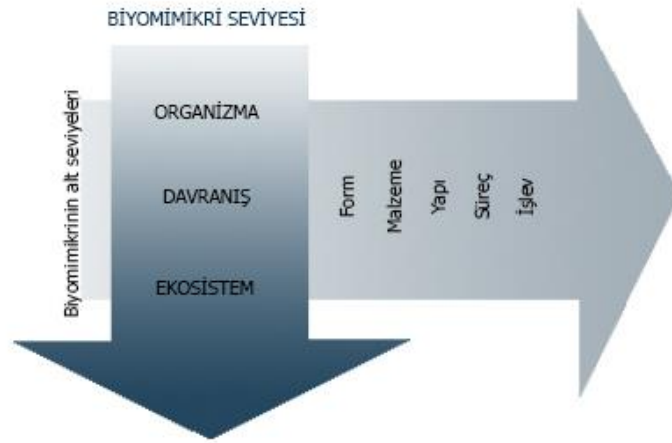
- **Organizma Aşaması (Doğal Form):** Referans alınan canlının dış görünümü gibi basit özelliklerinin aktarılmasıdır. Kuşun tüy şeklinin aktarılması örnek olarak gösterilebilir.
- **Davranış Aşaması (Doğal üretim):** Referans alınan canlının davranış vb. spesifik özelliklerinin tasarıma aktarılmasıdır. Kuş tüyünün vücut ısını sabit tutması örnek gösterilebilir.
- **Ekosistem Aşaması:** Referans alınan canlının ekosistem içerisindeki pozitif ve negatif özelliklerinin ayrışıp bunların aktarılmasıdır (Benyus, 1997).
- **Dr. Maibritt Pedersen Zari'ye** ise biyomimikriye iki kategoride yaklaşmıştır (Zari, 2007)
- **İnsan İhtiyaçları ve tasarım problemlerinin doğaya bakılarak çözülmesi** (Tasarımın biyolojiye bakması)
- **Organizmanın ya da ekosistemin belirgin davranışlarını tasarıma uyarlamak** (biyolojinin tasarımı etkilemesi)

Bu maddelerden yola çıkarak problemin çözümü için doğaya başvurulur ya da tasarım en başından doğadan referansla oluşturulur. Tasarım aşamasında karşılaşılan problem biyosistem referansı ile çözüme kavuşur (İleritürk, 2016).

Zari'ye (2007) göre Biyomimikri gerçekleşme seviyeleri ise üç ana başlık altında değerlendirilmektedir

- **Organizma Düzeyi:** Belirli bitki veya hayvan organizmasının bütünü ya da belirli bir parçasının taklit edildiği durumlarda kullanılır.
- **Davranış Düzeyi:** Bir organizmanın nasıl davrandığına dair bakış açısının tasarıma uygulanmasıdır.
- **Ekosistem Düzeyi:** Ekosistemin genel prensiplerinin tasarıma uygulanması yöntemidir (Zari, 2007);

Bu düzeylerin her birinde 5 ayrı olası kategoride doğa taklidi gerçekleşir. Bu kategoriler; neye benzediği (biçim), neyden yapıldığı (malzeme), biyomimetik açıdan nasıl yapıldığı (yapı), nasıl çalıştığı (süreç) ve ne yapabileceği (işlev) aşamalarıdır (Şekil 2.31). Tüm bu kategoriler biyomimikri aşamasının her evresi için geçerlidir. Ve bu aşamaların her biri bağımsız gerçekleşebileceği gibi, iş birliği içerisinde de olabilmektedirler. Tüm bu kategoriler termit yuvaları örneği üzerinden Tablo 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.31. Biyomimikrinin Seviyeleri (Zari, 2007)

Tablo 2.2. Tasarımda Biyomimetik Yöntem (Zari, 2007)

BİYOMİMETİK DÜZEY	Örnek bir binanın termitleri taklit etmesi	
ORGANİZMA DÜZEYİ	biçim	Bina termite benzer
	malzeme	Bina termitle aynı malzemeden yapılır, malzeme termitin kabuğunu taklit eder
	yapı	Bina termitin oluşum şekliyle aynı yoldan yapılır.
	süreç	Bina termitin organizmasıyla aynı şekilde çalışır.
	işlev	Bina daha geniş kapsamda bir termite benzer şekilde işler. Ör: selüloz atıklarının geri dönüştürülmesi
DAVRANIŞ DÜZEYİ	biçim	Bina termit tarafından yapılmış gibi görünür. Ör:termit tepesinin kopyası.
	malzeme	Bina termitin kullandığı malzemeden yapılır. Ör: Parçalanmış ince toprak.
	yapı	Bina termitlerin uyguladığı yapım tekniğiyle yapılır.
	süreç	Bina bir termit yuvasının çalıştığı şekilde çalışır veya termitlerin nasıl beraber çalıştığını taklit eder.
	işlev	Bina termitler tarafından yapılmış gibi işler.
EKOSİSTEM DÜZEYİ	biçim	Bina içerisinde termitlerin yaşadığı bir ekosisteme benzer.
	malzeme	Bina bir termit ekosisteminin meydana geldiği aynı tür malzemeden yapılır. Ör: Su ortamdaki birincil kimyasal malzemedir.
	yapı	Bina bir termit sisteminin kurulduğu aynı yolla yapılır.
	süreç	Bina bir termit ekosisteminin çalıştığı mantıkla çalışır. Ör: güneşten enerji alır ve su depolar.
	işlev	Bina bir termit ekosistemi gibi işler. Farklı süreçler arasındaki ilişkileri içeren kompleks sistemi faydalı hale getirir.

2.2.4. Biyomimikri Kavramının Tarihçesi

İnsan ve doğa zorunlu bir birliktelik içerisinde. Evrende sahip olduğumuz dünya dışında bilinen yaşamımızı sürdürebileceğimiz başka bir yaşam mekânı da yoktur. Biz doğaya muhtaçken doğanın böyle bir zorunluluğu bulunmaz. Çünkü doğa kendi içerisinde üretim, tüketim ve dönüşüm yapabilen, kendi yaşam döngüsünü sürdürebilecek kabiliyete sahiptir. Doğanın sahip olduğu yaş ve insanoğlunun yaşam süresi kıyaslandığında bu gerçekliğin göstergesidir. Bu doğrultuda, en basit ifadeyle, insan bir “doğa” içerisinde doğar, orada beslenir ve büyür, orada birliktelikler oluşturur ve yine orada kültürünü ve medeniyetini inşa eder (İlboğa ve Aygöl, 2015).

İnsanoğlu varoluşundan itibaren bilinçli ya da bilinçsiz olarak doğanın sunduğu tasarım ya da işleyişi bir şekilde taklit edip yaşamına ihtiyaçları doğrultusunda uyarlamıştır. Ancak bu taklit etme davranışı 21. yüzyıla kadar bir bilim olmak bir yana isimlendirilmemiş ve Janine Benyus 1997 yılında “Biomimicry: Innovation Inspired by Nature” adlı kitabında neden geç kalındığını sorgulamıştır (Kuday, 2009).

Eski çağlarda insanlara neyin ilham verdiğini bulmak kolay değildir. Fakat insanların kuzgunlardan mezar törenlerini öğrenmeleri gibi bir tarihsel sürece kadar gitmek mümkündür. İnsanların maşa gibi el aletlerini kuş gagalarından öğrenmeleri, kâğıt yapımını eşekarısının kül ve tükürüklerinden elde ettiği liflerin karıştırılmasını örnek alması, organize olabilmeyi karıncaların organize şekilde işleyişinden, ölüleri gömmeyi tohum gömen bir kuştan, yüzmeyi balıklardan öğrenmeleri gibi örnekler çoğaltılabilir. Hayatta kalmak ya da yaşamsal faaliyetlerin ilerlemesi için yapılan pek çok tasarımın temelini biyomimikri kavramına dayandığını görebilmekteyiz.

2.2.4.1. Kavram Öncesi Biyomimikri (Antik Çağ-Rönesans)

İnsanın temel ihtiyaçlarından biri kendi vücudunu dış etkenlere karşı korumak ve savunmaktır. Bunun için giyinme ihtiyacı bir eylem olmuştur. Kavram olarak giyinmenin ne zaman ortaya çıktığı bilinmese de antropologların tahminine göre 100.000-500.000 yıl gibi bir zaman aralığını kapsamaktadır. İlk giysiler doğal elementlerden yapılmıştır. Hayvan derisi, kürk, çimen, yapraklar, kemik ve kabuklar gibi doğal malzemeler insanların vücudunu koruma ve savunma için kullandıkları vücut sığınakları olmuştur. Giysiler genellikle bol dökümlü veya birbirine bağlı şekilde oluşturulmuştur. Hayvan kemiğinden yapılan iğneler ise en az 30.000 yıl öncesinde dikilmiş kürklü ve deri kıyafetlerin olabildiğinin kanıtıdır (Şekil 2.32a) (Bellis 2019). Doğaya uyum sağlayan diğer canlılardan farklı olarak insanlar

bir uzuv ya da belirgin bir özelliğe sahip işlevsel uzamlara sahip olmadığından, ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla üretim-tasarım yapmak zorundadır. İğne de bunlardan biridir.

İnsanların dış etkenlerden korunmaları sadece bedenlen olmamakta, fiziki savunmayı da gerektirmektedir. Bunun için insanlar, yırtıcı hayvanların saldırılarından korunmak için taş ya da hayvan kemikleri gibi doğal elementlerden yararlanarak el aletleri ve silahlar yapmışlardır (Şekil 2.32b). Virtuvius Pollio tarafından tasarlanan ordu silahlarından olan Scorpio (Akrep) isimli mancınık da akrepten referans alınmasıyla aynı şekilde biyomimikri kavramı ile ilişkilendirilebilir (Şekil 2.32c) (Kuday, 2009).

		
(a) Fransa Toulouse Müzesi'nde yer alan, Taş Devri'nden kalan kemik dikiş iğneleri (Akbulut, 2014)	(b) M.Ö. 2000 ve 8000 yıllarına ait el aletleri (Kuday, 2009)	(c) Scorpio isimli Tatar yayı (Kuday, 2009)

Şekil 2.32. Antik Çağ'da kavram öncesi biyomimikri

Roma ordusunda yer alan Lejyonerlerin kullanmış olduğu zırhlı kıyafetlerde biyomimikri esintilerine rastlamak mümkündür. 'Armadillo' İspanyolca'da küçük zırhlı anlamına gelmektedir. Armadillonun sert, zırh şeklinde, iç içe geçen, parçalı kabuğu vardır. Roma ordusunun kullanmış olduğu 'Lorica Segmentata' (koruyucu kabuk) adlı zırh ise armadillodan esinlenerek oluşturulmuş zırhlı bir kıyafettir (Şekil 2.33a). Başka bir zırhlı kıyafet örneği yine Roma ordusunda karşımıza çıkmaktadır. 'Lorica Squamata' isimli kıyafet sürüngenlerin cildindeki pul pul olan derilerden esinlenerek oluşturulmuş, kısaca koruyucu pul olarak adlandırılabilen biyomimikri başlığı altında incelenebilecek bir kıyafettir (Şekil 2.33b) (Yıldız, 2020).

	
(a) Lorica Segmentata (koruyucu kabuk) (URL-11, 2022)	(b) Lorica Squamata (URL-12, 2022)

Şekil 2.33. Antik Çağ'da savaş kıyafetlerinin tasarımında biyomimikri örnekleri

Kişilerin yaşam alanlarında da biyomimikrik esintilere rastlamak mümkündür. Antik kentlerin sokaklarında ya da bu kentlerdeki yapılarda yer alan geometrik ya da doğadan esinlenerek yapılmış olan desenler mevcuttur. Bu yapılarda yapıyı yapan kişiler doğadan gördüklerini, inşa ettikleri yapı üzerine bezemeler yaparak işlemişlerdir. Aynı zamanda heykel olarak da biyomimetik örnekler karşımıza çıkmaktadır. İnsanlar doğadan gördüklerini hayatlarına bir şekilde uyarlamışlardır. Bir ürün tasarlama olduğu gibi aynı zamanda iletişim ya da görsellik katma amacıyla da biyomimikriden faydalanmışlardır

Eski çağ uygarlıklarının üretmiş oldukları birçok üründe doğanın yansımalarını görmek mümkündür. Barınmak ya da yaşamsal faaliyetleri devam ettirmek için kullanılan araç gereçlere bakıldığında doğanın taklit edildiği görülmektedir. Zanaatkarlar tarafından doğada var olan unsurlar taklit edilmiş ve sonucunda doğa bir kültüre dönüşmüştür (Öztürk, 2013). Antik dönemde yapılar sadece barınma, eğlenme, toplanma gibi temel ihtiyaçları karşılamak amacıyla yapılmamıştır. Ayrıca bu yapılar doğa ve evrenle ilişkilendirilerek, fikir, güç ve iktidar gibi temsil unsuru olmuşlardır. Bu dönemdeki süslemelerde (bezeme) ağaç dalları, yapraklar, çiçekler, hayvan figürleri gibi doğadan unsurlar kullanılmıştır. Mısır ve Yunan uygarlıklarının Antik dönemde insan vücudundan ya da doğadaki doğal formlardan esinlenerek elde ettikleri geometri ile doğa ile tanrıları arasında bir köprü kurarak evrene uyum sağlamışlardır (Gertik, 2012).

Antik Dönem'in en önemli özelliği, insanın sanat ve düşüncede en önemli varlık/unsur haline gelmesidir. Yani Antik Dönem kültürü hümanist değerlerin oldukça önemli olduğu bir dönemdir. Bu düşünceye en güzel örnek Homeros'un İlyada ve Odyssea

ile Hesiodos'un Theogonia (Tanrının doğuşu) adlı eserlerindeki insan biçimli tanrıları, hümanist düşünce yapısının en güzel örnekleridir. Antik dönem mimarisinde kullanılan doğal malzemeler ve mecburi olarak yapılan basit formlar dolayısıyla organik.

Helenistik Dönem'de de binalar kendinden önceki uygarlıkların yapmış olduğu binaları tipolojik olarak taklit etmişlerdir. İlerleyen yıllarda sanat düşüncesi, Roma kültürünün faydacı düşüncesinden dolayı teknik ve analitik bir döneme girmiştir. Güzellik anlayışı faydalı olana, gösterişli olan ise sade olana yönelmiştir. Binanın güç göstergesi simgesel ifade şekline bürünmeye başlamıştır. Çember, kare, haç ve bunların bir merkez etrafında kurgulanmasıyla mimari bir temsil yapıya yansımaktadır. Bu temsillerin tamamı ise özünde bir taklittir (Gür, 1998).

Orta Çağ'da Kavimler Göçü ve Batı Roma İmparatorluğu'nun yıkılmasıyla doğu etkileri görülmeye başlanmıştır. Avrupa sanatı etkisinin yerini, doğunun soyut hayvan biçimleri almıştır. Orta Çağ'da, tüm alanlarda Hristiyanlığın etkisinin büyük olduğu, bin yıllık bir süreci kapsayan dönem başlamıştır. Bilim, akıl, mantığın devre dışı kaldığı, insani değerlerin yok sayıldığı ve tüm alanlara kilisenin hâkim olduğu bu dönem, İlk Çağ'da oluşturulan düşünce yapısının da gerilemesine sebep olmuştur. Bu dönemde dinsel etkiyle doğru düşünce arayışı yerini doğru davranışa bırakmıştır. Ancak temel yaşamsal faaliyetler olan tarım, zanaat, sağlık ve ticaret ile bilime olan bakış açısı tamamen yok olmamıştır. Bu dönem ilk çağdan elde edilen bilgilerin üzerine büyük katkılar sağlanamayan bir dönem olmuş ve biyomimetik anlamda doğadan esinlenmek ilk çağdaki bezemelerden ileri gidememiştir (Zeytün, 2014).

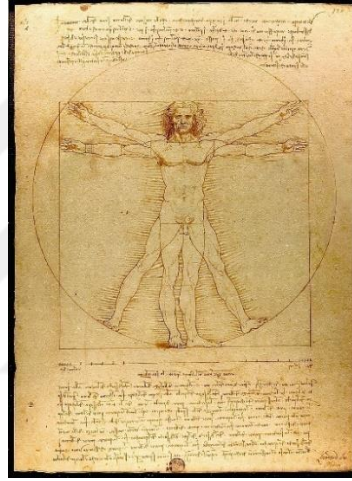
2.2.4.2. Rönesans Dönemi'nde Biyomimikri

Fransızca "Renaissance" (Yeniden doğmak) kelimesinin tariflediği, 15.yy ve 16. yy'da Batı ve tüm Avrupa'da yayılan Rönesans bir sanat hareketidir. Bu dönemde mimari görüş olarak insanın evrenin merkezinde olduğunu varsayan antik görüş hâkim olmuştur. Mantıksal ilkelere dayandırılmış kesin formlar oluşturulmuştur. 17. ve 18. yüzyılların önemli akımlarından olan Barok ve Rokoko'nun biçim dili doğadan esinlenerek oluşturulmuştur. Bu dönem yüzeylerde doğada sıklıkla karşılaştığımız S – C kıvrımları, suyun dalgalanması ya da sıçrama hareketini anımsatan eğri çizgiler ve istiridye kabuğu, çiçekler vb. formlar sıklıkla kullanılmıştır (Gertik, 2012).

Vitruvius metni bulunmadan önce, Rönesans Dönemi'nin ilk mimarlarından olan Filippo Brunelleschi, antik mimarlığı araştırmaya başlamıştır ve ideal yapıya ait oranların geometri ve matematik ilkelerinden yola çıkılarak yapılabileceği düşüncesine sahiptir. Bu

dönemde Brunelleschi ve diğer mimarların da sahip olduğu düşünce tarzı insanı ölçüt olarak kullanmak olmuştur. Bu şekilde Rönesans mimarlığı doğal formları taklit etmiş, doğadan referans almıştır (Zeytün, 2014).

Antik Roma'nın önemli mimarlarından Vitruvius Pollio "De Architectura" isimli kitabında insan vücudunun modüler bir yapıya sahip olmasının aslında evrenin en gerçekçi ve uygun dışa vurumu olduğunu ifade etmiştir. Leonardo da Vinci bu eserden etkilenerek "Vitruvius Adamı" olarak bilinen, homo-quadratus olarak adlandırdığı insan eskizini çizmiştir. Bu eskiz çalışmasının niceliksel açıdan doğa ve insanın ilişkilendirilmesi yönüyle milat oluşturduğu varsayılır. Vitruvius'un mimarlık dünyasına özünü doğadan alıp insan aklıyla bütünleşmesinden dolayı önemli katkıları olmuştur (Şekil 2.34) (Yıldız, 2020).



Şekil 2.34. Leonardo da Vinci'nin çizdiği homo-quadratus (URL-13, 2022)

Leonardo Da Vinci doğadan referans ile yapmış olduğu tasarımlarda, sadece form olarak çalışmamış, doğanın oranlarını kullanıp; geometri ve aynı zamanda doğal akış hareketleri üzerine de düşünmüştür. Da Vinci'nin 15. Yüzyılda yapmış olduğu yapay kanatlar buna bir örnektir. Da Vinci'nin kuşları gözlemleyerek yaptığı uçan makine (Şekil 2.35) helikopter ve düzenekler mevcuttur (Karabetça, 2016).



Şekil 2.35. Leonardo da Vinci'nin biyomimikri tasarımlarına ait maketler

2.2.4.3. 1784-1870 Yılları Arasında Biyomimikri (Endüstri I-Buharın Gücü)

İnsanlık tarihinin önemli dönüm noktalarının ilki Tarım Devrimi'dir. Tarım Devrimi'nden sonraki ikinci dönüm noktası ise Endüstri Devrimi'dir. Bu dönemde insan ve hayvan gücünün etkin olduğu dönemin sonunu getiren, makine gücünün hâkim olduğu döneme geçilmiştir. Sanayi Devrimi 17. yüzyıldaki bilimsel devrim sonrasında hemen gerçekleşmiş bir olgu değildir. Bu süreç oldukça yavaş ilerlemiş ve bilimsel devrim sonrası 150 yıllık bir süreç geçtikten sonra başlayabilmiştir. İngiltere'de buharlı makinelerin kullanılmaya başlanması Endüstri Devrimi'ni başlatmıştır (Özdemir, 2014). Endüstri I Dönemi'nde yaşanan temel değişim Tablo 2.3'te yer almaktadır.

Tablo 2.3. Endüstri I Dönemi teknolojik dönüşüm (Dündar, 2019)

I. Sanayi Devrimi			
Devrim	Teknoloji	Dönüşüm	Algı
Buhar Çağı	Su ve Buhar Gücü	Makineleşme	Teknoloji Kavramı -Günlük Yaşam Kavramı

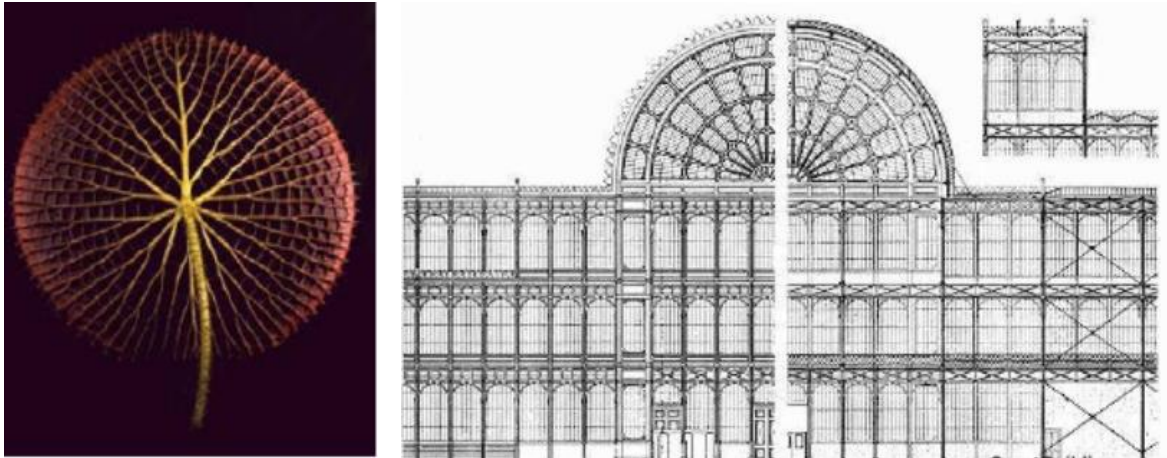
18. yüzyılda bilimsel ve endüstriyel gelişmeler hız kazanmıştır. Teknolojik, bilimsel, ekonomik, kültürel, siyasal vb. birçok alanda gelişmeler değişimler yaşanmış, yeni meslek grupları oluşmuştur. Bu da mimarlık için yeni yapılaşma alanlarının oluşmasına sebep olmuştur. Mimarlık için daha önce literatürde olmayan, endüstri gücüne bağlı yeni yapılaşma alanları oluşmuştur. Bu dönemin temelleri Aydınlanma Çağı ve Rönesans Dönemi'ne dayanmaktadır. En önemli gelime ise dinsel etkilerin toplum üzerindeki baskısının hızla azalmaya başlamasıdır. 19. yüzyılın başlarına kadar ivmesi yavaş olan Sanayi Devrimi bu dönemden sonra hız kazanmaya başlamıştır (Zeytün, 2014).

Dini etkilerin azalmasıyla halkın doğru davranışı bulmak istemesi yerine doğru düşünceye ulaşma çabası yine ön plana çıkmış, bilime olan inanç artmaya başlamıştır. Dini etkilerin toplum üzerinde azalmasının mimarlık alanında da etkisi geniş çaplı olmuştur. Mimarlığın dini yapılar üzerinden gelişim yönü değişmiş, yeni yapı türleri literatüre girmiştir. Yeni konut tipleri, borsa, adliye, mahkeme salonu, müze, sanat galerisi büyük mağazalar gibi kentlerde kamusal hizmet yapıları oluşumları başlamıştır. 18. yüzyılın ortasından itibaren süreç ilerlemiş, mimarlık alanındaki formel gelişmeler devam etmiş ve günümüzdeki mimarlık algısına evrilen sürecin devamlılığı sağlanmıştır. Bu dönemde

bilimsel çalışmaların hız kazanması, biyolojinin bilim olarak var olması mimarlık ve biyoloji biliminin ortak bir noktada buluşması açısından önemli görülmektedir.

17. yüzyılda geliştirilen mikroskop, 17. ve 18. yüzyıllarda; sistematik biyoloji, sınıflandırma bilimlerinin oluşması ve canlıların karşılaştırmalı incelenmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler mimaride farklı disiplinler ile çalışmayı mümkün kılmış ve mimarinin sadece form üzerinden ilerlemesine engel olmuş, formun ya da işlevin mimari olarak irdelenmesine sebep olmuştur.

Mimari olarak önemli bir yapı olan Kristal Saray, Joseph Paxton tarafından Londra’da 1851 yılında inşa edilmiştir. Yapının tasarım kaynağının ise bir nilüfer çiçeği olduğu bilinmektedir. Nilüfer çiçeği büyük bir hacme sahip olmasına karşın zarif bir görünüme sahiptir. Ancak buna karşın üzerinde insanı taşıyabilecek kadar da güçlüdür. Bu durumu inceleyen Paxton; nilüfer çiçeğinin alt kısmındaki yaprağın merkezinden çıkarak, etrafına doğru yayılım gösteren kaburga benzeri lif uzantılarını fark etmiştir. Bu uzanan liflerin arasında ise daha ince şekilde çaprazlamasına yerleşmiş bağlantılar dokuyu desteklemekte ve birbiri arasında bağlantı sağlamaktadır. Nilüfer yaprağındaki bu strüktürel yerleşimin mantığını kullanarak demir taşıyıcı ve cam ara elemanların yer aldığı Kristal Saray binasını tasarlamıştır (Şekil 2.36) (Eldin vd., 2016). Döneme ait önemli eserlerden biri olan yapı, biyomimetik tasarım olarak da önemli örneklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.36. 1- Nilüfer çiçeği kaburga benzeri lif dizilimi ve 2- Kristal Saray (Eldin vd., 2016)

2.2.4.4. 1870-1969 Yılları Arasında Biyomimikri (Endüstri II-Elektrik ve Seri Üretim)

Sanayi Devrimi'nin I. Evresi'nde buharlı makinelerin icadı, yeni bir döneme girilmesine ve bilimsel gelişmelerin önünün açılmasına sebep olmuş, II. Evresi'nde yani 19. yüzyılın sonlarında yeni bir enerji kaynağı olan elektrik devreye girmiştir. Endüstri II Dönemi'nde yaşanan temel değişim Tablo 2.4'te yer almaktadır.

Tablo 2.4. Endüstri II dönemi teknolojik dönüşüm (Dündar, 2019)

Endüstri II Dönemi			
Devrim	Teknoloji	Dönüşüm	Algı
Petrol Çağı	Petrol ve Elektrik	Elektriklenme	Teknoloji Kavramı - Günlük Yaşam Kavramı (I. Sanayi Devrimi'ndeki algı artmıştır)

Bu dönem, evrim ve hücre kuramlarının oluşmasına sebep olmuş, mikroskobik çalışmalar bu dönemde gelişim göstermiştir. Biyoloji alanında olan bu gelişmeler bilim insanları tarafından çizime dökülmüş ve bu çalışmalar mimariyi de etkilemiştir. (Gertik, 2012). Bu dönem, insanların bakış açısının organik yaşam tarzından makineleşmeye doğru evrildiği bir dönem haline gelmiştir. Biyoloji ve biyolojiden referans alınarak yapılan tasarımlara olan ilgi yoğunlaşmaya başlamış ancak, mimari tasarımda bu ilgi 20. yy ortalarına kadar formla kısıtlı kalmıştır. II. Endüstri Devrimi sürecinde elektriğin güncel yaşamdaki kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu da bilim dünyasında ilerlemelerin hızlanmasında, robotik çalışmaların da yapılmasında etken olmuştur (Yıldız, 2020).

Bu dönemdeki mimari tasarımlarda biyomimetik esintiye örnek olarak, Rene Binét'in Paris 1900'deki dünya sergisi için yapmış olduğu, protozoanın şeklinin bina formuna uyarlanması verilebilir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37. René Binet tarafından Paris 1900'de dünya sergisine yapılan anıtsal giriş için tasarımı (Yıldız, 2020)

2.2.4.5. 1960-2015 Yılları Arasında Biyomimikri (Endüstri III- Bilgisayar ve Otomasyon)

Sanayi Devrimi'nin III. Dönemi'nde, I ve II. Dönemlerde yer alan değişim, dönüşüm ve algıların üzerine eklenen bilgi birikiminin arttığı ve dünyaya bakış açısının değiştiği bir döneme girilmiştir. Bu dönem bilgi-düşünme kavramının öneminin arttığı, giyim, yeme içme, sosyal ve kültürel yaşam algısının değiştiği bir dönem olmuştur. Endüstri III Dönemi'nde yaşanan temel değişim Tablo 2.5'te yer almaktadır.

Tablo 2.5. Endüstri III Dönemi teknolojik dönüşüm (Dündar, 2019)

Endüstri III Dönemi				
Devrim	Teknoloji	Dönüşüm	Algı	Manifesto
Bilgi Çağı (Analog Dönem)1960- 2000	Bilgisayar		Bilgi Kavramı	FTF Manifestosu (1964)
Bilgi Çağı (Dijital Dönem)2000- 2015	İnternet	Akıllanma		FTF Manifestosu (2000) ICOGRADA Manifestosu (2000)

III. Sanayi Devrimi'ne karşı, 1964 yılındaki First Things First manifestosu, modern yaşamın kapitalist düzenine karşı çıkmış ve tasarımın insancıl değerler ölçütünde yapılması gerektiğini savunarak, görsel iletişimin yaşandığı dönemde, radikal dönüşüm ve değişimlere tepki gösterilmiştir. Aynı şekilde First Things First manifestosu ve Icograda Tasarım Eğitimi manifestosu bu dönemdeki dijital dönem etkisiyle ortaya çıkan manifestolardır. First Things First'ün ikinci manifestosunun kapsamı Dünya düzeninin kapital enstrümanları olarak güncellenmiş, Icograda Tasarım Eğitimi manifestosu ise güncelliğini yitiren tasarım eğitiminin çağdaş düzene ayak uydurması için güncellenmesi gerekliliğinde dair olmuştur. Icograda Tasarım Eğitimi 11 yıl sonra tekrar yeni döneme (IV. Sanayi Devrimi Öncesi) ayak uydurmak üzere yeni bir manifesto yayınlamıştır (Dündar, 2019).

III. Sanayi Devrimi'nin başlangıcı 1960'ların sonunda icat olan mikroişlemci teknolojisidir. Bu dönüşüm sanayi üretiminden işletmeye kadar uzanan süreçte işleyişi kökten değiştiren, elektroniğin bilişim ile buluştuğu otomasyonun oluşumunu sağlayan bir dönüşümün başlangıcı olmuştur. Fabrikalardaki üretim programlanabilir robot kollara dönüşmüş, makinelerdeki insan gücü azalmıştır. Etken güç bilgi ve işlem gücüne

dönüşmüştür (Dündar, 2019). Mikroişlemci teknolojisi ile 1971 yılında mikro bilgisayar (Altair 8800), 1976'da ise Apple I (S. Jobs ve S. Wozniak) üretilmiş ve 1980 yılı itibariyle ev bilgisayarı kavramı hayatımıza girmiştir.

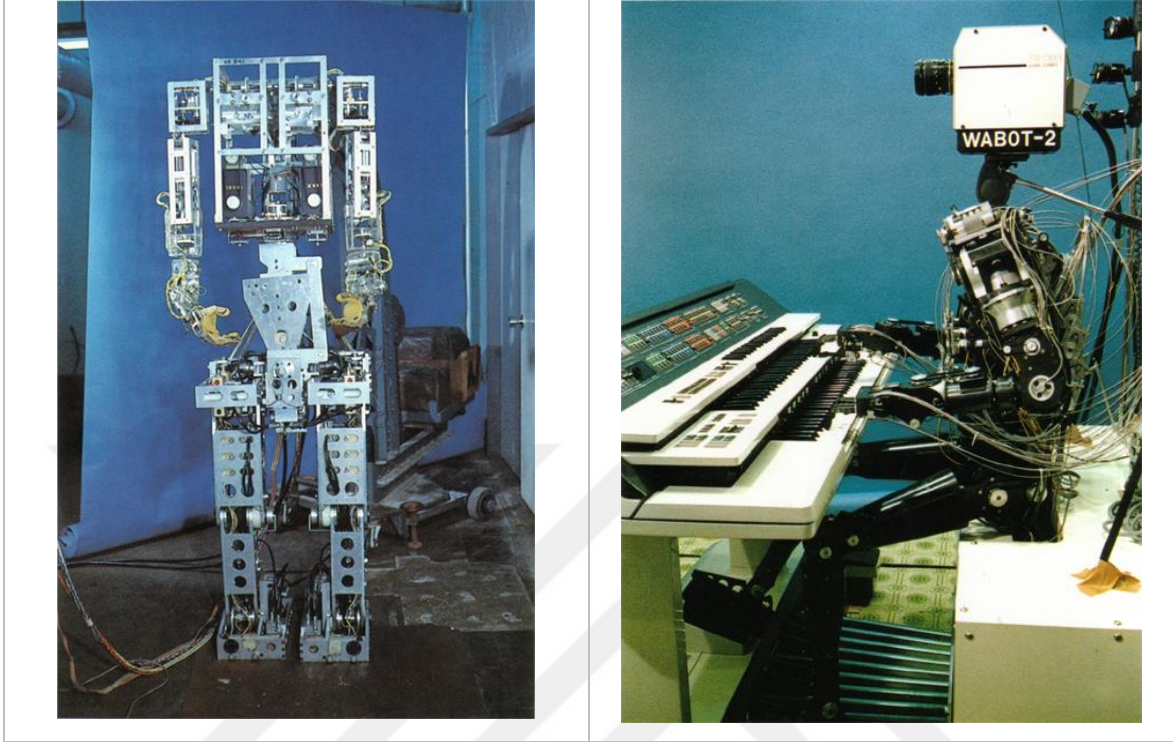
1969 yılında Ay'a yapılan ilk yolculuk Uzay ve Dünya kavramlarının daha algılanabilir olmasına neden olmuştur. Bu alandaki çalışmaların kapsamının artması ve devamlılığı açısından insanlık tarihinin önemli gelişmelerindendir. Gelecek ve uzaya olan bu ilgi moda, sinema gibi birçok alanda kendini göstermiş, tasarımları etkilemiştir (Yıldız, 2020).

Bilgi çağı sadece bilişim teknolojisinin olduğu bir dönem olmaktan ziyade var olan tüm disiplinlerin değişim ve dönüşümüne neden olarak, bilgi üretme şeklini ve elde edilen bilginin niteliğini de değiştirmiştir. Bu dönemin algısı tamamen bilgi kavramı üzerinedir. Bilgi kavramı soyut bir ifade iken, bilgi çağında kavram somut olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır. Bu dönemde bilişimde insanın düşünme şeklinden ilham alarak tasarlanan bilgisayarlar ya da bilgisayar temelli araçlar, doğadaki modellerin incelenmesi ve analizi sonucu elde edilen veriler ile, insanların doğadan esinlenerek dizayn ettikleri tasarımların sadece formel olarak değil, elde edilen veriler ışığında işlev, strüktür, kurgu gibi detay olarak çalışmalarına imkân sağlamıştır.

Doğanın her zaman esin kaynağı olduğu bilişim teknolojilerinde en önemli kilit noktalardan biri yapay zekadır. Yapay zekanın amacı, insanın düşünme biçiminin analizi sonucu taklit edilerek, benzer düşünce yapısında yapay yönergeler üretmektir. Yapay zekâ kavramının mucidi Alan Mathison Turing'dir. 1943 yılında II. Dünya Savaşı sırasında Kripto para analizi gereksinimi ile ortaya çıkan bilgisayar ve yapay zekâ kavramlarının temel dayanağı insan zekâsıdır (Yıldız, 2020).

Buckminster Fuller 1960'lı yıllarda çözülmesine inanmadığı insan ve çevre sorunlarına çözüm bulabilmek amacıyla, bilim, teknoloji ve rasyonalizm ışığında tasarım bilim devrimi çağrısında bulunmuş ve 1960'lı yıllar "tasarım biliminin on yılı" olarak ilan edilmiştir. 1969 yılında doğanın tasarım stratejileri, sürdürülebilir insan yaşam ve süreçleri için deniz biyolgları olan John Todd, William McLarney ve yazar Nancy Jack Todd tarafından Yeni Simya Enstitüsü kurulmuştur. Yine 1969 yılında Ian McHarg tarafından insan ve doğal ortamların birleşimini öneren "Doğayla Tasarım" adlı kitabını çıkarmıştır (Yıldız, 2020). 1967 yılında Waseda Üniversitesi tarafından dünyada ilk defa antropomorfik WABOT-1 robotu projesinin çalışmalarına başlanmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. Robot, bir insan ölçeğinde yürüme, iletişim kurma, nesneleri kavrama gibi işlevleri yapabilen androit bir tasarımdır. 1980-1984 yılları arasında ise parmaklarını da kullanabilme

yetisine sahip WABOT-2 robotu üretilmiştir. Bu robot, kişisel robot geliştirmekteki en önemli adımdır (Şekil 2.38) (URL-8, 2022).



Şekil 2.38. 1- WABOT-1 (1972), 2- WABOT-2 (1984) (URL-8, 2022)

Biyomimikri kavram olarak bu dönemde anlam kazanmış ve bu dönem biyoloji bilimi ve diğer disiplinlerin ortak çalışma alanlarının genişlemesine ve bu çalışmanın kavram olarak anlamlandırılmasına olanak sağlamıştır. 1950 yılında, “Biyomimetik” kelimesi Amerikalı bir akademisyen olan Otto Schmitt tarafından bulunmuştur. Otto Schmitt biyomimetik kavramını, “biyolojiden teknolojiye transfer yapmak” anlamında kullanmıştır. 1960 yılında Jack Stele tarafından doğadaki mevcut sistemin ve metotların kopyalanmasıyla, modern teknolojide kullanılması anlamında biyonik kelimesi üretilmiştir. 1974 yılında kelime Websters sözlüğüne girmiştir (Pawlyn, 2016). Sözlükte ise;

“Biyolojik olarak üretilen malzeme ve maddelerin (enzimler veya ipek) ve biyolojik mekanizma ve süreçlerin (protein sentezi veya fotosentez) oluşum, strüktür veya işlevlerinin yapay mekanizmalar üretmek için taklit etme çalışması” olarak tanımlanmıştır.

1982 yılında ise biyomimikri terimi ortaya çıkmıştır. 1997 yılında ise Janine Benyus tarafından çıkarılan “Biomimicry: Innovation Inspired by Nature” adlı kitapta geniş kitleye hitap etmeye başlamıştır (Pawlyn, 2016). Janine Benyus tarafından biyomimikri kavramı;

“İnsanların problemlerini çözmek için doğanın modellerine çalışan ve sonra kendi sistemlerine uyarlayan veya bu tasarımlardan veya süreçlerden esinlenen yeni bir bilim dalı olmaya adaydır. Tam olarak teknoloji veya biyoloji değildir: biyolojinin teknolojisidir” şeklinde tanımlanmıştır.

2.2.4.6. 2015 Yılı Sonrası Biyomimikri (Endüstri IV- Yapay Zekâ)

Sanayi Devrimi dönemlerinin tamamı, döneme ait teknolojik buluş ya da ilerlemenin üretimde kullanılmasıyla geline aşamalardan yola çıkılarak oluşmuştur. Yapay zekâ teknolojisinin gelişmesi ve bu yöndeki önemli ilerlemeler Endüstri Devrimi için IV. Dönem başlangıcı olmuştur. Makine teknolojisi yapay zekâ ile tanışmış, insanların yaşam şekilleri ise makineleşme üzerinden değişmeye başlamıştır. Teknoloji, yapay zekâ hayatımızdaki her alanda yer alırken, insanlar teknolojiden bağımsız düşünülmemeye konumuna gelmiştir. Yapay zekâ kavramıyla birlikte, yapılmak istenen işin uzaktan çözümlenebilmesi, makinelerle uzaktan komut verilebilmesi gibi kavramlar günlük yaşam içerisine dahil olmaya başlamıştır. Henüz başında olduğumuz bu dönemde teknolojik gelişmelere her geçen gün bir yenisi eklenirken bir insanın hızının bu değişimi sürekli takip etmesi imkânsız bir duruma dönüşmektedir. Endüstri IV Dönemi’nde yaşanan temel değişim Tablo 2.6’da yer almaktadır.

Tablo 2.6 Endüstri IV dönemi teknolojik dönüşüm (Dündar, 2019)

Endüstri IV Dönemi				
Devrim	Teknoloji	Dönüşüm	Algı	Manifesto
Yeni başlayan çağ 2015 – (devam etmekte)	Yapay zekâ	İdrak sahibi olma	Süreç Kavramı	ICOGRADA Manifestosu (2011) DIT Raporu (2015)

İnsanoğlunu temas ettiği tüm alanlarda yeni sanayi çağının değişim ve gelişimlerini görmek mümkündür. Bu dönem endüstri devriminin başlangıcından itibaren mantıksal devamlılığa sahip, ancak insanoğlunun daha önce yaşamadığı kadar kapsamlı değişikliklerin olduğu en uç dönemdir. İçinde bulunduğumuz dönemin ana teknolojisi Siber-Fiziksel Sistemler’dir. Bu dönemde amaç, her işlemi bilgisayar ile yönetebilir duruma gelmektir. Bunun temelinde de kaliteyi artırmak, maliyeti azaltmak, verimliliği artırmak, kullanılabilir alanı minimuma indirmek, enerji kullanımını azaltmak, çalışma hızını yükselterek

maksimum verim elde etmektir. Bunun için de robotik sistemlerin kullanılması ve geliştirilmesi en iyi sonuç ürün olarak düşünülmektedir (Saatçioğlu vd, 2018).

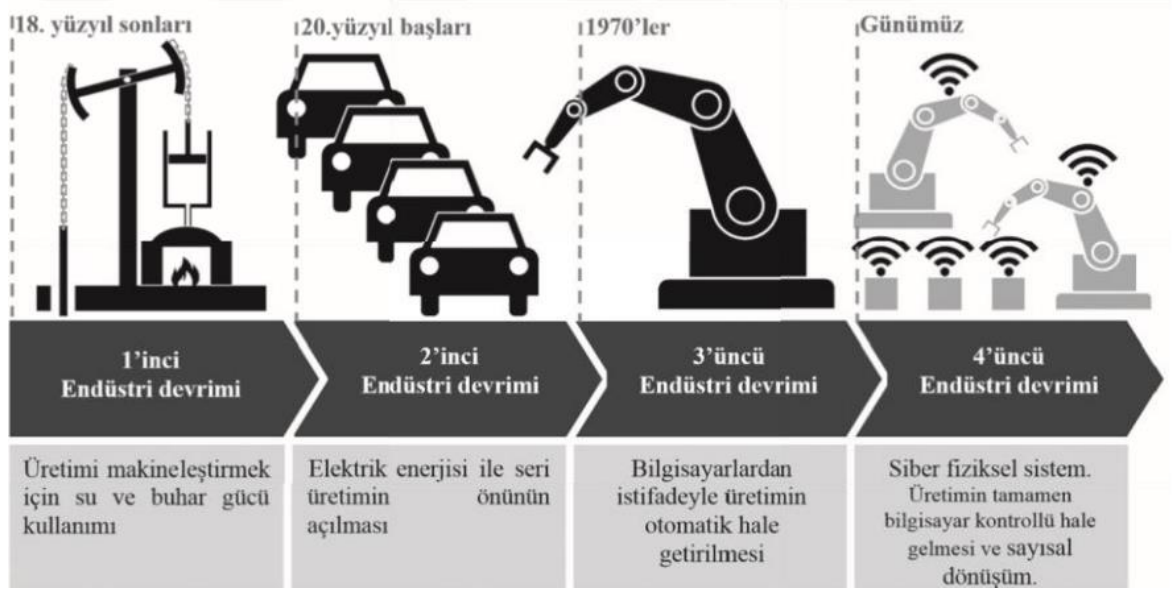
Bu dönem diğer sanayi devrimi dönemlerine oranla daha karmaşıktır. Teknoloji bu dönemde dijital, fiziksel ve biyolojik alanları birbirine kaynaştırmış ve kesin çizgileri ortadan kaldırarak bir bilimde birkaç disiplinden bahsetmeyi mümkün kılmıştır. Bu dönemde mobil cihazların sayısı oldukça arttığından bilgi istenilen her yerden ulaşılabilir bir hale gelmiştir. Hali hazırda devam eden teknolojik çalışmalar bu durumu daha da ileriye taşıyacaktır.

Endüstri IV Dönemi'ni yeni bir dönem olarak karşımıza çıkaran olgu teknolojik ilerlemelerdir. Bu teknolojik ilerlemeler:

- Bilgi ve iletişim teknolojisi
- Siber-fiziksel sistemler
- Ağ iletişimi
- Büyük veri ve bulut bilişimi
- Modelleme, sanallaştırma ve simülasyon
- İnsan-bilgisayar etkileşimi ve iş birliği için geliştirilmiş araçlar şeklinde açıklanabilir (Yıldız, 2020).

Tüm bu gelişmeler ve teknoloji alanındaki ilerlemeler hala doğanın tahribatına engel olamamış aksine bu tahribat süresi her ilerleyen teknolojik gelişmeyle artmıştır. Bunun için doğaya pozitif katkı sağlama düşüncesine sahip tasarımlar önem kazanmaktadır. Bunun için de doğa referanslı, doğa ile uyumlu, ekolojik, sürdürülebilir vb. kavramların merkezde olduğu tasarımlar önem kazanmaktadır. Bu yöndeki çalışmalardan biyoloji ile iç içe olan tasarım anlayışı biyomimikri de kapsamı genişlemiş bir kavram ve araştırma alanına dönüşmüştür. Günümüzdeki teknolojik ilerlemelerin sağladığı en büyük avantajlardan biri de doğayı anlamaya çalışmak ve anlayabilmek için teknolojinin etkin kullanılmasıdır. O yüzden bu dönem Biyomimikri ve bu alandaki çalışmaların kapsamının genişlemesi açısından oldukça olumlu bir dönemdir.

Endüstri Devrimi günümüzü de kapsayan dört dönem olarak yer almaktadır. Bu dönemler yaşanan teknolojik gelişmelere göre bitip bir diğerinin başlangıcına sebep olmuş ve konu detayları açıklanmıştır. Endüstri devrinin dönemlerini ve bu dönemlerdeki gelişmeleri ve geçişleri basit şekilde anlatan Endüstri Devrimi süreçleri şematik gösterimi şekil 2.39'da yer almaktadır.



. Şekil 2.39. Endüstri Devrimi süreçleri (Eldem, 2017)

2.3. Biyomimikri Kavramı Üzerinden Mimarlık Üretmek

İnsanın doğasında var olan Biyomimikri kavram olarak 1900'li yılların sonlarında literatüre girmiş olmasına rağmen, günümüzde birçok alanda karşımıza çıkan bir kavram olmuştur. Biyomimikri, insanın karşılaştığı problemleri doğayı taklit ederek çözmek, bu çözüm sürecinde işleyiş, işlev, form, sistem ve zaman yönetiminin tasarıma aktarılmasını sağlamak olan bir bilim dalına dönüşmüştür.

İnsanoğlu doğası gereği düşünen, araştıran ve gözlemleyen bir varlıktır. En iyi gözlem mekanizmasını da doğa insana sunmaktadır. Bu sebepten insan varoluşundan itibaren doğayla temas eden ve onu gözlemleyebilen varlık olmasından dolayı içsel olarak zaten doğayı taklit etmiştir. Doğa kendi içerisinde en küçük yapı taşından en büyük nesneye kadar mükemmel işleyen bir sisteme sahip olması ve karşılaştığı büyük problemleri dahi kendi içinde çözme yeteneğine sahip olması nedeniyle en iyi mühendislik harikalarını da bünyesinde barındırmaktadır. Doğa, insanın ürettiği yapılardan farklı olarak kendi sisteminde yer alan bir şeyin sonunun gelmesi sonucunda onu tekrar doğaya kazandırır ve doğada dönüştürülerek kullanımını sağlar. Biyomimikri aslında doğayı özümsemek ve onu öğrenmeyi gerektirmektedir.

Janine Benyus, "Biomimicry: Inspired by nature" adlı kitabında biyomimikrinin önemini tarifleyen ve bu kavram üzerine yazması gerektiğine dair oluşan düşünceleri; bitki, mikrop ve hayvanların yani gezegeni bizimle paylaşan arkadaşlarımızın, 3.8 milyar yılı aşkın bir süredir sahip olduğumuz dünyada karayı ve suları mükemmel yaşam alanları olarak

kullandığımızı ve bundan daha iyi bir modelimizin olmayacağını ifade ederek aktarmıştır (Benyus, 1997).

Benyus'un Biyomimikri kelimesinin önemini ortaya çıkarmasıyla, popüler kültürün bir parçası haline gelen kavramlardan biri olmuştur. Bu da mimarlık dünyasındaki düşünce şeklinin formun ötesine geçmesine ve disiplinler arası çalışmalarla tasarım yapılmasına öncülük etmiştir. Biyoloji, mimarlık alanında koordineli çalışmanın önemli olduğu bilim dallarından olmasının yanı sıra belki de en önemlisidir. Bunun sebebi dünya nüfusunun hızlı artışı ve doğanın hızlı bir şekilde yok oluşudur. Biyomimikri kavram olarak ekolojii ve sürdürülebilirliği de kapsayan, doğanın taklidi olma ve doğayla uyumlu olmayı gerektiren bilim olmasından dolayı aslında belki de biyomimikri kavramı etrafında mimarlık yapmak bir zorunluluk da arz etmektedir. Yani doğanın en çok tahrip olduğu yapı alanında mimarlık için çözüm üretmek, günümüz teknolojik ortamında insanın doğaya bir borcudur.

2.3.1. Yapı Tasarımında Biyomimikrik Yaklaşımlar

Biyomimikri kavramı literatüre girmeden önce geçmiş dönemlerde birçok biyomimikri uygulaması görülmektedir. Bunlar genellikle form ya da bezeme şeklinde karşımıza çıkan uygulamalardır. Ağaç yaprakları, dalları ya da çiçekler, hayvan figürleri, mağaralardaki resimler vb. mimaride biyomimikrinin kavram öncesi örnekleri olarak gösterilebilir. Sanayi Devrimi ile değişen bu algı form ve bezemenin ötesine geçerek işlev, strüktür gibi sistemin tüm detaylarını sorgulayıp uyarlayan mimari bir bilime dönüşmüştür. Günümüzde doğadan esinlenme kavramı formun ötesinde farklı bir boyut kazanmıştır.

Doğada var olan oluşumların mimari tasarımlara uyarlanması/taklit edilmesini tek bir başlık altında incelemek zordur. Bu durumda bir sınıflandırma ihtiyacı doğmuştur. Biyomimikrik tasarımlar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Vural ve Avinç, 2015);

- Bitkisel (Fitomorfik) Biçimlenme
- Hayvansı (Zoomorfik) Biçimlenme
- İnsansı (Antropomorfik) Biçimlenme
- Mikroskobik (Mikromorfik) Biçimlenme
- Organizmaların Yaşam Ortamlarına Dayalı Biçimlenme (Vural ve Avinç, 2015)

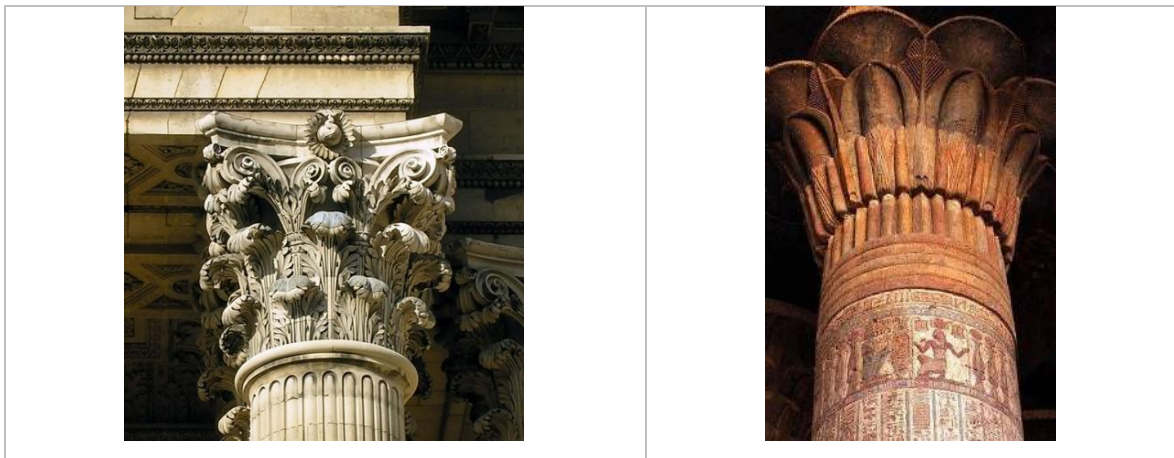
2.3.1.1. Bitkisel (Fitomorfik) Biçimlenme

Bitki şeklini-biçimini ifade eden “fitomorfi” kavramı, kelime kökenine bakıldığında “phyto” bitki, “morpho” şekil anlamına gelen sözcüklerden türemiştir. Bitkilerin biçim ve morfolojisini inceleyen ve Türkçe bitki bilimi olarak ifade edilen bilim dalı ise fitomorfoloji

(phytomorphology) olarak adlandırılmıştır. Bu bilim dalı bitkilerin anatomisini, dış strüktürünü mikroskobik ve nanoteknolojik boyutlarda incelemektedir (Kaymaz ve Sungur, 2015).

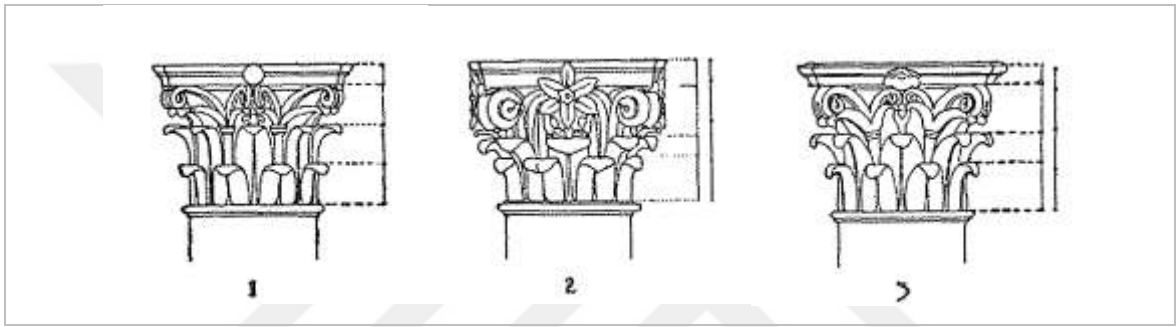
Kavram öncesi biyomimikri döneminde sıklıkla karşılaştığımız Fitomorfik biyomimikri örnekleri, Roma ve Yunan mimarisinde kolon başlıklarında sıklıkla karşımıza çıkmaktadır (Yorulmazel, 2020). Batı Klasik Dönem etkisinin ardından Art Nouveau sanatçıları Klasisizme sırtını dönerek doğaya yönelmiş ve tasarımda ilhamı doğadan almışlardır. Art Nouveau ve Arts & Craft etkisinde ise Fitomorfik yaklaşım binalara renk, kıvrımlar ve doku olarak yansımıştır. Tasarımlarda, esinlenilen bitki ve hayvanlar statik bir formda kullanılarak doğanın dinamik güçleri açıkça gösterilmeye çalışılmıştır (Karagöz, 2007).

Antik Yunan'dan itibaren günümüze değin en fazla kullanılmış olan Fitomorfik biçimleniş şekli bitki desenlerinin süsleme ve bezemelerde kullanımı olmuştur. Roma ve Yunan uygarlıklarında kolon başlarında görülen bezeme şekli, Art Nouveau akımının yaşandığı Romantik Dönem'de cephe süslemesi olarak görülmekteyken, 20. yy mimarlığında daha çok dekoratif unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılan bitkisel öğelerin çoğunlukla bulunduğu coğrafyadan ve uygarlıkların etkilendiği dinlerden yola çıkılarak yapılan bezemeler olduğu görülmektedir. Örneğin; Yunan mimarisinde dini imgeler içeren akantus yaprakları sütun başlarında bezeme unsuru olarak kullanılırken Mısır mimarisinde palmiye kullanılmıştır (Şekil 2.40). Özellikle İslam mimarisinde bezemeler hayvan figürlerinin dinen uygun olmadığı düşüncesiyle bitkisel olarak yapılmıştır (Yorulmazel, 2020).



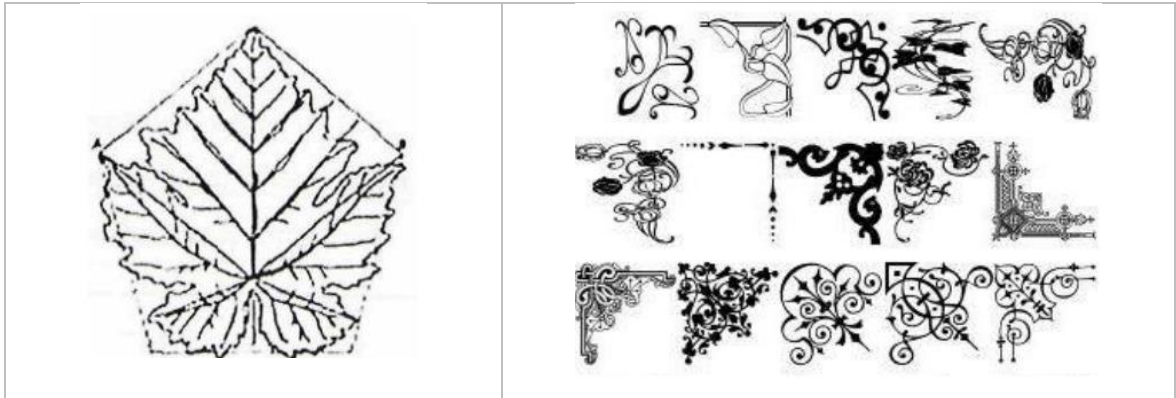
Şekil 2.40 Yunan Mimarisinde fitomorfik sütun örneği ve Mısır Mimarisinde fitomorfik sütun örneği (URL-13, 2022; URL-14, 2022)

Vitruvius'un “Mimarlık Üzerine 10 Kitap” adlı eserinde mimarlığın, insanın düşünme yetisini kullanarak yaptığı tasarımların özünün aslında doğadan alındığını ifade etmektedir. Doğanın eşsiz tasarımının salt mimarlık yapmanın yanında matematiksel bir değeri olduğunu da belirtmektedir. Doğanın sonsuz sayıda sunduğu, farklı elementlerin bir araya gelerek oluşturduğu malzemeleri anlamak, yapı inşa etmede, uygun malzemeye ulaşma ve hata yapmama adına önemlidir. Mimarlık ve doğa arasındaki bağı açıklayan metinler mevcuttur (Vitruvius, 2005). Bununla alakalı sütun başlıklarının doğanın taklidi olduğunu gösteren çizimleri mevcuttur (Şekil 2.41).



Şekil 2.41. Vitruvius'un kitabında yer alan Fitomorfik sütun başlıkları çizimleri (Vitruvius, 2005)

Bitki modelleri klasik dönemden itibaren mikro ölçekte araştırılmıştır. Viollet le Duc ve Nikolaus Pevsner uzun yıllar bitkiler ve yapraklar üzerine çalışma yapmış ve eskizler çizmişlerdir. Le Duc yapraklardaki organik şekillerin sırrını çözüp formülize etmeye çalışmış, Pevsner iki boyutlu olarak bitkisel figür eskizleriyle Art Nouveau Akımı özelliklerine ışık tutmuştur (Şekil 2.42) (Zeytün, 2014).



Şekil 2.42. Viollet le Duc tarafından çizilmiş yaprak eskizi ve Nikolaus Pevsner tarafından çizilmiş Art Nouveau akımında etkili olan bitki desenleri (Zeytün, 2014)



Şekil 2.45. Victor Horta tarafından 1892-93'te inşa edilen ve eğrisel botanik formlarıyla tanınan Brüksel'deki Tassel Evi (URL-15, 2022)

Doğanın geometrisinde her zaman düzenli ya da düzensiz bir oran vardır. Doğanın geometrisinde sözcüğünün tarihi M.Ö. 300 yıllarına dayanan altın oran kavramıdır. Matematiksel olarak art arda gelen sayı dizisindeki yerleşim iki sayı toplamının üçüncüyü sağlayacağı şekildedir (Yorulmazel, 2020). Doğa, dikkatli bir şekilde incelendiğinde altın orana sahip tasarımların yer aldığı bir mecradır (Şekil 2.46). Mimari olarak örnek vermek gerekirse, Yunanlıların Atina'da yapmış olduğu Partenon Tapınağı altın oran dikkate alınarak yapılmış bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2.47).



Şekil 2.46. Altın oranın görüldüğü örnekler (URL-16, 2022)



Şekil 2.47. Partenon Tapınağı altın oran (URL-17, 2022)

Klasik Dönem etkisinin ardından Endüstri Devrimiyle başlayan akıl ve bilim çağına adım atılmasıyla mimaride yeni bir dönem başlamıştır. Fitomorfik bezemeler, binanın kütesine katılan, cephe ve örtü sistemlerinde kullanılan aktif yapı elemanı haline gelmiştir.

Bitkiler geleceğin binalarına referans olabilmek için önemli örneklerdir. Bitkiler mikro ölçek düzeyinde olmadan da incelendiğinde harikulade yapılarını gözler önüne sermektedir. Bulundukları ortamın, ısı, nem, güneş ve su gibi ihtiyaçlarına göre formu oluşan, kışın yapraklarını kurutup, döken ancak mevsimi geldiğinde tekrardan yeşeren ve köklerini toprağın içerisinde yaşamı son bulana kadar saklayan muhteşem örneklerdir. Bunun için gelecek mimarisi açısından bitkileri araştırmak, çözmek mimarlık için önemlidir (Berkebile ve McLennan, 2003).

Hindistan'ın Delhi şehrinde yapılmış olan Bahai Tapınağı (Lotus Tapınağı), lotus bitkisinin formunun mimariye uyarlanmış şekliyle Fitomorfik biyomimikri için makro ölçekte bir örnek teşkil etmektedir (Şekil 2.48) (Kaymaz ve Sungur, 2015).



Şekil 2.48. Bahai Tapınağı (URL-18, 2022; URL-19, 2022)

2.3.1.2. Hayvansı (Zoomorfik) Biçimlenme

Zoomorfi kavramı Yunanaca “zōon” (hayvan) ve morphē (Biçim) kelimelerinden türemiştir. Hayvanlar, birçok toplumda sembolleştirilmiş ve birçok alanda sembolik olarak kullanılmıştır. Bunlara örnek vermek gerekirse sanat, edebiyat, günlük yaşam dili gibi pek çok alanda hayvanlara ait canlı özelliklerin nesnelere atfedildiğini görmek mümkündür (Zeytün, 2014).

Hayvanları sembolik olarak mimaride kullanmak, hayvanların beden ve davranışlarının yanında ürettikleri mekânlar ve bu mekâna dair deneyimleri de söz konusu olmaktadır. Hayvanlar da insanlar gibi yaşam alanlarını üreterek doğal sisteme dahil olurlar. Ancak insandan farklı olarak doğaya zarar vermeden, doğayla bütünleşerek bu işlemi gerçekleştirirler. Bu da aslında insanlar tarafından, hayvanların davranışlarının, yaşam biçimlerinin ve canlı sistemlerinin işleyişlerinin incelenerek doğal sisteme dahil olmanın mantığını kavrayabilmelerini gerektirmektedir. Legrand 1809 yılında “Mimarlığın Genel Tarihi Üzerinde Denemeler” adlı kitabında mimarların kunduzları örnek alması gerektiğinden bahsetmiştir. Kunduzların kendilerine tehlike ortamı oluşturmada, ağaçları devirip, köprüleri yıkması, ağaçları su yardımıyla taşıması, kendilerine barajlar ve çok katlı kulübeler kurması harikulade bir olay olarak görülmektedir. Bu kunduzların doğasıdır. Ve doğayı çok güzel şekilde kullanarak kendilerine barınak inşa etmektedirler (Beyaztaş, 2012).

İnsanoğlunun yaşamında, hayvan ve hayvana dair sembolik işaretler her zaman olmuştur. Farklı kültürlerle ait sembolik anlamları olan hayvanlar sanat, edebiyat, günlük yaşam ve mimari tasarımlarda yer almıştır. Mağara dönemlerinden itibaren hayvanlar mağaralarda resmedilmiş, bazen bir dini inanç için kutsallaştırılmış ya da uygarlıkların güç sembolü haline gelmiştir. Bu da mimari eserlere yansımış ve gerek heykelleştirme gerekse bezeme olarak geçmiş uygarlıklarda karşımıza çıkmıştır. Mimari eserlerde yer alan hayvanlar rastgele seçilmiş olmamakla birlikte özel anlamları vardır. İnsanlar tarafından figür olarak kullanılan ilk canlı hayvanlardır. Dini, ideolojik, mitolojik etkilerden doğrudan ya da dolaylı olarak beslenmişlerdir. Örneğin Hristiyan ikonografisinde birçok tanrı, hayvanlar ya da yarı hayvan yarı insan şeklinde temsil edilmiştir (Eser, 2021). Türk kültüründe Anadolu Selçuklu Devleti'nin cami, medrese, türbe, saray, ev, kale ve mezar taşları gibi mimari eserlerde kullandığı kartal, ejder, kurt, aslan gibi simgeler kudreti, asaleti, aydınlığı ve ışığı temsil etmektedir (Şekil 2.49).



Şekil 2.49. Hierapolis Arkeoloji Müzesi yarı insan yarı hayvan mitolojik figür (URL-20, 2022) ve Yakutiye Medresesi kartal, aslan ve hayat ağacı figürü (URL-21, 2022)

Zoomorfik biçimlenmeye dair mimaride ilk örnekler 16. yy'da İtalya'da kurulan Bomarzo Canavar Tema Parkı (Şekil 2.50) ve Jacques Lequeu'nun inek şeklinde tasarladığı mandıra kabul edilmektedir (Şekil 2.51) (Eser, 2021).



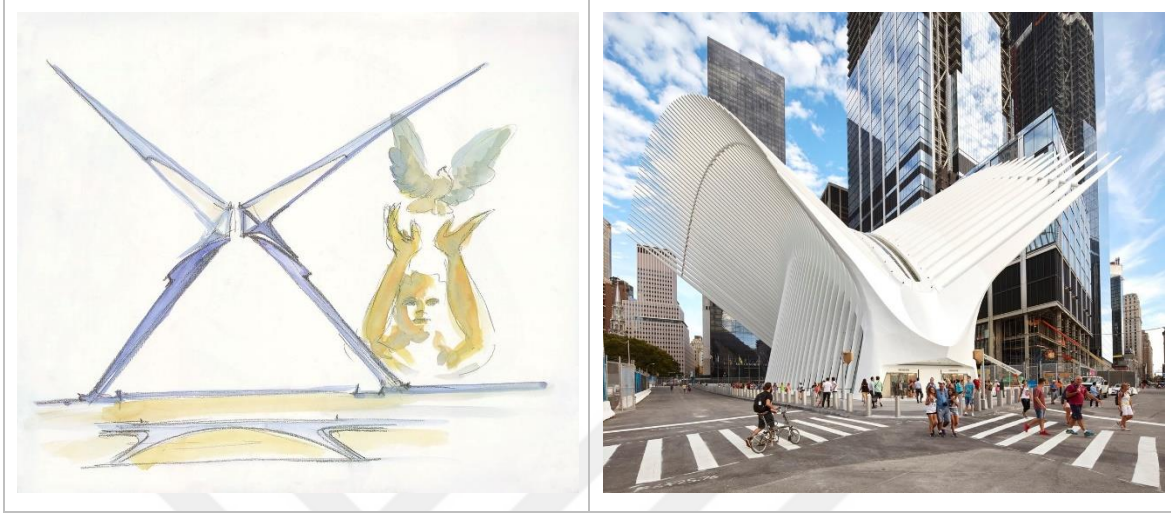
Şekil 2.50. Bomarzo Canavar Parkı (URL-22, 2022)



Şekil 2.51. Jacques Lequeu'nun inek şeklinde tasarladığı mandıra (URL-23, 2022)

Mimari üslubunda çoğunlukla Zoomorfik tasarımlara örnek veren İspanyol Mimar Santiago Calatrava hayvandan esinlenme üslubunun temsilcisi gibidir. Calatrava hayvanların iskelet sistemlerinden ilham alarak binaları tasarladığını ifade etmiştir. Tasarımlarında da bu üslup çok belirgin şekilde görülmektedir. New York Manhattan bölgesinde yer alan World Trade Center (WTC) İstasyon Binası bu üslubu temsil eden yapıların bir tanesidir. Calatrava formu bir çocuğun elinden salınan kuş olarak simgelemiştir.

Çelik strüktürlü yapının taşıyıcı sistemi bir iskelet gibi yapının ana formunu oluşturur ve devamında kanat şeklinde yapının her iki tarafından iskelet olarak yükselir (Şekil 2.52-53) (URL-24, 2022).



Şekil 2.52. World Trade Center (WTC) İstasyon Binası'na ait eskiz ve bina dış cephe fotoğrafı (URL-24, 2022)



Şekil 2.53. World Trade Center (WTC) İstasyon Binası iç mekân fotoğrafları (URL-24, 2022)

2.3.1.3. İnsansı (Antropomorfik) Biçimlenme

Antropomorfi kavramı; Yunanca antropos (insan) ve morphe (biçim) kelimelerinden türemiştir. Kavramın kelime anlamı, insana ait biçim ya da özelliklerin taklit edilerek başka bir nesneye aktarılmasını ifade etmektedir. 18. yy'da kavram sosyal bilimler, edebiyat ve

felsefe gibi bilimlerde tabiat üstü varlıklara olan inancı anlatmak amacıyla kullanılmıştır. Kavramın günümüzdeki anlamında yani insansı biçim olarak incelenmesi 19. yüzyılda gerçekleşmiştir (Eser, 2021).

İnsan kavramı şu ana kadar biyomimikrik tasarımlarda hep uygulayıcı taraftaydı. Ancak aslında insan doğadan ayrılamaz bir unsurdur. Bu anlamda insanın doğanın bütününe içinde bir parça mı, yoksa doğadan ayrı düşünülen ayrı bir güç mü olduğu tartışılan bir konudur. İlk insanlar doğanın içerisinde diğer hayvanlar gibi avcılık, toplayıcılık gibi doğanın sunduğu hazır döngüde yer alırken ve bu dönemde insan doğanın bir parçası olarak görünürken, toprağın işlenmeye başlanması yani tarımın yapıldığı yerleşik hayata geçilmesi ile insanın doğanın bir parçası olmaktan çıkıp doğayla birlikteliğini faydacıl şekilde sürdüren ayrı bir eleman olduğu düşünülmüştür. Yani, insan doğanın parçasından ayrılarak kendi yaşam alanlarını yine doğanın içinde oluşturmuş ve doğayı kontrol etmeye çalışan bir varlık haline dönüşmüştür. Batı ve doğu bu düşünce yapısında birbirinden ayrılmıştır. Batı medeniyetleri insanı merkez olarak düşünmüş ve doğadan ayrı tutmuş, doğu medeniyetleri ise doğayı ve insanın bir bütün olarak kabul etmiştir. Bugünkü düşünce yapısında ise gelinen nokta, insan doğanın içerisinde yer alan, doğayı yönetmeye çalışan ve ihtiyaçlarını doğadan karşılayan bir varlık olduğudur (Beyaztaş, 2012).

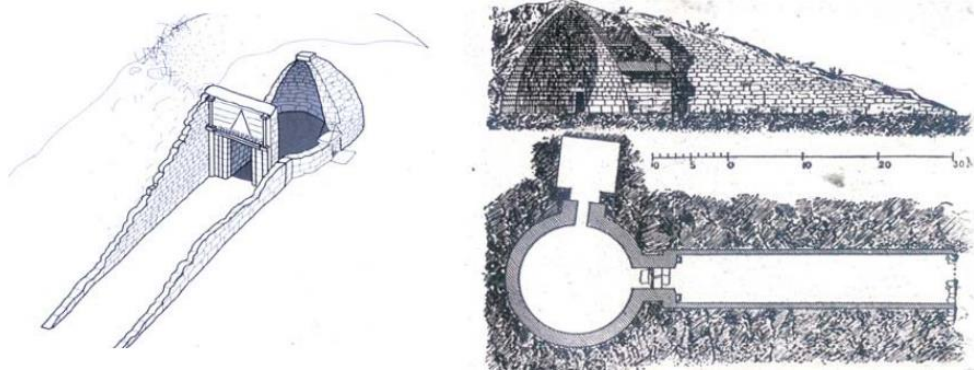
İnsan figürünü, doğada etkin bir varlık olarak elbette ki mimari tasarım ögesi olarak görmek olağandır. Tasarım içerisinde yer alan ya da tasarımı oluşturan antropomorfik yaklaşımları yapılarda (Yorulmazel, 2020);

- Bina, cephe ve bezemelerde insan motifleri,
- Yapı elemanı olarak ya da yapının bütüncül tasarımında insanın vücudunun orantısal kullanımı,
- Yapı taşıyıcı sisteminde iç organlar ya da iskelet sistemi referans alınarak tasarımlara uyarlanması,
- Mekân organizasyonunda vücut sistemlerinin referans alınması, şeklinde görmek mümkündür.

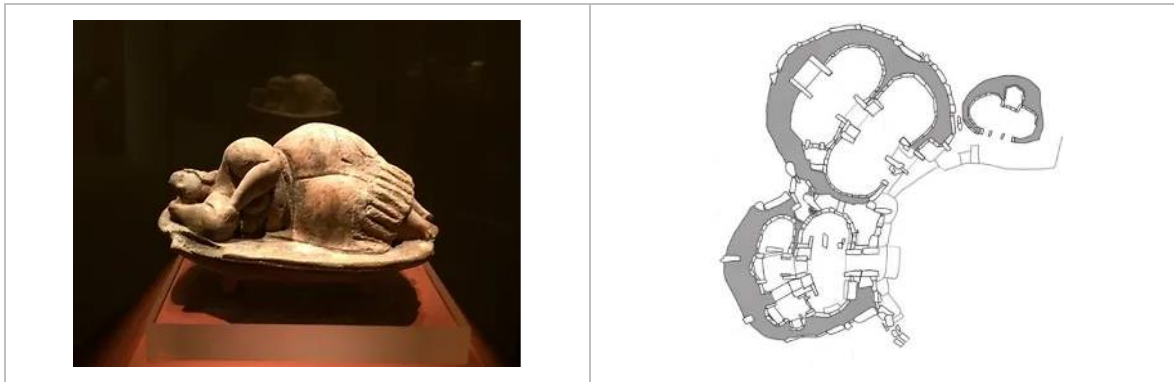
İnsan vücudundan yola çıkılarak yapı tasarımı Antik Çağlara kadar uzanmaktadır. Antik Çağ'da tarım öncesi dönemde kadın-erkek ayrımı olmayıp işleri birlikte yapıp birlikte avlanmaktaydılar. Ancak tarımın insan yaşamına girip yerleşik hayata geçilmesi, devlet ve ataerki gibi organizasyonların oluşması kadının sosyolojik olarak bir sınıflandırmaya girmesine sebep olmuştur. Bu durumda erkek dışarıda, kadın ise evde bekleyen ve ev içerisindeki düzeni sağlayan kişi olmuştur. Hatta kadın evi yapan kişi olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Kıl çadırı dokuyarak bölmelere ayrılmış yapılar, Diyarbakır Ergani’de bulunmuş olan sepetten örülerek oluşturulmuş evler kadınların evi inşa ettiğini gösteren örneklerdir. Tüm bunlardan yola çıkarak kadın evin merkezi olarak görülmüştür. Bu sebepten doğurgan olan kadının rahmiyle iç mekân bağdaştırılmış ve kadın aslında içinde barındıran olarak düşünülmüştür (Yeler vd., 2022).

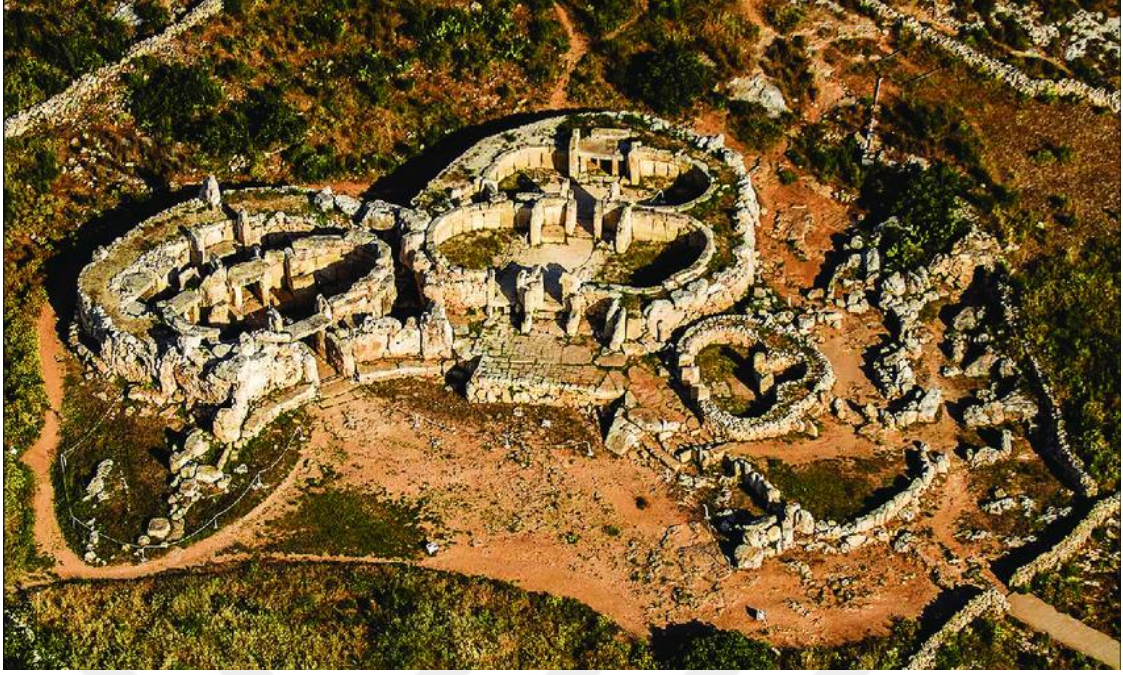
Çatalhöyük kazılarında bulunan duvar resminde peçeli bir kadın figürünün karnında çizilen daire ve ortasına yerleştirilmiş nokta; kadının güneşi içinden çıkardığına inanılan karnının temsildir. Mısır’da yapılan ilk yapıların daire şeklinde olması yine kadın vücudunun bir yansımasıdır. Bu yapılara örnek olarak “Tholos” mezar yapıları ve Malta’nın Gozo Adası’nda yer alan Mnajdra Tapınağı gösterilebilir. Tholos mezar yapısı, daire planlı ve onun üzerinde yükselen kubbe ile bu daire plana ulaşan geçitlerden oluşmaktadır. Bu haliyle planı kadın rahmine benzemektedir (Şekil 2.54) (Yeler vd., 2022). Malta’nın Gozo Adası’nda yer alan Mnajdra Tapınağı’nda ise kadın vücudundan esinlenerek yapılmış yuvarlak ve içerisine alıcı olduğu varsayılan planı görmek mümkündür (Şekil 2.55-56).



Şekil 2.54. Tholos mezar yapısına ait plan ve kesitler (Yeler vd., 2022)



Şekil 2.55. Malta’da bulunan ‘Tanrıça’ heykeli (1) ve Mnajdra Tapınağı planı (2) (URL-25, 2022; URL-26, 2022)



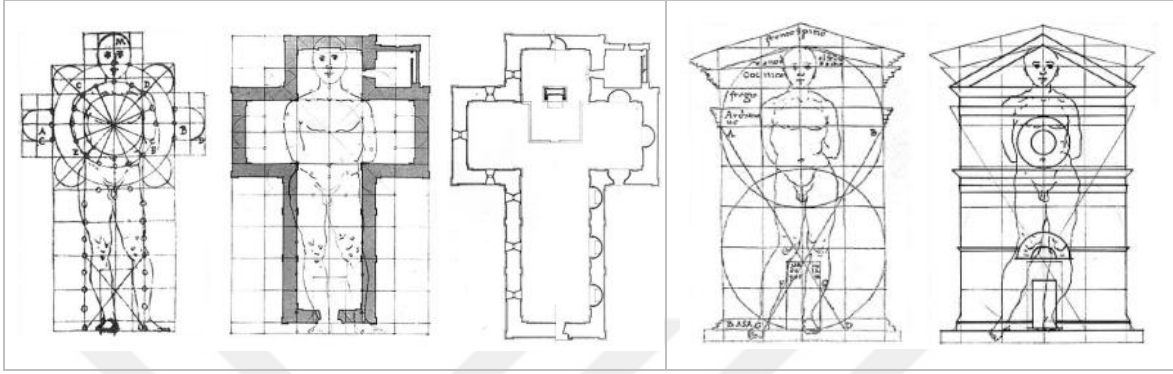
Şekil 2.56. Mnajdra Tapınağı (URL-26, 2022)

Yunan sanatçıları için evrenin merkezinde insan vardır. Bunun için mimari, sanat ve dini içeriklerde insan formu göz önündedir. Mimaride doru adı verilen sütun şekli erkek vücudundan, iyon adı verilen sütun şekli ise kadın vücudundan yola çıkılarak oluşturulmuştur. Hatta bazı tapınaklarda sütunları kadın heykeli şeklinde görmek mümkündür (Şekil 2.57) (Atalay, 2010).

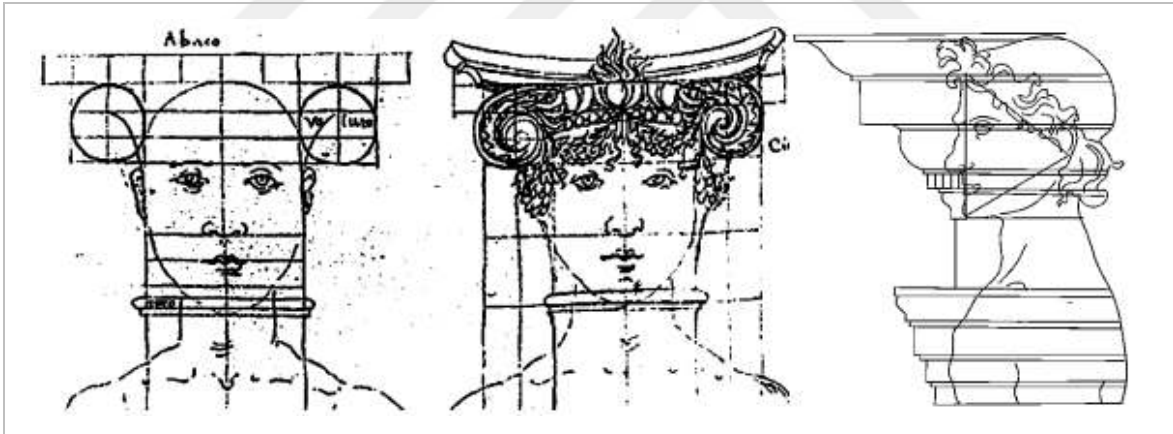


Şekil 2.57. Antik Çağ mimarisinde kadın formu: karyatid örneği (URL-27, 2022)

Francesco Di Giorgio Martini'nin yaptığı eskizlerde yapı planlarında, cephe tasarımında insan vücut oranlarının kullanıldığı ya da cephede insan heykelinin yer aldığı ve sütun başlıklarının tasarımında yine insan oranları kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2.58-59) (Yorulmazel, 2020).

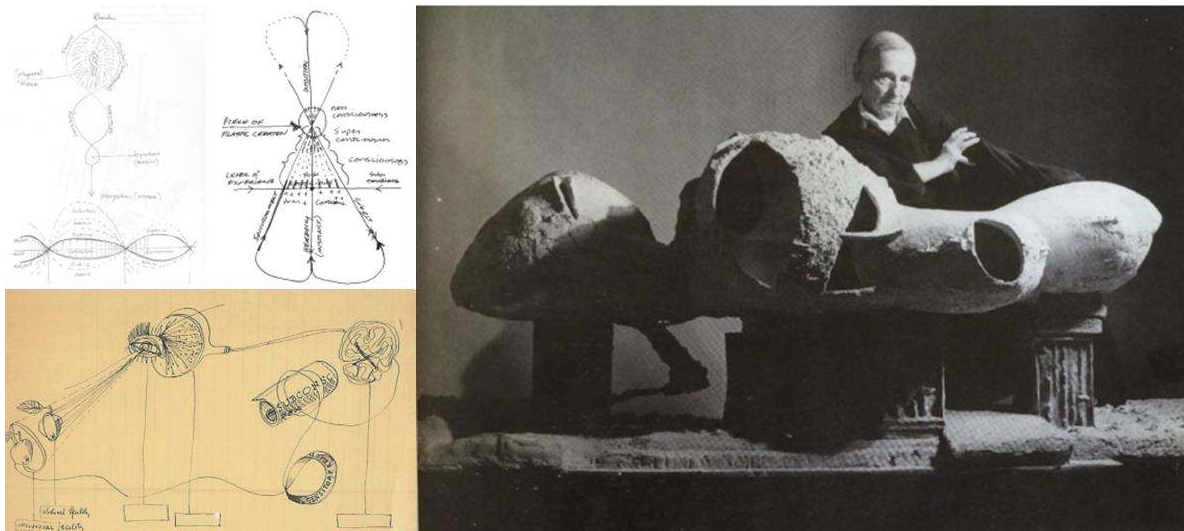


Şekil 2.58. Francesco'nun Antropomorfik oranlara göre yaptığı plan (1) ve cephe eskizi (2) (Millon, 1958)



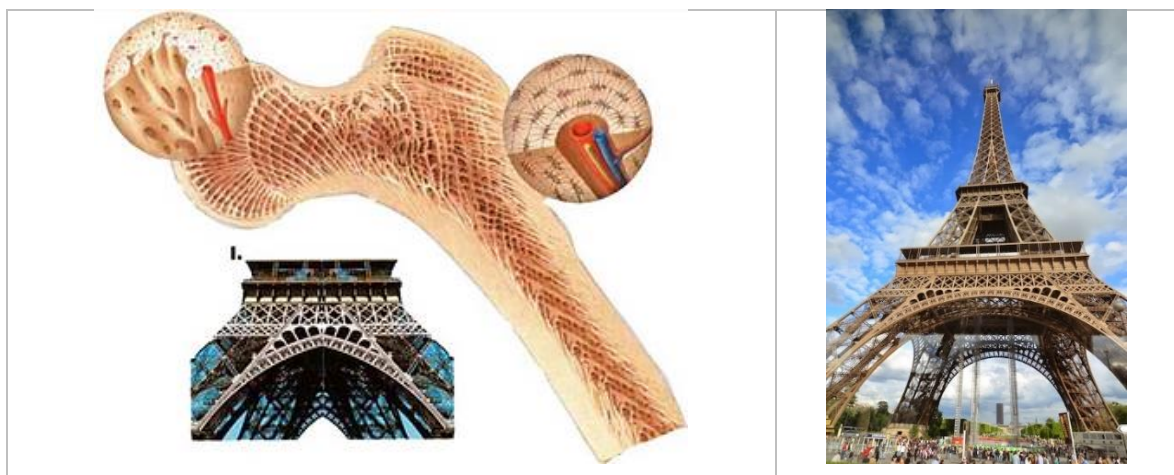
Şekil 2.59. Francesco'nun Antropomorfik oranlara göre yaptığı sütun başlıkları eskizi (Yorulmazel, 2020)

Antropomorfik tasarıma örnek olarak Friedrich Kiesler tarafından 1950 yılında tasarlanan ve uygulamaya hiçbir zaman geçilemeyen Endless House gösterilebilir. Ancak oldukça ilgi görmüş sahne tasarımı ve sergi mekânı tiyatrodan sanata pek çok alanda yol gösterici olmuştur. Kiesler yapmış olduğu tasarımda insan biçiminden etkilenmiş ancak bu durum sadece form olarak kalmamış hücrenin çoğalmasını da yapım aşamasına benzetmiştir (Şekil 2.60) (Moore, 2010).



Şekil 2.60. Friedrich Kiesler'in Antropomorfik Endless House projesine ait eskizler ve proje modeli (Moore, 2010; Özdamar, 2017)

1889 yılında Gustave Eiffel tarafından inşa edilen Eiffel Kulesi'nin tasarım fikri insan vücudundaki en büyük kemik olan uyluk kemiğine dayanmaktadır. Anatomi profesörü olan Hermen Von Meyer uyluk kemiğinin kalça kemiğine bağlandığı noktadaki yapısının iç içe geçmiş birçok kıvrımlı yapıda olduğunu tespit etmiştir. Mühendis Karl Cullman ise kemiğin bu yapısının üzerinde oluşabilecek yüklere karşı olan dayanımının yüksek olduğunu tespit etmiş ve kalçadan uyluk kemiğine gelen gücü mükemmel şekilde aktardığını tespit etmiştir. Bu kemik yapısı normal kemikten daha hafif ve boşluklu bir yapıdadır. Eiffel, uyluk kemiği modelindeki prensipleri Eiffel Kulesi tasarımında kullanarak dönemin önemli mimari eserlerinden birini inşa etmiştir (Şekil 2.61) (Yıldız, 2012).



Şekil 2.61. Uyluk kemiği yapısı ve Eiffel Kulesi (URL-28, 2022; URL-29, 2022)

Frank Gehry tarafından tasarlanan, 1992 yılında Prag'da yapılmış olan Dancing House yapısında dans eden çift taklit edilmiştir. İki farklı kombinasyona sahip bina olarak görünen cephe parçalarından birinde, erkek güçlü ve egemen kılınarak diğesinde ise kadın zarif ve dinamik şekilde tasvir edilmiştir (Şekil 2.62) (Tarhan, 2019).



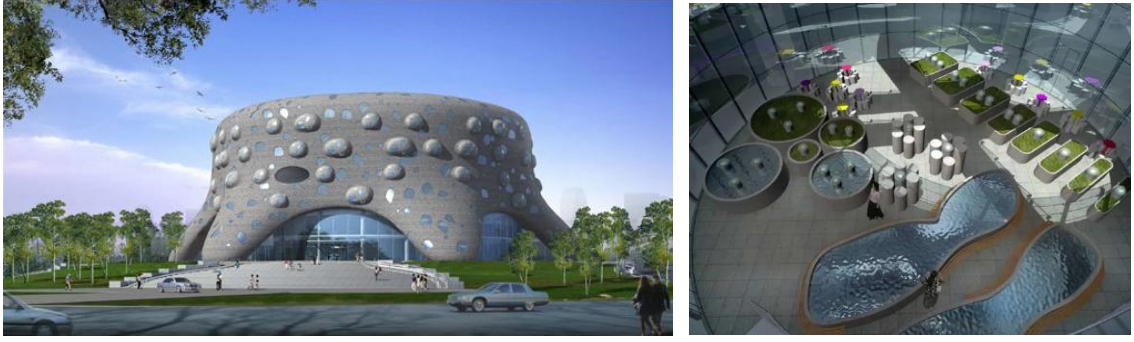
Şekil 2.62. Dancing House (URL-30, 2022)

2.3.1.4. Mikroskobik (Mikromorfik) Biçimlenme

Biyomimikrik biçimlenme bitki, insan ve hayvan figürleri üzerinden Antik Çağ'dan itibaren var olan tasarım unsurudur. Ancak mikroskobik yani mikromorfik biçimlenme son yüzyıllarda görülmeye başlayan yeni bir tasarım konusudur. Bu süreçte biyolojiyle diğer bilim dallarının ortak çalışma alanının yaratılması sonucu sistem daha kompleks bir hal almış ve tasarım kavramının kapsadığı düşünce alanı genişlemiştir.

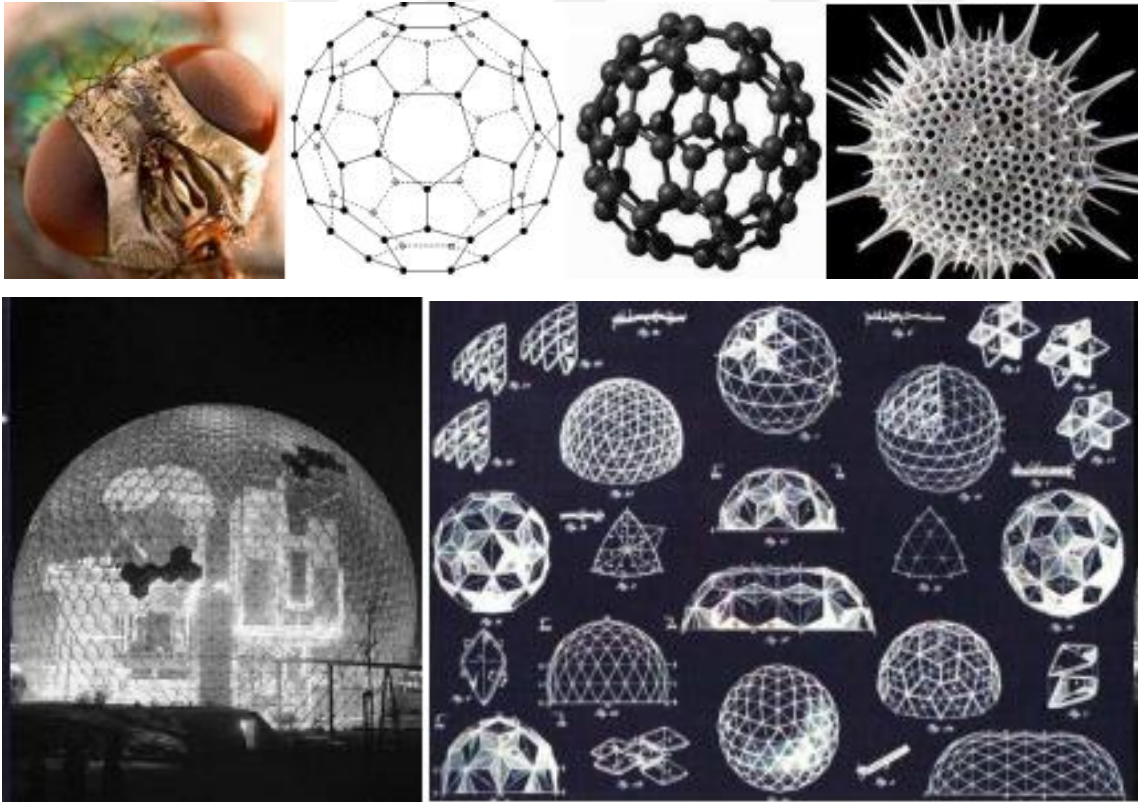
1590 yılında, 2 mercekli mikroskobun başlangıcı kabul edilebilecek icat olan optik mikroskop 17. yüzyılda geliştirilmiş ve mikroorganizmaların incelenmesine temel atılmıştır. 19. yüzyılda hücre kuramının ortaya atılmasıyla mikroskobik ilerlemeler yaşanmış, mimaride de hücre biliminden yola çıkılarak tasarlanan yapılar için ilham kaynağı genişlemiştir. 20. yüzyılda elektron mikroskobunun keşfiyle birlikte canlıların, DNA, gen analizleri vb. çalışmaları artmış ve günümüz mimarisinde strüktürel ve malzeme konusunda ekolojik ve doğaya uyum sağlayan yapılar yapma konusunda yardımcı bilim olanağı oluşmuştur (Yorulmazel, 2020).

Çalışma alanı olarak mimari için henüz çok yeni bir bilimdir. Bu yöndeki çalışmaları formel olarak destekleyen tasarımlardan bir tanesi Çin'in Chengdu kentinde yer alan Nanobiyomedikal Teknoloji ve Zar Biyolojisi Enstitüsü'dür. Biçim ve işleyiş olarak hücre ve organellerini barındıran bir sistemle tasarlanmıştır (Şekil 2.63) (Vural ve Avinç, 2015).



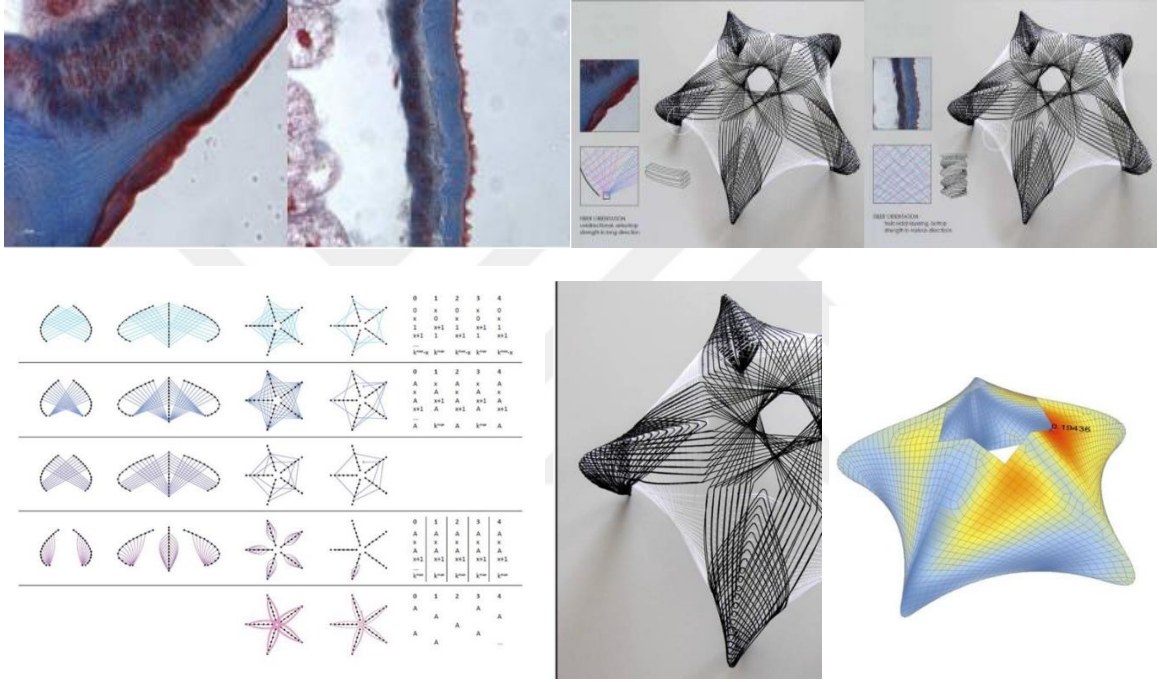
Şekil 2.63. Chengdu Nanobiomedikal Teknoloji ve Zar Biyolojisi Enstitüsü (URL-31, 2022)

Jeodezik kubbeler, 1950 sonrası yılların dikkat çeken taşıyıcı sistemlerindendir. Jeodezik kubbeler yapısal olarak mikroorganizmalara benzemektedir. Yapılarında, doğadaki formları kullanarak tasarım yapan Buckminster Fuller, çocuk felci virüsünü çevreleyen protein zırhının jeodezik kubbelerle olan benzerliğini kanıtlamıştır. Buckminster Fuller tarafından tasarlanan Expo 67 binası bu zırha benzeyen jeodezik kubbe örneğidir (Şekil 2.64) (Zeytün, 2014).



Şekil 2.64. Arı gözü, c60 molekülü, ışınlılar, Fuller'in Expo67 jeodezik kubbesi, jeodezik kubbe çalışma eskizi (Yaranateş ve Batmaz, 2013)

Tübingen Üniversitesi biyologları ve öğrencileri ile mimarlık ve mühendislik araştırmacıları tarafından, eklem bacaklılar üzerinde bir araştırma yürütülmüştür. Bu araştırmada ıstakozun dış iskeleti, lif yönü, lif düzenleme, tabaka kalınlığı ve sertliği incelenmiştir. Biyolojiden biyomimikriye doğru bir tasarım model oluşturulmuştur. Çalışmada robotik üretim, biyometrik tasarım stratejileri ve yeni süreçler arasındaki olası ilişkiler incelenmektedir. Beşgen şeklinde oluşturulan pavilyondaki sarmal yapının yoğunluğu ve biçimlendirmesi eklem ıstakozun analizi sonucu oluşturulmuştur (Şekil 2.65-66) (URL-32, 2022).

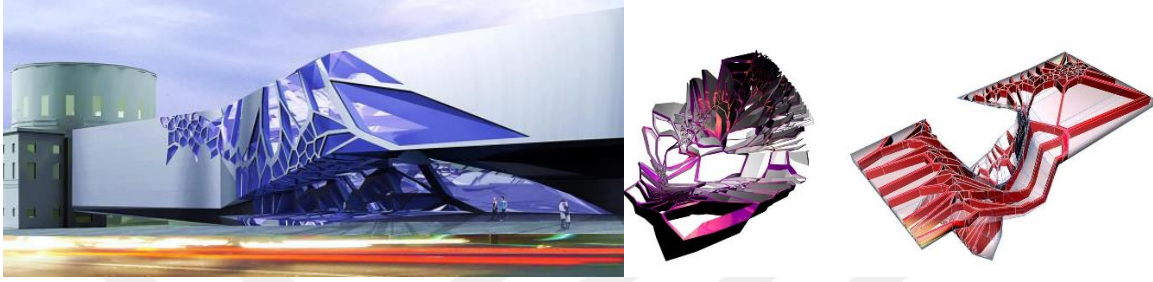


Şekil 2.65. Eklem bacaklıların lif yapısı ve morfolojik biçimlenme ve tasarımsal hesap analizleri (URL-32, 2022)



Şekil 2.66. Araştırma sonucu tasarlanan pavilyon (URL-32, 2022)

Biyolojide hücre oluşumlarında gözlemlenen çekirdek -merkez ve çevre çevre ilişkisinin matematiksel bir algorithmadan yola çıkılarak mimarlık diline uyarlanmasıyla mikromorfik tasarımlar yapılmaktadır. Mimarlıkta yer edinen bu voronoi hücreleri voronoi diagramı olarak da adlandırılmaktadır (Yorulmazel, 2020). Stockholm için önerilen, şehir kütüphanesinin cephesinde ve strüktürel ağında hücresel kalıpların yeni figürasyonunu görebileceğimiz mikromorfik uygulamayı görmek mümkündür (Şekil 2.67).



Şekil 2.67. Stockholm öneri şehir kütüphanesi cephesi ve strüktürel ağı (URL-33, 2022)

2.3.1.5. Organizmaların Yaşam Ortamlarına Dayalı Biçimlenme

Yaşam koşulları dünyadaki hiçbir varlık için ilk andan itibaren sabit kalmamıştır. Dünyada doğa sürekli olarak bir evrim süreci içerisinde olmuştur. Hatta dünyanın kendisi bir bütünüyle bu evrimin parçası olmuştur. En basit örnek olarak da kara parçalarının en başından itibaren dünyanın enerji döngüsü içerisinde birbirinden ayrılarak, yeni bir sistem oluşturmasıdır ki bu milyonlarca yıl sürmüştür. Canlılar da bu ekosistem içerisinde var olan ve ekosistemin koşullarına ayak uydurup, bu koşulları kendileri için kullanan ve kendi habitatlarını oluşturan varlıklardır.

Organizmalar, değişen Dünya koşullarına adapte olabilecek yaşam mekanizmasına sahiptirler. Bundan dolayı insanlar, enerjiyi ve hammaddeyi etkin şekilde kullanan organizmaların bu adaptasyonundan yola çıkarak ürettikleri çözümleri toplum bağlamında yaşanan sorunlara çözüm üretmekte kullanırlar (Alberti vd.,2003). Biyomimikri organizmaların sadece kendileri üzerinden ilerlemez, ayrıca ekosisteme ayak uydurmuş ya da değişen koşullarda ürettikleri çözümlerle yaşam alanı oluşturmuş canlıların yaşam alanlarını da irdeler.

Doğal malzemelerle ya da kendi sistemlerinin oluşturduğu malzemeler (örümcek ağı gibi) ile organizmalar yuvalarını yapmakta ve ürettikleri formların çeşitliliği ile bir takım yinelenen biçim ve prensiplerle yaşam alanları kategorize edilmektedir (Panchuk, 2006).

Antik Yunan düşünür Demokritos bununla alakalı olarak; doğanın insan için en iyi öğretici olduğunu, insanın doğanın öğrencisi olduğunu belirtmiştir. Dokuma ve yama yapmada örümcek, barınak yapmakta kırlangıç, şarkı söylemekte ise kuğu ve bülbülün taklidinin yapıldığını belirtmiştir (Barancacci ve Morel, 2007).

Demokritos'un da yuva yapmakta örnek gösterdiği kırlangıçlar; korunaklı bir yuva inşa ederken erkek kırlangıç tükürüğüyle harç yapar ve dişi kırlangıç bu çamurları toplayarak, saman ve otlarla yuvalarını inşa ederler. Buna benzer yapı şekli olarak M.Ö. 6. yy'dan bu yana varlığını sürdüren kubbeli Harran evleri verilebilir. Kerpiç ve tuğladan inşa edilen yapıların dış cephesi balçıkla sıvanmıştır (Şekil. 2.68) (URL-35, 2022).



Şekil 2.68. Kırlangıç yuvası ve Kubbeli Harran evleri (URL-34, 2022; URL-35, 2022)

Dokumacı kuşları bitki lifleri ve uzun bitki sapları kullanarak son derece sağlam yuvalarını oluştururlar. Malzemeler toplandıktan sonra taze yeşil dallardan uzun şeritler kesmektedirler. Kuş yuva yapımına, kesmiş olduğu şeritleri bir ağaç dalının etrafına sararak başlamaktadır. Liflerin düşmesinin önlenmesi için düğümlenerek sağlamlaştırılır. İnşaat oldukça stratejik bir şekilde yapılmaktadır. Yapının nerede inceleceği, nerede kalınlaşacağı, nerede eğri oluşturulacağı çok iyi hesaplanır. Yuvaya etraftan toplanan bitkilerle ve tükürükle karıştırarak bir harç oluşturup, elastikiyet ve su geçirmezlik sağlanır. İngiltere'nin White Adası'ndaki, Robin Hill Country Park içerisinde yer alması planlanan proje, Blue Forrest danışmanları tarafından, dokumacı kuşlarının yuvaları referans alınarak tasarlanmıştır. Projenin yola çıkış fikri ise doğa ile yeniden bağlantı kurmayı hedefleyen bir tasarımdır (URL-30, 2022) (Şekil 2.69).



Şekil 2.69. Dokumacı kuşu yuvası ve Robin Hill Country Park içerisinde yer alan dokumacı kuşu yuvası taklidi proje (URL-36, 2022)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez yazım sürecinin ilk aşamasında “Mimari Strüktürlerde Canlıların Sistemlerinin ve Deneyimlerinin Yansıma Biçimlerinin İrdelenmesi” konusu kapsamında geniş çaplı literatür taraması yapılmış ve konu hakkında bilgi birikimi sağlanmıştır. Çalışma konusunu oluşturan strüktür ve biyomimikri kavramları için kütüphane kaynakları, süreli ve süresiz yayınlar, tez ve makaleler ile dijital yayınlardan yararlanılmıştır. Literatür taramasında, strüktür kavramı ve biyomimikri kavramlarının etimolojisi ve tarihsel süreçleri ve bu kavramların birlikteliğinden söz edilebilecek mimari tasarımlar için kaynaklar araştırılmıştır.

3.2. Yöntem

Yöntemin ilk aşaması olarak literatür taraması yer almaktadır. Tez yazım sürecinde yerli ve yabancı kaynaklar kullanılarak, birçok tez, bilimsel makale, kitap ve görsel kaynak incelenmiş, yabancı kaynaklardan çeviriler yapılmış ve çalışma kapsamında tasarlanan ve uygulanan örnek yapıların analizi gerçekleştirilmiştir.

Tezin genel bilgiler bölüm başlığı altında strüktür kavramı, sözcüğün sözlük anlamı, strüktürün tarihsel gelişim aşamaları, kavram öncesi ve günümüz mimarlığına kadar olan dönem ile mimaride strüktür sistemlerinin sınıflandırılması incelenmiştir. Biyomimikri kavramı ise öncelikle kavramın sözlük anlamı, etimolojisi, biyomimikrik tasarım yaklaşımları, kavramın oluşum süreçleri, kavram öncesi biyomimikri ve günümüze kadar olan teknolojik değişimler ışığında biyomimikriye bakış açısı ile birlikte kategoriler çerçevesinde irdelenmiştir. Strüktür kavramı, doğaya uyumlu yapılar ışığında biyomimikri başlığıyla birlikte incelenmiş, bu yapıların biyometrik açıdan ve strüktürel açıdan avantajları, genel bilgiler başlığı altında yer alan strüktür özellikleri ve biyometrik özellikleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Sonuç kısmında ise literatür taramasından yararlanılarak elde edilen bilimsel veriler ortaya konmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR

Doğadan referans alınarak tasarlanan mimari strüktürlerde tez içeriğinde incelenen yapılar; Stuttgart Havalimanı, Oriente Tren İstasyonu, Pancho Stadyumu, Sec Armadillo Binası (Clyde Oditoryum),The Gherkin (30 St Mary Axe), Pekin Ulusal Stadyumu, Gardens By the Bay- Supertrees, Warp Skyscraper, Los Manantiales Restaurant, The Metropol Parasol, La Sagrada Familia, Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu, 3Ts in the Mississauga Gökdeleni, Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu ve Kral Abdullah Araştırma Merkezi'dir.

Çalışma kapsamında araştırmaya konu olan mimari örnekler,

- Genel özellikler; bulunduğu şehir, yapım yılı, tasarımcısı, alanı ve işlevi,
- Biyomimetik olarak; biyomimetik benzetim, biyomimikri düzeyi, biyomimetik yaklaşım, biyomimetik dönem, biyomimetik tasarım avantajı,
- Strüktürel olarak; binanın strüktürü, strüktürel yapı malzemesi ve strüktürel avantajı

kriterlerine göre değerlendirilmiş ve tablolastırılmıştır.

Buradan çıkan sonuçlara göre yapıların strüktürel tasarımında izlenen/referans alınan canlı türleri ve konuya dair özellikleri sayesinde doğaya sağlanan yararlar tartışmaya sunulmuştur.

4.1. Biyomimikrinin Strüktür Tasarımına Yansıması

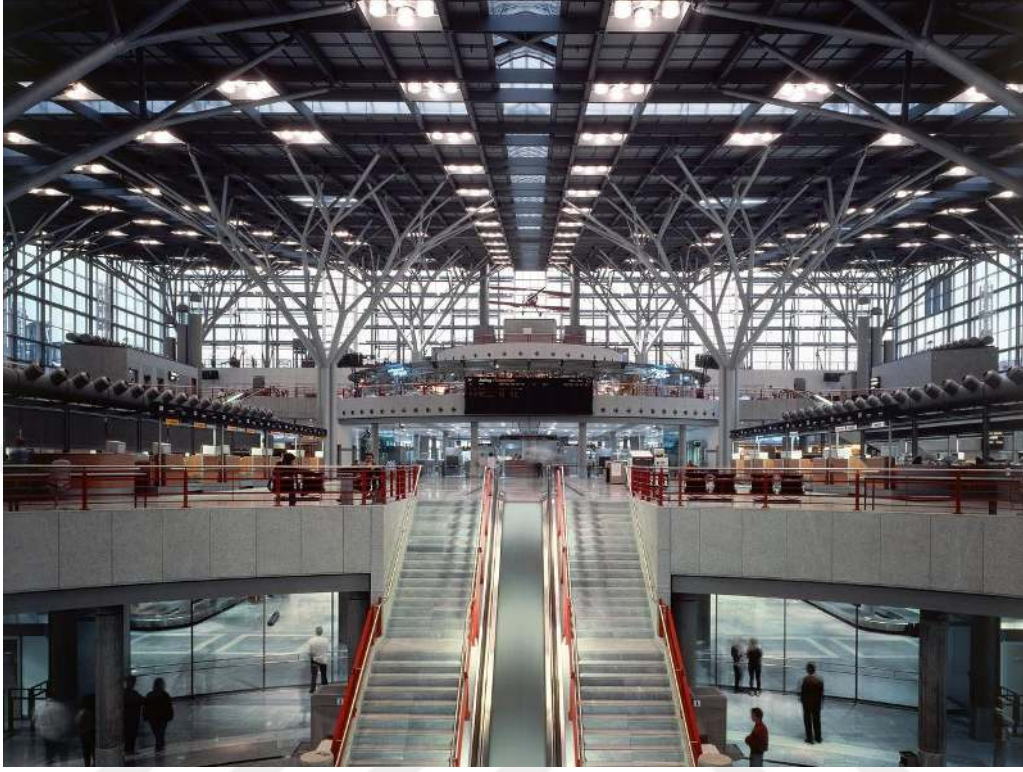
4.1.1. Stuttgart Havalimanı

Tablo 4.1. Stuttgart Havalimanı hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Almanya-Stuttgart	2004	Meinhard von Gerkan	57.000 m ²	Havalimanı
Fotoğraf (URL-37,2022)					

Almanya'nın Stuttgart şehrinde, eski terminal binasının yıkılmasıyla Meinhard von Gerkan tarafından tasarlanan yapının 2004 yılında yapımı tamamlanmıştır. 57.000 m² inşaat alanına sahiptir (Tablo 4.1). Mimarın genel eleştirisi satış ünitelerinin yoğunluğundan

kaynaklanan karmaşıklıktır. Ancak bu durumu kabullenip yapı için tasarımın etkili kılınacağı alanın çatı olması gerektiğini öngörmüştür (Şekil 4.1) (Cürgen,2008).



Şekil 4.1. Stuttgart Havalimanı dış cephe fotoğrafı ve iç mekân görünümü (URL-37, 2023)

Tablo 4.2. Stuttgart Airport hakkında biyomimetik bilgiler

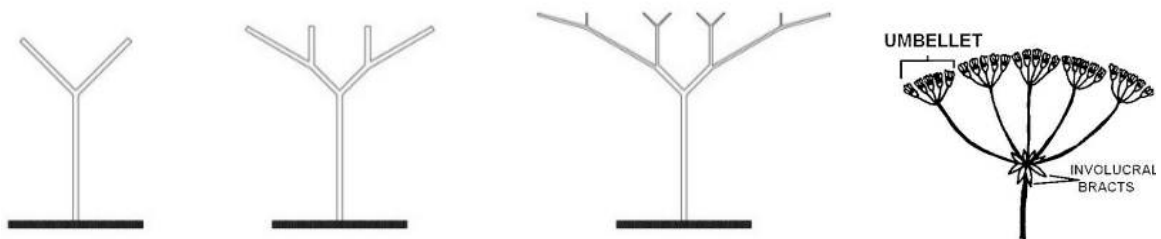
Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Ağaç formu	Organizma (biçim)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Ağaç formunun geniş yük dağılım alanı sağlamasından dolayı estetik bir görünüş sağlarken daha az sayıda kolon ile taşıyıcı sistem çözülebilmıştır
Fotoğraf (URL-38, 2023)					

Tablo 4.2’de biyomimetik bilgileri verilen yapının taşıyıcı sistem tasarımı; ağaç formunun taşıyıcı sisteme uyarlanmasıyla oluşturulmuştur. Ağaç formu şekil ve yük dağılımındaki işlevi referans alınarak tasarıma uyarlanmış ve bu haliyle biyomimikrinin organizma düzeyi kapsamında incelenmektedir. Ağaç yani bitkisel öykünmenin tasarıma yansmasıyla da Fitomorfik yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 4.3. Stuttgart Airport hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	İskelet	Çelik	Geniş açıklıklardaki yük dağılımının temelde daha az dikey taşıyıcı kullanılarak dengeli bir şekilde temele aktarımını sağlamaktadır
Fotoğraf (URL-37, 2023)			

Tablo 4.3’te strüktürel bilgileri verilen yapıda devasa açıklıklar zarif görünen ancak oldukça kocaman olan ağaç görünümündeki çelik kolonlarla sağlanmıştır. Levha şeklindeki devasa çatıda 12 adet çatı penceresi vardır ve 18 adet taşıyıcı ağaç kolon bulunmaktadır. Ağacın ana gövdesinden yukarı çıkan 4 adet boru şeklindeki taşıyıcı ve bu dört taşıyıcıdan da çıkan yan dallar mevcuttur. Bu şekilde taşıyıcı sistem üç seviyeye ayrılmıştır. Ağaç benzeri yapının taşıyıcı sistemini aslında umbellet (şemsiye) sistem olarak adlandırmak daha doğru olacaktır (Şekil 4.2). Yapının taşıyıcı sisteminin bu şekilde tasarlanmasıyla geniş açıklıklardaki yük dağılımının daha dengeli şekilde temele aktarımını sağlamaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Taşıyıcı kolonların strüktürel şeması ve umbellet sistematığı (URL- 39, 2022)



Şekil 4.3. Ağaç şeklinde taşıyıcı kolonlar ve kesit (Lauriola, 2017)

4.1.2. Oriente Tren İstasyonu

Tablo 4.4. Oriente Tren İstasyonu hakkında genel bilgiler

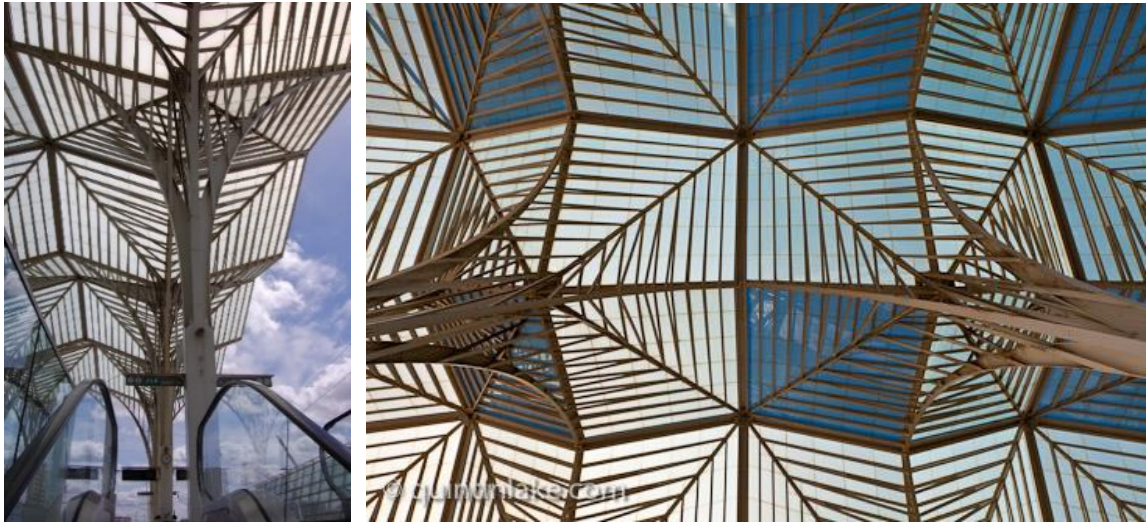
Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Portekiz-Lizbon	1998	Santiago Calatrava	21.284 m ²	Metro-tren İstasyonu ve ticari kullanım
Fotoğraf (URL- 40, 2022)					

Portekiz'in Lizbon şehrinde, mimar Santiago Calatrava tarafından tasarlanmış, 1993-1998 yılları arasında yapımı tamamlanmıştır. 21.284 m² inşaat alanına sahip yapının tren-metro istasyonları ve ticari amaçlı kullanımı vardır (Tablo 4.4). İstasyon girişindeki binaya saplanan çelik sundurmalar alışveriş merkezi ile binanın bağlantı kurmasını sağlamaktadır (Yorulmazel, 2020).

Tablo 4.5. Oriente Tren İstasyonu hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Palmiye Ağacı	Organizma (biçim)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Palmiye ağacı formundaki taşıyıcı ve üst örtüler yapının estetik bütünlüğünü korumasını sağlamıştır.
Fotoğraf (Ercan, 2018)					

Tablo 4.5’te biyomimetik bilgileri verilen Oriente Tren İstasyonu’nda, Calatrava’nın eserlerinde sıkça rastlanan doğadan esinlenme, organizma düzeyi ve fitomorfik yaklaşım şeklinde gerçekleşmiştir. Binanın doğrusal düzlemde yaya yürüme alanında tasarlanan üst örtüsü palmiye ağacından yola çıkılarak tasarlanmıştır. Sütunlar, yürürken bir orman içinden geçiliyor etkisi yaratmaktadır. Yürüme alanındaki çatı örtüsü tasarımı ise ağaç yapraklarındaki damarlanmadan yola çıkılarak oluşmuştur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Palmiye ağacı ve yaprak damarları biçimsel öykünme (URL- 41, 2022)

Tablo 4.6. Oriente Tren İstasyonu hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	Kafes + Kemer	Çelik+ yüksek dayanımlı beton	Çelik sistem ile dört tarafa eğimli üst örtü ve çelik taşıyıcıların geniş açıklıkta daha küçük çaptaki açılı çelik taşıyıcılarla strüktürel dengesi sağlanmış ve üst örtü ve dikey taşıyıcılar dengeli bir şekilde birlikte çalışmıştır.
Fotoğraf (URL- 40, 2022)			

Tablo 4.6’da strüktürel bilgileri verilen istasyonun, tren yolunun bulunduğu kısım, binanın palmiye ağacından yola çıkılarak tasarlanmış çelik kolonları ve ağaç dallarındaki damarları taklit eden dört tarafa eğimli geometrik formların bir araya gelmesiyle oluşmuş tonoz benzeri kanopi oluşturduğu çelik kafes sistemi ile oluşmuştur. Demir yolu raylarının altında yer alan kısım ise betonarme kemerler ile geçilmiştir. Betonarme kemerler tek parça halinde değil de tepe noktasında birleşip temele doğru iki parçaya ayrılan ayaklar şeklinde tasarlanarak zarif bir şekilde yük dağılımının dengelenmesinde etkin olmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Betonarme ve çelik strüktür damarlanma ve geometri (URL- 42, 2022)

4.1.3. Pancho Stadyumu

Tablo 4.7. Pancho Stadyumu hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Macaristan - Felcsút	2014	Doparum Architects , Tamás Dobrosi	12.000 m ²	Stadyum+Futbol eğitim merkezi (Yurt)
Fotoğraf (URL- 43, 2022)					

Macaristan- Felcsút şehrinde, Doparum Architects, Tamás Dobrosi tarafından 2014 yılında inşa edilmiştir. 12.000 m² inşaat alanına sahip yapı, bir stadyum olmanın yanı sıra bölgede yatılı futbol eğitimi veren bir merkezdir (Tablo 4.7). Arazide 8 m’lik bir eğim vardır ve üç farklı kattan çıkış sağlanabilmektedir. Yapının mimarı klasik stadyum anlayışından uzaklaşarak doğal malzemelerle bir tasarım yapmayı hedeflemiştir. Binada Macar mimarisinden esintiler de görmek mümkündür (URL- 43, 2022).

Tablo 4.8. Pancho Stadyumu hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Ağaç benzeri strüktür-Orman etkisi	Organizma (biçim-malzeme), Ekosistem Düzeyi (Biçim)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Yapının taşıyıcı kolonları estetik olarak binayı etkilemiş, istenilen orman havası sağlanmıştır.
Fotoğraf (URL- 44, 2022)					

Tablo 4.8’de biyomimetik bilgileri verilen yapı için, sürdürülebilir yapı tasarımı kapsamında doğal malzeme kullanılmak istenilerek, tasarım malzemesi tercihi beton ve

ahşap olmuştur. Yapıda asıl hedeflenen Macar mimarisinin binaya yansımadır (URL-45, 2022). Bu fikirle ortaya çıkan tasarımda, stadyum bölümünde seyircilerin üzerini kapatan kanopinin dikey taşıyıcılarının ağaç formunda olması ve bu ağaçların yan yana gelmesiyle oluşan tasarım ise bir orman hissini vermektedir. Tasarımın temel unsuru olan ağaç formunun kendi ham maddesi olan ahşaptan yapılmasıyla biyomimikrinin organizma düzeyinde biçim ve malzeme kategorisinde ele alınırken, aynı zamanda orman etkisinin yaratılmasıyla da ekosistem düzeyinde biçim kategorisinde değerlendirilmektedir. Aynı zamanda biyomimetik yaklaşım olarak da fitomorfik bir yaklaşımdır.

Tablo 4.9. Pancho Stadyumu hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (URL- 43, 2022)	Ahşap kafes + iskelet	Lamine Ahşap + Beton	Betonarme kolonlar eğrisel ve boşluklu yapılarıyla katı formu kırılmış, aynı zamanda payandalar ile desteklenen ahşap taşıyıcı kafes sistem katı zarif bir şekilde yelpaze şeklinde açılarak geniş bir alanda taşıyıcı görev üstlenmiş ve yükü dengeli bir şekilde betonarme kolona iletmiştir.

Tablo 4.9’da strüktürel bilgileri verilen stadyum yapısında, eşit aralıklarla yerleşen eğrisel formlu ve boşluklu yapısıyla betonarme kolon geniş bir alan kaplamasına rağmen katı bir kütle etkisi oluşturmamıştır. Bunun yanında sentetik reçine ve dişli çubuklarla betonarme kolona sabitlenen lamine ahşap taşıyıcılar sayı olarak fazla, çap olarak az kullanılarak açılı bir şekilde ağaç dalları şeklinde yerleştirilmiş ve payandalar ile desteklenmiştir. Ahşap kafes sistemi olarak yerleşen taşıyıcılar ile dengeli bir biçimde betonarme kolona yük aktarılırken, mimari açıdan estetik bir görünüm elde edilmiştir (Şekil 4.6). Ahşap kafes sistemi sadece stadyum kanopisinde değil aynı zamanda binanın iç mekân ve dış mekânında, taşıyıcı sisteminde, ayrıca iç mekânda tonozu oluşturan strüktürel elemanlarda karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Stadyum üst örtüsünü taşıyan betonarme ve ahşap taşıyıcılar ve sistem kesiti
(URL- 43, 2022; URL- 45, 2022)



Şekil 4.7. Stadyuma ait iç mekanlar ve dış cephelerde de ahşap strüktürün ağaç morfolojisi devam etmektedir (URL- 43, 2022; URL- 45, 2022)

4.1.4. Sec Armadillo Binası (Clyde Oditoryum)

Tablo 4.10. Sec Armadillo Binası hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	İskoçya- Glasgow	2000	Foster+ Partners - Norman Foster	13.000 m ²	Oditoryum
Fotoğraf (URL- 46, 2022)					

İskoçya- Glasgow şehrinde, Foster+Partners -Norman Foster tarafından tasarlanmış, 1997-2000 yıllarında inşa edilmiştir. 13.000 m² inşaat alanına sahiptir (Tablo 4.10). Yapı içerisindeki bölümler konferans, konser, canlı performans, sergi gibi etkinliklerin düzenlenmesine imkân sunmaktadır (URL- 47, 2022).

Tablo 4.11. Sec Armadillo Binası hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Armadilo dış kabuğu	Organizma (biçim)	Zoomorfik	III. Endüstri Çağı	Armadilodan esinlenerek tasarlanan yapının kademeleri lineer form basit düz for,m olmaktan çıkıp yapının bütününde hareketli ve heykelsi bir forma kavuşmasını sağlamıştır.
Fotoğraf (URL- 48, 2022)					

Tablo 4.11’de biyometik bilgileri verilen yapı için, tasarımcı Foster, doğadaki organik şekillerden esinlenerek tasarım fikrini oluşturmaktadır. Sec Armadillo da bunlardan biridir. Armadillo kabuğu oldukça sert ve bu yüzden esnek olmayan, kabuk yapısı birbiri içine girerek hareket edebilen bir canlıdır. Foster’ın esin kaynağı olan bu hayvanın dış kabuk formunu, yapıya form olarak yansıttığı görülmektedir (Yılmaz, 2006). Yapıya dış cepheden bakıldığında lineer doğrultuda, iki tarafa doğru eğrisel kademelendirmeler mevcuttur. Bu da armadillonun dış kabuğundaki birbiri içine giren sistemin strüktür sistemine yansımasıdır (Şekil 4.8). Armadillo isimli hayvandan esinlenilerek tasarlanan yapı biyometik açıdan incelendiğinde biçim itibariyle biyomimikrinin organizma düzeyinde ele alınmaktadır. Hayvansal öykünmenin tasarımın konusu olması ise biyometik olarak, zoomorfik tasarım yaklaşımıdır.



Şekil 4.8. Sec Armadillo Zoomorfik cephe (URL- 49, 2023)

Tablo 4.12. Sec Armadillo hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (Crowe vd., 1998)	İskelet	Çelik, Betonarme	Birbirine benzer formda iç içe geçmiş olan kemer şeklindeki konstrüksiyon, çelik ile kabuk sistem şeklinde tasarlanarak yapı strüktürünün tek parça halinde ekonomik şekilde tasarlanmasına imkân sağlamıştır. Kabuk kırılma noktalarındaki kirişler ise yapı kabuk sistemine destek sağlayarak sarkmayı engellemektedir.

Tablo 4.12’de strüktürel bilgileri verilen yapının, strüktürel tasarımında iç kısımdaki duvarlardan bazıları betonarme olarak tasarlanmıştır. Ancak yapıya asıl armadillo şeklini veren, kabuk yapısını oluşturan kemerler çelik yapı malzemesi ile tasarlanmıştır. Beton duvarlar çelik strüktürün bağlantı noktalarının da oluşmasını sağlamıştır. Yapının çelik strüktürünün kaplaması ise parlak ve oluklu metal levhalardır (Şekil 4.9-10) (Crowe vd., 1998).



Şekil 4.9. Sec Armadillo inşaatı strüktürel detaylar (Crowe vd., 1998)



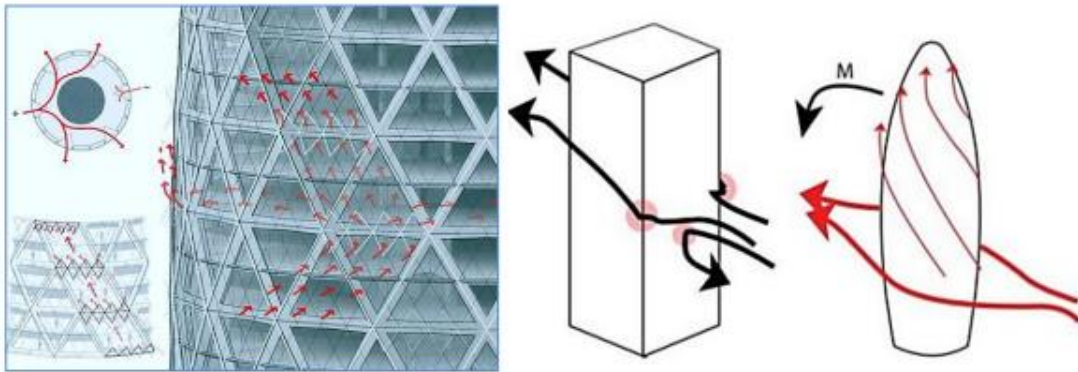
Şekil 4.10. Sec Armadillo inşaatı fotoğrafı (Crowe vd., 1998)

4.1.5. The Gherkin (30 St Mary Axe)

Tablo 4.13. The Gherkin Binası hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	İngiltere- Londra	2004	Norman Foster + Ken Shuttleworth	13.000 m ²	Ofis binası ve ticari
Fotoğraf (URL- 50, 2022)					

İngiltere'nin Londra şehrinde, Norman Foster+ Ken Shuttleworth tarafından tasarlanan yapının inşası 2004 yılında tamamlanmıştır. Mağaza, kafe ve ofis binaları ile toplam 64.469m² inşaat alanına sahiptir (Tablo 4.13). Londra'nın ilk ekolojik binası olan yapı aynı zamanda kentinin ikonik bir parçası haline gelmiştir. Bina radyal bir geometriye sahip planlardan oluşmuştur. Bina zeminden yukarıya doğru ilerledikçe genişler ve belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra yukarıya doğru daralarak devam eder. Binanın bu tasarımı; dikdörtgen bir kütleye göre binayı daha zarif gösterir ve zemindeki daralma da sokak silüetinde kamusal alana maksimum alan kazandırır. Binanın bu formda olması, halk dilinde yapının benzerliğinden dolayı The Gherkin (Kornişon) olarak adlandırılmasına neden olmuştur. Yapının bu formu rüzgâr etkisinin (basınç, çekme, türbülans) minimize edilmesini sağlamaktadır (Şekil 4.11) (Nkandu ve Alibaba, 2018)

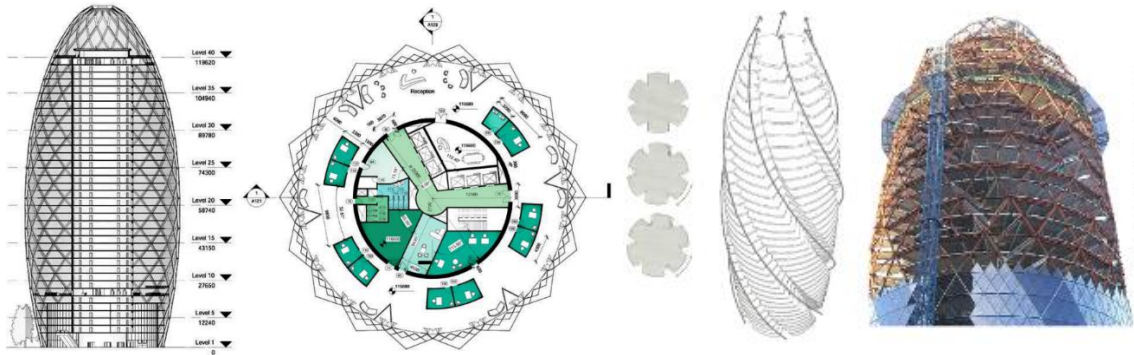


Şekil 4.11. The Gherkin bina formuna ilişkin rüzgâr diyagramı (Ercan, 2018)

Tablo 4.15. The Gherkin Binası hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	Çelik çekirdek + diagrid	Çelik	Yapının dışında yer alan diagonal çelik yapının geometrisinin üçgen olması yapının güçlü bir strüktüre sahip olmasını ve yapının kabuk gibi tek parça olarak çalışmasını sağlamaktadır. Bu yapı iç mekânda kolonsuz çözüm üretilmesine imkân sağlanmaktadır.
Fotoğraf (URL-50, 2022)			

Tablo 4.15'te strüktürel bilgileri verilen binanın strüktür yapısı, venüs çiçek sepeti canlısının kafes sisteminden etkilenecek tasarlanmıştır. Bina merkezinde yer alan 30 m çapındaki çelik çekirdek ve cephedeki çelik diagrid sistem bina strüktürünü oluşturmaktadır. Çelik ve çekirdek arasında I profil döşeme kirişleri yer almaktadır. Kat planları yangın dayanımı için 5 parçaya bölünmüştür. Binanın her katında döşemelerde 5 derecelik bir burulma vardır. Binanın çift cidarlı cephesi vardır bu da ısıtma, soğutma ve havalandırma açısından binayı ekolojik kılar. Dış cephede üçgen giydirme cephe, iç mekânda ise cam kayar kapılar mevcuttur (Nkandu ve Alibaba, 2018) (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Binanın dış cephe formu ve merkezi çelik taşıyıcı sistemi ile tipik kat planı (Nkandu ve Alibaba, 2018; Yılmaz, 2018)

4.1.6. Pekin Ulusal Stadyumu

Tablo 4.16. Pekin Ulusal Stadyumu hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğ u Şehir	Yapı m Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Çin-Pekin	2008	Herzog & De Meuron	258.000 m ²	Stadyum
Fotoğraf (URL- 51, 2022)					

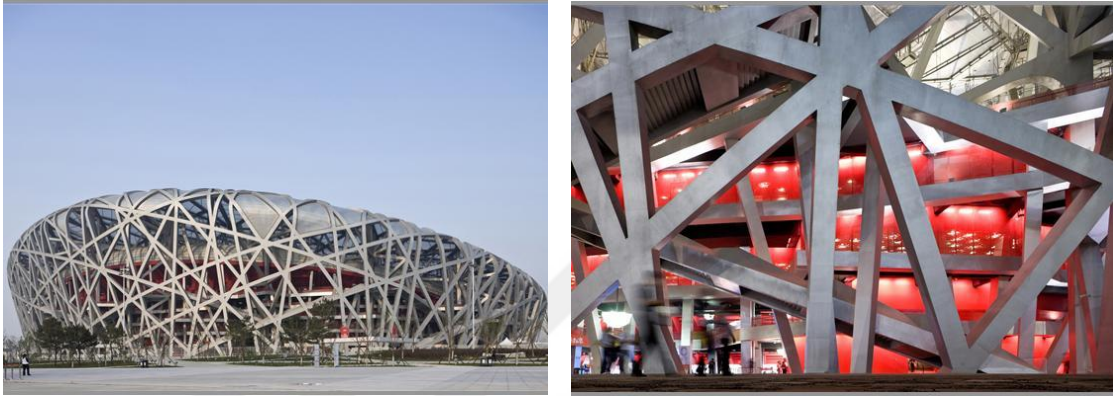
Çin'in Pekin şehrinde, 2008 Pekin Olimpiyatları için Herzog & De Meuron tarafından tasarlanan yapı 2008 yılında tamamlanmıştır. Günümüzde daha çok turizm amaçlı kullanılmaktadır. Brüt taban alanı 258.000 m² olan stadyumun kullanılabilir alanı 204.000 m²'dir (Tablo 4.16). Pekin Olimpiyatları için ünlü mimarlar arasında yapılan yarışmada birincilik almıştır. Yapının tasarım aşamasında göz merceği gibi açılır kapanır sistem planlanmıştır, ancak maliyetlerin yüksek olması açılır kapanır olma fikrinin iptaline neden olmuştur (URL-51, 2022).

Tablo 4.17. Pekin Ulusal Stadyumu hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Kuş yuvası	Ekosistem (biçim)	Organizmanın yaşam ortamlarına dayalı biçimlenme	III. Endüstri Çağı	Kuş yuvalarının karmaşık ama güçlü yapım tekniklerinden faydalanılarak tek parça kabuk tasarlanmıştır.
Fotoğraf (URL-52, 2022)					

Tablo 4.17'de biyomimetik bilgileri verilen yapı için, Herzog & De Meuron'nun tasarım fikri kuş yuvaları olmuştur. Kuşların yuvalarını yaparken kullandıkları ağaç

dallarının rastgele gibi görünen ancak mükemmel şekilde kenetlenerek oluşturdukları strüktürden ilham alınan yapı, kuş yuvasındaki gibi birbirini destekleyerek bir bütün oluşturmaktadır. Yapı aynı zamanda ‘Kuş Yuvası’ olarak da anılmaktadır (Şekil 4.14) (Kuday, 2009). Sistem bu haliyle canlının yaşam alanını taklit etmesinden dolayı biyomimikrinin ekosistem düzeyi ve organizmanın yaşam ortamlarına dayalı biçimlenme olarak ele alınabilir.



Şekil 4.14. Pekin Ulusal Stadyumu bina fotoğrafı ve cephe detay fotoğrafı (URL-53, 2022)

Tablo 4.18. Pekin Ulusal Stadyumu hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (URL-53, 2022)	Kabuk	Çelik	Yapının karmaşık ve rastgele görünen ancak belirli hesaplarla tasarlanan çelik dış kabuğu, dış cephe ve çatı sisteminin tek parça halinde çalışmasına olanak sağlamaktadır.

Tablo 4.18’de strüktürel bilgileri verilen stadyum binası, 330 m uzunluk, 220 m genişlik ve 69 m yüksekliğe sahiptir. Yapı strüktürünü ve cephe tasarımını sağlayan yapı malzemesi çeliktir. Yapı sismik depremlere dayanımı yüksek olacak şekilde tasarlanmıştır. Binada estetik görünümle birlikte çeliğin malzeme olarak kullanım olasılıkları göz önüne çıkmaktadır. Farklı eğri ve geometrilerde, hassas hesaplamalar sonucu oluşturulmuş tek

parça bir strüktürdür. Yapım aşamasında 44.000 tonu aşan çelik malzeme kullanılmıştır. Yapıda çimler için güneş ışığına izin veren ancak yağmurlu havalarda yağmura engel olan ve aynı zamanda ses yalıtımı sağlayan yarı saydam membran ve ETFE malzeme kullanılmıştır (Şekil 4.15) (Mehta vd. 2019).



Şekil 4.15. Pekin Ulusal Stadyumu strüktür diyagramı ve cephe detay fotoğrafı (URL-54, 2022; Mehta vd., 2019)

4.1.7. Gardens By the Bay- Supertrees

Tablo 4.19. Gardens By the Bay hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Singapur	2012	Wilkinson Eyre Architects + Grant Landscape Architects	-	Park-Şehir Bahçesi
Fotoğraf (Sekkappan, 2021)					

Şehir devleti olan Singapur'da (Singapur Marinası), Wilkinson Eyre Architects + Grant Landscape Architects iş birliği ile 2012 yılında yapılmış, dünya çapındaki en büyük iklim kontrolü projelerinden biridir (Tablo 4.19). Dünyanın en önemli tropik bahçe

konseptindeki proje alanında Bay South, Bay East ve Bay Central olmak üzere üç bahçe konsepti vardır. Proje bahçe konseptindeki parklar, etkinlik alanları ve restoranları barındırmaktadır. Bahçe konseptinde ise yatay ve dikey yeşil alanlar yer almaktadır.

Bay East Garden; İki adet yaprak şeklinde sera ve özel peyzaj elemanlarından oluşmaktadır.

Bay Central Garden; Bay East ve Bay South bölümlerini birbirine bağlayan, şehir manzarasının görüldüğü rekreasyon alanlarını barındıran kısımdır.

Bay South Garden; Üç bahçenin ilki ve en büyük olanıdır. 101 hektarlık ıslah edilmiş alanda yer almaktadır (Şekil 4.16) (Doğan, 2021).



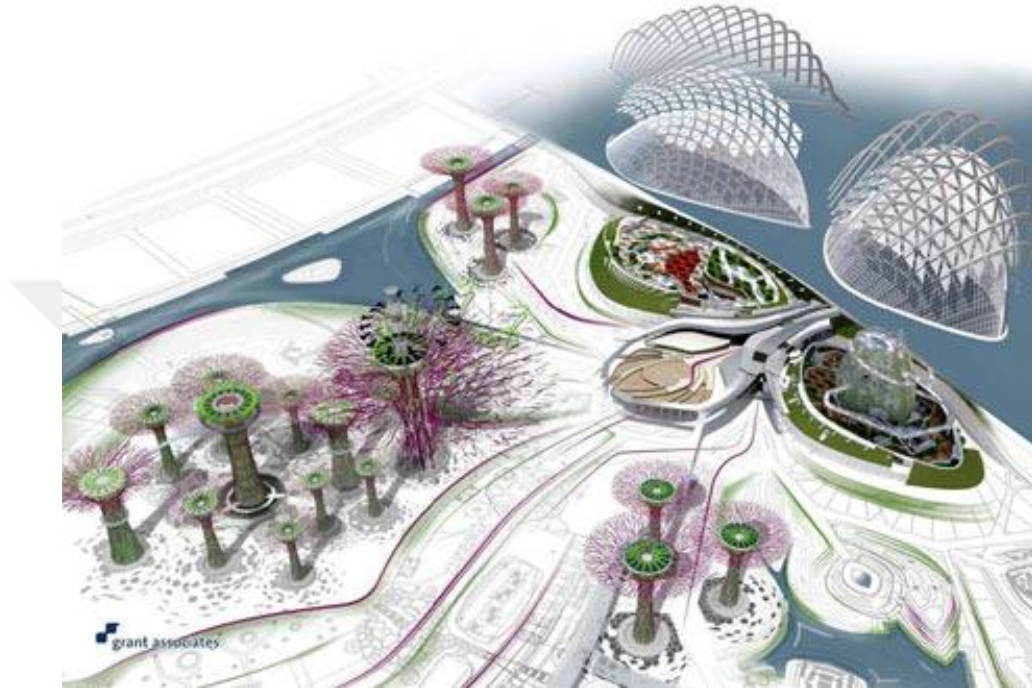
Şekil 4.16. Gardens By The Bay (1) ve Bay South Garden (2) vaziyet (Er ve Gee, 2012; Doğan, 2021)

Tablo 4.20. Gardens By the Bay hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
 Fotoğraf (URL-55, 2022)	Karri ağacı	Organizma (biçim), Davranış (İşlev)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Dikey ekosistem alanları sağlanarak dünya çapında önemli bir peyzaj ve yapı tasarımı yapılmıştır.

Tablo 4.20’de biyomimetik bilgileri verilen Gardens By The Bay peyzajında Bay South Garden’da bitkilerin ekosistemdeki yeri ve işlevi sergilenmektedir. Bay South

Garden’da bulunan kapalı 2 adet dev biyom yer almaktadır. Bunlardan bir tanesi çiçek kubbesi, diğeri bulut ormanı kubbesidir. Bu dev cam binaların içinde Akdeniz iklimi ve Tropik iklimden bitkiler yer almaktadır. Bunun dışında geniş kapsamlı peyzaj alanında boyları 30 m ile 50 m arasında değişen 20 adet Süper Ağaç strüktürleri vardır. Aynı zamanda bu ağaçları birbirine bağlayan köprü strüktürü yer almaktadır (Şekil 4.17) (Er ve Gee, 2012).

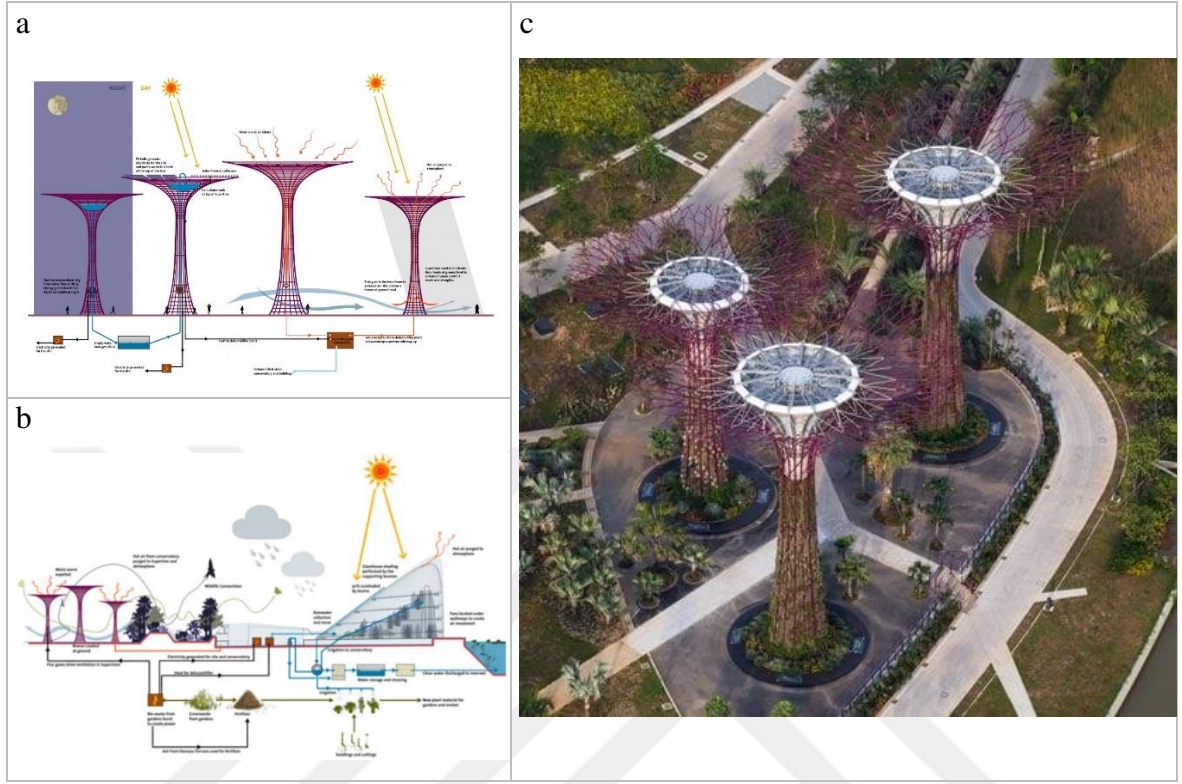


Şekil 4.17. Supertrees peyzaj yerleşimi üç boyutlu görseli (URL-56, 2022)

Süper Ağaçlar’ın baş tasarımcısı Andrew Grant, Devlar Vadisi’ni gezerken görmüş olduğu karri ağaçlarından ilham almıştır. Ağaç formu, gövde ve gövdeden çıkan dalların doğrudan tasarıma uyarlanması ile biyomimikrinin fitomorfik yaklaşım ve organizma düzeyi olarak değerlendirilebilir. Ağaç formundaki strüktürlerin farklı yüksekliklerde tasarımı, sayı olarak yoğunluğu ve dalların oluşturduğu kanopiler parkta orman havası yaratmış ve aynı zamanda gölgelik alanlar oluşturmuştur. Bu ağaçlar aynı zamanda yükseklikleri boyunca dikey bahçe alanları oluşturmaktadır (Yager, 2014).

Ağaçlarda, Supertrees strüktürünün aydınlatılmasında kullanılmak üzere, güneş ışığını elektriğe dönüştürmek üzere fotovoltaiik paneller yer almaktadır. Ayrıca ağaç formundaki yapılarda kullanılan sistem sayesinde kış bahçelerinde soğutmak ve sulamada kullanılmak üzere yağmur suları biriktirilmektedir. Bu sistem, biyokütle egzozunu yönlendirerek dünyanın dört bir yanından gelen bitkiler için iklim kontrolü sağlayan bir sistem oluşturmaktadır. Ağaç strüktürünün Güneş ışığı ve yağmur suyunu kullanması ve

iklim kontrolü sağlamasındaki rolü düşünüldüğünde ise biyomimikrinin fitomorfik düzeyinin davranış aşaması olarak değerlendirilebilir (Şekil 4.18) (Yager, 2014).



Şekil 4.18. (a)Supertrees gece-gündüz diyagramı, (b) güneş ışığı ve yağmur suyu kullanım diyagramı ve (c) ağaç strüktürlerin üst görünümü (Er ve Gee, 2012; URL-56, 2022)

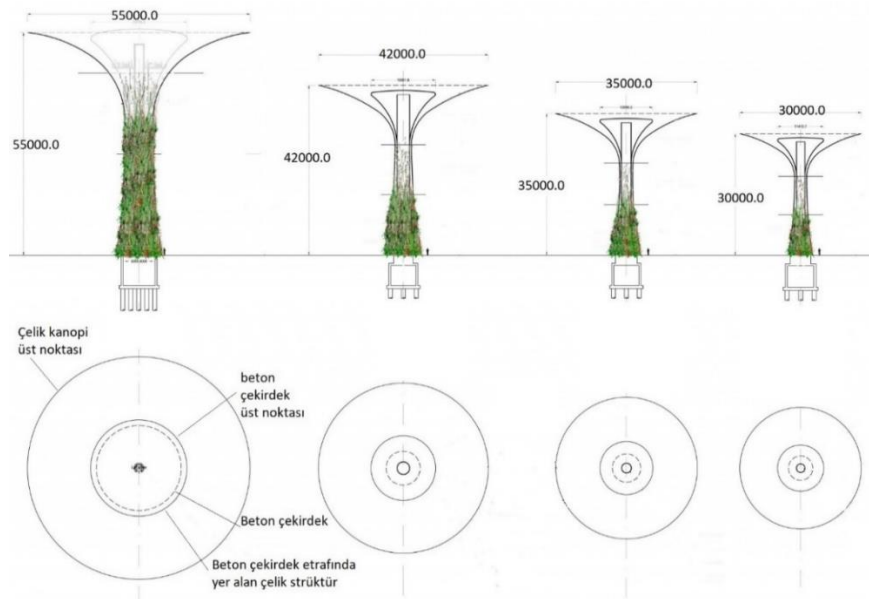
Tablo 4.21. Gardens By the Bay hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (URL-57, 2022)	Beton çekirdek + Çelik strüktür	Çelik+ betonarme	Ağaç formundaki yapının betonarme olarak yükselerek tepede genişleyen kısmı güneş ve yağmuru kullanmak için olanak sağlarken, çelik strüktürü ise dikey bahçe için olanak vermekte ve konopiler oluşturmaktadır.

Tablo 4.21’de strüktürel bilgileri verilen Supertrees, çelik ve betonun birleşiminden oluşmuş strüktürlerdir. Gövdeyi oluşturan betonarme çekirdek ve bu çekirdeğin tepesinde kafa kısmını oluşturan düz kısım vardır. Bu beton çekirdeği çevreleyen, beton çekirdeğin görünür kılındığı dikey çelik strüktürler beton blok boyunca yükselmekte ve kafa kısmında ağaç dalları şeklinde kanopi olarak açılmaktadır. Düz kısımda güneş panelleri için ideal açı sağlanmıştır. Ağaçlar arasında yerden 22 m yükseklikteki tel kablolardan oluşturulmuş halatlarla ağaçlara bağlanmış, çelik kirişlerle desteklenen yürüyüş yolu yer almaktadır. En büyük süper ağaç tepesinde restoran yer almaktadır (Şekil 4.19-20) (Nasir ve Kamal, 2022).



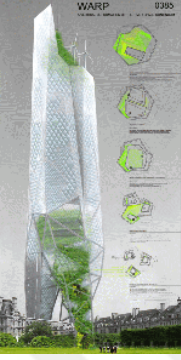
Şekil 4.19. Supertrees (URL-56, 2022; URL-53, 2022)



Şekil 4.20. Dört farklı büyüklükteki ağaç strüktürlerinin çekirdek-temel ve çelik dış kaplama ve dikey bahçe diyagramı (URL-56, 2022)

4.1.8. Warp Skyscraper

Tablo 4.22. Warp Skyscraper hakkında genel bilgiler

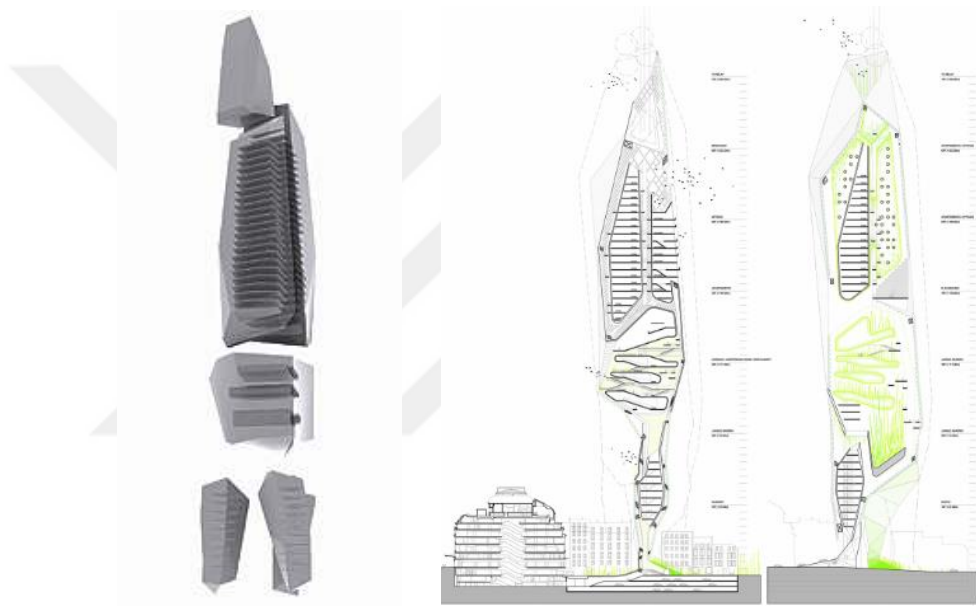
Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Fransa	- (Fikir Projesi)	Nenand Basic + Keeyong Lee	-	Kompleks
Fotoğraf (URL-58, 2022)					

Fransa'nın başkenti Paris'te, 2007 yılında, eVolo Gökdelen Yarışması'nda mansiyon ödülü almış olan bir fikir projesidir. Tasarımcı mimarlar, Bosna Hersek'ten Nenand Basic ile Güney Kore'den Keeyong Lee'dir (Tablo 4.22). Proje tasarımında ele alınan veri Paris kentindeki insan yoğunluğu olmuştur. Şehrin sahip olduğu tarihi doku ve insan yoğunluğundan dolayı binanın zeminle temas yüzey alanının minimum düzeyde olması tasarım hedefidir (İnner, 2019).

Tablo 4.23. Warp Skyscraper hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması				
Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
İnsan Anatomisi	Organizma (biçim)	Antropomorfik	III. Endüstri Çağı	Fikir Projesi olan yapının sürdürülebilirlik kapsamında minimum toprakla temas yüzeyi sağlanmıştır.

Tablo 4.23'te biyomimetik bilgileri verilen yapı tasarımında, tasarımcı mimarlar anatomiye kullanmayı tercih etmişlerdir. Bina tasarımının temelinde yer alan minimum zemin temas alanını, insan vücudundaki ayaklardan ilham almıştır. Bina bir bütün olarak ince ayakların devasa bir vücudu taşıdığı bir insan anatomisini anımsatmaktadır. Bina aynı zamanda insan vücudundaki farklı birimlerin işleyişi gibi, farklı işlevleri ve mekân tipolojilerinin yer aldığı farklı çekirdekleri barındırmaktadır (URL-54, 2022). Binanın kesitine bakıldığında ise yine insan anatomik yapısına benzer karmaşıklıklar görülmektedir. Yapı insan anatomisinin doğrudan taklit edilmesiyle Organizma Düzeyi ve Antropomorfik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4.21).

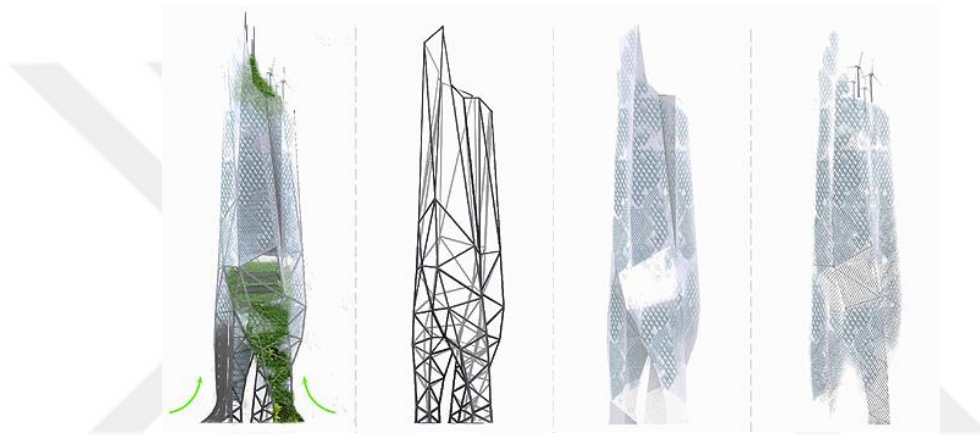


Şekil 4.21. Yapının insan anatomisinden yola çıkılarak tasarlanmış bölümlerini gösteren diyagram (1) ve yapı kesiti ile kesitleri (2,3) (URL-58, 2022)

Tablo 4.24. Warp Skyscraper hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler		
Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
İskelet	Çelik	Bina strüktür tasarımında parametrik veriler kullanılarak tasarım yapılmıştır. Yapının çelik taşıyıcı geometrisinin üçgen olması, iki ayak üzerinde duran yapının strüktürel sistem tasarımının güçlenmesinde ve tek parça halinde çalışmasında etkili olmuştur.

Tablo 4.24’te strüktürel bilgileri verilen binanın, kendi içerisinde yükselen üç bağımsız bölümünü oluşturan yapı elamanları çelik taşıyıcılardır. Yapıda yer alan farklı bölümlerde işlev olarak yatay şehrin sağladığı imkanlar dikey olarak tasarlanmaya çalışılmıştır. Yapının dış cephe tasarımında kuvvetli rüzgarlardan koruyan ancak hava ve yağmurun binada tasarlanan yeşil alanlar için geçmesine izin veren ETFE malzemesi kullanılmıştır. Bina strüktürü ve cephe kaplamasında parametrik tasarım uygulanmıştır. Aynı zamanda binanın üstünde enerji sağlayan küçük ölçekli rüzgâr türbinleri yer almaktadır (İnner, 2019; URL-58, 2022) (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Yapı konsepti (1) Yapı strüktürü (2) Yapı cephesi (3) Yapı enerji üretimi (4)
(URL-58, 2022)

4.1.9. Los Manantiales Restaurant

Tablo 4.25. Los Manantiales Restaurant hakkında genel bilgiler

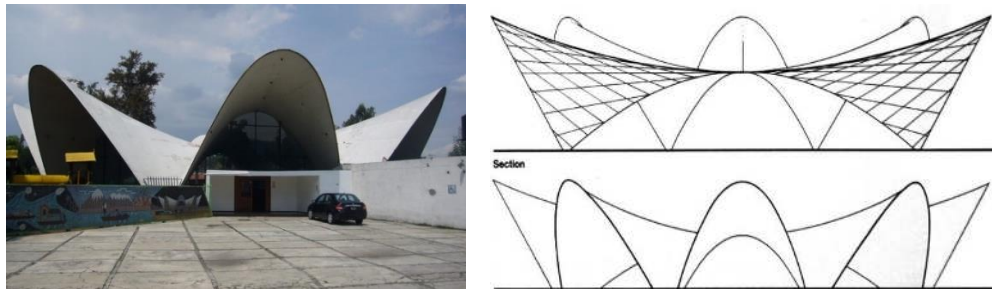
Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğ u Şehir	Yapı m Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Mexiko City, Meksika	1958	Felix Candela	-	Restoran
Fotoğraf (Miller, 2014)					

Meksika, Mexico City'nin güney bölgesinde yer alan iş mahallesi olan Xochimillo'da 1958 yılında mimar Felix Candela tarafından tasarlanmış, deneysel kabuk projesidir (Tablo 4.25). İlk başta farklı bir yer ve müşteri için tasarlanan yapı daha sonra Xochimillo bölgesinde bir kanal yanında restoran olarak inşa edilmiştir (Miller, 2014).

Tablo 4.26. Los Manantiales Restaurant hakkında biyomimetik bilgiler

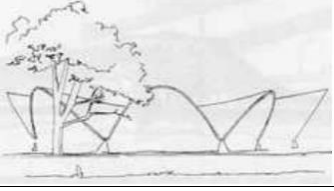
Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	İstiridye Kabuğu	Organizma (biçim)	Zoomorfik	III. Endüstri Çağı	İstiridye kabuklarından yola çıkılarak oluşturulan form, mimari tasarım ve mühendislik açısından önemli bir yere sahip olmuştur.
Fotoğraf (Oliveira ve Pires 2021)					

Tablo 4.26'da biyomimetik bilgileri verilen binanın tasarımında, mimarın öğrencilik yıllarından itibaren merak saldığı kabuk yapıları doğadan örnek olabilecek istiridye kabukları ilham kaynağı olmuştur. İstiridye kabuklarının ters eğrilikli yapısı, merkez etrafında döndürülerek yerleştirilmiş tonozlar olarak görülmektedir. Biyomimetik açıdan yumuşakça kabuklarından etkilenmesiyle Zoomorfik yaklaşım olarak değerlendirilen yapı, benzetime konu olan canlının dış kabuğunu kullanmasıyla da organizma düzeyi olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.23) (Tuğrul Okbaz ve Savaşır, 2012).

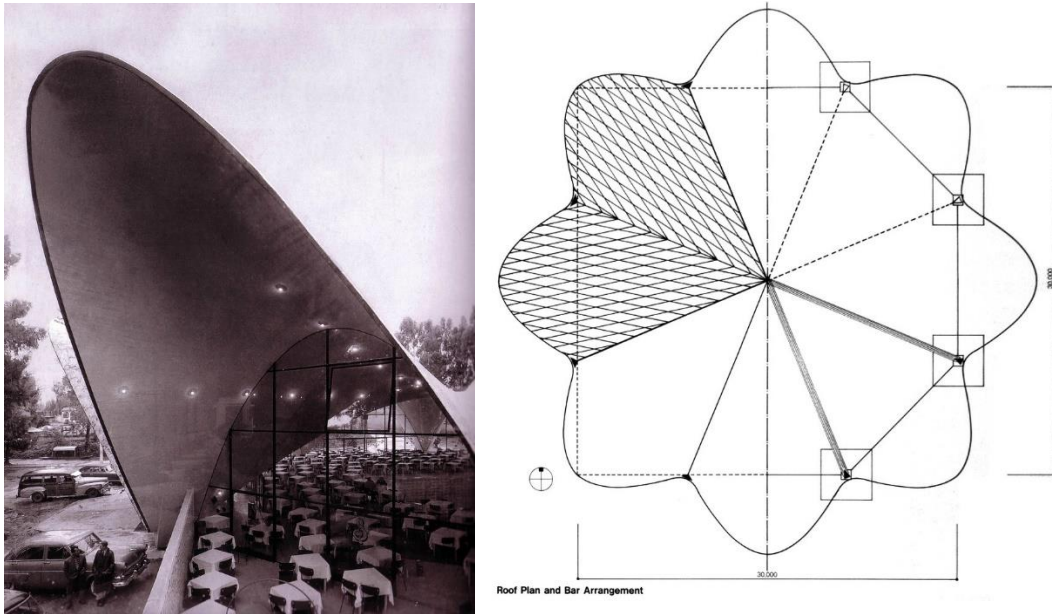


Şekil 4.23. Los Manantiales Restaurant Yapı kabuğunu gösteren fotoğraf (1) ve Yapı sistemini anlatan kesit ve görünüş (2) (Miller, 2014)

Tablo 4.27. Los Manantiales Restaurant hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	Kabuk Sistem	Betonarme	Kabuk sistem olarak tek parça halinde cephe ve çatı olarak tasarlanan yapı, oldukça ince ve hafif bir strüktüre sahiptir.
Fotoğraf (Oliveira ve Pires 2021)			

Tablo 4.27’de strüktürel bilgileri verilen bina, 30 m çap, iki komşu ayak arası 12,4 m mesafeye sahip betonarme kabuk yapıdır. Mimar bu yapıyı tasarımları arasında en önemli olarak nitelendirmektedir. İstiridye kabuğundaki birbirine dik iki eksen üzerindeki ters eğrilikler yapıda görülmektedir. Yapıda çatı ve cephe kavramı bir bütünlük oluşturmuş, yapının tek parça halindeki betonarme kabuğu ise geometrik şeklinden dolayı olabildiğince ince ve hafif tasarlanmıştır. Yapının panoramik tasarımı mimari açıdan manzara ve biçim uyumluluğunu sağlarken, strüktürel tasarım ise çok noktadan mesnetlenmiş geniş açıklıklı kabuk ile mimari bütünlüğü sağlamıştır (Şekil 4.24) (Akyürek vd., 2021).



Şekil 4.24. Betonarme kabuk detay fotoğrafı (1) yapı kabuğu ve mesnet noktaları plan (2) (Miller, 2014)

4.1.10. The Metropol Parasol

Tablo 4.28. The Metropol Parasol hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	İspanya-Sevilla	2011	J. Mayer H. Architects	18.000 m ²	Karma Kullanım (Çiftçi pazarı, gözlemevi, arkeoloji müzesi, bar, restoran yürüyüş yolları)
Fotoğraf (URL-59, 2023)					

The Metropol Parasol yapısı, İspanya Sevilla kentinde eskiden otopark kullanımına ev sahipliği yapan Plaza de la Encarnación'un yeniden geliştirilmesi ve işlev kazandırılmasına yönelik, J. Mayer H. Architects tarafından tasarlanan karma kullanımlı binadır (Tablo 4.28). Yapı Orta Çağ kenti olan Sevilla'nın kültürel bir merkez haline gelmesini sağlamıştır. Yapı içerisinde çiftçi pazarları, gözlemevi, arkeoloji müzesi, bar, restoran ve kent manzarasının seyredilebileceği yürüyüş yolları mevcuttur (Şekil 4.25) (URL-60, 2023).



Şekil 4.25. The Metropol Parasol binası meydan görünüşü (URL-60, 2023)

Tablo 4.29. The Metropol Parasol hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Mantarın formu ve hif yapısı	Organizma Düzeyi (biçim), Davranış Düzeyi (süreç)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Yapı bütünlüğünün sağlanması mantar hifleri benzeri ahşap bileşenler ile sağlanırken, estetik olarak tek parça halindeki yapının katı görünümüne engel olmaktadır.
Fotoğraf (URL-61, 2023)					

Tablo 4.29’da biyomimetik bilgileri verilen yapının tasarımında tasarımcı mimar, mantarın doğal ve organik bir şekilde büyümesini ve doğal formundan etkilenecek dünyanın en büyük ahşap yapılarından birini tasarlamıştır (URL-59, 2023). Mantarın formunun ve hif yapısının tasarıma uyarlanmasıyla organizma düzeyinin biçim olarak yansması ve büyüme sürecinden referans alınmasıyla ise davranış düzeyinin süreç olarak yansması biyomimetik düzey olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda mantar olmasıyla da fitomorfik yaklaşımdır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. The Metropol Parasol yapısının mantar gövdesi hiflerine benzeyen taşıyıcı ve üst örtüsü (URL-60, 2023)

Tablo 4.30. The Metropol Parasol hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	Betonarme, Kabuk sistem	Beton çekirdek, Mikro Lamine Ahşap, Çelik Konektör	Kabuk sistem kullanılarak lamine ahşap malzeme ile geniş açıklıklar geçilmiş ve betonarme çekirdekler ile binanın toprak ile temas ettiği yüzey sayısı azaltılmıştır.
Fotoğraf (URL-60, 2023)			

Tablo 4.30’da strüktürel bilgileri verilen yapının taşıyıcı sisteminde ayak sayısının azaltılması, kentin tarih dokusu içerisinde yapısal müdahalenin az olması amacıyla olmuştur. Yapı tasarımında kullanılan malzeme tercihinde kentin sıcaklığı etkili olmuş, genleşme ve büzülmenin etkileri en aza indirilmek istenmiştir. Lamine ahşapların ve çelik konektörlerin (bağlayıcı) birleşimiyle oluşturulan kabuk sistem, yapı strüktürü ve dış ve iç cephe malzemesini oluşturmuştur. Özel olarak üretilmiş olan yapıştırıcının çelik ve ahşabın birleştiği noktalarda sertleşmesiyle, ahşap levha ve çelik konektörler birbirine bağlanmaktadır. Bu şekilde The Metropol Parasol, yapıştırıcı kullanılarak yapılan yapıların en büyüğü ünvanına sahip olmuştur (URL-62, 2023).

Yapı iki betonarme çekirdek ile birlikte toplamda 6 adet yükselen mantar şekilli yapının bir bütün oluşturmasıyla meydana gelmiştir. Betonarme çekirdekler aynı zamanda birleşerek betonarme bir plak da oluşturmuştur. Bunun yanında betonarme çekirdekler gibi geniş çapta olan ahşap sütunlar yine çelik bağlayıcılar ile birleşerek dikey taşıyıcı sistemi ahşap kabuk yapısına dönüştürerek bütüncül bir yapı oluşturmuştur (Şekil 4.27-28) (URL-62, 2023).



Şekil 4.27. The Metropol Parasol betonarme çekirdek ve ahşap taşıyıcı inşası (URL-63, 2023)



Şekil 4.28. The Metropol Parasol ahşap birleşim detayları (URL-64, 2023)

4.1.11. La Sagrada Familia

Tablo 4.31. La Sagrada Familia hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	İspanya, Barcelona	1982- ...	Antoni Gaudi	4.500 m ² (taban oturumu)	Katedral
Fotoğraf (URL-65, 2023)					

La Sagrada Familia Katedrali'nin inşasına 1882 yılında İspanya-Barselona'da başlanmıştır. Gotik tarzda, yeniden uyanış fikriyle Francisco de Paula del Villar ile başlayan

binanın inşası, yaşanan birtakım sebepler dolayısıyla Antoni Gaudi'ye devredilmiştir. Yapımı tamamıyla bağış paralarıyla finanse edilen yapının inşası ise günümüzde hala devam etmekte olup bölüm bölüm tamamlanmaktadır. Antoni Gaudi ise binanın yapım aşamasında geçirmiş olduğu kaza sebebiyle hayatını kaybetmiştir. Yapı her bir noktasında ayrı detayları ve atıfları bulunduran devasa heykel niteliğindedir. Yapının yapım aşamasında mimarın ölümü, ülkedeki iç karışıklıklar sebebiyle olması gereken hız ve süreçte yapımına devam edilememiş ve bunun yanında Gaudi'nin orijinal çizimleri hasar görmüştür. Bu sebeple yapı devam ederken Gaudi'nin tasarım yöntemi ele alınarak tamamlanmaya çalışılmaktadır (Bilmen, 2019).

Tablo 4.32. La Sagrada Familia hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
  Fotoğraf 1-2 (URL-66, 2023, URL-65, 2023)	Ağaç formu ve ağaç yapısal özellikleri, insan temsili	Organizma Düzeyi (biçim), Ekosistem Düzeyi (Biçim)	Fitomorfik, Antropomorfik	II. Endüstri Çağı	Yapıdaki sütunların yoğunluğu orman havası yaratmış, bina içerisindeki devasa elemanların estetikliğini sağlamıştır.

Gaudi için Yaratıcı'yı onurlandırmanın en iyi yolu doğadan türetilen tasarımlardır. Bu sebeple Tablo 4.32'de biyomimetik bilgileri verilen katedral binasında doğadan öykünme sıklıkla görülmektedir. Cephe tasarımında İsa'nın doğumu, yaşamı ve ölümünü soyutlanmıştır. Yapı bütününde 18 adet kule yer almaktadır ve her bir kule anlam taşımaktadır. Ortada İsa ve Mesih'i temsil eden kulelerin etrafındaki 4 adet kule, 4 müjdeciyi göstermektedir. Bir yıldızla taçlandırılmış olan apsisin üzerindeki kule ise Meryem Ana'yı temsil etmektedir. Geriye kalan 12 kule ise 12 havariyi temsil etmektedir (Şekil 4.29) (Salur, 2023). Dış cephede kullanılan betimlemeler insanı tasvir eden ve benzetim olarak kişinin temsilcisi olduğundan Antropomorfik bir yaklaşım ve biyomimikrinin organizma düzeyi olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.29. La Sagrada Familia devam eden inşa faaliyetleriyle birlikte kuleleri
(URL-67, 2023)

Bina dış cephesinde birçok heykelin olduğu görülmektedir. Binanın dört farklı cephesine işlenen ve dört farklı anlamı barındıran bu kavramlar “Doğum” “Çile” “Zafer” ve “Cennet” tasviri yapılmaktadır. Bu tasvirler yine insan heykelleri üzerinden yapılmıştır (URL-68, 2023). Bu sebepten yine Antropomorfik bir yaklaşım görülmektedir. Aynı zamanda bina dış cephesinde yer alan sütunların yine ağaç gövdesine benzediği görülmektedir (Şekil 4.30). Dış cephede yer alan bu kolonlarda biyomimikrinin organizma düzeyi ve Fitomorfik yaklaşım söz konusudur.



Şekil 4.30. La Sagrada Familia dış cephesinde kullanılan antropomorfik ve fitomorfik örnekler (URL-67, 2023; URL-68, 2023)

Bina içerisinde en dikkat çeken unsurlar nefte yer alan sütunların formudur. Bu sütunlar ağaç gövdesi ve dallarıyla tonoz ve çatıya destek sağlamaktadır. Bu sütunların tasarımında ağacın doğal ağırlık dağılımı referans alınmıştır. Sütunlarda ağaçların budak kısımlarıyla benzer şekilde tasarımsal öğeler dikkat çekmektedir. Sütunların ağaç budaklarından referansla tasarlanan bu kısımlarında aydınlatma elemanlarının yerleştiği görülmektedir. Aynı zamanda pencere ve tonozlardaki geometrik şekiller sayesinde içeriye giren ışık bir orman havası yaratmaktadır (URL-66, 2023). Binada ağacın genel formu ve noktasal şekillerin binaya uyarlanmasıyla biyomimikrinin organizma düzeyi, yaratılan orman havası ise ekosistem düzeyi olarak değerlendirilmektedir. Aynı şekilde tasarımın ana unsurunun ağaç olmasıyla da fitomorfik bir öykünmeden söz edilebilir (Şekil 4.31).



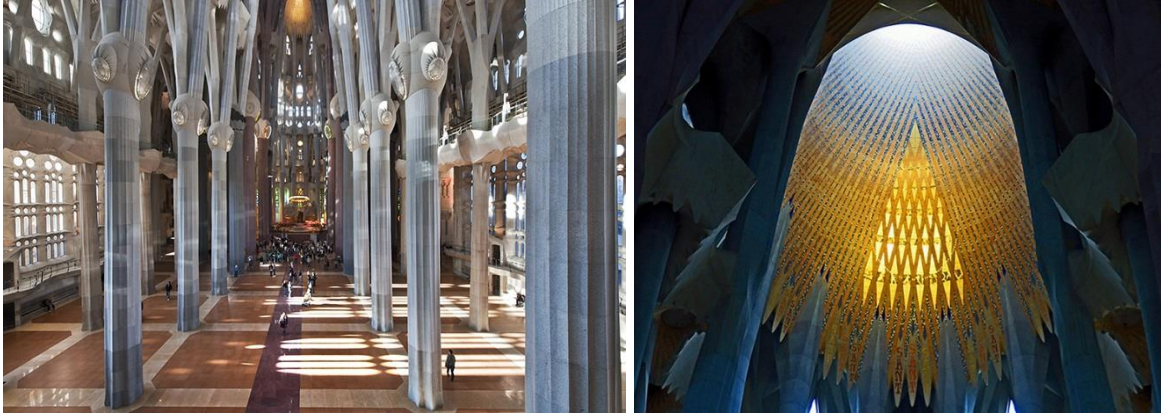
Şekil 4.31. La Sagrada Familia iç mekân ağaç görünümlü sütunlar ile ormandaki ışık süzülmesinin tasvir edildiği iç mekân görselleri (URL-69, 2023)

Tablo 4.33. La Sagrada Familia hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	Geleneksel Sistem (İskelet, Sütun, Tonoz, Kemer)	Doğal taş, Betonarme	Ağaç şeklinde tasarlanmış açılı sütunlar ve hiperboloidal tonozlar sayesinde uçan payandalara olan ihtiyaç ortadan kalkmış ve yatay yükler doğrudan açılı sütunlar ile temele aktarılarak, ağaçtaki gibi yük dengesi sağlanmıştır.
Fotoğraf (Cürgen,2008)			

Tablo 4.33'te strüktürel bilgileri verilen binanın planında, Gaudi daha önceden tasarlanmış olan, gotik katedrallere özgü haç planının devamlılığını sağlasa da bu katedrallerde uygulanan uçan payandaları kullanmak istemeyerek ihtiyacı ortadan kaldırmaya yönelik bir tasarım yapmıştır. Bunun için yükün dış güçler tarafından değil de sütunlar vasıtasıyla aktarılması için, açılı sütunlar ve hiperboloidal tonozlardan oluşan bir sistem geliştirmeyi hedeflemiştir. Ağaç şeklinde tasarlanmış olan açılı sütunlar sayesinde tasarımda payanda ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. Geleneksel bir sütuna ve geleneksel katedrallerdeki dış payandalara oranla daha fazla yük taşıyabilmektedir (URL-66, 2023).

Binada hiperboloidler, parabol, helikoidler ve konoidler gibi üç boyutlu formlar kullanılmıştır. Bu formların kullanılmasıyla yapıda akustik ve ışık performansı artırılmış ve yapının daha ince yapıda olması sağlanmıştır. Yapının alçıdan yapılan 1:10 maketi ile sütun, kemer ve tonozlar için gerekli olan açı belirlenmiştir. Yapının orta nef kısmında boyu 45 m'yi bulan ağaç şeklindeki sütunların, budak kısımlarından itibaren açılı şekilde dallanan kolları vardır. Sütunların kesiti taban kısmından uç kısmına doğru değişmekte ve tabanda çokgen olan sütun kesiti yükseldikçe dairesel olmaktadır. Bu ağaç şeklindeki sütunlardan içeriye doğru giren ışıkla birlikte ormanda yürüme hissi de oluşmaktadır (Şekil 4.32) (URL-70, 2023).



Şekil 4.32. La Sagrada Familia iç mekân ağaç görünümlü sütunlar ve ağaç formundaki sütunlar ile taşınan çinili tonoz (URL-70, 2023)

Binada kullanılan yapı malzemeleri kulelerde kumtaşı, sütunlarda granit ve beton, nefleri inşa edebilmek için beton, pencerelerde farklı türdeki taşlardan oluşmaktadır. Nefler ise polyester ve fiber kalıpların yardımıyla beyaz betondan inşa edilmiştir. Bina geleneksel inşa teknikleri kullanılarak yığma ve iskelet sistemin birlikte kullanıldığı bir yapıdır (Şekil 4.33) (Anonim, 2023).



Şekil 4.33. Sırasıyla kule, sütun ve neflerde beton kullanımı (Anonim, 2023)

4.1.12. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu

Tablo 4.34. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Lyon, France	1994	Santiago Calatrava	5,600 m ²	Tren İstasyonu
Fotoğraf (URL-71, 2023)					

Lyon Havaalanı Tren İstasyonu için 1989 yılında bir yarışma düzenlenmiştir. Yarışma için yapılan çağrıda havaalanına hizmet verecek olan tren istasyonunun, heyecan verici, sembolik bir bölgeye açılan kapı oluştururken yolcu akışının devamlılığının da kesilmemesi önemli bir ölçüt olmuştur. Bu yarışmada yetenekli köprü tasarımcısı olarak bilinen Calatrava'nın ikonik projesi bu özellikleri sağlayan en iyi proje olarak görülmüş ve birinci olmuştur. Bu proje Calatrava'nın uluslararası bir şöhret kazanmasında etkili olmuştur. Bina Fransa'nın Lyon Şehrinde, 1994 yılında tamamlanmıştır (Tablo 4.34). İkonik formu olan yapı mimarlık ve mühendislik alanlarında önemli yapılar arasında yer almaktadır (Şekil 4.34) (Januszkiewicz, 2006).

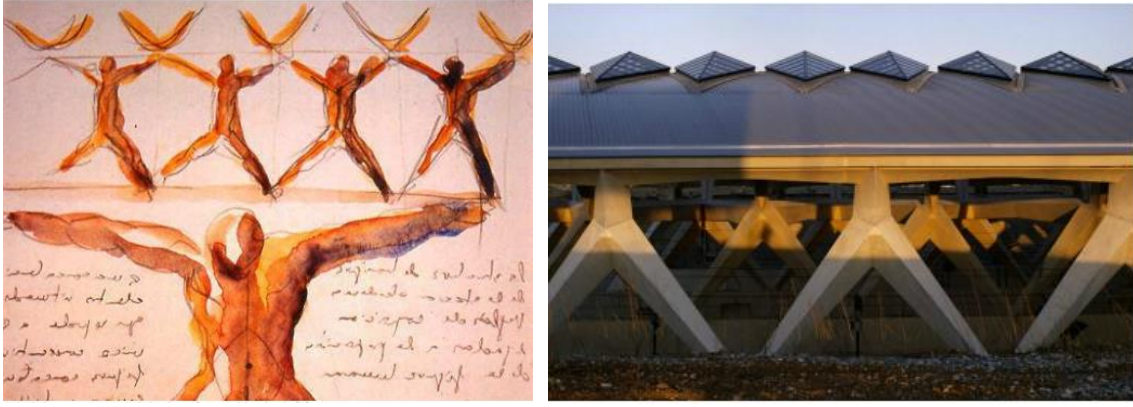


Şekil 4.34. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu (URL-71, 2023)

Tablo 4.35. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu hakkında biyomimetik bilgiler

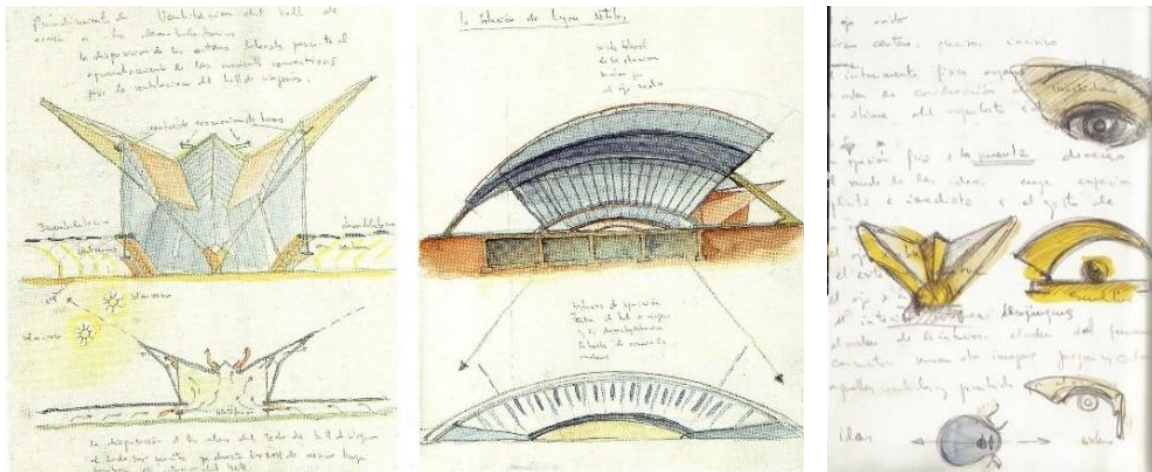
Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	İnsan vücudu formu ve göz yapısı	Organizma Düzeyi (biçim)	Antropomorfik	III. Endüstri Çağı	Taşıyıcı kolonlardaki insan vücudu denge prensibinden yola çıkılarak kolonlar estetik bir görünüm sağlamış ve farklı ışık açıları oluşturmuştur. Ana binadaki sembolik göz ise ikonik bir yapı ortaya çıkarmıştır.
Fotoğraf (URL-72, 2023,)					

Tablo 4.35’te biyomimetik bilgileri verilen binanın tasarımında Calatrava tamamen insan vücudundan yola çıkarak form oluşturmuştur. İnsan vücudunun karmaşık hayati fonksiyonlara sahip yapısal sistemi bina tasarımının ana çıkış noktasıdır. Bina özgür bir tasarım olarak görünmesine rağmen tesadüfi çizgilere sahip değildir. Yolcu transferlerinin yapıldığı bölümde çatı taşıyıcı kolonları, doğanın insan vücudunun fiziksel olarak çeşitli yükleri karşılayacak şekildeki denge kavramından yola çıkılarak, sporcuların yan yana geçit töreninde gibi bacakları açık şekilde olduğu varsayılarak tasarlanmıştır. Bu en net şekilde Calatrava’nın eskizlerinde gözlemlenebilmektedir (Şekil 4.35) (Gosciniak ve Januszkiewicz, 2019). İnsan vücudunun bir bütün olarak ele alındığı ve şekil olarak yansımalarının görüldüğü kolon tasarımlarında biyomimikrinin organizma düzeyinde ve Antropomorfik bir öykünmeden söz edilebilir.

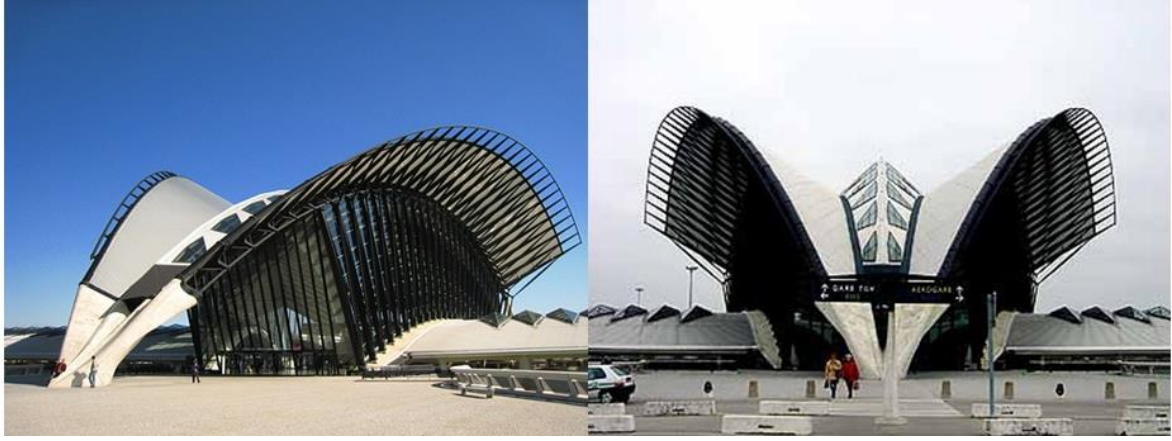


Şekil 4.35. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu Calatrava'ya ait eskiz ve tren istasyonu fotoğrafı (URL-71, 2023)

Ana binanın tasarımı ise çoğunlukla havalanan bir kuş kanadına ve zeminle temas ettiği kısım ise kuş gagasına benzetilmektedir. Ancak Calatrava bu binanın tasarımını yaparken kuş değil insan gözünü referans olarak kullanmış ve bina bütününün tasarımı insan gözü ve göz kapağından yola çıkılarak oluşturulmuştur. Calatrava eskizlerinde yapının form olarak tasarımını yaparken, aynı zamanda güneş ile olan ilişkisini de planlamıştır. Eskizler ve yapı birbiri ile oldukça benzeşmektedir (Şekil 4.36-37) (Levis vd., 2012). İnsan vücudunun bir parçasının yapının formunu oluşturmasıyla biyomimikrinin organizma düzeyinde ve Antropomorfik bir öykünme görülmektedir.



Şekil 4.36. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binasının Calatrava'ya ait eskizleri (Levis vd., 2012)



Şekil 4.37. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binasının fotoğrafları (Levis vd., 2012)

Tablo 4.36. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu hakkında strüktürel bilgiler

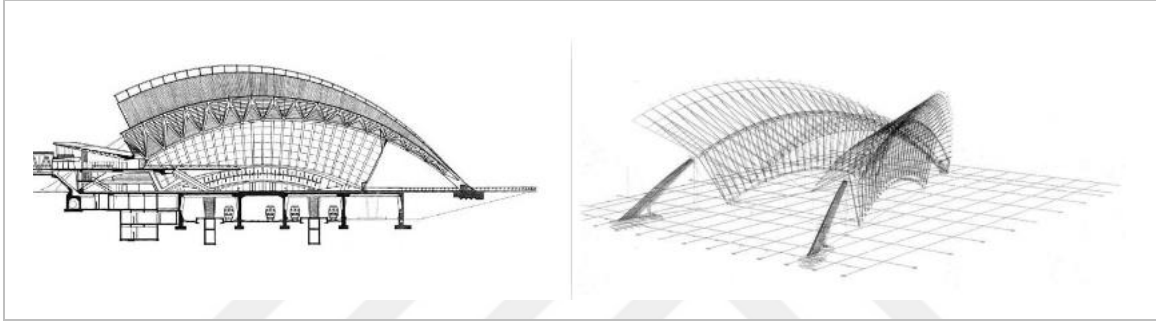
Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (Lewis vd., 2012)	İskelet Sistem, Hibrit uzay çerçeve/lamel silindir çatı yapısı	Betonarme, Çelik	Tren yolundaki insan vücudu şeklindeki kolonlar ile temele inen yükler insan fiziki yapısının yük aktarım mantığıyla dengeli şekilde tasarlanmıştır. Ana binadaki merkezde yer alan tonoz yapının geniş açıklık geçmiş ve kanat benzeri kavisli yapısı ise denge unsuru olarak kullanılmıştır.

Tablo 4.36’da strüktürel bilgileri verilen istasyon binasının, ana gar yapısının çatısı dört adet kemerli omurgaya sahiptir. Bu kemerler binanın en uzun açıklığını geçerek kuzey ve güney cephelerini de tanımlamaktadır. Betonarme temele bağlı olan kemerler doğu ucunda açılırken batı ucunda birbirine yaklaşıp V şekilli betonarme bir ayağa saplanmaktadır. Camlı yan perdeler, beton kemerleri ile yolcu salonu çatısının iki dış çelik kemeri arasındaki alanı doldurarak yapıyı dengelemektedir. Üçgen plana sahip olan salonun doğu kısmında betonarme platformun olduğu dölümde, beton kütle üzerine oturan çapraz kirişlerle birbirine bağlanan üç kemer ile omurganın üst kısmında üçgen kesitli çelik kemerlerden oluşan nervürlü tonoz yer almaktadır. Binanın merkezden gelen yükleri ve yanal yükleri çatıyı aşarak kuş kanadı şeklini alan kavisli çelik kollar sayesinde dengede

tutulmaktadır. Calatrava heykelsi yapının katı kütle halinden çıkıp hafif bir kütle olarak görünmesi amacıyla çelik ve camı ana binada kullanmıştır (Şekil 4.38-40) (URL-72, 2023).



Şekil 4.38. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binasının temel taşıyıcı çelik ve beton kemerlerini gösteren maketler (URL-71, 2023)



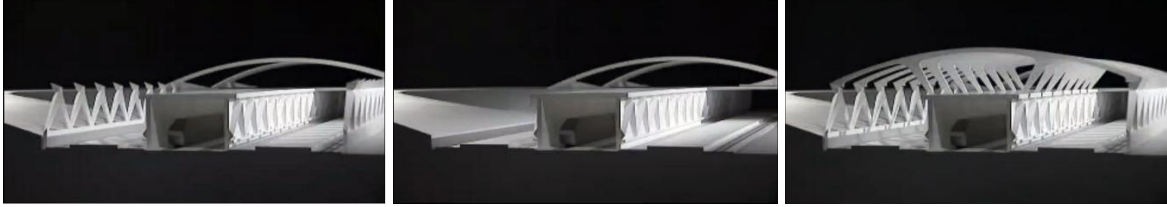
Şekil 4.39. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu ana binası kesit ve çelik sistem 3d çizim (URL-73, 2023)



Şekil 4.40. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu iç mekân ve dış cephe strüktürü (URL-74, 2023; URL-75, 2023)

Ray sisteminin bulunduğu betonarme tonoz çatı ise dışarıda insan anatomisinden yola çıkılarak oluşturulmuş ters Y şekilli sütunlar ve iç kısımda se X şekilli beton bölme taşıyıcı elemanlar ile desteklenmektedir. Tavanın nervürleri çatallanan eğimli sütunlara

dayanmaktadır. Çapraz tonozlu kemerlere sahip olan çatının kaplama malzemesi ise prekast beton plakalardır. Çatıda baklava desenli cam tavan pencereleri mevcuttur. (Şekil 4.41- 42) (URL-72, 2023).



Şekil 4.41. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu demir yolu bölümü taşıyıcı sistem maketi (URL-71, 2023)



Şekil 4.42. Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu demir yolu bölümü taşıyıcı sistemi (URL-71, 2023)

4.1.13. 3Ts in the Mississauga Gökdeleni

Tablo 4.37. 3Ts in the Mississauga Gökdeleni hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	-	2017 (tasarım proje)	Osama Al-Sehail (araştırma)	- m ²	Yüksek katlı bina (-)
Fotoğraf (Al-Sehail, 2017)					

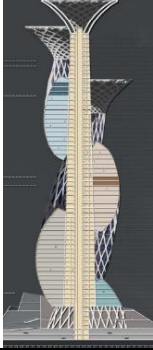
2017 yılında Osama Al-Sehail tarafından, bilgisayar destekli bir araştırma konusu olarak ele alınan tasarım fikrinde yüksek binalarda sürdürülebilirlik kapsamında biyomimetik tasarım olanakları sorgulanmıştır (Tablo 4.37). Araştırma konusu, sürdürülebilir yüksek binada, biyomimetik yapısal bir formun oluşum sürecini irdelemek olmuştur. Süreç ilk olarak yapılmak istenen tasarımın tanımlanması olmuştur. Biyomimetik yapısal süreç ve form tasarımı önce tanımlanmıştır. İkinci aşamada tanımlanan süreçle ilişkin örnekler araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise form oluşmuştur.

Tablo 4.38. 3Ts in the Mississauga Skyline hakkında biyomimetik bilgiler

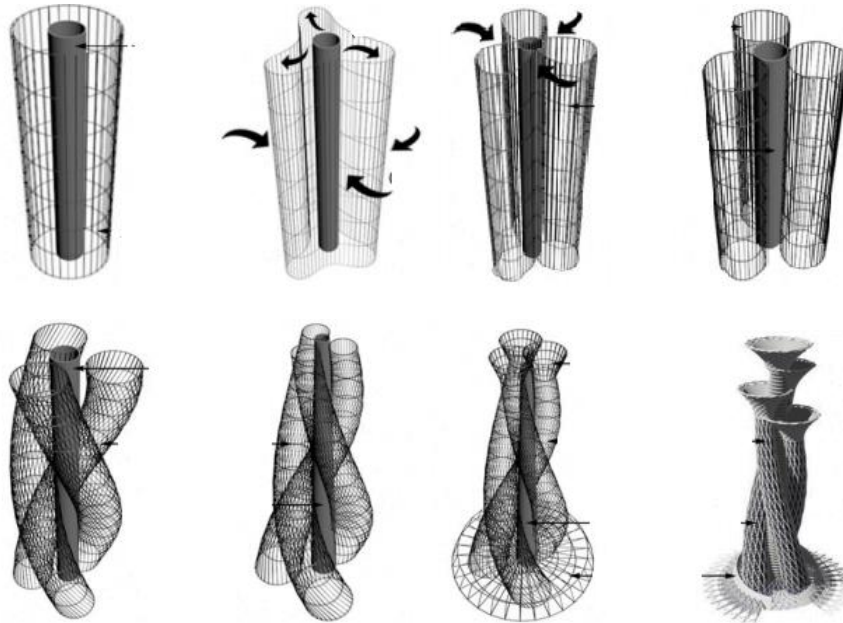
Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimik ri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Ağaç formu ve bitkilerin geometrik biçimlenişi (konik, sarmal ve bükme)	Organizma Düzeyi (biçim), Davranış Düzeyi (işlev)	Fitomorfik	IV. Endüstri Çağı	Yapının sarmal şekli dinamikliği ve rijitliği ağaç yapısındaki gibi güçlendiren unsurlar olarak tanımlanmıştır.
Fotoğraf (Al-Sehail,2017)					

Tablo 4.38’de biyomimetik bilgileri verilen binanın tasarım fikri oluşturulurken ağaçların sarmal yapısı ile birlikte bitkinin iletim sistemindeki işlevsel akış tanımlanmıştır. Aynı şekilde yapı tasarımında da ağacın sarmal yapısı referans alınmış ve insan hareketlerinin dikey sistemdeki akışı iletim sistemi gibi düşünülmüştür (Al-Sehail, 2017). Tüm bu fikir aşaması ele alındığında ağaç formunun yapıya uyarlanması ve bir çiçeğin gövdenin sonunda açılmasını andıran bükülme hareketiyle organizma düzeyinde, iletim sisteminin yapısal dikey akışı belirlemek için kullanılmasıyla ve sürdürülebilirlik amacıyla yağmur suyunun kullanılabilir hale gelmesinde yine iletim sistemi olan çekirdeğin yer almasıyla da davranış düzeyinde bir biyomimetik tasarım olduğu söylenebilir. Aynı şekilde yapı tasarımında ağacın referans alınması ise Fitomorfik bir tasarım yaklaşımı olarak ele alınmaktadır. Yapının ağaç gövdesindeki sarmal biçimlenişi devamında bükülmeyi oluşturarak bina tepesinde geniş yüzey oluşturmaktadır.

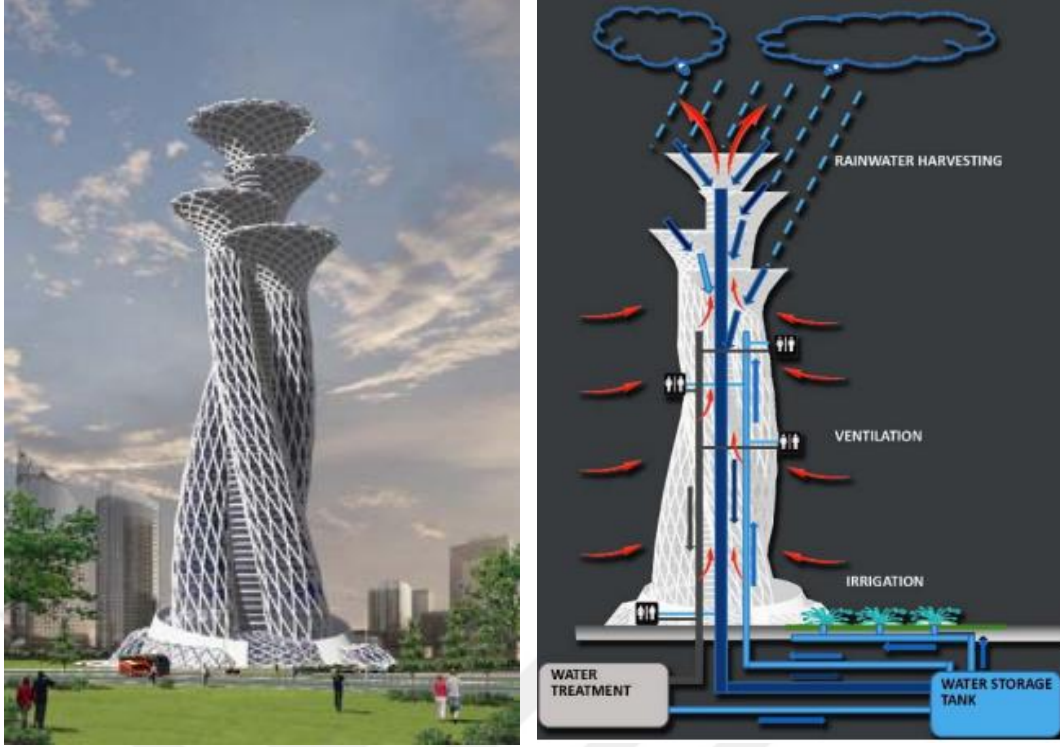
Tablo 4.39. 3Ts in the Mississauga Skyline hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
	Çelik diagrid sistem	Çelik	Yapının dış cephesini sarıp, yapı formunu da oluşturarak yapının hem daha sağlam hem de daha hafif bir yapı olmasını sağlamaktadır.
Fotoğraf (Al- Sehail,2017)			

Tablo 4.39’da biyomimetik bilgileri verilen yapının strüktürel sistemi incelendiğinde akışı sağlayan ana bir tüp etrafında, sarmal bir şekilde bina etrafını dolanan üç ayrı yükselti ile tüm bu yükseltilerin sonunda bükülme hareketi yaparak genişleyen yüzeyler binanın geometrik formunu oluşturmaktadır. Binanın dış cephesindeki biyomimetik benzetimleri sağlayan strüktürel yapı elemanı çeliktir. Çelik diagrid sistem tüm yapının formunun oluşmasını sağlamaktadır (Al-Sehail, 2017) (Şekil 4.43-44).



Şekil 4.43. 3Ts in the Mississauga Skyline strüktürel sistem oluşum diyagramı (Al-Sehail, 2017)



Şekil 4.44. 3Ts in the Mississauga Skyline 3D model (1) ve yağmur sistemi diyagramı (2)
(Al-Sehail, 2017)

4.1.14. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu

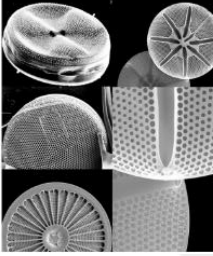
Tablo 4.40. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
 Fotoğraf (URL-76, 2023)	Saarbrücken , Almanya	2012	Prof. Dr. Göran Pohl, Prof. Dr. Jürgen Ruth ve keresteciler birliği başkanlığında School of Architecture Saar	64 m ²	Yaz pavyonu

2012 yılında, Saarbrücken, Almanya'da Prof. Göran Pohl, Prof. Dr. Jürgen Ruth ve kereste endüstrisi liderliğindeki katılımcı üniversite öğrencileri arasında disiplinler arası

proje araştırması ürünüdür (Tablo 4.40). Öğrenciler tarafından, doğanın referansında sürdürülebilir yaşama katkı sağlayan mimari sistem inşa etmeye yönelik yaz pavyonu olarak yapılmış deneysel bir çalışma ürünüdür. Yapı “sürdürülebilirliğe sahip biyonik optimize edilmiş ahşap kabuklar” anlamına gelen “Bowooss” olarak adlandırılmıştır (URL-77, 2023).

Tablo 4.41. Pop-Up Bowooss Biyonik Araştırma Pavyonu hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Tek Hücreli Algler Olan Diatomlar	Organizma Düzeyi (biçim)	Mikromorfik	III. Endüstri Çağı	Gözenekler sayesinde pavyon doğal havalandırma ve gözlemsel-deneysel alanlar oluşturmuştur.
Fotoğraf (Pohl, 2011)					

Tablo 4.41’de biyomimetik bilgileri verilen binanın temel oluşum problematiği biyomimikri kavramı olmuştur. Yapının sürdürülebilirlik kapsamında doğadan referans alarak tasarlanması başlıca tasarım prensibidir. Doğadaki kabuklardan yararlanılarak üretilmesi planlanan kabuk için tek hücreli diatomlar referans olmuştur. Diatomların kabuklarının sert ve hafif olmasından yola çıkılarak tasarım referansı oluşturulmuştur (Pohl, 2011). Bu referansla tasarlanan pavyon kendi stabilizesini koruyabilen, boşluklu yapısı sayesinde de doğal havalandırma ve gözlemsel alanlar sunan bir yaz pavyonu olarak işlevsel bir yapı olmuştur. Tek hücreli canlılardan ve biçimsel özelliklerinden yararlanılarak tasarlanan pavyon yapısı biyomimikrinin organizma düzeyi ve Mikromorfik yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Pop-Up Bowooss Biyonic Araştırma Pavyonu (URL-78, 2023)

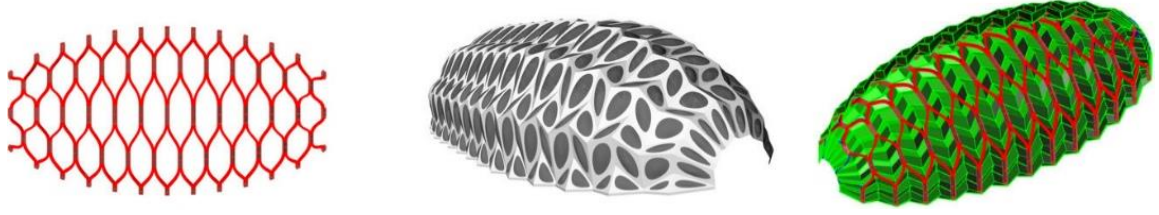
Tablo 4.42. 3Ts in the Mississauga Skyline hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (URL-76, 2023)	Kabuk Sistem	Ahşap	Ahşap kabuk yapıların ağır yük altındaki noktalarında kullanılan farklı malzemeler (çelik gibi) yerine ahşap elemanlarla bu noktaların birleşimini sağlayarak, ahşap birleşiminde yeni bir çözüm kapısı oluşmuştur.

Tablo 4.42’de strüktürel bilgileri verilen çalışmanın amacı; ahşap kabuk yapılarının ağır yüklerin geldiği noktalarındaki birleşim kısımlarında çelik gibi farklı malzemelerin kullanılarak birleşim yapılmasından yola çıkılarak, bu noktaların ahşap ile çözüme kavuşturulması ve formun tek başına ayakta kalabilmesini sağlamak olmuştur. İncelenen diatomların birkaç türünde bu şekilde formun bağlantı noktalarının kilitlenmesine izin verecek bulmaca benzeri eklemlerin olduğu tespit edilmiştir (Pohl, 2011).

Deneyisel araştırma pavyonu olan Bowooss için tasarım ekibi, parametrik mimaride yeni tekniklerin kullanılarak, bu teknikle tasarlanan yapının geleneksel olan malzeme ve zanaatla birleşmesine odaklanmıştır. Bilgisayar teknolojisinde evrimsel algoritmalar kullanılarak, seçilen nesne (diatom) mutasyona uğrayarak nihai sonuç tasarıma ulaşılmıştır. Doğanın organik şekli, mimari kıvrımlara ve yüzeylerdeki yarıklara dönüşerek bir hacim oluşturmuştur. Ahşap kabuk tasarımının mimari strüktürü de oluşturduğu yapının, birleşim noktaları mimari açıdan yeni bir bakış açısı oluşturacak türdendir. Yapı kendi içerisinde kenet sistemiyle oluşturulmuş, yapının yükünü daha fazla artıracak bağlantı elamanları

bulundurmamaktadır. Bunun için yapı hafif ve düşük maliyetlidir (Şekil 4.46-47) (URL-76, 2023).



Şekil 4.46. Pop-Up Bowooss Bionic Research Pavilion 3d strüktür diyagramı (URL-76, 2023)



Şekil 4.47. Pop-Up Bowooss Bionic Research Pavilion yapım aşaması (1) ve ahşap kabuk birleşim detayı (URL-76, 2023)

4.1.15. Kral Abdullah Araştırma Merkezi

Tablo 4.43. Kral Abdullah Araştırma Merkezi hakkında genel bilgiler

Bina Genel Bilgiler					
Fotoğraf	Bulunduğu Şehir	Yapım Yılı	Tasarımcı	İnşaat Alanı	Binanın İşlevi
	Riyad- Suudi Arabistan	2017	Zaha Hadid Architects	70.000 m ²	Kompleks (Ofis Binası, Konferans Merkezi, Kütüphane, Bilgi İşlem Merkezi, İbadet Yeri)
Fotoğraf (URL-79, 2023)					

Suudi Arabistan'ın başkenti Riyad'da, Zaha Hadid Architects tarafından tasarlanmış olan yapı, 2017 yılında tamamlanmış ve 70.000 m²'lik inşaat alanına sahiptir (Tablo 4.43). Araştırma merkezinin kuruluş amacı önemli enerji kaynağı olan petrolün olanaklarının araştırılması ve kaynağın efektif kullanım olasılıklarının tespitine yöneliktir. Kompleks yapıya sahip bina; ofis binaları, konferans merkezi, kütüphane, bilgi işlem merkezi ve ibadet yeri ile açık ve yarı açık kamusal alanlardan oluşmaktadır. Farklı hücrelerin organize şekilde bir araya gelmesiyle yapı bir bütün olarak algılanmaktadır (Abood vd., 2020).

Tablo 4.44. Kral Abdullah Araştırma Merkezi hakkında biyomimetik bilgiler

Biyomimikri Aşaması					
Fotoğraf	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Biyomimetik Tasarım Avantajı
	Bal Peteği	Ekosistem Düzeyi (biçim)	Organizmaların Yaşam Ortamlarına Dayalı Biçimlenme	IV. Endüstri Çağı	Farklı işlevlere sahip beş farklı binanın arasındaki organizasyon hücresel organizasyon gibi tanımlanırken aynı zamanda modüler bir binayı temsil etmektedir. Yapı daha sonraki eklemelere olanak sağlamaktadır.
Fotoğraf (URL-80, 2023)					

Tablo 4.44’te biyomimetik bilgileri verilen Kral Abdullah Araştırma Merkezi’nin dikkat çeken ikonik formu vardır. Bu form oluşurken yapı bütünü beş farklı işleve sahip kütleye hizmet eden, hücreler arası bağlantıların olduğu altıgen şekillerdir. Çölün ortasında 230.000 m²’lik bir alan üzerinde yerleştirilmiş heykelsi bina tasarımında Zaha Hadid Architects bal peteğinin kristal yapısından etkilenmiştir. Bina kampüsünde binanın yönelimi güneş ve rüzgâr enerjisinin verimli şekilde kullanımını sağlayarak enerji tüketiminde yüzde 45’lik bir azalma sağlamıştır. Bina kullanmış olduğu suyu ise geri dönüştürerek site geneli sulamada tekrar kullanmaktadır (Şekil 4.48) (URL-81, 2023).



Şekil 4.48. Kral Abdullah Araştırma Merkezi bal peteği formu hava fotoğrafı (URL-82, 2023)

Binanın yarı açık alanlarındaki açılı şekilde yerleştirilmiş olan çelikler ile bir orman havası yaratılmıştır. Arıların ürettikleri ve yaşam alanlarını tarifleyen bal peteklerinin altıgen şeklinden yola çıkılarak tasarlanan yapı için biyomimikrik yaklaşım olarak organizmaların yaşam ortamlarına dayalı biçimlenmeden söz etmek mümkündür. Aynı zamanda canlının yaşam alanının referans alındığı tasarım, biyomimikrinin ekosistem düzeyi olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4.49).

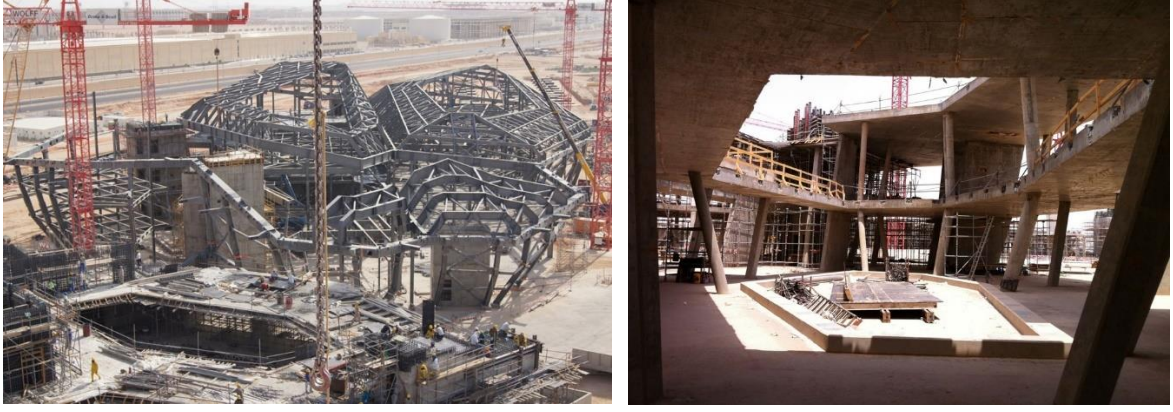


Şekil 4.49. Kral Abdullah Araştırma Merkezi bal peteği formu fotoğraf ve ağaç görünümlü çelik sütunlar (URL-81, 2023)

Tablo 4.45. Kral Abdullah Araştırma Merkezi hakkında strüktürel bilgiler

Strüktürel Bilgiler			
Fotoğraf	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi	Strüktürel Avantaj
 Fotoğraf (URL-83, 2023)	İskelet	Çelik, Betonarme	Kullanılan petek (altıgen) formuyla yapıların kurgulanırken en az malzemeyle tasarlanmasına imkân sağlamıştır. Aynı zamanda yapılar modüler sistemle üretilerek gelecekteki eklemelere imkân vermektedir.

Tablo 4.45'te strüktürel bilgileri verilen kampüsün strüktürel olarak karmaşık olan kısmı, büyük ve küçük ölçekli düzgün olmayan altıgen planlı ve çatı formu da düzgün geometride olmayan kütleler arasında tasarım stratejisi belirlemek olmuştur. Tasarım stratejisinin tüm birimlerde geçerli olması yapının inşasında ekonomik açıdan önemli bir nokta olmuştur. Yapının hücresel ve geometrik olarak farklı eğimlere sahip yüzeyleri için en uygun ve ekonomik yapı malzemesi çelik olarak seçilmiştir (URL-84, 2023). Yapıda, betonarme yükselen merkezi asansör kuleleri ve betonarme bölümlerin olmasına karşın temel strüktür malzemesi çeliktir. Kanopilerin olduğu kısımdaki ağaç gövdesi formu görünümündeki sütunlar ise yine çelik malzeme olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. Yapının strüktürünü gösteren yapı inşaat fotoğrafları (URL-83, 2023)



5. SONUÇ

İnsanoğlu ilkel yaşam dönemlerinden itibaren hayatını idame ettirmek için barınma ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla doğayı taklit etmiştir. Mağaralar, doğanın sunduğu imkanlardan faydalananak insanların ilk yaşam alanlarını tariflemektedir. İnsanların barınak üretmek konusunda önemli referans kaynaklarından biri, doğadaki malzemeleri ustaca kullanarak barınak inşa eden kuşlar olmuştur.

İnsanların barınmak için oluşturduğu yaşam alanları basit, derme çatma yapılariken günümüze doğru karmaşıklaşan ve yaşamı bütünüyle etkileyen tasarımsal üslupları oluşturmuştur. Doğada bulunan ahşap, taş vb. malzemeler basit teknikler sonucu yapı elamanı olarak kullanılırken, insanların endüstrileşmeye başlaması ve bu süreçte temel ihtiyaçların yanında keyfiyet kavramının da ön plana çıkması, devamında ise sürdürülebilirlik ve ekoloji gibi kavramların irdelenmesiyle mimarlık üretimi temel barınma kavramı ekseninde oldukça evrilmiştir.

Sanayi devrimi insanların ürettikleri yapıların strüktür kavramı açısından ve yeni yapı sınıflarının oluşması açısından yeni bir döneme girilmesini sağlamıştır. Fabrikaların ve bunun sonucunda oluşan endüstri kentlerinin kurulması yapıların genel strüktürel yapılarını ve yapı içerisindeki ihtiyaç duyulan birimlerin zamanla değişmesini-evrilmesini sağlamıştır. Zamanla kullanılan doğal kaynakların aşırı tüketilmesi ya da yapı üretme esnasında doğa tahribatının artması da ekolojik yapı üretme kavramının önem kazanmasını sağlamıştır. Ayrıca mikroskobik çalışmaların bilim dünyasına girmesi ve bu alandaki gelişmeler ile biyoloji kavramının önemi artmış ve biyoloji kavramı diğer disiplinlerle ortak çalışma alanına sahip olmuştur.

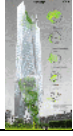
Canlıların hücre bilimi ile detaylı şekilde anatomilerinin ve yaşam alanlarının incelenmesi mimari kapsamda yeni üretim kanalları sağlamış ve mimarlık laboratuvar ortamlarında üretilme aşamasına gelmiştir. Bu kapsamda bilimsel olarak doğadan ve canlılardan referans alarak üretim yapmak biyomimikri-biyomimesis kavramlarının oluşmasını sağlamıştır.

Kavram öncesinde doğadan referans alınarak mimarlık üretilmiş, ancak insan gözünün algılayabildiği haliyle sınırlı kalmış ve çoğunlukla da bezeme, heykel ve basit formlar olarak kullanılmıştır. Ancak laboratuvar ortamının mimarlık üretmede bir çalışma alanı olarak görülmesi biyoloji ve mimarlık disiplinlerinin detaylı ve uyarlanabilir örnekler üretme konusunda gelişimine katkıda bulunmuştur. Kavramın bir araştırma konusu olması ise popüler kültürde bilinçli üretim yapabilmek, doğanın kendi içerisindeki başarılı

döngüsünü insan üretimi olan yapılara uyarlayabilmek ve maksimum verim elde edebilmek açısından önemli olmuştur. Bu kapsamda mimari strüktürlerde canlıların sistem ve deneyimlerinin yansıma biçimleri örnekler üzerinden irdelenmiş ve değerlendirilmiştir. Örnekler biyomimetik olarak; biyomimetik benzetim, biyomimikri düzeyi, biyomimetik yaklaşım, biyomimetik dönem olarak gruplandırılırken strüktürel olarak; binanın strüktürü ve strüktürün yapı malzemeleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda biyomimetik tasarımın ve strüktürel tasarımın avantajları irdelenmiştir. Bu kapsamda incelenen yapılara ait değerlendirilen kriterler Tablo 5.1’de yer almaktadır.

Tablo 5.1. Tez kapsamında incelenen yapılara ait değerlendirme kriterleri

Yapının Fotoğrafı	Yapının Adı	Biyomimetik Benzetim	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Yaklaşım	Biyomimetik Dönem	Binanın Strüktürü	Strüktürel Yapı Malzemesi
	Stuttgart Hava Limanı	Ağaç formu	Organizma (biçim)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	İskelet	Çelik
	Oriente Tren İstasyonu	Palmiye Ağacı	Organizma (biçim)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Kafes + Kemer	Çelik+ yüksek dayanımlı beton
	Pancho Stadyumu	Ağaç benzeri strüktür-Orman etkisi	Organizma (biçim-malzeme), Ekosistem Düzeyi (Biçim)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Ahşap kafes + iskelet	Lamine Ahşap + Beton
	Sec Armadillo	Armadillo dış kabuğu	Organizma (biçim)	Zoomorfik	III. Endüstri Çağı	İskelet	Çelik, Betonarme
	The Gherkin Binası	Venüs çiçek sepeti iskeleti	Organizma (biçim), Davranış (süreç)	Zoomorfik	III. Endüstri Çağı	Çelik çekirdek + diagrid	Çelik
	Pekin Ulusal Stadyumu	Kuş yuvası	Ekosistem (biçim)	Organizman ın yaşam ortamlarına dayalı biçimlenme	III. Endüstri Çağı	Kabuk	Çelik
	Gardens By the Bay	Karri ağacı	Organizma (biçim), Davranış (İşlev)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Beton çekirdek + Çelik strüktür	Çelik+ betonarme

	Warp Skyscraper	İnsan Anatomisi	Organizma (biçim)	Antropomorfik	III. Endüstri Çağı	İskelet	Çelik
	Los Manantiales Restaurant	İstiridye Kabuğu	Organizma (biçim)	Zoomorfik	III. Endüstri Çağı	Kabuk Sistem	Betonarme
	The Metropol Parasol	Mantarin formu ve hif yapısı	Organizma Düzeyi (biçim) , Davranış Düzeyi (süreç)	Fitomorfik	III. Endüstri Çağı	Betonarme, Kabuk sistem	Beton çekirdek, Mikro Lamine Ahşap, Çelik Konektör
	La Sagrada Familia	Ağaç formu ve ağaç yapısal özellikleri , insan temsili	Organizma Düzeyi (biçim), Ekosistem Düzeyi (Biçim)	Fitomorfik, Antropomorfik	II. Endüstri Çağı	Geleneksel Sistem (İskelet, Sütun, Tono, Kemer)	Doğal taş, Betonarme
	Lyon-Saint Exupéry Havaalanı Tren İstasyonu	İnsan vücudu formu ve göz yapısı	Organizma Düzeyi (biçim)	Antropomorfik	III. Endüstri Çağı	İskelet Sistem, Hibrit uzay çerçeve/lame l silindirik çatı yapısı	Betonarme, Çelik
	3Ts in the Mississauga Gökdeleni	Ağaç formu ve bitkilerin geometrik biçimleniş i (konik, sarmal ve bükme)	Organizma Düzeyi (biçim) , Davranış Düzeyi (işlev)	Fitomorfik	IV. Endüstri Çağı	Çelik diagrid sistem	Çelik
	Pop-Up Bowooss Bionik Araştırma Pavyonu	Tek Hücreli Algler Olan Diatomlar	Organizma Düzeyi (biçim)	Mikromorfik	III. Endüstri Çağı	Kabuk Sistem	Ahşap
	Kral Abdullah Araştırma Merkezi	Bal Peteği	Ekosistem Düzeyi (biçim)	Organizmaların Yaşam Ortamlarına Dayalı Biçimlenme	IV. Endüstri Çağı	İskelet	Çelik, Betonarme

Tez kapsamında incelenen yapıların biyomimetik olarak genelde canlıların yapısal formlarını kullandığı ve örneklerde bitki ve hayvan referanslarının yoğun olduğu görülmektedir. Bu açıdan fitomorfik, antropomorfik ve zoomorfik benzetimleri içeren örneklerin daha yoğun olduğu görülmektedir. Biyomimetik düzey olarak örnekler, genel olarak canlıların yapısal formu üzerinde durmuş ve mimari strüktürlere biçim olarak

yansıtılmıştır. Bu açıdan biyomimikrinin organizma düzeyinde biçimsel benzetimler örneklerde daha yoğundur.

Strüktürel yapıların, organik formları sağlayabilmek amacıyla ekonomik kaygıları da göz önünde bulundurulmuştur. Organik formu sağlayabilmek amacıyla da en avantajlı yapı malzemesi genel olarak çelik olarak karşımıza çıkmaktadır. Çelik malzeme, hafif yapıya olanak sağlaması ve istenilen formları daha kolay karşılaması amacıyla biyomimetik tasarımlarda önem kazandığı görülmektedir. Bunun yanında ahşap ve betonarmenin de biyomimetik strüktürlerde önemli oranda kullanıldığı görülmektedir.

İncelenen örneklerden bir tanesi II. Endüstri Çağı, iki tanesi ise IV. Endüstri Çağı'na ait olup diğer örneklerin III. Endüstri Çağı'na ait olduğu görülmektedir. III. Endüstri Çağı biyomimikrinin kavramsallaştığı ve popüler olduğu bir dönem olarak strüktürel yapılarda oldukça başarılı şekilde kullanılmış ve kavramsal nitelik vücut bulmuştur.

Kavram olarak yeni olan biyomimikri, kavramsallaştığı dönemde dünyanın kaynaklarının ve enerjinin hızlı tüketimiyle gelecek kaygısının oluşmasından da güç alarak değer kazanmıştır. Bu şekilde doğaya uyumu yüksek, zararı en aza indirebilecek ve doğal denge prensiplerinden yararlanılarak daha az ve geri dönüştürülebilir malzemeyle daha hafif yapılar elde etmek mümkün olmuştur.

Tez genelinde incelenen yapıların genel olarak canlıların formunu kullanması biyolojiyi mimariye dahil etmiştir. Gelecek mimari üretimler için canlının formu ve bu formu ayakta tutan canlı strüktürünün yapı taşıyıcı sistemlerine uyarlanabilmesi önemli adımdır. Bu yapılar ekolojik, sürdürülebilir, ergonomik, ekonomik yapı anlamında önemli kazanımlar sağlamakta ve enerji ile doğal kaynak tüketimlerini azaltabilmeyi hedeflemektedir. Doğal kaynak tüketimi ve kaynakların hızla azalmasına bağlı olarak, insanın en önemli öğretici olan doğadan referans almasının önemi artmaktadır. Çünkü doğa değişen koşullara en iyi şekilde uyum sağlayıp, kendini yenileyen, geliştiren, onarabilen, kendi içerisinde yaşamını tamamlamış olan unsurları dönüştürüp kullanabilen mükemmel bir sistematığe sahiptir. Bunun için başta kaynak kullanımının bilinçli hale bir hal alabilmesi amacıyla tüketimin en fazla olduğu alanlardan olan mimaride doğanın prensiplerinin referansı ile tasarlanan yapılar önem kazanmaktadır. Bu şekilde doğanın strüktür ve işlev olarak mimariye uyarlanması malzeme ve enerji kazanımı sağlamakta ve sağlayacaktır. Bu durumda doğanın benliğine verilen zarar minimum düzeyde tutularak, enerji verimli yapılar üretilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Abood, O., A., Ahad, E., S., A., Khamis, N., A., A., 2020. The theoretical and practical dimension of sustainability in architecture: Analytical study of a number of architectural projects. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering C*:737
- Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., Williams, C., 2014. *Shell Structures for Architecture-Form Finding and Optimization*. Routledge is an imprint of the Taylor & Francis Group. New York, ABD. s 323.
- Akbulut, U., 2014. *Dikiş Dikmek 60 Bin Yıl Önce Gelişti*. <https://uralakbulut.com.tr/?p=33&lang=tr>
- Akın, T., 2014. Mimarlık, strüktür ve “iyi”. *Betonart Beton, Mimarlık ve Tasarım*. 42, 38-41.
- Akyürek, M., E., Gür, N., V., Ökten, M., S., 2021. Betonarmede Strüktürel Bir Zirve: Hipar Kabuklar. *Tasarım Kuram*. 32, 90-108.
- Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C. ve Zumbunnen, C., 2003. *Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems*. Bioscience, 53, 1169-1179.
- Ali, M., M., Moon, K., S., 2007. Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. *Architectural Science Review*. Sydney. 50.3, 205-223
- Al-Sehail, O., 2017. A Biomimetic Structural Form: Developing a Paradigm to Attain Vital Sustainability in Tall Architecture. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering* Vol:11, No:3. 322-332.
- Anonim, 2023. *Architecture of the Sagrada Família. English Information Booklets*. https://sagradafamilia.org/documents/20142/1000561/Booklet_04.pdf/5eb8514a-7bd2-77d0-15dc-9c9c0315cf23. (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- Atalay, G., 2010. Antik Devirde Mimari Kurallar ve İnşaat Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Bal, Y., 2022. Geçmişten Günümüze Dünya’da ve Türkiye’de Pnömatik Sistemlerin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Baalawi, M., S., O., 2018. The Ecological Approaches In Skyscrapers For Generating And Reducing The Energy Loss By Using Renewable Resources, Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Barancacci, A. Morel, P.-M., 2007. *Democritus: Science, The Arts, And The Care Of The Soul*. Koninklijke Brill. Leiden, The Netherland. Volume 2 s:345

- Bellis, M., 2019. *The History of Clothing*. <https://www.thoughtco.com/history-of-clothing-1991476> (Erişim Tarihi: 21.04.2022)
- Benyus, J.M., 1997. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. HarpenCollins e-books.
- Berkebile B., McLennan J. 2003. *The Living Building: Biomimicry in Architecture, Integration Technology with Nature*. https://www.academia.edu/2234596/The_living_building_biomimicry_in_architecture_integrating_technology_with_nature (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- Biomimicry Institute, 2017. Biomimicry Design Spiral. Biomimicry Toolbox. <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/>. (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- Beyaztaş, H., S., 2012. Mimari Tasarımda Ekolojik Bağlamda Biçim ve Doğa İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Bilmen, M., M., 2019. Mimarlıkta Biyomimikri Kavramı Antonı Gaudı ve Michael Pawlyn Eserlerinin İncelenmesi 21.Yy'a Yansıması, Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Cevizci, E., Kutucu, S., 2017. Parçacık Tabanlı Taşıyıcı Sistem Modellemesi Üzerine Asimetrik Biçimli Jenerik Kabuk Sistemi Tasarımı. *11. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*, Ankara.
- Constantakis, S., Hacht, A., M., LaBlanc, M., L., Milne, I., M., Revitzer, P., Smith, J., Toronto, D., Ullmann, C., 2022. *Nonfiction Classics for Students*, Volume 4. The Gale Group, Inc. Michigan, ABD.
- Crowe, W., Robinson, F., Wylie, D., 1998. Scottish Exhibition and Conference Centre, Glasgow. *The Arup Journal*. 2, 3-9.
- Cürgen, C., 2008. *Tutkunun Kanatları*. <https://v3.arkitera.com/h26777-tutkunun-kanatlari.html> (Erişim Tarihi: 20.10.2022)
- Çakmak, A., 2021. Yapı Malzemesinin Tarihsel Gelişimi ve Mimarlığa Etkileri, *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, 1, 41-54.
- Çakmaklı, C., 2020. Biyomimetik Bakış Açısı ile Fütüristik Mimarlık Üzerine Bir İnceleme: Vincent Callebaut Mimarlığını Anlamak, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Demirel, E., 2017. *Strüktür Neden Gereklidir*, Janus Yayıncılık, İstanbul, 176 s.
- Demirkan, Ö., 2006. Mimarlıkta Strüktür ve Süsleme İlişkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Doğan, M., 2021. *Singapur'un peyzaj harikası: Gardens by the Bay*. <https://www.gzt.com/arkitekt/singapurun-peyzaj-harikasi-gardens-by-the-bay-3591530> (Erişim Tarihi: 10.11.2022)

- Dündar, S., K., 2019. Algoritmik Biyomimikri Yöntemi ile Dijital Tasarım, Sanatta Yeterlik Tezi. Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Eldem, M., O., 2017. *Endüstri 4.0*. <http://endustri40oeldem.blogspot.com/2017/12/endustri-4.html>. (Erişim Tarihi: 15.10.2022)
- Eldin, N., N., Elgawad, I., Abdou., A., 2016. Biomimetic Potentials For Building Envelope Adaptation In Egypt. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 375-382.
- Engel, H., 2013. *Tragsysteme Structure Systems*. Hatje Cantz Verlag, Deutschland, Germany, s 352.
- Er, K., Gee, N., B., 2012. Managing Water Quality in Gardens by the Bay. *Citygreen-A Centre for Urban Greenery and Ecology Publication*. 68-75.
- Erten, E., 2022. *Mimarlıkta Çağdaş Taşıyıcı Sistemler*. Birsan Yayınevi, İstanbul, 238 s.
- Eser, A., 2021. Biyomorfik Yapıların Algısal Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Falay, N., 1985. Kentlerin Kökenlerine Toplu Bir Bakış. *İdare Hukuku ve İlimleri Dergisi*. Cilt 6, Sayı 1-3, 95 – 10.
- Fisch, M., 2017. *The nature of biomimicry: toward a novel technological culture*. Science, Technology, & Human Values. University of Chicago, Chicago, IL, USA
- Gertik, A., 2012. Biyomimesis Anlayışı ve Bu Bağlamda Günümüz Kuzey Kıbrıs Mimarisi'ne Eleştirel Bir Bakış, Yüksek Lisans Tezi. Yakındoğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC.
- Gosciniak M., Januszkiewicz, K., 2019. Architecture inspired by Nature. Human body in Santiago Calatrava's works. *Sophisticated approach to architectural design. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. C: 471, s: 1-10.
- Gökçe, G., 1977. Başlangıçtan Günümüze Mimaride Strüktür, *Yapı Dergisi*, Mart/Nisan, 26-48.
- Gülsün, Y., 2002. Uzak Kafes Sistemler ve Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Gündoğ, G., 2007. Çağdaş Strüktür Sistemlerinin Mimarlığa Etkileri, Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Gür, Ş., Ö., 1998. Mimarlıkta Taklit: Eski Türkü-Yeni Aranjman. *Mimarlık Dergisi*, 333. <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=51&RecID=1256>.
- Gürel, S., 1968. Strüktür. *Mimarlık dergisi*. 51, 19-40.

- İlboğa, M., Aygöl, H., H., 2015. Birlikte Yaşama Kültürü Bağlamında İnsan-Doğa Diyalektiği, *Akademik Bakış Dergisi*, Sayı. 51, 65-78.
- İleritürk, İ., 2016. Mimarlık Eğitiminde Doğa ile İlişki Bağlamında Biyomimikri, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- İnner, S., 2019. Biyomimikri ve Parametrik Tasarım İlişkisinin Mimari Alanında Kullanımı ve Gelişimi. *Uluslararası Hakemli Akademik Dergi*. 01, 15-29.
- Januszkiewicz, K. 2006. *Bionics in Santiago Calatrava's works*. https://www.academia.edu/7402779/K_Januszkiewicz_Bionics_and_Santiago_Calatrava_works. (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- Karabetça, A., R., 2018. Biyomimikri Destekli Tasarım Ölçütleri ile Yenilikçi Mekanlar Yaratılması. *The Turkish Online Jurnal of Design, Art and Communication TOJDAC*. Ocak 2018, 104-111.
- Karabetça, A., R., 2016. Biyomimikri Destekli Mekân Tasarımı Ölçütleri ve Bu Ölçütlerin Örnekler Üzerinden İncelenmesi, Doktora Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kartal, H. B., Kartal, A. N., 2021. Tarih öncesinden sanayi devrimine uzanan süreçte batı kentinin şekillenmesine dair bir deneme. *İstanbul Kent Üniversitesi İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*.1, 25-32.
- Kaymaz, K., Sungur, M., 2015. Geçmişten Günümüze Mimari Formlarda İnsan-Doğa Etkileşimi; “Biyomimesis”. *Uluslararası Güzel Sanatlar Sempozyumu Bildiri Kitabı*. 12-13 Kasım 2015, Selçuk Üniversitesi, Konya. 376-383.
- Kuban, D., 1989. *Mimarlık Kavramları: Tarihsel Perspektif İçinde Mimarlığın Kuramsal Sözlüğüne Giriş* (6. Baskı), YEM Yayın, İstanbul, 107 s.
- Kuday, I., 2009. Tasarım Sürecini Destekleyici Faktör Olarak Biyomimikri Kavramının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Lauriola, D., 2017. *Combining Efficiency and Aesthetics Through The Integration Of Structural Topology Optimization in Architecture*. https://www.researchgate.net/publication/315691949_Combining_Efficiency_and_Aesthetics_Through_The_Integration_Of_Structural_Topology_Optimization_in_Architecture. (Erişim Tarihi: 20.10.2022)
- Lewis, K., Sih, J., Chen, E., 2012. *Lyon-Saint Exupery Airport Railway Station*. <https://designtheorykje.wordpress.com/2012/11/08/lyon-saint-exupery-airport-railway-station/> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- Li, Q., Su, Y., Wu, Y., Borgart, A., 2017. Form-finding of shell structures generated from physical models. *International Journal of Space Structures*. 32, 11–33.
- Macdonald, A. J., 2001. *Structure and Architecture*, Architectural Press, New York, 151 s.

- Miller, M., 2014. *AD Classics: Los Manantiales / Felix Candela*. <https://www.archdaily.com/496202/ad-classics-los-manantiales-felix-candela>. (Erişim Tarihi: 02.01.2023)
- Millon, H., 1958. The Architectural Theory of Francesco di Giorgio. *The Art Bulletin*, 40(3), 257-261.
- Moore, C., 2010. *Endless House Frederick Kiesler*. <https://carlymmoore.files.wordpress.com/2010/12/endless-house-final.pdf>. (Erişim Tarihi: 16.10.2022)
- Nasir O., Kamal, M., A., 2022. Inspiration from Nature: Biomimicry as a Paradigm for Architectural and Environmental Design. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 3, 126-136.
- Nkandu, M., I., Alibaba, H., Z., 2018. *Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability*. https://www.researchgate.net/publication/323573055_Biomimicry_as_an_Alternative_Approach_to_Sustainability/download
- Oliveira, B. P., Pires, J. F., 2021. The biomimetics and graphic representation as instruments to support project action. *IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis*. 43-56.
- Özdamar, E. G., 2017. Kiesler'in model yapımındaki haptik deneyiminden öğrenme: Harekattepe Tümüüsü'nün diseksiyonları. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*. 2, 219-236.
- Özdemir, Ş., 2014. Sanayi Devriminin Bilim Tarihi Üzerindeki Etkisi: Bilim ve Teknoloji İç İçe. *Üretim Ekonomisi Kongresi*. <https://acikerisim.iku.edu.tr/entities/publication/e606e5a7-1761-4c36-8351-c84c65c3a94a>.
- Özdil, T., 2021. Mimarlık Eğitimi Stüdyo Derslerinde Strüktür Algısı. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Özen, G., 2016. Doğa Referanslı Tasarım: Biyomimikri, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Öztoprak, Z., 2020. Yaşamın İlkeleri ile Kenti Yeniden Düşünmek: Biyomimikri Temelli Bir Yaklaşım. *İdeal Kent Dergisi*, 3, 985-1003.
- Panchuk, N., 2006. An Exploration into Biomimicry and its Application in Digital & Parametric (Architectural) Design, Yüksek Lisans Tezi, University of Waterloo Master of Architecture, Canada.
- Pawlyn, M., 2016. *Biomimicry in Architecture*. RIBA Publishing. 2. Baskı. S:165.
- Pohl, G., 2011. BOWOOSS – Bionic Optimized Wood Shells with Sustainability. *Proceedings of the SPIE*. Cilt: 7975. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011SPIE.7975E..0PP/abstract>. (Erişim Tarihi: 13.01.2023)

- Saatçioğlu Ö., Y., Tuğdemir Kök G., Özispa, N., 2018. Endüstri 4.0 ve Lojistik Sektörüne Yansımalarının Örnek Olay Kapsamında Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. C.23, Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı, 1675-1696.
- Salur, Ş., 2023. *La Sagrada Familia*. <https://www.arkitektuel.com/la-sagrada-familia/>. (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- Savaşır, K., ve Tuğrul, F., 2014. Uzay Kafes Sistemlerle Yaratılabilecek Üst Örtülerin Yüzey Geometrilerinin İncelenmesi: Heydar Aliyev Merkezi Örneği. *7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu* 3- 4 Nisan 2014, İstanbul.
- Sekkappan, C., 2021. *The ultimate guide to Gardens by the Bay*. <https://www.timeout.com/singapore/attractions/the-ultimate-guide-to-gardens-by-the-bay> (Erişim Tarihi: 10.11.2022)
- Serdar, E., 2023. *Coalbrookdale Köprüsü*. <https://muhendisbey.wordpress.com/tag/coalbrookdale-koprusu-hakinda-bilgi/> (Erişim Tarihi: 21.04.2022)
- Seymenoğlu, E., Yenen, Z., 2018. Sürdürülebilir Kentsel Tasarıma Doğadan İlham Almak: Biyomimikri, *Poedat Konferansı Disiplinlerarası Gençlik Buluşması Kitabı Studio-X*, İstanbul, 56-57.
- Tanyeli, G., 1993. Mimarlık Demir Çelik Bir Tarihsel Serüven, *Arredamento Dekorasyon*, 9, 105-109.
- Tuğrul, F., Sev, A., 2015. An Overview To Sustainable Building Technologies In Future: Lightweight Structures, 2. *International Sustainable Building Symposium*, Ankara, Türkiye.
- Tuğrul Okbaz, F., Savaşır, K., 2012. Biyomimetik Mimarlık Kavramının Sürdürülebilirlik Bağlamında İrdelenmesi. *Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Ulusal Konferansı*. İzmir, Türkiye. 322-331.
- Türkçü, H., Ç., 2017. *Çağdaş Taşıyıcı Sistemler*. Birsan Yayınevi, İstanbul, 385 s.
- URL-1, 2022. *Congress and Exhibition Center / Studio Botter + Studio Bressan*. <https://www.archdaily.com/925353/congress-and-exhibition-center-studio-botter-plus-studio-bressan>. (Erişim Tarihi: 27.09.2022)
- URL-2, 2022. *AD Classics: Dulles International Airport / Eero Saarinen*. <https://www.archdaily.com/102060/ad-classics-dulles-international-airport-eero-saarinen> (Erişim Tarihi: 30.09.2022)
- URL-3, 2022. *How Fentress Architects Designed the Imaginative Tents of DIA*. <https://www.sophersparrn.com/blog-ssa/dia-tents>. (Erişim Tarihi: 30.09.2022)
- URL-4, 2022. *AD Classics: AD Classics: David S. Ingalls Paten Pisti / Eero Saarinen*. <https://www.archdaily.com/157708/ad-classics-david-s-ingalls-skating-rink-eero-saarinen> (Erişim Tarihi: 30.09.2022)

- URL-5, 2022. *Sydney Opera Binası*. <https://www.arkitektuel.com/sydney-opera-binası/>. (Erişim Tarihi: 05.10.2022)
- URL-6, 2022. <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/the-air-force-academy-cadet-chapel> (Erişim Tarihi: 30.09.2022)
- URL-7, 2022. *Haydar Aliyev Kültür Merkezi Projesi*. <https://pldturkiye.com/haydar-aliyev-kultur-merkezi-projesi/>. (Erişim Tarihi: 05.10.2022)
- URL-8, 2023. *Ontario's Celebration Zone Pavilion / Hariri Pontarini Architects*. <https://www.archdaily.com/775880/ontario-celebration-zone-pavilion-tectoniks> (Erişim Tarihi: 05.10.2022)
- URL-9, 2023. *Stadiums in Minnesota*. http://www.placeography.org/index.php/Stadiums_in_Minnesota (Erişim Tarihi: 05.10.2022)
- URL-10, 2023. <https://www.youtube.com/watch?v=e2c0GBnnKEQ> (Erişim Tarihi: 05.10.2022)
- URL-11, 2023. <https://www.artstation.com/artwork/xq2gE> (Erişim Tarihi: 07.10.2022)
- URL-12, 2023. <https://tr.pinterest.com/pin/86694361567024674/> (Erişim Tarihi: 07.10.2022)
- URL-13, 2022. *Corinthian capital in the Pantheon (St. Genevieve), Paris*. <https://tr.pinterest.com/pin/300756081346486435/> (Erişim Tarihi: 10.10.2022)
- URL-14, 2022. <https://tr.pinterest.com/pin/1017813584512757252/> (Erişim Tarihi: 10.10.2022)
- URL-15, 2022. *Dünyanın Rengi : Art Nouveau Akımı*. <https://www.istanbulburda.com/kultur-sanat/dunyanin-rengi-art-nouveau-akimi-h1183.html> (Erişim Tarihi: 10.10.2022)
- URL-16, 2022. *Kurumunuz "Altın Oran"ı Yakaladı mı?* <https://www.gisatolye.com/post/kurumunuz-altin-orani-yakaladi-mi> (Erişim Tarihi: 10.10.2022)
- URL-17, 2022. *Antik Yunan Mimarisinde Tasarım ve Altın Oran*. <https://www.kampustenevar.com/kategori-kultur-ve-sanat/antik-yunan-mimarisinde-tasarim-ve-altin-oran-> (Erişim Tarihi: 11.10.2022)
- URL-18, 2022. *İnsan ve lotus çiçeği*. <https://interaktifdanismanlik.com/insan-ve-lotus-cicegi/> (Erişim Tarihi: 11.10.2022)
- URL-19, 2022. *Lotus Tapınağı*. <https://archi101.com/yapilar/lotus-tapinagi/> (Erişim Tarihi: 11.10.2022)
- URL-20, 2022. *Hierapolis Arkeoloji Müzesi*. <http://arkeolojigezginleri.blogspot.com/2014/08/hierapolis-arkeoloji-muzesi.html> (Erişim Tarihi: 12.10.2022)

- URL-21, 2022. *Anadolu Selçuklu Sanatında Çift Başlı Kartal*. <https://okuryazarim.com/anadolu-selcuklu-sanatinda-cift-basli-kartal/> (Erişim Tarihi: 12.10.2022)
- URL-22, 2022. *Bosco Sacro di Bomarzo*. <https://www.italia.it/en/lazio/bomarzo-monster-park> (Erişim Tarihi: 12.10.2022)
- URL-23, 2022. *The Enigmatic Architectural Fantasies Of Jean-Jacques Lequeu*. <https://cakeordeathsite.wordpress.com/2019/05/14/the-enigmatic-architectural-fantasies-of-jean-jacques-lequeu/> (Erişim Tarihi: 12.10.2022)
- URL-24, 2022. *World Trade Center Transportation Hub / Santiago Calatrava*. <https://www.archdaily.com/783965/world-trade-center-transportation-hub-santiago-calatrava> (Erişim Tarihi: 12.10.2022)
- URL-25, 2022. *Malta Notları: Hagar Qim & Mnajdra*. <https://www.2mi3.com/malta1> (Erişim Tarihi: 13.10.2022)
- URL-26, 2022. https://www.researchgate.net/figure/Aerial-view-of-the-Mnajdra-complex-with-the-small-trefoil-temple-at-the-right-the_fig1_324223867 (Erişim Tarihi: 13.10.2022)
- URL-27, 2022. *Antik Çağ Mimarisinde Kadın Formu: Karyatid*. <https://gazetesanat.com/antik-cag-mimarisinde-kadin-formu-karyatid> (Erişim Tarihi: 13.10.2022)
- URL-28, 2022. *The Femur Bone vs. The Eiffel Tower*. <https://www.scientiaproject.com/plume-plume-femur-bone-vs-eifel> (Erişim Tarihi: 13.10.2022)
- URL-29, 2022. *Fransa-Paris- Eyfel Kulesi- Kuşbakışı*. <http://yolculukbirkarasevda.blogspot.com/2013/10/paris-eyfel-kulesi-kusbaks.html> (Erişim Tarihi: 13.10.2022)
- URL-30, 2022. *Things You Did Not Know About Dancing House — Prague*. <https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a901-10-things-you-did-not-know-about-dancing-house-prague/> (Erişim Tarihi: 13.10.2022)
- URL-31, 2022. *Cellular Architecture*. <https://neurophilosophy.wordpress.com/2006/08/10/cellular-architecture/> (Erişim Tarihi: 16.10.2022)
- URL-32, 2022. *ICD/ITKE Research Pavilion 2012*. <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/icditke-research-pavilion-2012/> (Erişim Tarihi: 16.10.2022)
- URL-33, 2022. *STOCKHOLM CITY LIBRARY*. <https://tomwiscombe.com/STOCKHOLM-CITY-LIBRARY> (Erişim Tarihi: 16.10.2022)
- URL-34, 2022. *Kubbeli Harran Evleri*. <https://turktoyu.com/kubbeli-harran-evleri/> (Erişim Tarihi: 18.10.2022)
- URL-35, 2022. <https://nereye.com.tr/kir-kirlangiclarinin-davranis-degisikligi-gostermesi-evrimsel-olabilir/kirlangic-yuvasi/> (Erişim Tarihi: 18.10.2022)

- URL-36, 2022. *Dreamy treehouse colony helps you reconnect with nature*. <https://inhabitat.com/awesome-treexoffice-outdoor-office-pod-in-london-makes-work-a-walk-in-the-park/treexoffice-london/> (Erişim Tarihi: 18.10.2022)
- URL-37, 2022. *Stuttgart Airport*. <https://www.gmp.de/en/projects/548/stuttgart-airport> (Erişim Tarihi: 20.10.2022)
- URL-38, 2022. *Alm*. <https://nn.wikipedia.org/wiki/Alm>. (Erişim Tarihi: 20.10.2022)
- URL-39, 2022. *Stuttgart Airport Structural Case Study*. <https://www.rikysongsu.com/blog/2017/4/26/stuttgart-airport> (Erişim Tarihi: 20.10.2022)
- URL-40, *Geometry & Silence*. <https://blog.quintinlake.com/2011/03/28/delight-oriente-station-lisbon-by-santiago-calatrava/> (Erişim Tarihi: 25.10.2022)
- URL-41, 2022. *Santiago Calatrava - Lizbon Oriente İstasyonu*. <http://www.lankaart.org/article-santiago-calatrava-gare-d-oriente-lisbonne-86079773.html> (Erişim Tarihi: 25.10.2022)
- URL-42, 2022. *Santiago Calatrava's Gorgeous Oriente Station is Topped With a Leaf-Like Canopy That Looks Lighter Than Air*. <https://inhabitat.com/santiago-calatravas-gorgeous-oriente-station-is-topped-with-a-leaf-like-canopy-that-looks-lighter-than-air/oriente-station-lisbon-portugal-4/> (Erişim Tarihi: 25.10.2022)
- URL-43, 2022. *Pancho Arena / Tamás Dobrosi + Doparum Architects*. <https://www.archdaily.com/538826/pancho-arena-tamas-dobrosi-doparum-architects> (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-44, 2022. <https://pixabay.com/tr/photos/ye%C5%9Fil-orman-yol-do%C4%9Famanzara-a%C4%9Fa%C3%A7-1072824/> (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-45, 2022. *Innovative Detail: Pancho Arena*. https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/innovative-detail-pancho-arena_o (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-46, 2022. <https://jameschristiephotography.com/private-custom-tours-scotland/armadillo-glasgow/> (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-47, 2022. *Sec Armadillo*. <https://www.fosterandpartners.com/projects/sec-armadillo/> (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-48, 2022. *Armadillo*. <https://min.wikipedia.org/wiki/Armadillo> (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-49, 2022. *Sec Armadillo*. <http://architecture-history.org/architects/architects/FOSTER/OBJ/1997,%20SEC%20Armadillo,%20Glasgow,%20UK.html> (Erişim Tarihi: 30.10.2022)

- URL-50, 2022. 30 St Mary Axe Tower / Foster + Partners. <http://architecture-https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners>. (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- URL-51, 2022. “Kuş Yuvası”. <https://www.arkitera.com/haber/kus-yuvasi/> (Erişim Tarihi: 05.11.2022)
- URL-52, 2022. https://stock.adobe.com/de/search?k=%22cardinal+eggs%22&asset_id=453465221 (Erişim Tarihi: 05.11.2022).
- URL-53, 2022. *Pekin’in “Kuş Yuvası” Stadyumu, Lubetkin Ödülü’nü aldı.* <http://mimdap.org/2009/07/pekinin-kuth-yuvasy-stadyumu-lubetkin-odulunu-aldy/> (Erişim Tarihi: 05.11.2022).
- URL-54, 2022. https://maps.sygi.com/?utm_source=content-pages&utm_medium=cta&utm_campaign=poi#/?item=poi:20832&map=14,40.00201,116.394997&gallery (Erişim Tarihi: 05.11.2022)
- URL-55, 2022. *Biomimicry & Design: Lotus Building & Super-Trees of Singapore..* <https://homeklondike.site/2017/02/28/biomimicry-design-lotus-building-super-trees-of-singapore/> (Erişim Tarihi: 10.11.2022)
- URL-56, 2022. *SÜPER AĞAÇLAR – Singapur’un İklim Değişikliği için Aldığı Önlemi Gördünüz mü?* <http://crea.tips/doga/super-agaclar-singapurun-iklim-degisikligi-icin-aldigi-onlemi-gordunuz-mu/> (Erişim Tarihi: 01.12.2022)
- URL-57, 2022. *Gardens by the Bay by Grant Associates and Wilkinson Eyre Architects* <https://www.dezeen.com/2012/06/19/gardens-by-the-bay-by-grant-associates-and-wilkinson-eyre-architects/> (Erişim Tarihi: 01.12.2022)
- URL-58, 2022. *Warp Skyscraper.* <https://www.evolo.us/warp-skyscraper/> (Erişim Tarihi: 30.12.2022)
- URL-59, 2023. *The Metropol Parasol: Rich Community History Meets Progressive Architecture.* <http://buildipedia.com/aec-pros/featured-architecture/the-metropol-parasol-rich-community-history-meets-progressive-architecture> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
- URL-60, 2023. *Metropol Parasol.* <https://archello.com/project/metropol-parasol> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
- URL-61, 2023. *Şu mantarlara bakın.* <https://e-dergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=6ArfBsyKwFze39EpHbejegn?dergiKodu=8&cilt=24&sayi=282&sayfa=18&yil=2021&ay=6&yaziid=45505> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
- URL-62, 2023. *Metropol Parasol.* https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/metropol-parasol_o (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
- URL-63, 2023. *Metropol Parasol.* <https://en.wikiarquitectura.com/building/metropol-parasol/> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)

- URL-64, 2023. *Paranormal Activity: Metropol Parasol and other Para-Tech*. <https://vostokproject.com/2011/05/27/paranormal-activity-metropol-parasol-and-other-para-tech/> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
- URL-65, 2023. *Yeni Ormanlar Oluşturmak Yarardan Çok Zarara Yol Açabilir*. <https://www.iklimhaber.org/yeni-ormanlar-olusturmak-yarardan-cok-zarara-yol-acabilir/> (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- URL-66, 2023. *Biomimetic Architecture: Sagrada Familia*. <https://steemit.com/architecture/@snaves/biomimetic-architecture-sagrada-familia> (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- URL-67, 2023. *La Sagrada Familia*. <https://www.arkitektuel.com/la-sagrada-familia/> (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- URL-68, 2023. *Sırlarla donatılmış bir yapıt: “La Sagrada Familia”*. <https://www.tcetveli.org/la-sagrada-familia/> (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- URL-69, 2023. *Is it Worth Going Inside La Sagrada Familia?* <https://whyvisitbarcelona.com/inside-sagrada-familia-interiors/> (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- URL-70, 2023. *Barselona'daki La Sagrada Familia Bazilikası*. <https://www.ekoyapidergisi.org/barselona-daki-la-sagrada-familia-bazilikasi> (Erişim Tarihi: 11.01.2023)
- URL-71, 2023. *Lyon-Satolas Railway And Airport Station*. http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects_631/Files/LyonSatolasStation.pdf (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-72, 2023. <https://pdfcoffee.com/download/l-satolas-pdf-pdf-free.html> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-73, 2023. *Lyon-Saint Exupéry Airport Railway Station*. <https://info.cecr.in/lyon-saint-exupery-airport-railway-station/> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-74, 2023. <https://i.pinimg.com/originals/7f/8c/c6/7f8cc657f1b197008829caccd41bec4.jpg> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-75, 2023. <https://i.pinimg.com/originals/3c/6c/2a/3c6c2ac963490ed8fdaa899d6c2dc77c.jpg> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-76, 2023. *POHL Architekten*. <https://www.world-architects.com/it/pohl-architekten-stuttgart/project/bowooss-summer-pavillon> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-77, 2023. *Bionic Pavilion*. <https://parametrichouse.com/bionic-pavilion/> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)
- URL-78, 2023. *Pop-Up Pavilion By Bowooss Research Project*. <https://www.frameweb.com/article/pop-up-pavilion-by-bowooss-research-project> (Erişim Tarihi: 13.01.2023)

- URL-79, 2023. *KAPSARC – Kral Abdullah Araştırma Merkezi*. <https://www.arkitektuel.com/kapsarc-kral-abdullah-arastirma-merkezi/> (Erişim Tarihi: 15.01. 2023)
- URL-80, 2023. *Arılar Peteklerini Neden Altıgen Yaparlar?* <https://www.bilgiustam.com/arilar-peteklerini-neden-altigen-yaparlar/> (Erişim Tarihi: 15.01. 2023)
- URL-81, 2023. *The honeycomb was the inspiration behind Zaha Hadid Architects' design for this research centre*. <https://www.architecturaldigest.in/content/honeycomb-inspiration-behind-zaha-hadid-architects-design-research-centre/> (Erişim Tarihi: 15.01. 2023)
- URL-82, 2023. *King Abdullah Petroleum Studie and Research Centre*. <https://archello.com/project/king-abdullah-petroleum-studie-and-research-centre> (Erişim Tarihi: 15.01. 2023)
- URL-83, 2023. *King Abdullah Petroleum Studies & Research Center By Zaha Hadid Underway*. <https://www.designboom.com/architecture/king-abdullah-petroleum-studies-research-center-by-zaha-hadid-underway-02-06-2014/> (Erişim Tarihi: 15.01. 2023)
- URL-84, 2023. *Achieving an uncompromising architectural aesthetic with ambitious environmental credentials*. <https://www.arup.com/projects/kapsarc> (Erişim Tarihi: 15.01.2023)
- Üzer, M., 2015. Asma Germe Sistemlerin Uygulandığı Endüstriyel Yapıların Deprem Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Radwan, G. A. N., Osama, N., 2016. An Approach towards Sustainability and Energy Efficiency with Biomimicry. *Procedia Environmental Sciences* 34, 178 – 189.
- 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.
- Vitruvius, 2005. *Mimarlık Üzerine On Kitap*. Çev: Suna GÜVEN, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, 4. Baskı. İstanbul, Türkiye.
- Vural S., Avinç M. G., 2015. Doğadan Esinli Geleneksel ve Sayısal Tasarım Yöntemlerinin Yaşam Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi. *IX. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu*. 25-26 Haziran 2015, Özyeğin Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- Wahl, D. C. 2016. *Designing Regenerative Cultures*. Published by Triarchy Press. Axminster, England. s: 568.

- Yager, S., 2014. *Supertrees*. <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2014/07/supertrees/372283/> (Erişim Tarihi: 01.12.2022)
- Yaranateş, B. D., Batmaz, K. S., 2013. *Mimaride Sayısal Sistematiik Araçlar ile Etkileşim Ve Yaratıcılık Ölçütlerinin Geliştirilmesi*. https://www.researchgate.net/publication/344440758_MIMARIDE_SAYISAL_SISTEMATIK_ARACLAR_ILE_ETKILESİ_M_VE_YARATICILIK_OLCUTLERININ_GELISTIRILMESİ (Erişim Tarihi:18.10.2022)
- Yeler, S., Minsolmaz Yeler, G., Çağlarer, E., 2022. *Yapı Mimarisinde Kadın Etkileri*. <https://docplayer.biz.tr/5125172-Ars-gor-soner-yeler-ogr-gor-gulcan-m-yeler-ars-gor-evren-caglarer.html>. (Erişim Tarihi:13.10.2022)
- Yıldız, S., 2020. Biyomimikrinin Tekstil Tasarımındaki Yeri ve Kumaş Tasarım Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü. İzmir, Türkiye.
- Yılmaz, E., 2018. *Biomimicry / The Gherkin*. https://efeyilmaz1.files.wordpress.com/2018/11/arch423_biomimicry_efeyilmaz_cansubayrak.jpg. (Erişim Tarihi: 30.10.2022)
- Yılmaz, K., A., 2006. Mimarlıkta Adapte Edilebilir ve Güncellenebilirliğe Yönelik Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yorulmazel, K., 2020. Yapı Biçimlenişinde Biyomimesisin Estetik Etkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, Türkiye.
- Zari, P. M., 2007. Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability: The SB07 NZ Sustainable Building Conference Auckland, The Conference.
- Zeytün, U. B., 2014. Mimari Tasarımda Biyomorfik Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi. Yakındoğ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, KKTC.

