

**T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİYOMİMETİK STRÜKTÜRLERİN ÖRNEKLERLE İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinem KARADUMAN ERCAN

**Mimarlık Anabilim Dalı
§
Yapı Bilgisi Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşin SEV

HAZİRAN 2018

Sinem KARADUMAN ERCAN tarafından hazırlanan BİYOMİMETİK STRÜKTÜRLERİN ÖRNEKLERLE İRDELENMESİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. AYŞİN SEV

Tez Danışmanı

Bu çalışma, jürimiz tarafındanMimarlık..... Anabilim Dalında
Yüksek Lisans... tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman

: Prof. Dr. AYŞİN SEV 

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi İsmail MİHLAYANLAR 

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Volkan GÜNE 

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Savaş EKİNCİ 

Üye

: _____

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak yazılmıştır.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Sinem KARADUMAN ERCAN

İmzası


BIYOMİMETİK STRÜKTÜRLERİN ÖRNEKLERLE İRDELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında biyomimetik strüktürler ve seçilen biyomimetik bina örneklerinin mimari, strüktürel ve biyomimetik strüktür türleri analiz edilerek, çeşitli bakış açılarına göre sonuçlar ortaya konmuştur. Çalışma 6 bölümden oluşmaktadır.

Problemin tanımı, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi birinci bölümde açıklanmıştır.

İkinci bölümde biyomimikri kavramının tanımı ve tarihçesi hakkında bilgi verilip, biyomimikrinin mimarlıkla ilişkisi ve mimarlıkta biyomimetik tasarım yaklaşımlarından söz edilmiştir. Bu yaklaşımlar; biyolojiyi arayan tasarım, tasarımı etkileyen biyoloji ve diğer yaklaşımlar olmak üzere üç başlıkta incelenmiştir. Ardından Zari (2007)'nin biyolojiyi arayan tasarım ve tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımlarının her ikisinde de, tasarım probleminin çözülmesi için uygulanabilecek üç düzeyde taklit etme yöntemi yani biyomimikri düzeyleri anlatılmaktadır. Bu düzeyler; organizma, davranış ve ekosistem düzeyi olarak sıralanmaktadır.

Üçüncü bölüm biyomimetik strüktürlerin sınıflandırılmasını kapsamaktadır. Bu bölümde anlatılan strüktür türleri; ağaç benzeri, iskelet benzeri, ağ benzeri, pnömatik ve kabuk benzeri strüktürler olmak üzere beş kategoride örneklerle ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

Dördüncü bölüm seçilen 18 adet biyomimetik yapı örneklerini kapsamaktadır. Bu örnekler mimari, taşıyıcı sistem ve biyomimetik özelliklerini ortaya koyacak şekilde hazırlanan bilgi formatına göre tanıtılmış, binalara ilişkin özellikler ortaya konmuştur. Bunlar örneklerin mimari, taşıyıcı sistem ve biyomimetik özelliklerini kapsamaktadır. Her bir yapının bu özellikleri detaylı bir şekilde görsellerle desteklenerek açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, biyomimetik bina örneklerinin tanıtıldığı bilgi formatı doğrultusunda, çeşitli bakış açılarına göre karşılaştırmalı analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu bakış açıları yapıların mimari, strüktürel ve biyomimetik özelliklerini kapsamaktadır. Her bir bakış açısı kendi içinde ayrıca alt kategorilere ayrılmaktadır. Örneğin yapıların mimari özellikleri yapıyı yansıtan, yeri, bina fonksiyonu ve yükseklik gibi kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Strüktürel özelliklerin değerlendirilmesinde yapı türü, strüktür türü ve strüktür malzemesi gibi faktörler etkili olmuştur. Benzer şekilde biyomimetik özelliklerin değerlendirilmesinde de esin kaynağı, biyomimikri düzeyi ve

biyomimetik strüktür türleri gibi unsurlar dikkate alınıp bir değerlendirmeye gidilmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan altıncı bölümde, seçilen biyomimetik uygulama örneklerinin karşılaştırmalı analizleri ve değerlendirmeleri ışığında, örneklerin mimari, strüktürel ve biyomimetik özelliklerine ilişkin  eşitli sonuçlar ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Biyomimikri, Doğadan Esinlenen Tasarım, Biyomimetik Yaklaşımlar, Biyomimetik Strüktürler, S rd r lebilirlik



EXAMINATION OF BIOMIMETIC STRUCTURES BASED ON EXAMPLES

ABSTRACT

In this thesis, architectural, structural and biomimetic structure types of biomimetic structures and selected biomimetic building examples are analyzed and results are presented according to various perspectives. The study consists of 6 chapters.

The problem definition, aim, scope and method of the study were explained in the first chapter.

In the second chapter, the definition and history of biomimicry concept have been presented and the relationship of biomimicry with architecture as well as biomimetic design approaches in architecture has been discussed. These approaches were examined under three headings as design looking to biology, biology influencing design, and other approaches. Subsequently, three levels of imitation in other words biomimicry levels that can be applied to solve the design problem in both design looking to biology and biology influencing design approaches proposed by Zari (2007) have been discussed. These levels are organism, behavior and ecosystem level.

The third chapter covers the classification of biomimetic structures. The types of structures described in this section are presented in details under five main headings; tree-like, skeletal-like, web-like, pneumatic and shell-like structures.

The fourth chapter covers 18 selected examples of biomimetic structures. These examples have been presented according to the information format prepared to reveal architectural, load-bearing system, and biomimetic properties of the structures and structural properties have been revealed. These include the architectural, load-bearing system and biomimetic properties of the selected examples. The features of each structure have been discussed in details by supporting images.

In the fifth chapter, comparative analyzes and evaluations have been carried out based on various perspectives in line with the information format used to present these biomimetic structures. These perspectives include the architectural, structural and biomimetic properties of the structures. Each perspective is further divided into subcategories. For example, architectural properties of these structures are evaluated by taking into consideration criteria such as year of construction, location, building function and height. Factors such as construction type, structure type and structural material were effective in the evaluation of structural properties. Similarly, in evaluating the biomimetic properties, evaluation has been performed by considering

factors such as source of inspiration, level of biomimicry and types of biomimetic structure.

In the sixth and final chapter of the study, various results and conclusions on architectural, structural and biomimetic properties of selected examples were put forth based on the comparative analyses and evaluations of these biomimetic applications.

Keywords : Biomimicry, Design Inspired by Nature, Biomimetic Approaches, Biomimetic Structures, Sustainability



ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında, ilgiyle hep yanımda olduğunu hissettiren değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşin SEV'e sonsuz bir sabır ve anlayışla bana sunmuş olduğu yardım ve desteği için teşekkürlerimi sunuyorum. Hayatım boyunca sevgi ve destekleri ile hep yanımda olan CANIM AİLEM'e, bana olan inancıyla beni yüreklendiren sevgili eşim Mahmut ERCAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

Mimar Sinem KARADUMAN ERCAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Tezin Kapsamı	2
1.4 Tezin Yöntemi	2
2. BİYOMİMİKRI KAVRAMI	4
2.1 Biyomimikri Kavramının Tanımı ve Tarihçesi	4
2.2 Biyomimikri ve Mimarlık İlişkisi	5
2.3 Mimarlıkta Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları	5
2.3.1 Biyolojiyi arayan tasarım	5
2.3.2 Tasarımı etkileyen biyoloji	7
2.3.3 Diğer yaklaşımlar	8
2.3.3.1 İletişim	8
2.3.3.2 Termo düzenleyicilik	13
2.3.3.3 Su dengeleyicilik	19
2.3.3.4 Koruma	23
2.4 Biyomimikri Düzeyleri	27
2.4.1 Organizma düzeyi	30
2.4.2 Davranış düzeyi	31
2.4.3 Ekosistem düzeyi	33
2.5 Bölüm Sonucu	35
3. BİYOMİMETİK STRÜKTÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI	36
3.1 Ağaç Benzeri Strüktürler	36
3.2 İskelet Benzeri Strüktürler	39
3.3 Ağ Benzeri Strüktürler	41
3.4 Pnömatik Strüktürler	42
3.5 Kabuk Benzeri Strüktürler	44
3.6 Bölüm Sonucu	45

4. BİYOMİMETİK YAPI ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ	46
4.1 Masdar Genel Merkezi, Abu Dhabi, BAE	46
4.2 Oriente İstasyonu, Lizbon, Portekiz	49
4.3 Stansted Hava Terminali, Essex, İngiltere	51
4.4 Katar Ulusal Kongre Merkezi, Doha, Katar	53
4.5 Turning Torso, Malmö, İsveç	55
4.6 Gherkin (Swiss Re) Kulesi, Londra, İngiltere	57
4.7 Lyon Hava-Tren İstasyonu, Lyon, Fransa	60
4.8 Absolute World Kuleleri I / II, Mississauga, Kanada	63
4.9 Münih Olimpiyat Stadı, Münih, Almanya	66
4.10 Alman Pavyonu Expo 67, Montreal, Almanya	68
4.11 Millennium Dome, Londra, İngiltere	70
4.12 Denver Uluslararası Havaalanı Terminali, Denver, ABD	72
4.13 Ulusal Su Sporları Merkezi, Pekin, Çin	74
4.14 Eden Projesi, Cornwall, İngiltere	76
4.15 Chicago Spire, Chicago, ABD	78
4.16 Aldar Gökdeleni, Abu Dhabi, BAE	80
4.17 Palazzetto Dello Sport, Roma, İtalya	82
4.18 Sidney Opera Evi, Sidney, Avustralya	84
5. BİYOMİMETİK YAPI ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	87
5.1 Örneklerin Mimari Özellikleri Açısından Analizi.....	91
5.2 Örneklerin Strüktürel Özellikleri Açısından Analizi.....	93
5.3 Örneklerin Biyomimetik Özellikleri Açısından Analiz	93
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	94
6.1 Örneklerin Mimari Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	94
6.2 Örneklerin Strüktürel Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	95
6.3 Örneklerin Biyomimetik Özelliklerine İlişkin Sonuçlar	96
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ.....	104

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Biyomimikrinin mimarlıkta uygulanması için bir çerçeve.	28
Tablo 4.1 : Masdar Genel Merkezi hakkında genel bilgiler.	46
Tablo 4.2 : Oriente İstasyonu hakkında genel bilgiler.	49
Tablo 4.3 : Stansted Hava Terminal binası hakkında genel bilgiler.	51
Tablo 4.4 : Katar Ulusal Kongre Merkezi hakkında genel bilgiler.	53
Tablo 4.5 : Turning Torso hakkında genel bilgiler.	55
Tablo 4.6 : Gherkin Kulesi hakkında genel bilgiler.	57
Tablo 4.7 : Lyon Hava-Tren İstasyonu binası hakkında genel bilgiler.	60
Tablo 4.8 : Absolute World Kuleleri I / II hakkında genel bilgiler.	63
Tablo 4.9 : Münih Olimpiyat Stadı hakkında genel bilgiler.	66
Tablo 4.10 : Alman Pavyonu, Expo 67 hakkında genel bilgiler.	68
Tablo 4.11 : Millennium Dome hakkında genel bilgiler.	70
Tablo 4.12 : Denver Uluslararası Havaalanı Terminali hakkında genel bilgiler.	72
Tablo 4.13 : Ulusal Su Sporları Merkezi hakkında genel bilgiler.	74
Tablo 4.14 : Eden Projesi hakkında genel bilgiler.	76
Tablo 4.15 : Chicago Spire hakkında genel bilgiler.	78
Tablo 4.16 : Aldar Gökdeleni hakkında genel bilgiler.	80
Tablo 4.17 : Palazzetto Dello Sport hakkında genel bilgiler.	82
Tablo 4.18 : Sidney Opera Evi hakkında genel bilgiler.	84
Tablo 5.1 : Yapılara ilişkin bilgilerin karşılaştırılması.	88
Tablo 5.2 : Seçilen biyomimetik yapı örneklerinde yapı fonksiyonlarının dağılımı.	92
Tablo 5.3 : Seçilen biyomimetik yapı örneklerinde yapı yüksekliklerinin dağılımı.	92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Daimler Chrysler'ın biyonik araç tasarımı	6
Şekil 2.2 : Kendini temizleme özelliğine sahip Lotusan boyası	7
Şekil 2.3 : (a) (b) Urania Moth kelebeği	10
Şekil 2.4 : Işığın yansıması ve parazitlenmesi	11
Şekil 2.5 : Su dolu şişelerin güneş ile oluşturduğu renk oynaşması	12
Şekil 2.6 : Plastik şişelerle sağlanan renklendirme	12
Şekil 2.7 : Kertenkelelerin deri davranışları	15
Şekil 2.8 : Çölde kertenkelelerin karşılaştıkları ısı kaynakları	16
Şekil 2.9 : Güneş takip sistemi çalışma mekanizması	17
Şekil 2.10 : Cephe panel detayı	18
Şekil 2.11 : (a) Cephe panel sistemleri ve (b) proje genel görünüm	19
Şekil 2.12 : Namibya çöl böceklerinin su toplama stratejileri	21
Şekil 2.13 : Geçici konutun çalışma prensibi	22
Şekil 2.14 : (a) Çatı disk detayları ve (b) proje genel görünümü	23
Şekil 2.15 : Pangolinlerin yürüme ve savunma pozisyonları	25
Şekil 2.16 : Proje genel görünüm	26
Şekil 2.17 : Barınağa ait cephe sistem detayı	27
Şekil 2.18 : Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi	30
Şekil 2.19 : Waterloo Uluslararası Terminal tasarımı ve pangolin	31
Şekil 2.20 : Kuzey Amerika kunduzunun yaşamsal davranışı	32
Şekil 2.21 : Eastgate binası ve akkarınca yuvası	33
Şekil 2.22 : Llyod Crossing projesi	34
Şekil 3.1 : King's College Şapeli	37
Şekil 3.2 : (a) Eddystone Deniz Feneri ve (b) Sagra da Familia	38
Şekil 3.3 : Frei Otto'nun Dallanma Teorisi	38
Şekil 3.4 : (a) BCE Place ve (b) Stuttgart Havalanı Yolcu Terminali	39
Şekil 3.5 : (a) Eiffel Kulesi ve (b) femur kemiği	40
Şekil 3.6 : (a) Casa Batllo ve (b) Milwaukee Sanat Müzesi	40
Şekil 3.7 : Münih Olimpiyat Stadı	41
Şekil 3.8 : (a) Big Egg Dome ve (b) Ulusal Uzay Merkezi	43
Şekil 3.9 : (a) Sydney Opera Binası, (b) L'Oceanogràfic, (c) Conch Shell House ve (d) BioLab Filosu	45
Şekil 4.1 : Masdar Genel Merkezi	46
Şekil 4.2 : Masdar Genel Merkezi, kesit perspektifi	47
Şekil 4.3 : Rüzgar konileri ve aerodinamik çatı birleşimleri	48
Şekil 4.4 : (a) Ağaç ve (b) Masdar Genel Merkezi	48

Şekil 4.5 : Oriente İstasyonu.....	49
Şekil 4.6 : Katlar arasındaki bağlantı.....	50
Şekil 4.7 : (a) Palmiye ağacı ve (b) Oriente İstasyonu	50
Şekil 4.8 : Stansted Hava Terminali	51
Şekil 4.9 : Stansted Hava Terminali kesit.....	51
Şekil 4.10 : Stansted Hava Terminali üst örtüsü ve strüktürel kolon	52
Şekil 4.11 : (a) Ağaç ve (b) Stansted Hava Terminali	52
Şekil 4.12 : Katar Ulusal Kongre Merkezi	53
Şekil 4.13 : Katar Ulusal Kongre Merkezi genel görünüm	53
Şekil 4.14 : Beton temel ve çelik taşıyıcı eleman.....	54
Şekil 4.15 : (a) Sidra ağacı ve (b) Katar Ulusal Kongre Merkezi.....	54
Şekil 4.16 : Turning Torso.....	55
Şekil 4.17 : Turning Torso plan ve eksenini etrafında 90° dönmesine ait 3D modelleme	55
Şekil 4.18 : Turning Torso, 5 katlı modüle ait strüktürel konsept.....	56
Şekil 4.19 : (a) Hareket halindeki insan formu ve (b) Turning Torso	56
Şekil 4.20 : Gherkin (Swiss Re) Kulesi	57
Şekil 4.21 : (a) Gherkin Kulesi 33. kat planı ve (b) formun çıkış noktasına ait eskiz.....	58
Şekil 4.22 : Gherkin Kulesi'ne ait strüktürel sistem.....	58
Şekil 4.23 : Venüs bitkisi süngeri ve Gherkin Kulesi.....	59
Şekil 4.24 : Lyon Hava-Tren İstasyonu	60
Şekil 4.25 : Lyon Hava-Tren İstasyonu vaziyet planı	61
Şekil 4.26 : Lyon Hava-Tren İstasyonu'na etki eden yükler	62
Şekil 4.27 : (a) Uçan kuş formu ve (b) Lyon Hava-Tren İstasyonu	62
Şekil 4.28 : Absolute World Kuleleri I / II	63
Şekil 4.29 : (a) Absolute World Kuleleri vaziyet planı ve (b) kule planlarını dönmesine ait diagram	64
Şekil 4.30 : Absolute World Kulesi strüktürel şeması ve kat planı	65
Şekil 4.31 : Marilyn Monro ve Absolute World Kuleleri.....	65
Şekil 4.32 : Münih Olimpiyat Stadı	66
Şekil 4.33 : Münih Olimpiyat Stadı genel görünüm.....	66
Şekil 4.34 : (a) Münih Olimpiyat Stadı çatı planı ve (b) Çift eğrilikli kablo ağı.....	67
Şekil 4.35 : (a) Örümcek ağı ve (b) Münih Olimpiyat Stadı	67
Şekil 4.36 : Alman Pavyonu, Expo 67.....	68
Şekil 4.37 : Alman Pavyonu, Expo 67 genel görünüm	68
Şekil 4.38 : Alman Pavyonu, Expo 67 çatı planı.....	69
Şekil 4.39 : (a) Örümcek ağı ve (b) Alman Pavyonu, Expo 67	69
Şekil 4.40 : Millennium Dome	70
Şekil 4.41 : Millennium Dome genel görünüm	70
Şekil 4.42 : Millennium Dome'a etkiyen kuvvetler	71
Şekil 4.43 : (a) Örümcek ağı ve (b) Millennium Dome.....	71
Şekil 4.44 : Denver Uluslararası Havaalanı Terminali.....	72
Şekil 4.45 : Denver Uluslararası Havaalanı Terminali genel görünüm.....	72
Şekil 4.46 : Denver Uluslararası Havaalanı Terminali kesit	73

Şekil 4.47 : (a) Örümcek ağı ve (b) Denver Uluslararası Havaalanı Terminali eskizi	73
Şekil 4.48 : Ulusal Su Sporları Merkezi	74
Şekil 4.49 : Ulusal Su Sporları Merkezi genel görünüm	74
Şekil 4.50 : Ulusal Su Sporları Merkezi projesinin cephe modülleri	75
Şekil 4.51 : (a) Su kabarcığı ve (b) Ulusal Su Sporları Merkezi	75
Şekil 4.52 : Eden Projesi.....	76
Şekil 4.53 : Eden Projesi genel görünüm	76
Şekil 4.54 : Eden Projesi ETFE yastıkları ve çerçeveler	77
Şekil 4.55 : (a) Su kabarcığı ve (b) Eden Projesi.....	77
Şekil 4.56 : Chicago Spire	78
Şekil 4.57 : Chicago Spire 37. kat planı ve üst görünüm	78
Şekil 4.58 : Chicago Spire taşıyıcı sistem şeması	79
Şekil 4.59 : (a) Deniz kabuğu ve (b) Chicago Spire	79
Şekil 4.60 : Aldar Gökdeleni	80
Şekil 4.61 : Aldar Gökdeleni 21. kat planı	80
Şekil 4.62 : Aldar Gökdeleni'nin strüktürel şeması	81
Şekil 4.63 : (a) İstiridye kabuğu ve (b) Aldar Gökdeleni	81
Şekil 4.64 : Palazzetto dello Sport.....	82
Şekil 4.65 : Palazzetto dello Sport tribün planı	83
Şekil 4.66 : Palazzetto dello Sport'un strüktürel şeması	83
Şekil 4.67 : (a) Deniz kabuğu ve (b) Palazzetto dello Sport.....	84
Şekil 4.68 : Sidney Opera Evi.....	84
Şekil 4.69 : Sidney Opera Evi genel görünüm	85
Şekil 4.70 : (a) Sidney Opera Evi'ne etkiyen dikey yükler ve (b) yatay yükler.....	85
Şekil 4.71 : (a) Deniz kabukları ve (b) Sidney Opera Evi	86

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BAE	: Birleşik Arap Emirlikleri
°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
ETFE	: Ethylene Tetrafluoroethylene
Expo	: Exposition
kg	: Kilogram
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
m	: Metre
m²	: Metrekare
PTFE	: Politetrafloretlen
PVC	: Polivinilklorür
UV	: UltraViolet
vb.	: ve başkası, ve başkaları, ve benzeri, ve benzerleri, ve bunun gibi
vd.	: ve diğerleri
YY	: Yüzyıl

1. GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Günümüzde geleneksel mimarlığın yanı sıra doğadan esinlenen biyomimetik mimarlığın da giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Genel anlamda geleneksel yapıların tasarımda doğadan esinlenerek, çevre koşullarından yararlanma ya da bulunduğu çevreye uyum ve yarar sağlamada yoksun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu tür yapıların pek çoğu işlevsellik ve sürdürülebilirlik açısından beklentileri karşılamakta yetersiz kalmaktadır.

Geleneksel tasarım yaklaşımlarının neden olduğu bu yetersizlikler, biyomimetik yaklaşımla büyük ölçüde giderilebilmekte, böylece insan ihtiyaçlarına daha iyi cevap veren, aynı zamanda insan ve çevreyle daha uyumlu yapılar ortaya konmaktadır. İnsanoğlu, yaşadığı doğada varolan fiziki zorlukları ya da doğadan sağlayabileceği yararları yine doğada gizli bazı şifreleri ve çözümleri öğrenerek, başka bir deyişle doğadaki yapılardan ve organizmalardan esinlenerek çevreyi tasarladığında, günümüzün pek çok mimari sorunları da kendiliğinden çözümlenmiş olacaktır. Bu sorunların başında aşırı kaynak tüketimine, insan sağlığına ve doğal çevreye zarar veren yapılar gelmektedir.

1.2 Tezin Amacı

İnsanoğlu varolduğu günden bugüne doğada bulunan doğal yapıları, bunların formlarını ve strüktürlerini gözlemlemiş; bu yapıların strüktürel özelliklerini ve her açıdan etkinlik göstermelerini sağlayan gizli sırları çözmeye çalışmıştır. Barınma, yaşama ve doğa şartlarından korunma ihtiyacı insanoğlunu doğayı anlamaya ve araştırmaya yönlendirmiş; bu amaçla doğadaki oluşumları gözlemlemiş, taklit etmiş ve canlı veya cansız varlıklardan ilham alarak strüktürler üretmiştir.

Son yıllarda, doğayla iç içe yaşayan insan doğal yapılardan esinlenirken yeni bir disiplin olan biyomimikriden faydalanmaktadır. Biyomimikri, doğadan ilham alınarak yapılan bir tasarım anlayışıdır.

Tez çalışmasının amacı, biyomimikri kavramının tanımını ortaya koymak, mimaride bu yaklaşımı izleyebilmek amacıyla, doğal yapılardaki formları, organizmaların işleyiş biçimlerini örneklerle açıklamak, biyomimikri yaklaşımının yapılarda en yaygın uygulanma şeklini yapı örneklerine bağlı olarak araştırmaktır. Çalışmada yeni bir disiplin olan biyomimikri tanımlanarak, mimarlık ile ilişkisi ve mimarlık alanında uygulanan örnekleri incelemek amaçlanmıştır.

1.3 Tezin Kapsamı

Doğadan esinlenme ve doğadaki oluşumların, organizmaların ve canlı veya cansız varlıkların taklit edilmesi tarih öncesi çağlardan bugüne kullanılagelmiştir. Örneğin, doğayı gözlemleyen insanoğlu, barınma ihtiyacını karşılamak için kuş yuvalarından ilham almış ve kuşun yuva yapma tekniklerini taklit ederek kendine barınak inşa etmiştir.

Bu çalışmada, ilk çağlardan beri insanoğlunun hayatında varolan doğadan esinlenme eylemi, Montanalı yazar ve çevreci olan Janine M. Benyus tarafından “doğanın dehasının bilinçli olarak taklit edilmesi” olarak tanımlanan “Biyomimikri Kavramı” araştırılmıştır. Daha sonra biyomimikri yaklaşımları ve düzeyleri hakkında bilgi verilip, biyomimetik strüktür türleri sınıflandırılmıştır. Çeşitli fonksiyonlara hizmet eden, 1957-2012 yılları arasında yapılmış olan biyomimetik yapı örnekleri araştırılmış ve bu yapıların mimari, taşıyıcı sistem ve biyomimetik özellikleri incelenmiştir. Söz konusu örneklerin kapsama dahil edilmesindeki neden, sadece insanlara hizmet eden, büyük ölçekli, karmaşık yapım sorunları içeren ve strüktürel ve yapım açısından ileri teknoloji ürünü olan yapılar olmasıdır. Vernaküler mimarlık örnekleri kapsam dışı bırakılmıştır.

1.4 Tezin Yöntemi

Tez çalışması literatür araştırması ile başlamaktadır. Biyomimikri kavramına ilişkin yayınlanmış olan kitaplar, bildiri ve makaleler olmak üzere yazılı kaynaklardan ve internet bilgi ağı aracılığı ile

- Biyomimikri kavramının tanımı ve tarihsel süreç içinde gelişimi,
- Biyomimikrinin mimarlık ile ilişkisi,

- Biyomimetik tasarım yaklaşımları,
- Biyomimikri düzeylerine ilişkin bilgi toplanmıştır.

İkinci aşamada, biyomimetik strüktür örnekleri yukarıda belirtilen kapsam dahilinde belirlenerek sınıflandırılmış ve her bir strüktür türüne örnek oluşturabilecek yapılar mimari, strüktürel ve biyomimikri özellikleri açısından detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Daha sonra, seçilen bu 18 adet yapı örneğine ilişkin bulgular sistematik olarak gruplandırılarak, tablo oluşturulmuştur. Bu tablo aracılığı ile biyomimetik yapı örnekleri arasında karşılaştırma olanağı doğmuştur.

Bu doğrultuda bulguların değerlendirilmesi ve karşılaştırmalı analizlerle,

- Biyomimetik binaların hangi yıllar arasında, ülkelerde, fonksiyonlar için ve yüksekliklerde yapıldığı,
- Biyomimetik binaların yapı türü, strüktür türü ve yapımında hangi malzemelerin kullanılabileceği ve
- Yapıların esin kaynaklarının, biyomimikri düzeylerinin ve biyomimetik strüktür türlerinin neler olabileceği

sorularına yanıt aranacaktır.

2. BİYOMİKRI KAVRAMI

2.1 Biyomimikri Kavramının Tanımı ve Tarihçesi

Biyomimikri terimi, Antik Yunanca'da "yaşam" anlamına gelen "bios" ve "taklit etmek" anlamına gelen "mimesis" kelimelerinden türetilmiştir. Biyomimikri kelimesi ilk olarak Montanalı yazar ve çevreci olan Janine M. Benyus tarafından "doğanın dehasının bilinçli olarak taklit edilmesi" olarak tanımlanmıştır. Biyomimikri, doğanın modellerini, sistemlerini, oluşum süreçlerini ve elementlerini inceleyen ve elde ettiği bilgilerden taklit ederek insanların problemleri ve ihtiyaçlarına çözüm üreten bir tasarım disiplini (Benyus, 1997).

Janine M. Benyus'a göre;

"Doğayı model olarak alma" anlamında biyomimikri, insan problemlerini çözmek için doğada var olan modelleri inceleyen, bu modelleri taklit eden ya da ilham kaynağı olarak kullanan bir bilimdir.

"Doğayı ölçü olarak alma" anlamında biyomimikri, yenilikleri değerlendirmek için ekolojik standartları kullanarak tasarımın iyi ya da kötü olduğuna karar verir.

"Doğayı kılavuz olarak alma" anlamında biyomimikri, doğayı görmenin ve değerlendirmenin yeni yoludur. Doğadan ne çıkarım elde edileceğini değil ne öğrenileceğini anlatan bir yaklaşımdır (Benyus, 1997).

Janine M. Benyus'a göre, tümü doğada varolan, biyomimikrinin ilkeleri;

- Gün ışığında çalışma,
- Yalnızca ihtiyacı olan enerjiyi kullanma,
- Formları fonksiyona dönüştürme,
- Tüm atıkları geri dönüştürme,
- İşbirliğini ödüllendirme,

- Çeşitliliği sağlama,
 - Yerel uzmanlık gerektirme; (doğa her bölge için o bölgeye en iyi uyum sağlayanı ister)
 - Aşırılıkları kendi içerisinde engelleme,
 - Gücünün sınırlarını zorlama
- olarak sıralanmaktadır (Benyus, 1997).

2.2 Biyomimikri ve Mimarlık İlişkisi

2.3 Mimarlıkta Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları

Karşılaştırmalı bir literatür taraması ve mevcut biyomimetik teknolojilerin incelenmesi, 2007 yılında Yeni Zelanda'daki Victoria Üniversitesi'nden M. Pedersen Zari tarafından gerçekleştirilmiştir.

M. Pedersen Zari biyomimikriye iki sınıfta yaklaşılabileceğini belirtmiştir. Bunlardan ilki insan ihtiyaçlarını tanımlamak ya da problemi tasarlamak ve diğer organizmaların ya da ekosistemlerin bunu çözme şekillerine bakmak; bu yaklaşım kısaca “Biyolojiyi arayan tasarım” (Top-Down approach) olarak tanımlanır. İkicisi ise bir organizmada ya da ekosistemdeki belirli bir karakteristik, davranış ya da işlevin belirlenmesi ve bunun insan tasarımlarına dönüştürülmesi; bu da “Tasarımı etkileyen biyoloji” (Bottom-Up approach) olarak adlandırılır (Zari, 2007).

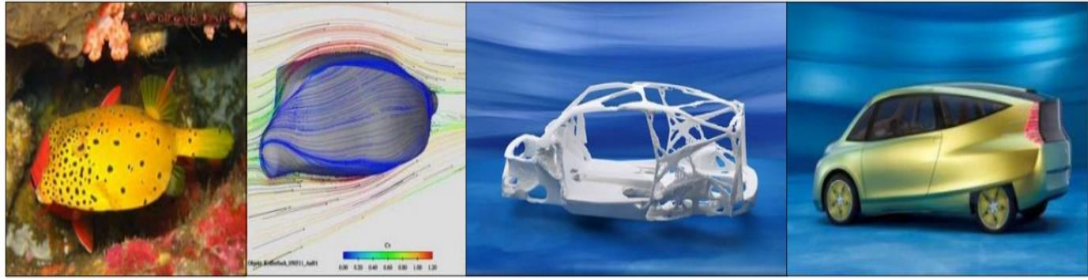
2.3.1 Biyolojiyi arayan tasarım

Konuyla ilgili güncel literatür incelendiğinde, bu yaklaşımın “Biyolojiyi arayan tasarım”, “Yukarıdan aşağıya yaklaşım”, “Probleme dayalı biyolojik ilham alınan tasarım” ve “Biyolojiye meydan okumak” gibi farklı şekillerde tanımlandığı görülmektedir. Bu tanımlamaların hepsi aynı anlamda olmakla birlikte tasarımcıların kendi tasarım problemlerini, benzer problemleri çözmüş organizmalar ve canlılarla eşleştirerek çözmelerine yardımcı olmaktadır. Bu yaklaşım, tasarımların tetikleyicisi ve amaçlarını belirleyebilmelerinin bir sonucudur (Aziz ve El sherif, 2015).

Bu yaklaşımda, tasarımcılar çözümler için yaşayan dünyaya bakar; biyologlar ve tasarımcılar tarafından problemler tanımlanır; daha sonra benzer sorunların

organizmalar tarafından nasıl çözümlendiği incelenir. Bu yaklaşım tasarımcılara başlangıçtaki tasarım amaçlarını ve parametrelerini belirlemede kolaylık sağlamaktadır (Zari, 2007).

Bu yaklaşıma bir örnek, Daimler Chrysler'ın prototipi olan Biyonik Araba'dır (Şekil 2.1). Burada büyük hacimli, küçük tekerlekli bir araba tasarlamak için kutu balığından esinlenilmiş olup balığın aerodinamik yapısı arabaya şeklini vermektedir. Aracın şasesi ve strüktürü de biyomimetiktir, ağaçların nasıl büyüdüğüne dayanan bir bilgisayar modelleme yöntemi kullanılarak tasarlanmış olması strüktürel gerilmelerde yoğunlaşmaları en aza indirmektedir. Elde edilen yapı neredeyse iskelet görünümüne sahiptir, malzeme kullanımı minimum düzeyde olup, yalnızca en çok ihtiyaç duyulan yerlere tahsis edilmiştir (Vincent vd., 2006).



Şekil 2.1 Daimler Chrysler'ın biyonik araç tasarımı (Zari, 2007)

Biyolojik benzerlikler, insanların tanımladığı tasarım problemleriyle eşleşen mimari tasarıma ait bir sorunun çözümünde kullanılan temel yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle sürdürülebilir olmayan ve hatta bozulma eğilimi olan inşa edilmiş çevrenin altında yatan nedenler, böyle bir yaklaşımla ele alınmaz (Zari, 2007).

Biyonik araba yakıt kullanımı açısından daha verimlidir; çünkü sandık balıklarının taklit edilmesinden dolayı arabanın yapısı aerodinamiktir. Aynı zamanda arabanın strüktüründe gerekli minimum malzeme miktarının belirlenmesi için ağaçların büyüme modellerinin taklit edilmesiyle malzeme verimliliği artmaktadır. Bunun yerine, kişisel araç kullanımına bir çözüm olabilmesi için arabanın tekrar gözden geçirilmeksizin var olan teknolojiye geliştirmeler yapılmıştır (Zari, 2007).

Tasarımcılar organizmaları ya da ekosistemleri gözlemleyebilme ve mevcut biyolojik araştırmalara erişebilme yeteneğine sahipse, derinlemesine bilimsel bir anlayışa ihtiyaç duymadan hatta bir biyolog ya da ekolojistle birlikte çalışmadan potansiyel

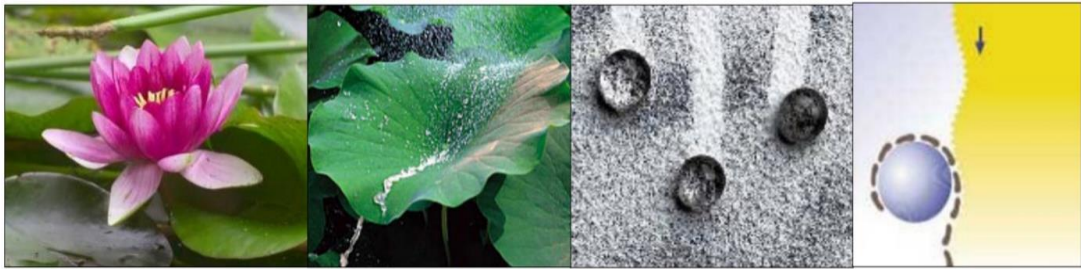
biyomimetik çözümleri araştırabilir. Bununla birlikte, sınırlı bir bilimsel anlayışla, böyle bir biyolojik bilginin bir insan tasarım ortamında sık bir seviyede kalma potansiyeli de vardır. Organizmaların bazı mekanik yönlerini taklit etmek kolayken bilimsel işbirliği olmadan kimyasal süreçleri takip etmek ve taklit etmek zordur (Zari, 2007).

Bu dezavantajlarına rağmen, böyle bir yaklaşım sürdürülebilir olmayan çözümlerin aksine etkili paradigmalara yapıyı çevrenin geçişine başlamanın bir yolu olabilir (McDonough ve Braungart, 2002).

2.3.2 Tasarımı etkileyen biyoloji

Bu yaklaşım önceki yaklaşımda olduğu gibi literatürde “Tasarımı etkileyen biyoloji”, “Çözüme dayalı biyolojik ilham veren tasarım” ve “Biyolojiden tasarıma” farklı şekillerde tanımlanmıştır (Aziz ve El sherif, 2015).

Biyolojik bilgi insan tasarımını etkilediğinde, işbirlikçi tasarım süreci başlangıçta belirlenen tasarım problemleri yerine, biyolojik veya ekolojik araştırmalara ilişkin bilgiye sahip insanlara bağımlıdır. Baumeister tarafından detaylandırılmış binaların kendiliğinden temizlenmesini sağlayan boya, Sto’nun Lotusan’ı da dahil olmak üzere, birçok tasarım yeniliğine yol açan, bataklıktan temiz çıkan lotus çiçeğinin bilimsel analizi buna bir örnek olarak verilebilir (Zari, 2007) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Kendini temizleme özelliğine sahip Lotusan boyası (Zari, 2007)

Bu yaklaşımın avantajı; biyolojinin, önceden belirlenmiş bir tasarım probleminin dışında, düşünülmemiş teknolojiler veya sistemlerin, hatta tasarım çözümlerine dair yaklaşımların sonucunda insanları çeşitli yollarla etkileyebilecek olmasıdır (Vincent vd., 2005).

Tasarım açısından bu yaklaşımın dezavantajı biyolojik araştırmaların yürütülmesi ve daha sonra bir tasarım bağlamıyla alakalı olarak tanımlanması gerekliliğidir. Bu

nedenle, biyologlar ve ekolojistler, yeni uygulamaların oluşturulmasında araştırmalarının potansiyelinin farkında olmalıdırlar (Zari, 2007).

2.3.3 Diğer yaklaşımlar

Biyomimikri tasarımı etkileyen bir disiplin olup mimarlıkta çeşitli yaklaşımlarla ele alınmıştır. Bu bۆlümde akademisyen mimar Ilaria Mazzoleni'nin hayvanlar alemininden ilham alarak onların yaşadıkları evre koşullarına karşı gۆsterdikleri uyumun tasarım ve mimariye uygulanması ile ilgili yaptığı çalışma irdelenmiştir. Mazzoleni yaptığı araştırmalar sonucunda, hayvanların derilerinin çevreleri ile bağ görevi gۆrdüğünü benzer şekilde, yapı kabuklarının içerisinde bulunan sakinleri ile dış unsurlar arasında arayüz oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, araştırmalarını (i) İletişim, (ii) Termo dۆzenleyicilik, (iii) Su dengeleyicilik ve (iv) Koruma olmak ۆzere dۆrt ۆzellik ۆzerinde yapmıştır (Mazzoleni, 2013).

2.3.3.1 İletişim

İletişim, koku, dokunma, hareket, işaret, ses, titreşim, yۆz ifadeleri ve elektrik sinyalleri gibi duyular sayesinde gerçekleşir. İletişimin bu çeşitli biçimleri, birey veya tۆr tanıma, kur ritüelleri, yırtıcıları uyarmak, saldırganlık, yemek ve diğer kaynaklarla ilgi sinyal, vb. birçok işleve hizmet eder.

Hayvanların renklilik modellerinin her çeşit iletişime sahip olmasından dolayı çok gۆlő sinyalleri vardır. Renkleri ışığın dalga boylarıdır ve farklı dalga boylarında farklı renklerde bulunabilirler. Parlak ve kontrast renklerle yırtıcılara hayvanların zehirli, tatsız ve yemek için zararlı olduğu sinyali gۆnderirler. Kamuflaj hayvanların çevrelerine karışmasına yardımcı olur. Av kamuflajı yırtıcılardan korunmak için kullanırken yırtıcılar avlanma esnasında gizlenmek için kullanır. Bazı renklendirmeler yırtıcıları şaşırtmak amacıyla kullanılmaktadır. Birçok hayvan genellikle yenilmekten kaçınmak için diğer hayvanların rengini taklit ederler. Ayrıca renkler ۆremeyi teşvik etmek için de kullanılmaktadır.

Hayvanların renkliliği esasen pigmentasyona bağlıdır. Pigmentler deri, dokular ve organlarda ۆretilen kimyasallardır. Hayvanların yۆzeyini kaplayan melanin, karotenoidler ve pterinler gibi birçok pigment çeşidi bulunmaktadır. Bazı ۆzel hۆcreler pigment içermezler fakat renklendirme işlevini sۆrdürürler.

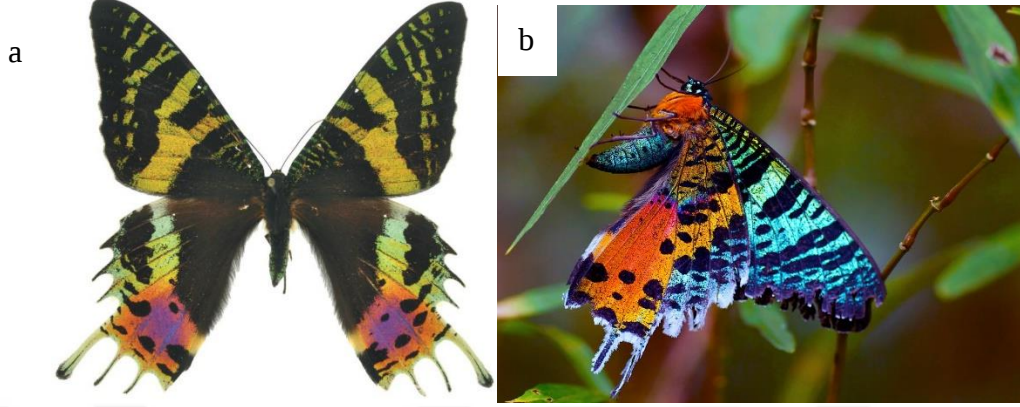
Renklenme aynı zamanda bir hayvanın yüzeyinin fiziksel yapısındaki fiziksel değişikliklerden ya da pigment kombinasyonundan kaynaklanabilir. Yüzeyin fiziksel özellikleri ışığın saçılmasına, girişimine ve kırılmasına neden olur.

Hayvanlar renkleri çok çeşitli yollarla algırlar. Bazı hayvanlar sadece açıklık ve koyuluk arasındaki farkı ayırt edebilirken, bazıları birçok rengi ve net görüntüleri algılayan karmaşık gözlere sahiptir. Suda yaşayan hayvanların mükemmel renk algılayıcıları vardır. Çünkü sualtındaki cisimlerin arka plana karşı kontrasta dayalı olarak ayırt edilmesi daha zordur. Arılar, bazı kuşlar ve memeliler UV ışınlarını veya kutuplaşan ışığı görebilirler. Kuşların çoğu gözlerindeki renkli yağ damlacıkları sayesinde insanlardan daha iyi görme yetisine sahiptir. Memelilerin çoğunun sınırlı görme yetisi vardır. İnsanlar ve diğer primatlar rengi iyi algılayabilme becerisine sahip memelilerdir.

Zebraların siyah ve beyaz renkleri, renkleri göremeyen yırtıcı hayvanların akıllarını karıştırmakta ve ayrıca ısırğan böcek parazitlerine çekici gelmemesini sağlamaktadır. Yaprak pireleri ve dikenli böcekler çevrelerinden ayırt edilmelerini zorlaştırmak için hem kamuflaj hem de çeşitli uzantılar kullanırlar. Bukalemun gibi bazı sürüngenler pigment tutan hücrelerin boyutunu düzenleyebilir ve yer değiştirdikçe renk değiştirirler. Aynı zamanda bukalemun kendi türünün üyelerine sinyal göndermek için bu yeteneğini kullanır. Mavi çizgili kaya balığının parlak kamuflajı insan gözü ile belirgin bir şekilde görünse de canlı renkli resiflerde yerini saptamak zordur. Yapraklı deniz ejderhası bir yosun gibi suda yavaş yavaş yüzer. Kayabalığı, denizde kayalar arasında avın geçmesini beklerken kamuflaj ile saklanabilir.

Tasarımcılar, organizmaların ekosistemleri ile ilişkilerinden, insanların renkleri nasıl algıladıkları ve bunu tasarımda nasıl kullanabilecekleri ile ilgili çıkarımlarda bulunmuşlardır. Bu bağlamda mimariye ilham kaynağı olarak *Urania Moth* kelebeği örnek olarak verilebilir (Şekil 2.3). *Urania Moth*, yalnızca Madagaskar Adası'nda görülür. Adanın iklimi bölgeye bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Doğu kıyısında yağışa neden olan muson rüzgarları yağmur ormanı habitatının oluşmasını sağlar. Rüzgarlar batıya doğru hareket ederken nemi kaybeder, bu nedenle adanın orta bölgesi kurudur ayrıca yüksek rakımdan dolayı daha serindir. Adanın batı bölgesi çoğunlukla kurak güneybatı bölgesi ise yarı çöl özelliğindedir. Kasım'dan Nisan'a kadar sıcak ve yağışlı, Mayıs'tan Ekim'e kadar daha serin bir mevsimi

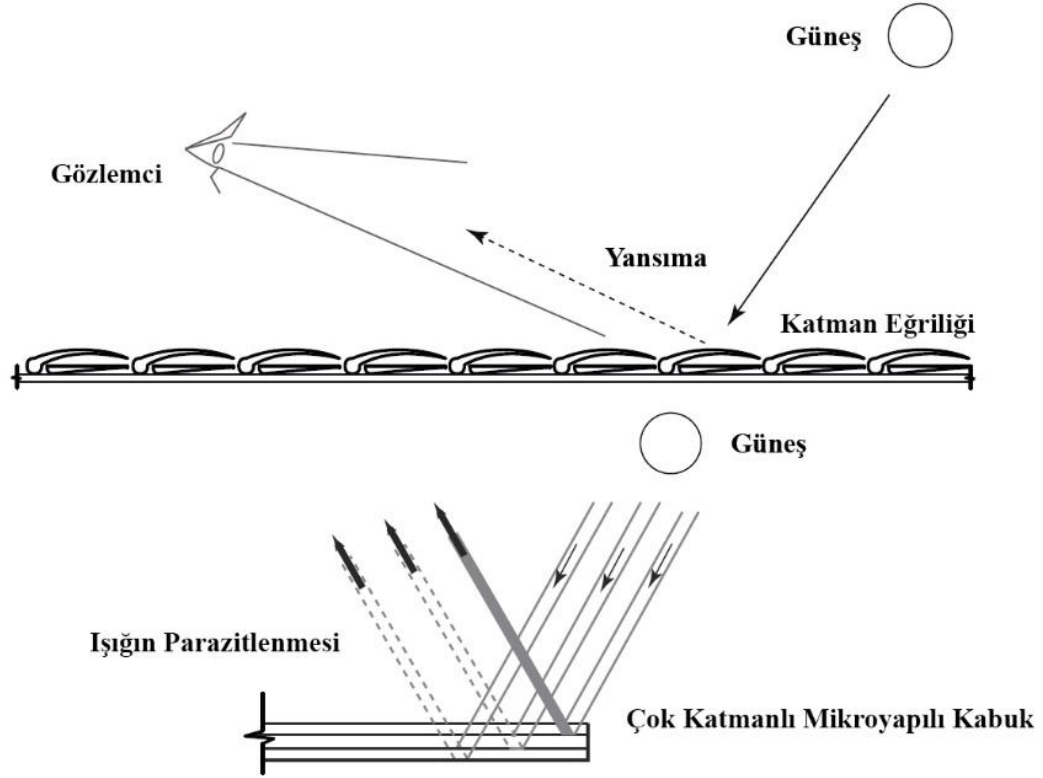
vardır. Urania Moth, yani günbatımı kelekleri Madagaskar'ın birçok yerinde bulunur fakat yaşamlarının erken evrelerinde hayatta kalabilmek için bağımlı oldukları konukçu bitkilerin değişiminden dolayı adada yıl içerisinde göç eder.



Şekil 2.3 (a) (b) Urania Moth kelebeği (Mazzoleni, 2013) (Url-1)

Latince adı *Chrysiridia Rhipheus* olan kelebeğin davranışı, gün boyunca aktif olduğundan, pek çok kelekten farklıdır. Kelebek kendisinin zehirli olduğunun bilinmesi için renkleri ile potansiyel avcılarına uyarı sinyalleri gönderir. Bu zehirli olma durumu *Omphalea* türündeki ağaçlardan ve çalılardan gelmektedir. Tırtıllar, gelişimleri boyunca depolanan zehirli bileşenler içeren bu bitkilerle beslenirler. Madagaskar günbatımı kelebeğinin en çarpıcı özelliği parlak renk oynaşması alanları içeren çok renkli kanat örüntülerine sahip olmasıdır. Renk oynaşması, görüş açısı veya aydınlatma açısı değiştirildiğinde renk değiştiren bir yapının yüzeyi olarak tanımlanır. Yanardöner renkler, pigmentlerin ürettiği renklerden daha parlak ve daha saf olma eğiliminde olan yapısal renklerdir. Kelebeklerin kanatları binlerce kısmen örtüşen kabuktan oluşur ve kabukların yapısı ışığı yansıtma şeklini etkiler. Günbatımı keleklerinin kanatları üzerinde iç tabaka ve kapak kabukları olmak üzere iki kat kabuk vardır. Her bir kabuk ince hava tabakaları arasında ince kütikül katmanlardan oluşan çok tabakalı bir yapıya sahiptir. Kütikül katmanları, kütikülün çok küçük ve aralıklı sütunları sayesinde desteklenmektedir. Kütikül tabakanın ve havanın katmanları kanatlarda renk değişikliği yaratan farklı kalınlıklarda olabilir.

Yapısal değişikliklerden kaynaklanan renk oynaşmasında rengin tonu, gözlemcinin açısı ve yüzey üzerinde parlayan ışık ile değişir. Parlak renkler, çoklu yüzeylerden geçen ışığın yansımaları ve parazitlenmesinden kaynaklanır (Şekil 2.4).

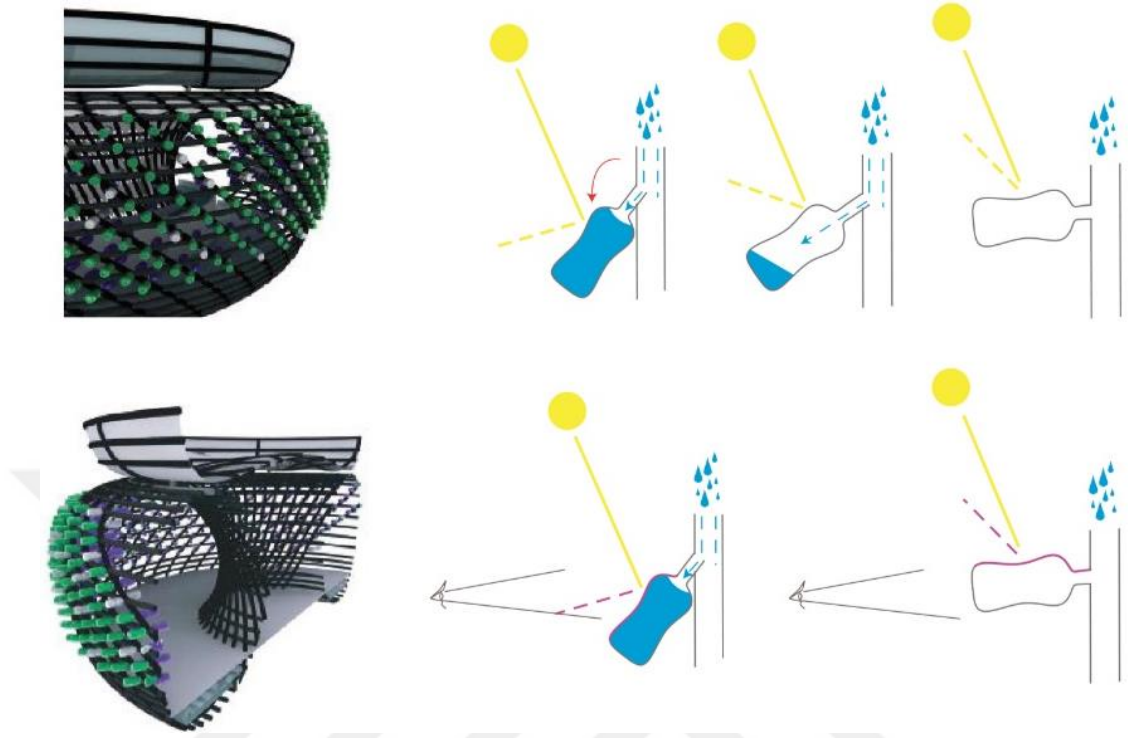


Şekil 2.4 Işığın yansıması ve parazitlenmesi (Mazzoleni, 2013)

Kabuklar içinde farklı pigmentler oluşabilir ve çok tabakalı kütikül yüzeyi kombinasyonu ile farklı yanardöner renkler elde edilebilir. Işık, kütikülün ilk katmanı boyunca parladığında, bazıları yüzeyden geri yansımakta ve bazıları bir sonraki seviyeye geçmektedir. Işık dalga boylarında oluşmaktadır; dalga boylarının kretleri birbiriyle çakışırsa yansımanın etkisini artırmaktadır. Dalga boyları birbirine hizalandığında yoğun renklenme oluşmaktadır. Bu fenomene yapısal parazitlenme denmekte ve ışığın oynaşmasının nedenini oluşturmaktadır.

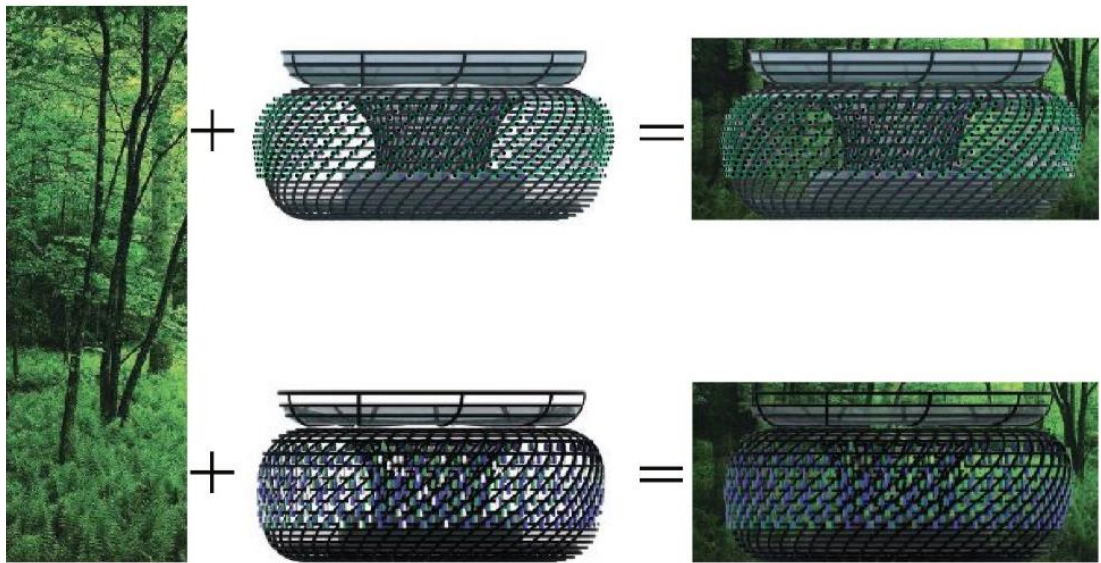
Günbatımı kelebeğinden ilham alınarak Benedetta Frati ve Nir Zarfaty tarafından tasarlanan proje, kurak ve aynı zamanda keleklerin doğal yaşam alanı olan batı Madagaskar'da bulunmaktadır. Bina cephesi, keleklerin çok katmanlı ve çok renkli kanat yapısının ışığı yansıtıcı ve kıran özelliklerinden esinlenilerek tasarlanmıştır. Yapı, yağmur suyunu büyük bir çatı yüzeyi vasıtasıyla toplayarak halk için içilebilen suya dönüştüren bir sistem sağlamaktadır. Bir filtre sistemi ile çatıdaki suyun, yapının cephesindeki renk değiştirmesine yarayan şişelere gelmesi sağlanmıştır. Şişelerin açısı, şişelerde toplanan su miktarına bağlı olarak değişir. Su boşaldığında şişeler ön cepheye dik açılı konum almakta ve kutu suyla ağırlaştıkça cepheye paralel

olarak kayar. Işık oyunu su dolu şişelerin şekli ve açısı ile muhteşem yansımalar yaratmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Su dolu şişelerin güneş ile oluşturduğu renk oynaşması (Mazzoleni, 2013)

Plastik şişeler tarafından sağlanan renklendirme etkisi bir yüzey, malzeme, su, ışık ve ortaya çıkan renkler arasındaki ilişkileri araştıran bir dizi deney aracılığıyla analiz edilmiş (Şekil 2.6) .



Şekil 2.6 Plastik şişelerle sağlanan renklendirme (Mazzoleni, 2013)

Cephe, renkli şişelerin farklı bölümlerini görüntüleyerek su kullanılabilirliğini bildirmektedir. Şişenin tabanı siyahtır; geri kalan kısım ise mavi veya yeşil renklidir. Şişelerden oluşan katman, yansıma yaratmak için şişelerin eğriliği boyunca ışığın oynaşmasından faydalanmak üzere sıralanır. Bu katmanlama tekniği, yapının genel dairesel geometrisiyle birlikte, her bir şişe güneşle ilişkili benzersiz bir konuma sahip olduğu için yansıma açısını değiştirir ve böylece sürekli değişen bir etki sağlar.

2.3.3.2 Termo düzenleyicilik

Biyomimetik tasarım yaklaşımlarından bir diğeri, biyolojik organizmalarda vücut ısını dengede tutmaya yarayan termo düzenleyeciliktir. Örneğin; hayvanlar vücut ısını kontrol edebilmek için çok miktarda enerji harcarlar ve vücut ısılarını düzenleyen iki ana stratejisileri bulunmaktadır. Omurgasızlar, balıklar ve sürüngenleri içeren ektotermiler, vücut ısının çoğunu çevreden doğrudan alır ve metabolik değerleri ortam sıcaklığına bağlı olarak dalgalanır. Memeliler ve kuşlar gibi endotermiler metabolik süreçlerle kendi ısını üretirler ve vücut sıcaklığını sabit tutabilirler. Endotermilerin yüksek enerjili yiyecekler yemesi veya çok sık yemeleri gerekir.

Endoterm ve ektotermilerin her ikisi de, çevre sıcaklığı çok sıcak veya çok soğuk olduğunda vücut sıcaklığını ayarlamak için davranış stratejileri kullanırlar. Isı dört ana mekanizma ile kazanılır veya kaybedilir. Bunlar; iletim, konveksiyon, radyasyon ve buharlaşmadır. İletim, farklı sıcaklıklardaki iki obje birbiriyle temas ettiğinde meydana gelmektedir. Konveksiyon da buna benzerdir; fakat ısı hava veya su aracılığıyla transfer edildiğinde oluşur. Isı transferinin fiziksel temas olmadan gerçekleşmesine radyasyon denir. Objenin kendisini çevreleyen ortamdan daha sıcak olduğunda, ısıyı elektromanyetik radyasyon formunda verir. Bu durum hayvanların vücutları ortam sıcaklığından daha sıcak olduğunda hayvanların ısıyı kaybetmeleri ve soğuyunca güneşten ısınmaları anlamına gelir. Hava sıcaklıkları vücut sıcaklığından daha yüksek olduğu zaman hayvanların ısınabilmesinin tek yolu buharlaşmadır. Buharlaşma, sıvının buhara dönüşmesiyle ortaya çıkan bir soğutma mekanizmasıdır.

Bir hayvanın yüzey alanının hacmine oranı, ısı kazanımı ve kaybı göz önüne alındığında çok önemlidir. Geometrik olarak benzer şekiller büyüdükçe, hacimlerinin azalmasına göre yüzey alanları azalır. Yüzey sıcaklığının elde edildiği ve çevreye kaybedildiği yer olduğu için büyük hayvanlar vücut sıcaklığını korumada daha iyidir.

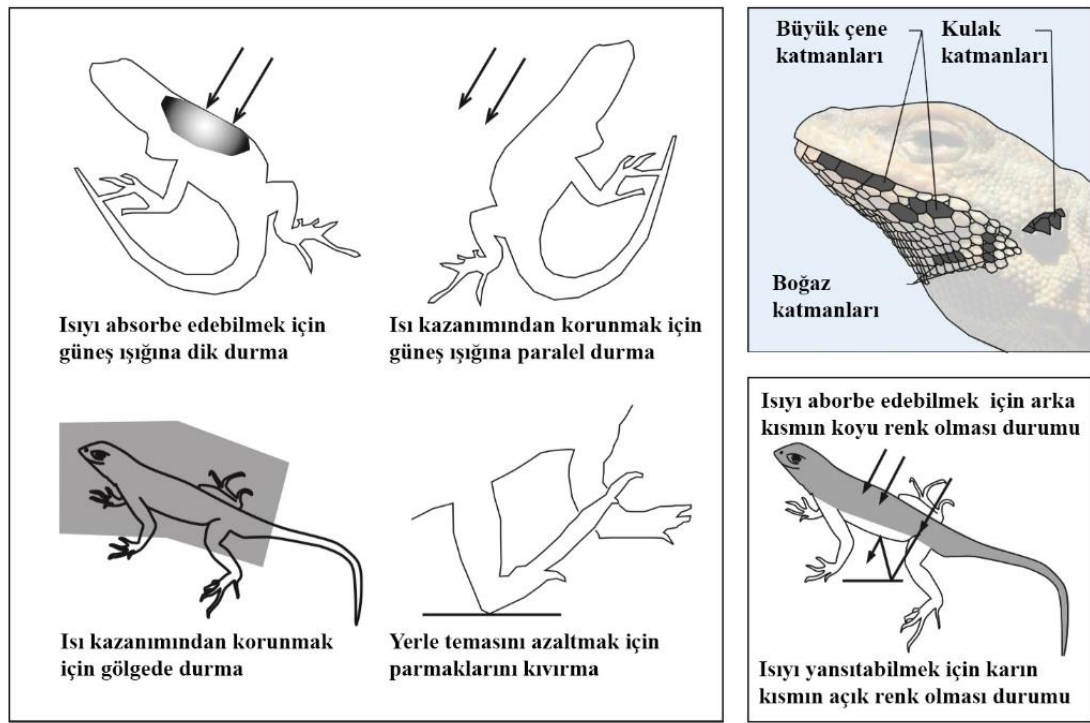
Vücut kütlesi ile yüzey alanı arasındaki ilişki, büyük hayvanların soğuk ortamlarda ve küçük hayvanların sıcak ortamlarda yaşama eğiliminde olduğunu gösterir. Sıcak ortamlarda büyük hayvanlar ortaya çıktığında, ısı kaybını kolaylaştırmak için daha az tüye sahip olmaları gerekecektir. Sıcak iklimlerde uzun uzuvlar havaya daha fazla ısının verilmesine izin verirken kısa uzuvlar ısı kaybını önlemektedir.

Aşırı sıcak ve kurak bölgelerde yaşayan hayvanlar aşırı ısınmayı önlemek ve yüksek vücut sıcaklığını dağıtmak için birçok strateji geliştirmişlerdir. Bunlar hayvanların fiziksel özelliklerinden fizyolojik uyarlamalara ve davranışsal değişimlerine kadar sıralanır. Sıcak iklimlerde bulunan birçok hayvan, ısıyı yansıtılabilmek için açık renklidir. Uzun uzuvlar yalnızca yüzey alanının artmasına izin vermekle kalmaz, aynı zamanda vücudunu sıcak zeminden uzak tutarak radyasyonu azaltır. Bazı hayvanlar vücut sıcaklıklarının gün boyunca çevre sıcaklığı ile yükselmesine ve ardından depolanan sıcaklığın akşam havasının serinliğinde dağılmasına izin verir. Birçok çöl hayvanı yalnızca gece veya şafak vakti aktiftir ve gün boyunca korunan gölgeli alanlarda kalır. Küçük hayvanlar, özellikle kemirgenler, kertenkeleler ve böcekler, günün en sıcak saatlerine aşırı ısınmayı önlemek için toprak altındaki barınaklardadırlar. Bazı kemirgenler, kurbağa ve eklembacaklılar, yaz aylarının en sıcak aylarında yaz uykusu olarak adlandırılan bir çeşit dinlenmeye girerek enerji tasarrufu yapabilirler. Sıcak iklimlerin aksine, birçok hayvan çok soğuk olan kutup ortamlarında yaşayacak şekilde uyarlanır. Çoğu kutup hayvanı kürk, tüy veya deri altı yağ tabakası şeklinde izolasyona yardımcı özelliklere sahiptir. Hayvanlar, çevreye maruz kalan yüzey alanının azaltılması yoluyla ısı kaybını en aza indirmek için dinlenirken kıvrılırlar.

Hayvanlarda gözlemlenen bu fonksiyonel özellikler bina kabuklarında da görülmektedir. Binaların cepheleri iç mekan konforu ve dış iklim koşulları arasında denge sağlamakla sorumludur. Binalar için doğal kaynakların kullanımını en aza indirmek için çeşitli pasif stratejiler geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bunlardan en önemlileri, binanın alana yerleşmesi ve iç konforu sağlamak için yağmur, güneş ve rüzgarın kullanılmasını kolaylaştıracak çevresel güçlerin uyumudur. Örneğin, çöl bölgelerinde kalın duvarlar, serin gece boyunca ısıyı serbest bırakırken günün yüksek sıcaklıklarını dengelemek için termal kütle sağlar. Sıcak ve nemli iklimlerde ise kaldırılmış, hafif yapılar buharlaşmayı optimize ederek maksimum çapraz havalandırma sağlar. Aktif enerji sistemlerini aşırı

miktarda kullanmak gezegene gereğinden fazla yük getirir. Pasif stratejiler, ekolojik ayak izimizi azaltmak için çok önemlidir. Enerji ve karbon verimli binalar, gezegenin sınırlı kaynaklarının kullanımını azaltmamıza yardımcı olacaktır.

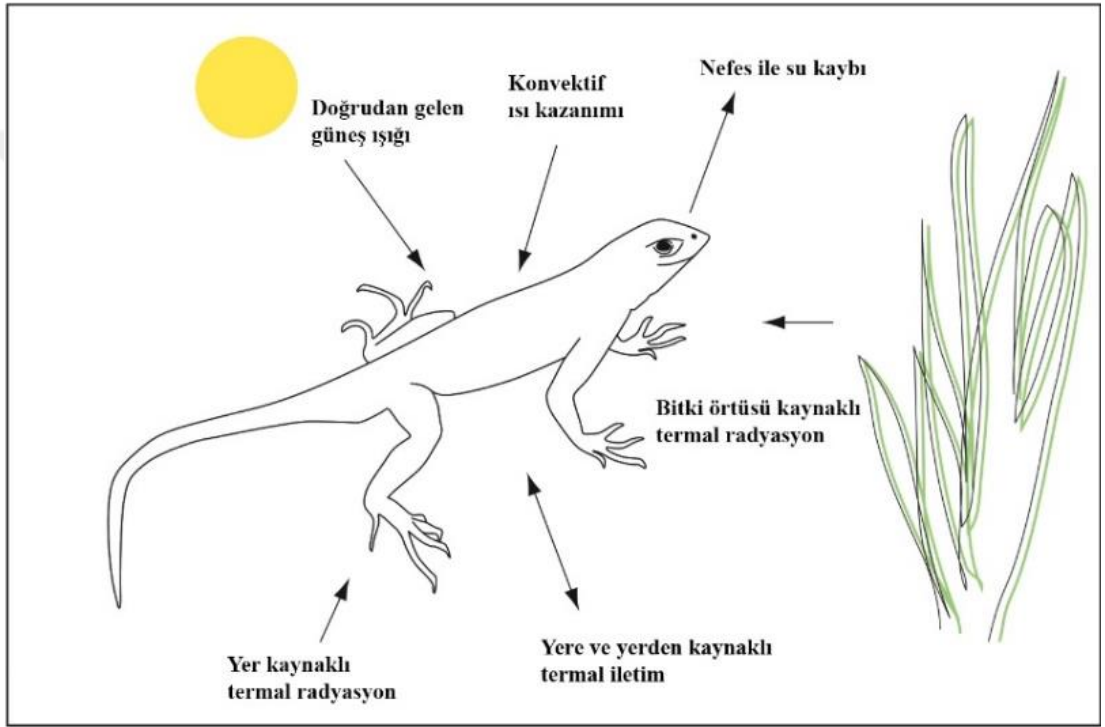
Mimarlık alanında, kertenkelelerin termo düzenleyici mekanizmaları referans alınarak tasarımlar geliştirilmiştir. Kertenkeleler ektotermeldir ve vücut sıcaklıklarını deri özellikleri ve davranışları ile dengelerler. Güneş ışığının emilmesi için arka kısımları koyu ve karınları zemindeki ısıyı yansıtabilmek için açık renklidir. Kertenkeleler, davranışlarına göre çevreden ısıyı alır veya atmosfere yayar. Isı soğurabilmek için vücut pozisyonunu güneş ışığına dik ya da ısı kazanımından kaçınmak için vücudunun zemine değecek alanını en aza indirgeyip ayak parmaklarını kıvrarak güneş ışığına paralel olarak tutarlar. Aşırı ısınmayı önlemek için günün en sıcak saatlerini gölgede geçirirler (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kertenkelelerin deri davranışları (Mazzoleni, 2013)

Kertenkelelerin kurumayı önleyen aynı zamanda keskin kayalara ve yapraklara karşı koruma sağlayan deri katmanları kamuflaj için önemlidir. Deri epidermis (dış katman) ve dermis (iç katman) olmak üzere iki ana katmandan oluşur. Deri ve iç sistemleri arasındaki ilişkiler aşırı sıcaklık ve su kıtlığı durumları için optimize edilmiştir. Kertenkeleler kendi ortamlarında yaşayan omurgasızlarla

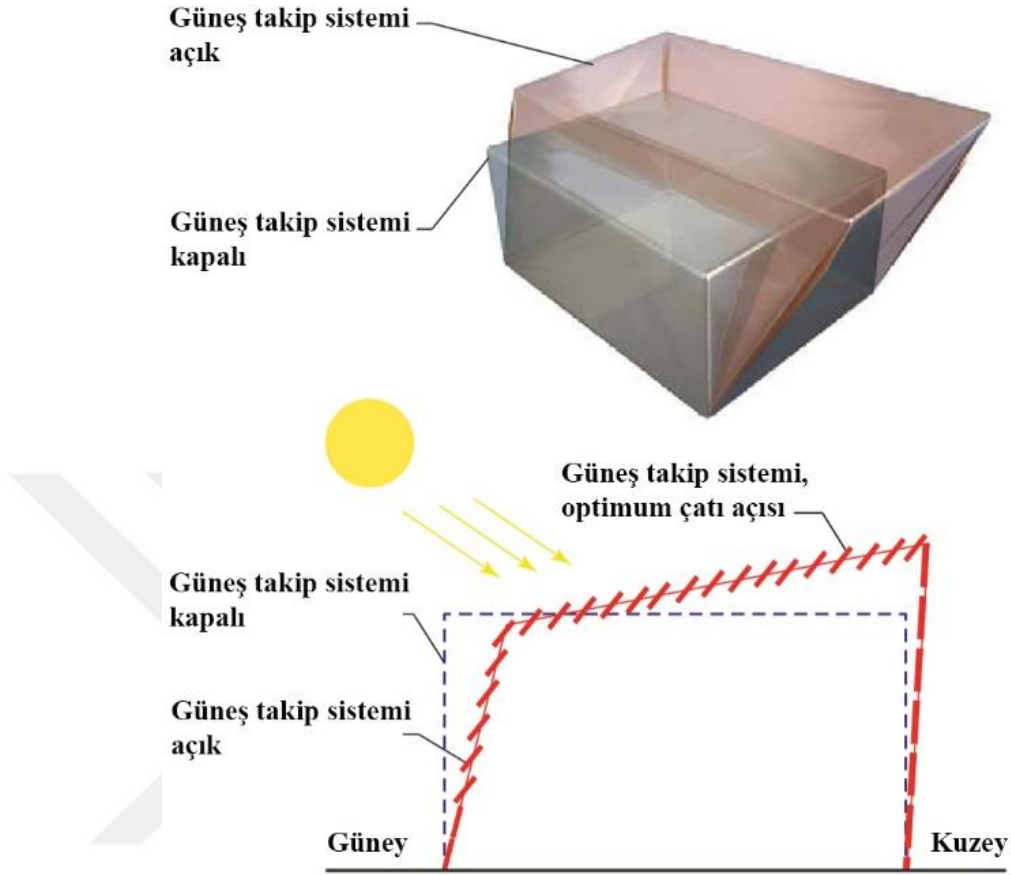
beslenmektedirler. Sindirim sistemleri avından elde ettikleri tüm suyu absorbe eder ve dışkıları kuru beyaz bir macun gibidir. Dışkılarının bu özelliği vücudundaki suyu korumaya yarar. Termo düzenleyicilik ve kamuflaj özelliklerinin yanı sıra boğaz bölgelerindeki renklilik çiftleşme stratejisinin gereğidir. Erkekler, saldırganlık seviyelerine ve dişilerle çiftleşme becerisine karşılık gelen turuncu, mavi veya sarı boğaz renklerine sahiptir. Kertenkeleler çölün birçok farklı ısı kaynağıyla karşı karşıyadır. Bu kaynaklara rağmen, sıcak ve kuru ortamlarda gelişmesine izin veren bir fizyoloji ve davranış repertuarına adapte edilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Çölde kertenkelelerin karşılaştıkları ısı kaynakları (Mazzoleni, 2013)

Isı regülasyonu, çöl üzerinde yaşayan organizmalar özellikle ektotermiler için sürekli dikkatli olmayı gerektirir. Kertenkelelerin bu özellikleri referans alınarak Yuan Yuan ve Juan San Pedro tarafından tasarlanan proje, yapının iç sıcaklığını insan konforuna uygun seviyede tutmak için yapının cephe sisteminin çölün aşırı sıcaklık değişimlerine karşı nasıl olması gerektiğini araştırmaktadır. Proje Uta Stansburia'nın çöl sıcaklığına karşı fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlarından esinlenen Büyük Basın Çölü'nde bulunmaktadır. Tasarımın odak noktası sıcak, kurak günlerde ve bazen çok soğuk gecelerde konut için 24 saat konfor sağlayan bir kapalı sistem oluşturmaktır. Kertenkele derisinin fizyolojik stratejileri ev duvarlarının tasarımına

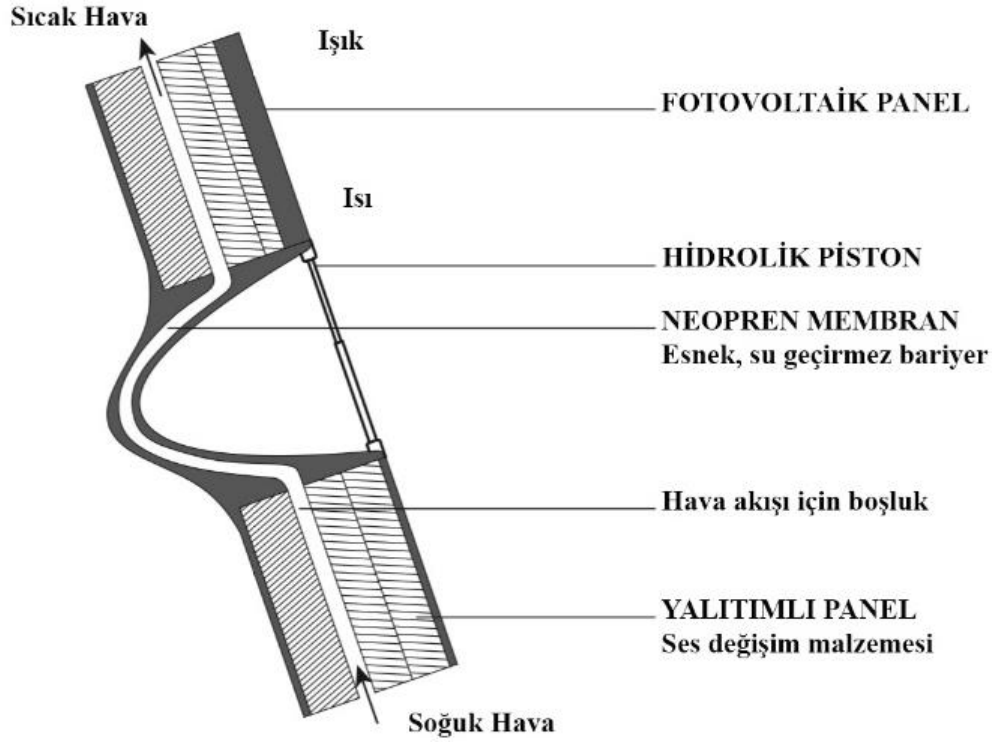
ilham verirken, kertenkelenin davranışsal adaptasyonları hidrolik sistem ve sensörler aracılığıyla akıllı güneş takip sistemini etkinleştirmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Güneş takip sistemi çalışma mekanizması (Mazzoleni, 2013)

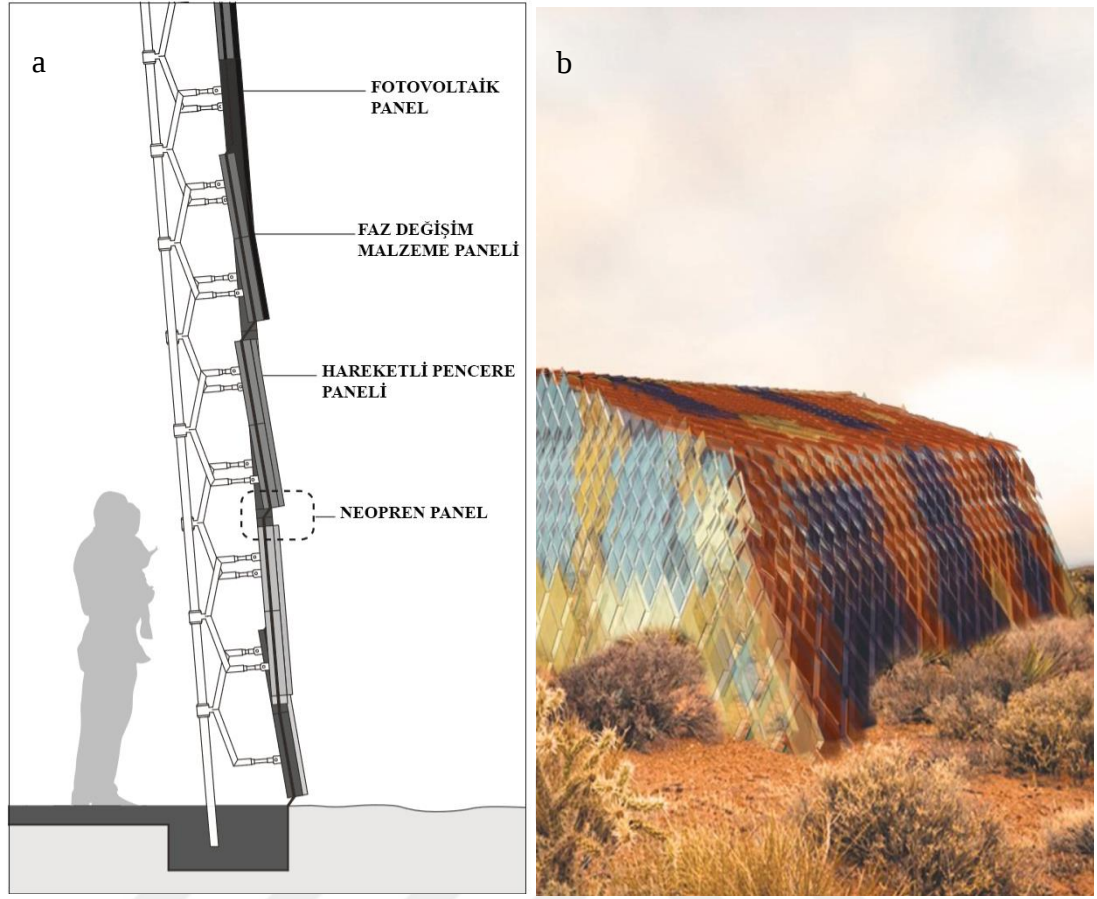
Yapının güney cephesinde opak yalıtımlı, fotovoltaik ve hareketli pencere olmak üzere üç farklı tipte panel bulunmaktadır. Yalıtımlı panel, gün boyunca dengeli bir iç sıcaklık sağlamak için faz değişim malzemesini kullanır. Panel boşlukludur ve biyo tabanlı faz değişim malzemesi ile doldurulmuştur. Gün boyunca iç mekanın serinliği korunurken ısı depolanır ve gece yapıya yavaşça bırakılır. Cephenin strüktürel

sistemi panellerin tutturulduğu parlatılmış çelik ızgaradan oluşmuştur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Cephe panel detayı (Mazzoleni, 2013)

Fotovoltaik panel güneş ışınlarını yakalar ve onları stüdyo elektriğine dönüştürür. Pencere paneli görüş ve havalandırma sağlar. Bu paneller, performanslarını en üst düzeye çıkarmak için stratejik olarak düzenlenmiştir. Paneller arasında sensörler tarafından kontrol edilen panel hareketine izin veren esnek, köpüklü neopren membran vardır. Duvar küçük hareket aralığı sağlayan sistem üzerine monte edilmiş paralelkenar panellerden oluşmuştur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 (a) Cephe panel sistemleri ve (b) proje genel görünüm (Mazzoleni, 2013)

2.3.3.3 Su dengeleyicilik

Akademisyen mimar Ilaria Mazzoleni'nin ortaya koyduğu bir diğer biyomimetik tasarım yaklaşımı su dengeleyiciliktir. Su ile dünya üzerinde yaşayan canlıların önemli bir ilişkisi vardır. İnsanlardan bakterilere tüm organizmalar öncelikli olarak sudan oluşur ve su hücrelerin ana bileşenidir. Besin maddeleri, vitaminler ve hormonlar, enerji üretmek ve yaşamın temel işlevlerini yerine getirmek için vücutta kullanıldıkları farklı bölgelere suyla taşınır. Farklı ortamlarda canlılar suyun depolanması ve korunması için çeşitli adaptasyonlar geliştirmiştir. Çöl gibi sert koşullardaki organizmalar hayatta kalabilmek için suyu depolarken diğer yandan suda yaşayan organizmalar dokularının sudan etkilenmesini önlemeye çalışır.

Çöl ortamı organizmalarda su dengeleyicilik açısından bakıldığında çok çarpıcı bir örnektir. Çoğu çöl canlısı su ihtiyacını özellikle kaktüs gibi suyu depolayan bitkilerden diğerleri ise yediği yiyeceklerden karşılamaktadır. Çöle adapte olmuş hayvanlar, su kazanmak ve su kaybını önlemek için yenilikçi stratejiler geliştirmişlerdir. Bazıları vücuttaki yağ dokusundaki suyu tutar, yağ metabolize

olduğunda dokudaki su salınır ve hayvan tarafından kullanılabilir. Çölde yaşayan birçok sürüngen suyun vücutta korunması için kuru dışkı atar.

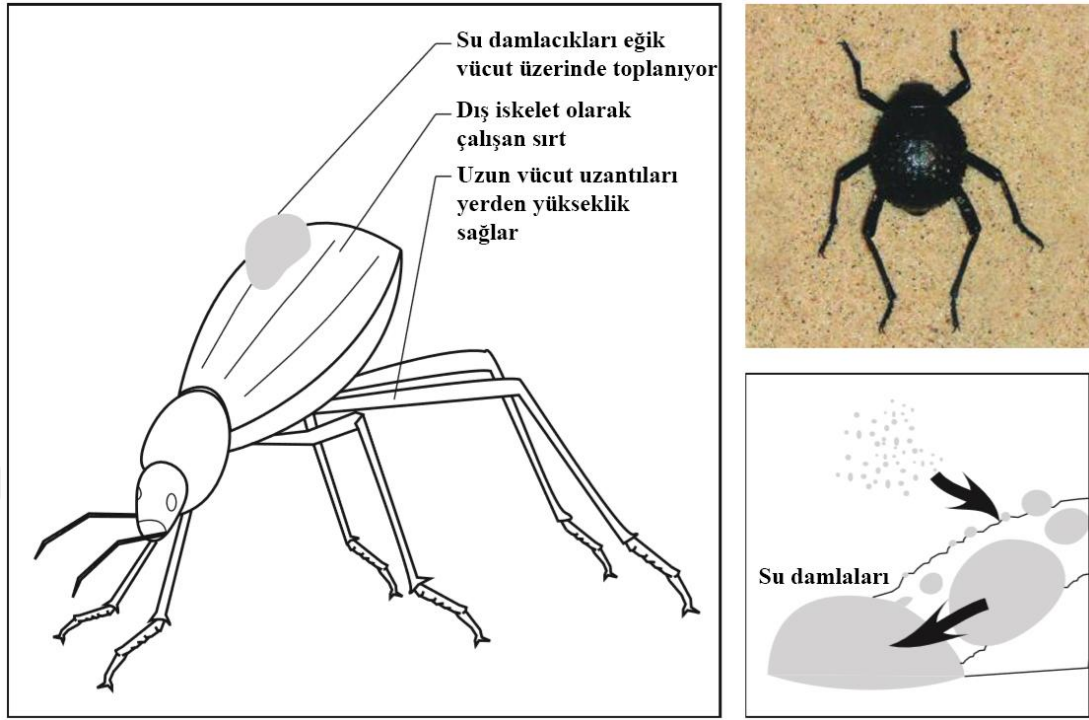
Mimarlık her zaman nem kontrolüyle ilgili konular ile ilgilenmiştir ve su yönetimi konusunda doğadan çok şey öğrenilebilir. Mimarlar yağışlı iklim koşullarında su dengesini geleneksel olarak yağmur ve rutubetten uzak tutmaya odaklanırken kurak iklimlerde kuru havaya nem kazandırmayı öğrenmiştir. Örneğin, geleneksel İslam mimarisinde küçük çeşmelerin avluya yerleştirilmesi ile suyun buharlaşarak ortamı soğutması sağlanmıştır. Tropik iklimlerde konfor doğal havalandırmanın optimize edilmesi ve yapının nemli topraktan uzaklaştırılması ile sağlanmaktadır.

Muz sümüklüböceğinin geçirgen mukoza kaplı derisinin su dengesinin anlaşılması, bitkilere sulama sağlayan insan yapımı keselerde su toplayan bir sera tasarımına yol açmıştır. Zehirli kurbağanın tropikal ortamı, değerli eserleri korumak için tasarlanan müzede havadaki nemin alınmasını sağlayan duvarların geliştirilmesine ilham vermiştir. Aşı boyası rengindeki denizyıldızının hem su altındaki hem de üstündeki yaşama kabiliyeti, iskele altında geliştirilen hareket ettirilebilen bir yapının tasarlanmasını sağlamıştır. Namibya çöl böceklerinin kurak çevreye adaptasyonları, sisi yakalayarak insan kullanımı için su sağlayan bir araştırma tesisinin esin kaynağı olmuştur.

Namibya Çölü, Afrika'nın batı sahilinde Angola, Namibya ve Güney Afrika'da bulunan, dünyanın en eski çöllerinden biridir. Çölde kıyı ve iç bölge olmak üzere iki bölge vardır. Sıcaklık değerleri kıyıda 9-20°C ve iç bölgede 0-45°C arasında değişir. Namibya Çölü'nde su az bulunduğu için, yağmur ve sis çöl hayatının su ihtiyacını gidermesi için tek fırsattır. Hayvan çeşitliliği, sıcak ve kuru çöl koşullarına uyarlanmış Namibya Çölü böcekleri olarak adlandırılan koyu renkli eklembacaklılardan oluşmaktadır.

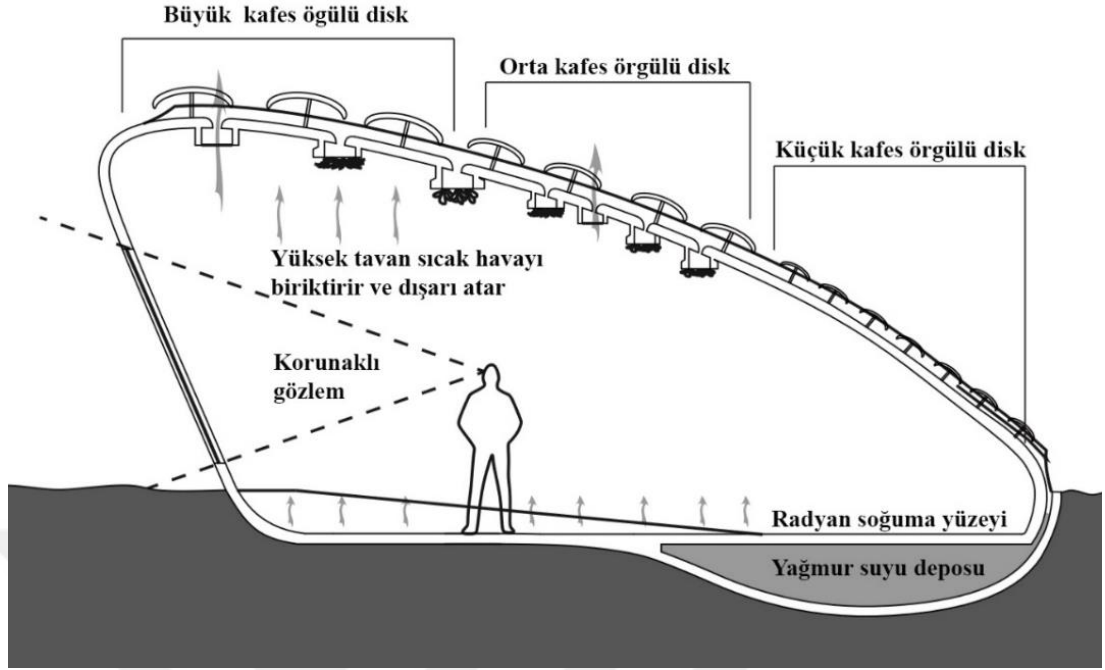
Aşırı su kıtlığı yüzünden Namibya çöl böcekleri, çevreden su toplamak için stratejiler geliştirmişlerdir. Gece geç saatlerde ve şafak vakti erken varan sis, yağmurdan daha güvenilir bir su kaynağıdır. Bu nedenle böcekler su ihtiyacını karşılamak için sisle kaplı kumdan su çekilmesi, bitki örtüsünde toplanan sudan içilmesi, sis toplamak için kumda siperler oluşturulması ve son olarak sislenme gibi yöntemler geliştirmişlerdir. Sislenme, vücut yüzeylerini kullanarak suyu toplamaya yarayan davranışsal stratejidir. Böcekler rüzgara karşı dururlar ve kafaları yere yakın

eğik bir şekilde pozisyon alırlar. Böylece sis damlacıklarını sırtlarında biriktirir ve vücutlarından ağızlarına damlatırlar (Şekil 2.12).



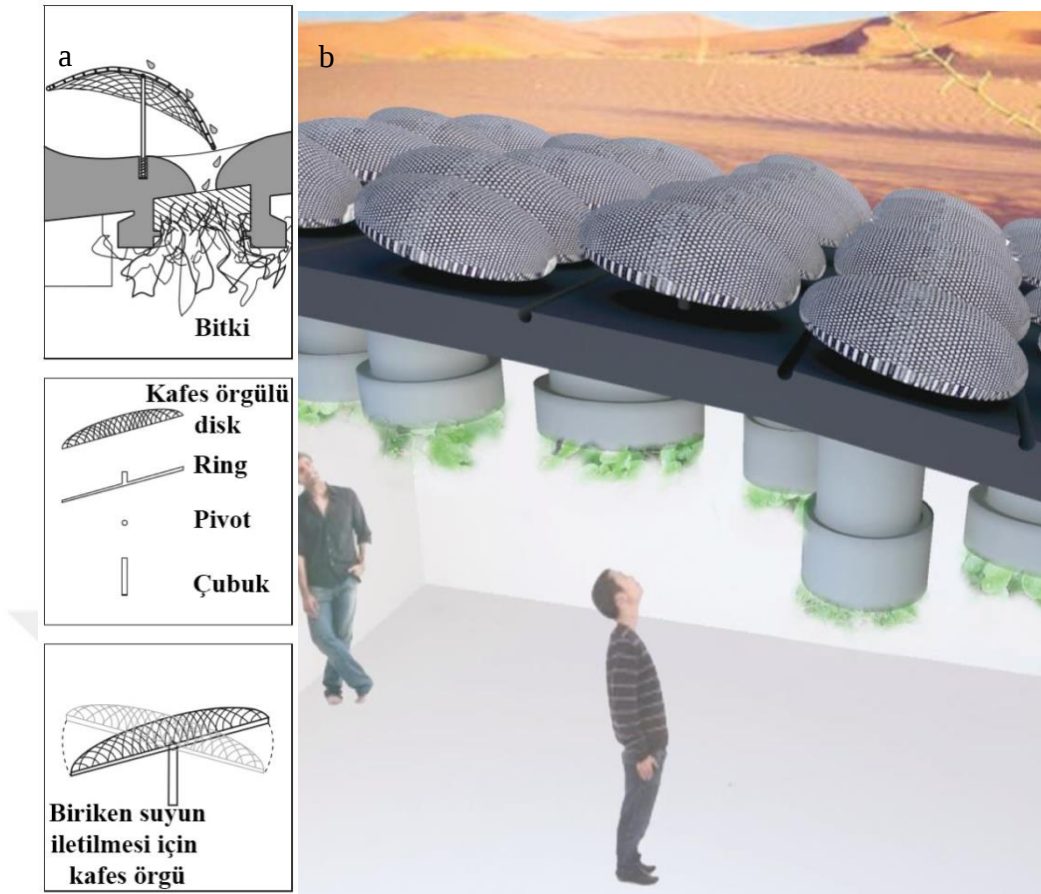
Şekil 2.12 Namibya çöl böceklerinin su toplama stratejileri (Mazzolei, 2013)

Namibya Çölü'nde Emily Chen ve Carlos Rodriguez tarafından böceklerin suyu etkin bir şekilde toplamasından esinlenilerek çöl araştırmacıları için geçici konut görevi gören bir yapı tasarlanmıştır. Yapının en büyük cephesi okyanustan gelen gündüz sislerini toplamak için güneydoğuya konumlandırılmıştır. Dış iskelet strüktürü su tutma kabiliyetine sahip olan mum ile kaplı bir yapıdadır. Projenin geometrisi, cephenin büyük bir bölümünü sabah sisinin yönüne bakacak şekilde tasarlanmış ve suyun yukarıdan su deposuna doğru inebileceği bir açı ile tasarlanmıştır. Böceklerin sırtlarının özelliklerini kullanarak, oldukça eklemli binanın yüzeyi su tutma kapasitesine sahiptir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Geçici konutun çalışma prensibi (Mazzoleni, 2013)

Bina cephesi sabah sisindeki nemi yakalamak için pek çok örgülü diskten oluşmaktadır. Her disk bir pivota oturmaktadır ve yeterli miktarda su biriktiğinde eğilmektedir. Su, oluklu tavan membranı ile yapının tabanındaki su deposuna doğru ilerlemektedir (Şekil 2.14). Toplanan su oturanlar için içilebilir su kaynağı olmakla birlikte yapı içerisinde iklim konforunu da sağlamaktadır. Çatı disklerinin bir kısmı, bitkilere su sağlamak için deliklidir. Bitkiler suyun, yiyeceklerin depolanmasına izin verir ve iç mekanın buharlaşma akışıyla nemlendirilmesine yardımcı olur. Böylesine sıcak ve kurak ortamda, proje araştırmacılar için vaha etkisi yaratmaktadır.



Şekil 2.14 (a) Çatı disk detayları ve (b) proje genel görünümü (Mazzoleni, 2013)

2.3.3.4 Koruma

Mazzoleni (2013)'nin önerdiği biyomimetik tasarım yaklaşımlarından dördüncüsü korumadır. Doğada yaşayan pek çok hayvan korunmak için derilerini kullanır. Örneğin, bazı hayvanlar yırtıcılara yem olmamak ve bir rakibi tarafından saldırıya maruz kalmamak için çoğunlukla iletişimi renklenme veya kamuflaj yoluyla kullanırlar. Bazıları ise aşırı sıcak veya soğuk ortamlardan korunmak için sürekli olarak termoregülasyon yapar su kaybetmemek için de derilerini kullanırlar.

Hayvanlar korunmada ilk olarak anten, keskin dişler, bacaklar, kısıkaçlar ve keskin tüyler gibi deri uzantılarını kullanırlar. Kaplumbağaların, salyangozların ve istiridyelerin kabukları, savunmasız iç vücut yapılarına yırtıcı hayvanların girmesini önlemek için geliştirilen hayvan kabuklarına örnek olarak verilebilir. Bazı hayvanların tüylerinin veya kürkünün derideki küçük kaslar tarafından dikleşmesi, o hayvanın gerçekte olduğundan daha büyük görünmesini sağlayabilir ve potansiyel yırtıcı hayvanları veya rakipleri korkutabilir. Birçok hayvan türü gruplar halinde veya sürüler halinde koruyucu bir savunma olarak hareket eder. Onların renklenme

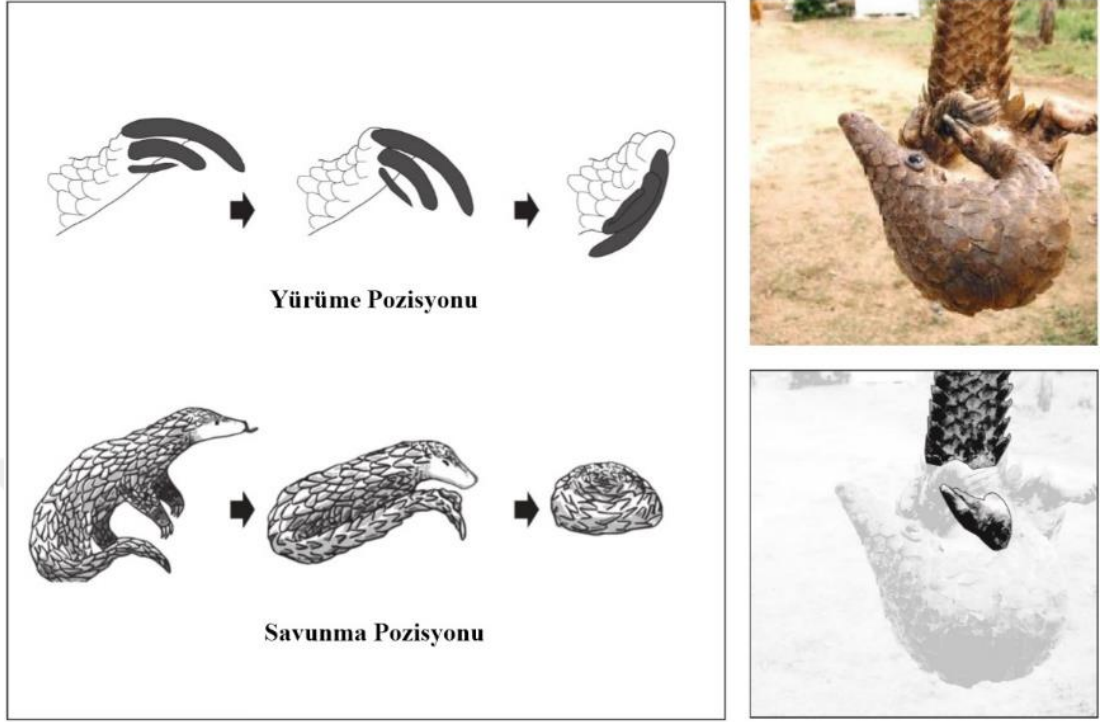
biçimleri yırtıcıları şaşırtmak için birlikte çalışabilir. Derideki bezlerden salgılanan toksin ve zehir gibi kimyasal savunmalar da pek çok hayvanın kullandığı korunma için kullandığı yöntemdir. Pek çok amfibian türü uyarıcı özelliğe sahip parlak renkli derilerindeki zehirli bezlerin yardımıyla avcıları korkutur. Ahtapot ve kalamar gibi bazı omurgasız deniz canlıları, yırtıcıları şaşırtmak ve kaçmayı kolaylaştırmak için renkli pigmentler üretirler.

Tüm canlıların barınmasında temel amaç yırtıcılardan ve doğa şartlarından korunmaktır. Önceleri hava koşulları, avcı ve diğer insan popülasyonlarından korunma amacıyla kullanılan insan barınaklarının türü ve amacı zamanla değişmiş barınaklar koruma işlevinin yanı sıra iletişim aracı olarak da kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, kaleler aktif olarak kullanılırsalar bile gücün bir göstergesidir.

Binalar insanları çevresel faktörlerden korumaya devam etse de, asit yağmurları, hava kirliliği ve ozon tabakası incilmesi gibi iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuzluklardan korunmak için farklı özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Çevresel faktörler arasında kritik olanlardan biri de ana enerji kaynağımız olan güneştir. Güneş radyasyonu sınırsız bir enerji kaynağına dönüştürülebilse de, insanlara ve atmosfere zarar verebilir. Bina cephelerini güneşin zararlı ışınlarından koruyan bazı akıllı yapı kabukları sayesinde enerji sağlanıp filtreleme yoluyla insan sağlığı ve iç konfor için yararlı hale getirilebilir. Gelişmiş malzemelerin kullanılması kabuk performansını daha da arttırmaktadır.

Doğada yaşayan ve tasarımlarda çıkış noktası olabilecek pek çok hayvan vardır ve bunların ilginç olanlarından biri de pangolinlerdir. Doğada yaşayan pangolinlerin manis cinsi dahil toplam sekiz türü vardır. Küçük Afrika türü olan ağaç pangolini, ağaçlı bozkırlarda ve Batı Afrika'nın az yağış alan tropik yağmur ormanlarında yaşarlar. Bölgede yıllık ortalama hava sıcaklığı 26 ile 33 °C arasında değişir. Ağaç pangolinleri 4.5-14 kg ağırlığında ve boyları 31-45 cm'dir. Pangolinlerin sırt ve yan bölgeleri keratinden oluşan üst üste örtüşen kabuklarla kaplıdır. Çevrede herhangi bir tehdit unsurunun olması halinde hemen kıvrılırlar. Bu sayede böceklerin ve yırtıcıların saldırılarından korunurlar. Karıncalar ve termitlerle beslenirler. Dişleri olmadığından uzun dilleri ve boru şeklinde burunları vardır. Dinlenme halindeyken dillerini güçlü kasları sayesinde boğaz içine çekerler. Ağaç pangolinleri zamanlarının

büyük bölümünü ağaçta geçirirler. Kaslı kuyrukları sayesinde kolaylıkla tırmanır ve dallardan asılabilirler (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Pangolinlerin yürüme ve savunma pozisyonları (Mazzoleni, 2013)

Pangolinlerin deri sisteminin koruyucu ve esnek olma özelliklerinden esinlenilerek Gana'daki Kakum Ulusal Parkı'nda Ross Ferrari ve Thomas Carpentier tarafından afet ve savaş bölgeleri için acil barınma bölgesi olarak bir proje tasarlanmıştır (Şekil 2.16). Proje, çeşitli saha koşullarına ve alanlarına uyum sağlayabilecek geçici bir yapı niteliğindedir. Öncelikli olarak sağlık ekiplerine geçici sığınma evi olması hedeflenmiştir. Panelleri desteklemek, yaşanılabilir bir çevre oluşturmak ve gerekli olan strüktürel kapasiteyi sağlamak için tensegrity ilkesi¹ kullanılmıştır. Uygulanan gerilim strüktürel kolonlar ve kablolar aracılığıyla tutulur ve böylece paneller kaldırılmış olur.

¹ Strüktürel tasarım ilkesi olarak Tensegrity, 20 yy. ortalarında ABD'li felsefeci, mühendis, mimar, akademisyen, şair ve yazar Buckminster Fuller tarafından ileri sürülmüş ve heykeltıraş Kenneth Snelson da bu konuda heykeller ve modeller geliştirmiştir. "Tensegrity", "tension" (gerilim) ve "integrity" (bütünsellik) kelimelerinden türetilmiştir. 1948 yılında ileri sürülen bu yapı teorisi mimariden mobilya tasarımlarına, heykeltirlikten robot tasarımlarına kadar birçok alanda değerlendirilmektedir.



Şekil 2.16 Proje genel görünüm (Mazzoleni, 2013)

Sığınak fotovoltaik paneller, esnek yarı saydam kumaş ve şemsiye benzeri strüktür gibi taşınması kolay parçalardan oluşur. Pangolinlerin deri sistemi av ve avcılara karşı korunma sağladığı gibi bu sığınak da istenmeyen çevresel koşullardan korunmayı sağlar. Enerji gereksinimi fotovoltaik panellerle kaplı modüller ile karşılanır. Sığınanın montajı, strüktürel şemsiyenin açılıp koruyucu kumaşın uzatılması ile başlayan çok aşamalı bir süreçtir. Daha sonra fotovoltaik paneller temel ünite modüllerine bağlanır ve barınağın strüktürel rijitliğini sağlayan bir kemer oluşturmak için birleştirilir. Son olarak, istenen hacimsel alan elde edilinceye kadar ünite modülleri tekrarlanır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Barınağa ait cephe sistem detayı (Mazzoleni, 2013)

2.4 Biyomimikri Düzeyleri

Biyolojiyi arayan tasarım ve tasarımı etkileyen biyoloji yaklaşımlarının her ikisinde de, tasarım problemine uygulanabilecek üç biyomimikri düzeyi tipik olarak (i) şekil, (ii) süreç ve (iii) ekosistem olarak verilir. Bir organizma veya ekosistem üzerinde çalışılırken şekil ve süreç o organizmanın ya da ekosistemin taklit edilebilecek özellikleridir (Zari, 2007).

Zari 2007’de yaptığı çalışmada, bu farklı seviyeleri yeniden tanımlayan ve yapılı çevrenin rejeneratif kapasitesini arttırmak için biyomimikrinin potansiyelini ortaya

çıkarmaya ve uygulamalarını anlamaya çalışan bir sistem önermiştir (Zari, 2007). Gelişen biyomimikri çeşitlerini tanımlayan bu sistem, biyomimikriyi kullanmak isteyen mimarlara yapı çevrenin sürdürülebilirliğini iyileştirmek için etkin bir yaklaşım yöntemi oluşturmaktadır. Bu sistemin ilk bölümünde biyolojinin hangi yönünün taklit edildiği belirtilmiş ve her bir bölüm bir düzeyi oluşturmuştur. Pedersen Zari (2007)'ye göre tasarım probleminin çözülmesi için doğa 3 düzeyde taklit edilmektedir: (i) Organizma, (ii) Davranış ve (iii) Ekosistem düzeyi. Organizma düzeyi, bitki veya hayvan gibi spesifik bir organizmanın bir kısmını veya tamamını taklit etmeyi içerir. Davranış düzeyi, bir organizmanın nasıl davrandığı ile ilgilidir. Ekosistem düzeyi ise bütün ekosistemleri taklit etmektir. Bu düzeylerin her biri biçim, malzeme, inşaat, süreç ve fonksiyon olmak üzere beş boyutta incelenebilir. Biyomimikri düzeyleri arasındaki farklar akkarınca örneği üzerinden Tablo 2.1'de açıklanmıştır.

Tablo 2.1. Biyomimikrinin mimarlıkta uygulanması için bir çerçeve

Biyomimikri Düzeyleri	Akkarınca Taklit Eden Bir Bina	
Organizma Düzeyi	Şekil	Bina akkarınca yuvasına benzer.
	Malzeme	Bina akkarıncanın kabuğuna benzer bir malzemeden yapılır. Örneğin malzeme akkarıncanın dış kabuğunu taklit eder.
	Yapım	Bina akkarınca yuvasına benzer bir yöntemle inşa edilir. Örneğin çeşitli büyüme dönemlerinden geçer.
	Süreç	Bina akkarıncaya benzer bir yöntemle çalışır. Örneğin genlerinin kopyalanması sürecinde hidrojen üretir.
	Fonksiyon	Bina fonksiyonları bir akkarınca fonksiyonlarına benzer. Örneğin selüloz atığını dönüştürür ve gübre üretir.

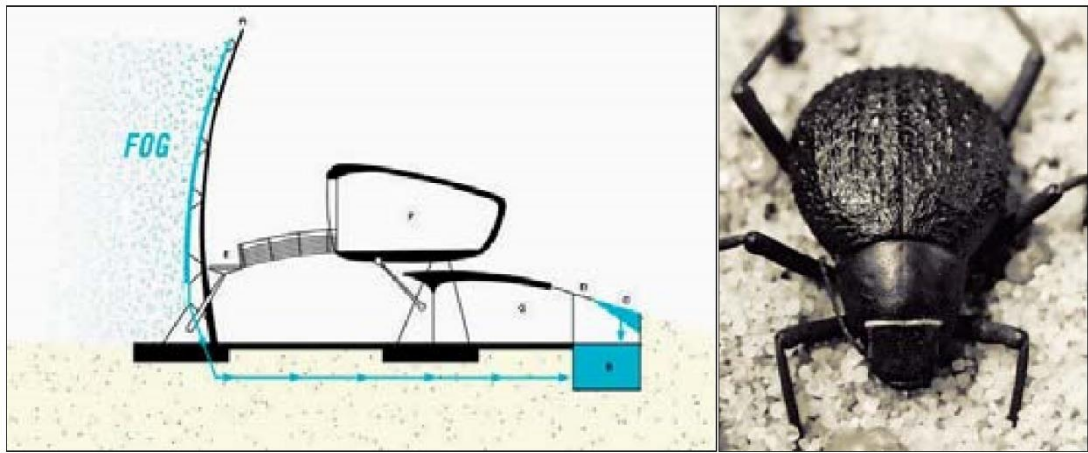
Tablo 2.1. Biyomimikrinin mimarlıkta uygulanması için bir çerçeve (Devam)

Biyomimikri Düzeyleri	Akkarınca Taklit Eden Bir Bina	
Davranış Düzeyi	Şekil	Bina akkarınca yuvasına benzer şekilde yapılmış gibi görünür. Akkarınca tepeciklerinin taklidi gibidir.
	Malzeme	Bina akkarıncanın kullandığına benzer bir malzeme ile yapılır. Örneğin sindirilmiş saf gübre birincil malzeme olarak kullanılır.
	Yapım	Bina akkarıncanın yuvasını inşa etme şekline benzer bir yöntemle yapılır. Örneğin belirli zamanlarda ve yerlerde toprak istiflenir.
	Süreç	Bina yönlenme, şekil, malzeme seçimi ve doğal havalandırma özellikleri ile akkarınca tepeciği gibi çalışır veya akkarıncaların nasıl birlikte çalıştıklarını taklit eder.
	Fonksiyon	Bina bir akkarıncanın yaptığı gibi iç mekan koşullarını optimum düzeyde tutar ve termal olarak kararlıdır.
Ekosistem Düzeyi	Şekil	Bina akkarıncanın içinde yaşadığı bir ekosisteme benzer.
	Malzeme	Bina ekosistemle benzer bir malzemeden yapılır. Örneğin doğada kendiliğinden var olan bileşenleri kullanır.
	Yapım	Bina ekosistemdeki gibi birleştirilir. Örneğin zamanla artan bir karmaşıklık ve ilkeler dizisi vardır.
	Süreç	Bina ekosistem ile benzer şekilde çalışır. Örneğin enerjiyi tutar ve dönüştürür, suyu depolar.
	Fonksiyon	Binanın fonksiyonları ekosistemdeki fonksiyonlar gibi süreçler arasındaki ilişkiler ve biçimlere göre çalışır. Örneğin bina ekosistemdeki hidroloji, karbon ve azot döngülerine katılabilir.

2.4.1 Organizma düzeyi

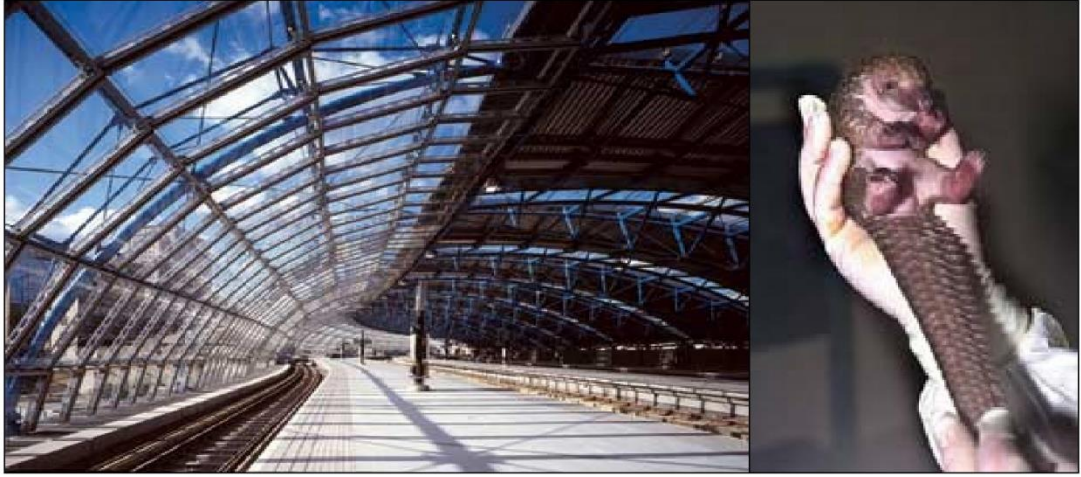
Canlı organizmaların türleri milyonlarca yıldır gelişmektedir. Dünya üzerinde kalan bu organizmalar zaman içerisinde sürekli değişime direnen bir hayatta kalma mekanizmasına sahiptirler. Bu nedenle insanlar, enerji ve malzemeleri etkin bir şekilde kullanan organizmaların ürettikleri çözümleri toplumun yaşadığı sorunları çözmek için kullanırlar. Kaynak değişikliklerinin, iklim değişikliklerinin ve mevcut insan faaliyetlerinin dünyadaki ekosistemlerin çoğunda yaşanan olumsuz çevresel etkilerinin sonuçları anlaşıldığı zaman insanlara yarar sağlar (Alberti vd., 2003).

Organizma düzeyine bir örnek olarak Namibya çöl böceği verilebilir. Böcek Yağış almayan çöl ortamında yaşar. Vücudunu rüzgarın içine doğru eğerek çölün üzerinden geçen ve hızlı hareket eden çöl sisinin nemini yakalar. Damlacıklar böceğin sırtında hidrofilik-hidrofobik pürüzlü yüzey oluşturarak böceğin kanatları yardımıyla ağzına doğru yuvarlanır. KSS Mimarlık'tan Matthew Parkes, Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi için önerilen sis yakalayıcı tasarımı böcekten esinlenen organizma düzeyinde süreç biyomimetiğine örnek olarak verilebilir (Şekil 2.18) (Killeen, 2002).



Şekil 2.18 Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi

Nicholas Grimshaw & Partners'ın Waterloo Uluslararası Terminal tasarımı da organizma düzeyinde form ve süreç biyomimetiğinin bir örneğini göstermektedir (Şekil 2.19). Bu tasarımda pangolin esin kaynağı olmuştur. Terminal, trenlerin terminale girip çıkması nedeniyle hava basıncındaki değişikliklere cevap verebilmektedir. Yapıyı oluşturan cam panel sabitleme parçaları, pangolinin esnek kabuk yapısının taklit edilmesiyle uygulanan hava basıncı kuvvetlerine tepki gösterebilmektedir (Aldersey-Williams, 2003).



Şekil 2.19 Waterloo Uluslararası Terminal tasarımı ve pangolin

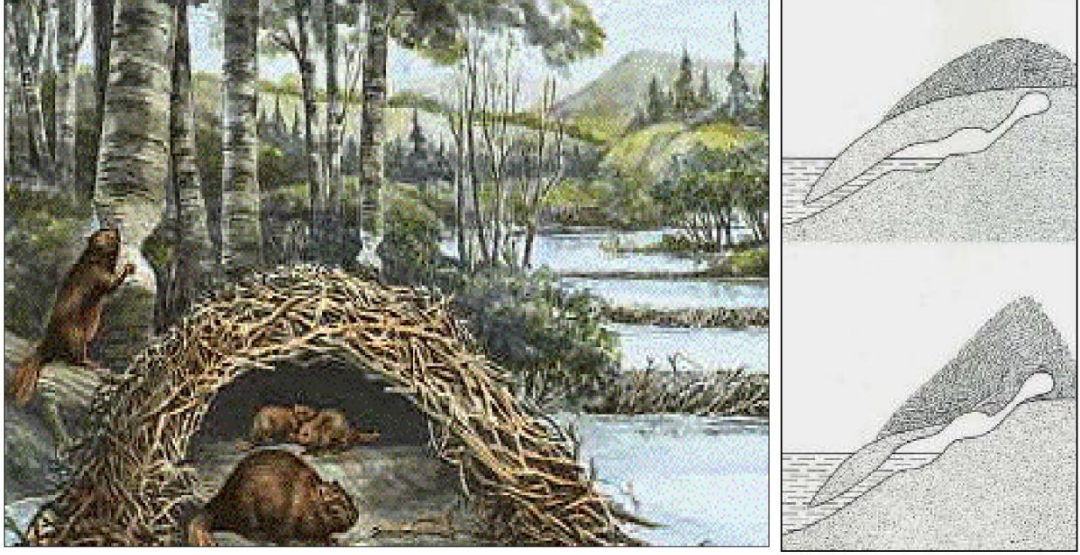
Ancak bir organizmayı içindeki ekosistemin daha geniş bağlamına nasıl katkıda bulunabileceğini dikkate almadan taklit etmek, çevresel etki bakımından geleneksel veya daha düşük seviyede olan tasarımlar üretme potansiyeline sahiptir. Organizmaların taklidi bütün bir sistemden çok spesifik bir özelliğin esin kaynağı oluşturmaktan dolayı biyomimetik yapılara eklenen bir teknoloji olmaktan öteye gitmemektedir (Zari, 2007).

2.4.2 Davranış düzeyi

Çok sayıda organizma, benzer çevre koşullarıyla karşılaşır ve insanlar tarafından karşılaşılan benzer sorunları çözmeye ihtiyaç duyar. Bu organizmalar belirli bir yerin çevre taşıma kapasitesi, enerji ve malzeme kullanılabilirlik sınırları içinde faaliyet göstermektedir. Ekosistemlerde ekolojik adaptasyonlar yaratan bu sınırlar ve zorlamalar, sadece iyi uyarlanmış canlıların gelişmeye devam etmesi değil, aynı zamanda iyi organize olmuş organizmalar ve onların davranışları veya türler arasındaki ilişki kalıpları anlamına gelmektedir (Reap vd., 2005).

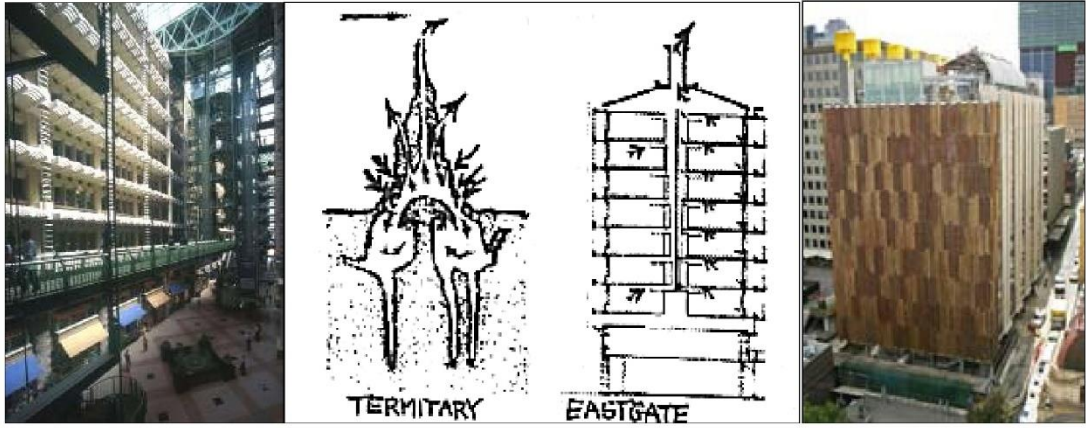
Kaynakların diğer türlere akışını doğrudan veya dolaylı olarak kontrol edebilen, canlı veya canlı olmayan malzeme veya sistemlerde ve dolayısıyla yaşam alanlarında değişikliklere neden olan organizmalara ekosistem mühendisleri denir (Rosemond ve Anderson, 2003). Ekosistem mühendisleri, kendi yapılarıyla (mercan gibi) veya mekanik ya da başka yollarla (kunduz ve ağaçkakan gibi) yaşam alanlarını değiştirirler. İnsanlar da kuşkusuz etkin bir ekosistem mühendisidir, diğer türlerin çevrelerini nasıl değiştirebildiklerine bakarak değerli bilgiler edinebilir ve bu sistemde yaşam için daha fazla kapasite yaratabilirler (Zari, 2007).

Yer değiştirme yoluyla sulak alanların nasıl oluşturulduğunu, besin maddelerinin tutulması ile bitki ve hayvan çeşitliliğinin arttırıldığını ve ekosistemin karışıklığına karşı daha dirençli olmanın sağlandığını Kuzey Amerika kunduzu örneği göstermektedir (şekil 2.20) (Rosemond ve Anderson, 2003).



şekil 2.20 Kuzey Amerika kunduzunun yaşamsal davranışı

Davranış düzeyinde, taklit edilen organizmanın kendisi değil davranışlarıdır. Benzer bir şekilde organizmalar ve türler arasındaki ilişkileri taklit etmek mümkün olabilir. Davranış düzeyinde süreç ve fonksiyon biyomimetieğinin mimari bir örneği Mick Pearce'ın Harare, Zimbabwe'deki Eastgate Binası ve Avustralya'nın Melbourne kentindeki CH2 Binası tarafından gösterilebilir (şekil 2.21). Her iki yapı kısmen termal istikrarlı bir iç ortam yaratmak için akkarınca höyüklerinde gözlemlenen pasif havalandırma ve sıcaklık düzenleme tekniklerine dayanmaktadır. CH2 Binasının altındaki kanalizasyonlardan çıkarılan (temizlenen) su, bazı akkarınca türlerinin buharlaşmalı soğutma mekanizması olarak akifer suyunun yakınlığını nasıl kullanacağını benzer bir şekilde kullanılır (Zari, 2007).



Şekil 2.21 Eastgate binası ve akkarınca yuvası

Davranış düzeyinde taklit, insan bağlamında taklit edilenin uygunluğu hakkında etik kararlar gerektirir. Tüm organizmalar, insanlara taklit etmek için uygun davranış sergilemezler. Tüketim veya sömürü modellerinin başka bir türün nasıl davrandığına dayanılarak haklı gösterilebileceği tehlikesi mevcuttur. Örneğin, akkarıncaların davranışlarını taklit etmek, pasif olarak düzenlenmiş, termal olarak konforlu binaların oluşturulması için uygun olabilir. Ancak, akkarınca kolonilerinin sosyal yapısını taklit etmek evrensel insan haklarına uygun olmaz. Sosyal yapılanma ya da ekonomik alanlara bakmak yerine insan yapılı çevrelerin sürdürülebilirliğini ve yenilenebilir kapasitesini artıracak belirli bina ve hayatta kalma davranışlarını taklit etmek daha uygun olabilir. Bu açıdan tek organizmayı taklit etmektense bütün sistemleri taklit etmek daha uygun olabilmektedir (Zari, 2007).

2.4.3 Ekosistem düzeyi

Ekosistemlerin taklit edilmesi, 1997 yılında Janine M Benyus ve 2007 yılında Julian Vincent tarafından tanımlanan biyomimikrinin ayrılmaz bir parçasıdır. Ayrıca ekomimikri tanımı, ekosistemlerin taklidini tanımlamak için 2004 yılında Lourenci ve Russel tarafından kullanılmıştır. Bu terimi, 2007 yılında Marshall “güç, prestij ya da kar” yerine, ekosistemlerin ve kişilerin refahının olduğu biyomimikrinin sürdürülebilir formu anlamında kullanmıştır (Zari, 2007).

Ekosistem düzeyindeki biyomimikriye Oregon Mithun Mimarlık ve GreenWorks Peyzaj Mimarlığı Danışmanları tasarım ekibi tarafından önerilen Lloyd Geçiş Projesi örnek olarak verilebilir (Şekil 2.22). Proje, kalkınma öncesi sitede bulunan ekosistemin projenin ekolojik performansı için uzun bir süre boyunca nasıl hedefler belirleyeceğini ön geliştirme ölçütleri olarak adlandırdığı tahminleri kullanır.



Şekil 2.22 Llyod Crossing projesi

Bu düzeyde tasarım yapmanın bir avantajı, biyomimikrinin diğer düzeyleri ile birlikte kullanılabilmesidir. Ayrıca, insan ve insandan bağımsız sistemlerin her ikisinin karşılıklı yararı için bir araya getirildiği arabirim ya da biyolojik destekli sistemler gibi biyomimetik özellikte olmayan mevcut sürdürülebilir bina yöntemlerini dahil etmek de mümkündür (Zari, 2007). Buna ekosistemlerdeki atık su arıtımının taklit edildiği ve bitkilerle entegre olduğu John ve Nancy Todd'un yaşayan veya eko-makineleri örnek olarak verilebilir (Todd ve Josephson, 1996).

Ekosistem tabanlı biyomimetik tasarım yaklaşımının bir diğer avantajı, geçici ve mekânsal ölçekte uygulanabilir olmasıdır. Ayrıca, Lloyd Geçit Projesinde gösterildiği gibi belirli bir yer için sürdürülebilir veya hatta yenilenebilir tasarımı teşkil eden unsurlar için bir başlangıç ölçütü veya hedef görevi görebilir (Zari, 2007).

Bununla birlikte, biyomimetik tasarıma yönelik böyle bir yaklaşımın en önemli avantajı, çevresel performans üzerindeki potansiyel olumlu etkileri olabilir. Ekosisteme dayalı biyomimikri, hem metaforik düzeyde hem de pratik işlevsel düzeyde çalışabilir. Metaforik düzeyde, genel ekosistem ilkeleri ekolojik bilgisi az olan tasarımcılar tarafından uygulanabilir. Yapılı çevre bir sistem olarak tasarlanmışsa ve yalnızca bir metafor seviyesinde olsa bile bir ekosistem gibi davranması beklenirse, yapılı çevrenin çevresel performansı artabilir. İşlevsel seviyede ekosistem taklidi, gezegenin büyük biyojeokimyasal malzeme döngülerine hasar vermeden yapılı bir çevre tasarımına olanak sunar. Tasarım ekibi tarafından ekoloji ve sistem tasarımının anlaşılmasının zorunlu olduğu bilinmelidir. Ayrıca mimarlık, biyoloji ve ekoloji gibi geleneksel olarak birlikte nadiren çalışan disiplinler arasındaki işbirliğinin artırılması da gereklidir (Zari, 2007).

2.5 Bölüm Sonucu

2.bölümde biyomimikri kavramının tanımı ve tarihçesi üzerinde durulmuş ve mimarlık ile ilişkisi irdelenmiştir. Biyomimetik tasarımın nasıl uygulanabileceği hakkında çeşitli yaklaşımlardan söz edilmiş ve bazı belirgin örneklerle açıklanmıştır. Bu yaklaşımlardan M.Pedersen Zari (2007)'nin önerdiği (i) Biyolojiyi arayan tasarım ve (ii) Tasarımı etkileyen biyoloji incelenmiştir. Ardından akademisyen mimar Ilaria Mazzoleni'nin (2013) hayvanlar aleminden esinlenerek onların yaşadıkları çevre koşullarına karşı gösterdikleri uyumun tasarım ve mimariye uygulanması ile ilgi yaptığı çalışmaya göre ortaya koyduğu yaklaşımlar örneklerle açıklanmıştır. Mazzoleni bu yaklaşımların (i) İletişim, (ii) Termo düzenleyicilik, (iii) Su dengeleyicilik ve (iv) Koruma olması gerektiğini vurgulamıştır. M.Pedersen Zari tasarım probleminin çözülmesi için doğanın 3 düzeyde taklit edildiğini belirttiğinden söz edilmiş bu düzeyleri (i) Organizma, (ii) Davranış ve (iii) Ekosistem olarak açıkladığı belirtilmiştir. Bu biyomimikri düzeylerinin her birini biçim, malzeme, inşaat, süreç ve fonksiyon olmak üzere beş boyutta akkarınca örneği üzerinden inceleyen Zari'nin çalışması açıklanmıştır.

Bu araştırma, tasarım dünyasında yeni bir terim olan biyomimikriyi tasarımcıyla tanıştırmayı sağlamaktadır. Karşılaşılan problemlerin çözümü için doğadan esin alan bilim adamları ve mimarlar doğada yaşayan canlıların benzer problemlere nasıl çözümler ürettiğini incelemektedir. Biyomimikri kavramının, çağın getirdiği bu karmaşık problemlere karşı mimarlık alanına önemli katkılarının olacağı açıktır.

3. BİYOMİMETİK STRÜKTÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI

İnsanoğlu var olduğu günden bugüne kadar sürekli olarak keşfetme ve öğrenme eğiliminde olmuştur. Gözlem, öğrenme ve tasarım sürecinde çeşitli adaptasyonlar yaşamış ve doğanın ona sunduğu olanakları taklit ederek, yorumlayarak ve kullanarak ihtiyaçlarını karşılamak için becerilerini geliştirmiştir. Bu nedenle, insan yapımı ve doğada bulunan strüktürler arasında benzerlikler gözlemlemek mümkündür.

Çalışmanın bu bölümünde, biyomimetik tasarım yaklaşımları açısından ele alınan mimari strüktürler, (i) Ağaç benzeri strüktürler, (ii) İskelet benzeri strüktürler, (iii) Ağ benzeri strüktürler, (iv) Pnömatik strüktürler ve (v) Kabuk benzeri strüktürler olmak üzere beş ana sınıfa ayrılmıştır. Tarihsel süreçte farklı dönemlere ait her sınıfın öncü örnekleri bulunmaktadır. Bu örneklerin analizi ile insan yapımı strüktürlerdeki ve doğadaki strüktürlerin görsel benzerlikleri biyomimetik tasarım yaklaşımları bağlamında tartışılmıştır.

3.1 Ağaç Benzeri Strüktürler

Ağaçlar, tarih boyunca, insan hayatında mimari ve strüktürel amaçlı birçok önemli görev üstlenmiştir. Ağaç benzeri strüktürlerin gözlemlenmesi, insanların hem yeni yapım metodlarını hem de strüktürel sistemleri öğrenmesine olanak sağlamıştır. Mimarlık tarihi incelendiğinde ağaç benzeri strüktürler Gotik tarzdaki kaburgalarda gözlenmektedir (Şekil 3.1). Günümüzde ise çelik, ahşap ve betonarme strüktürlerde üç boyutlu taşıyıcı sistemler olarak kullanılmaktadır (Arslan ve Sorguç, 2004)

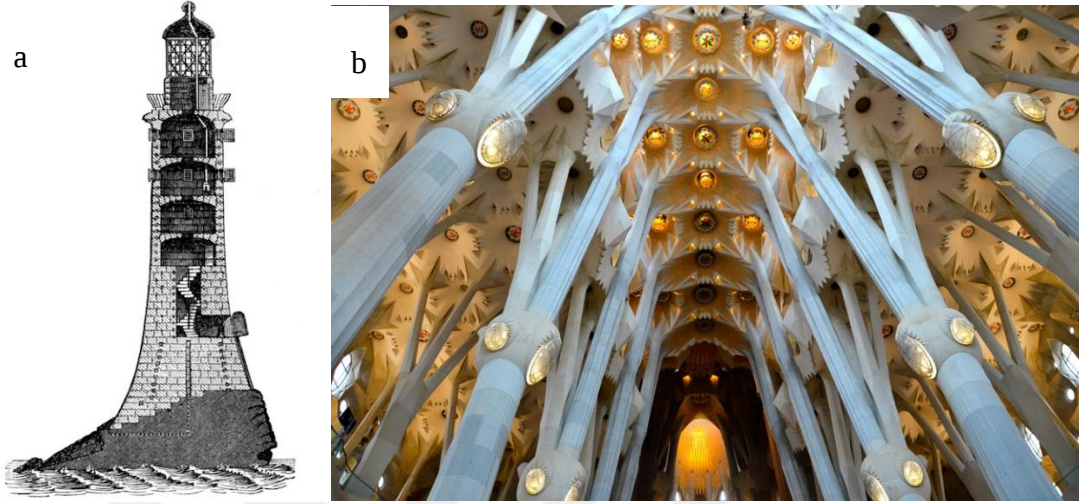


Şekil 3.1 King's College Şapeli (Url-2)

Dallanmış, ağaç benzeri strüktürler mimarlıkta tarih boyunca büyük bir ilgi kaynağı olmuştur. 20. Yüzyılın sonlarında yaşanan teknolojik gelişmeler ve bazı mühendisler ve mimarlar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, doğadaki dallanmış strüktürler gibi aynı esaslara dayanan, daha hafif strüktürler inşa etmek mümkün olabilmiştir (Yeler, 2012). Buna rağmen dallanan yapılarının hareketlerini doğal ağaç hareketleriyle karşılaştırmak mümkün değildir. Ayrıca ağaçlar ve onların dalları her yönden eşit derecede büyümektedir. Dallanan strüktürler, kuvvetlerin yönü ve kalıpları arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ağaç benzeri dallanan sistemlerin avantajı, yükleme noktaları ile destekler arasında kısa mesafelerin olmasıdır. Buna rağmen mimarlıkta ağaç benzeri bir strüktürün yapımı henüz mümkün değildir (Yeler, 2015).

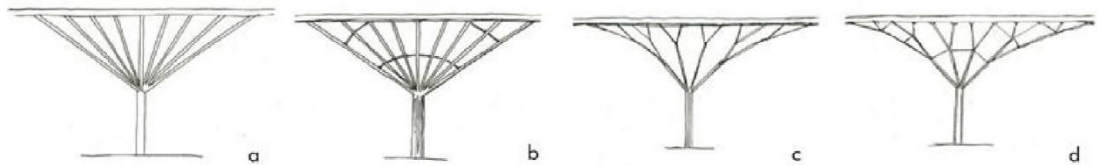
Ağaç benzeri strüktürlerin en eski örneklerinden biri, John Smeaton tarafından tasarlanan Plymouth'un güneybatısında bulunan Eddystone Deniz Feneri'dir (Şekil). Smeaton'un modeli doğanın güçlerine direnecek en iyi forma sahip olduğu düşünülen İngiliz meşe ağacına dayanmaktadır (Addis, 2001).

Benzer şekilde, yaşamı boyunca hiçbir yere seyahat etmemiş olan Antonio Gaudi, ilham kaynağını doğanın sunduğu sayısız ayrıntıyı gözlemleme becerisinden almıştır. Barselona'daki Sagra da Familia'da dört bazalt sütunun bulunduğu alana girildiğinde ormanda geziniyormuş hissi vermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 (a) Eddystone Deniz Feneri (Url-3) ve (b) Sagra da Familia (Url-4)

1970'li yıllarda doğadaki dallanma konseptinden türetilen mimari yapılara büyük ilgi gösterilmiştir. Alman Mimar Frei Otto, sıkıştırılmış yüklü döşeme ve çatı için “minimum yol sistemi” üzerinde çalışmıştır. Otto, ahşap ve çelik binalarda kullanılan fan strüktürünün somutlaştırılmış doğrudan bir yol ağı olarak ele alınabileceğini iddia etmiştir. Dallanmış fan yapısı çoğu durumda sıkıştırma elemanlarının burkulma uzunluğu azaldığında daha etkilidir. Ağacın dallanmış strüktürü az miktarda malzeme gerektiren ve ince dallar tarafından arttırılabilen bir yük taşıma kapasitesine sahip, sapma miktarı az olan somutlaştırılmış bir yol ağıdır (Şekil 3.3). Otto bu yaklaşımla birçok strüktür tasarlamış ve kendinden sonraki mimarlar onun ilkelerini takip etmişlerdir (Selçuk, 2009).



Şekil 3.3 Frei Otto'nun Dallanma Teorisi (Otto,1995)

Günümüzde ağaç benzeri strüktüre sahip yapıların kullanımı artmakta olup bu yapıların üç boyutlu taşıyıcı sistemlerinde çelik, ahşap ve betonarme malzeme kullanılmaktadır. 1987 yılında Calatrava tarafından Toronto’da tasarlanan BCE Place, karma kullanımlı bir kompleks olup, strüktürü 8 adet içe doğru eğik çelik kolondan oluşur ve parabolik bir kemer gibi birleşen bir örtü sistemine sahiptir. 14 metrelik bir açıklığın geçildiği bu alana girildiğinde bir orman etkisi hissedilmektedir. 1996 yılında Meinhard von Gerkan tarafından tasarlanan Almanya’daki Stuttgart Havaalanı Yolcu Terminali’nin çatısı ağaç benzeri strüktürlerin çağdaş örneklerindendir (Şekil 3.4). Yapının yüksek eğimli çatısı, 12 adet ağaç benzeri çelik strüktür tarafından desteklenmektedir.



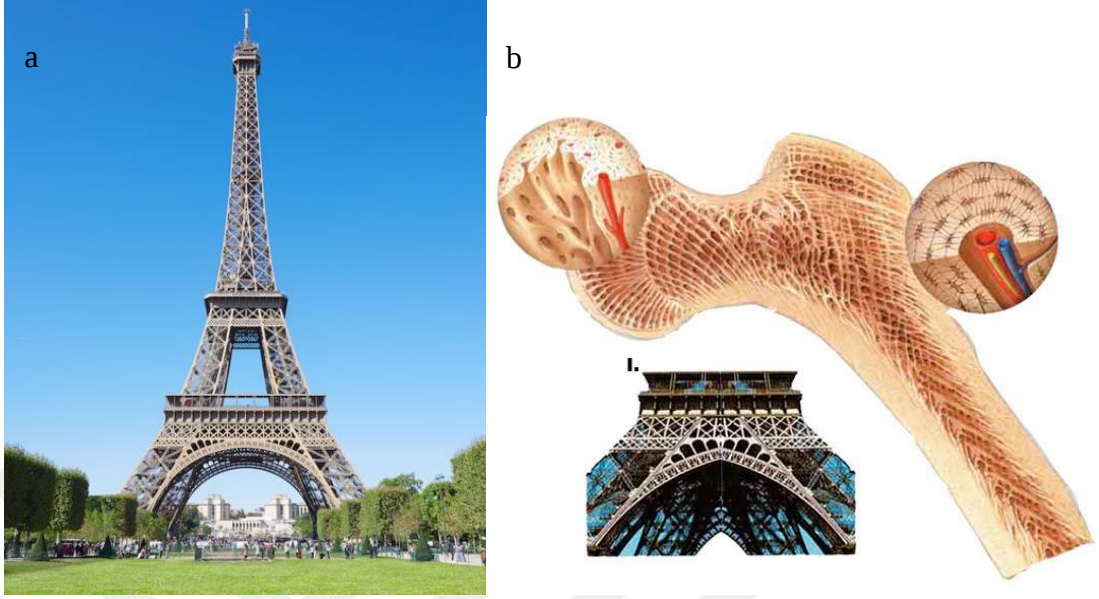
Şekil 3.4 (a) BCE Place (Url-5) ve (b) Stuttgart Havaalanı Yolcu Terminali (Url-6)

3.2 İskelet Benzeri Strüktürler

Hayvanların ve insanların omurga ve iskelet sistemleri incelendiğinde, bu sistemlerin strüktürel yapısının yüksek düzeyde yük taşıma kapasitesine sahip, karmaşık, rijit, ama buna rağmen hafif yapılar olduğu görülmektedir. Bu özellikleriyle insan ve hayvanların sahip olduğu omurga, iskelet ve kemik yapısı mimari strüktür oluşturmada esin kaynağı olmuştur.

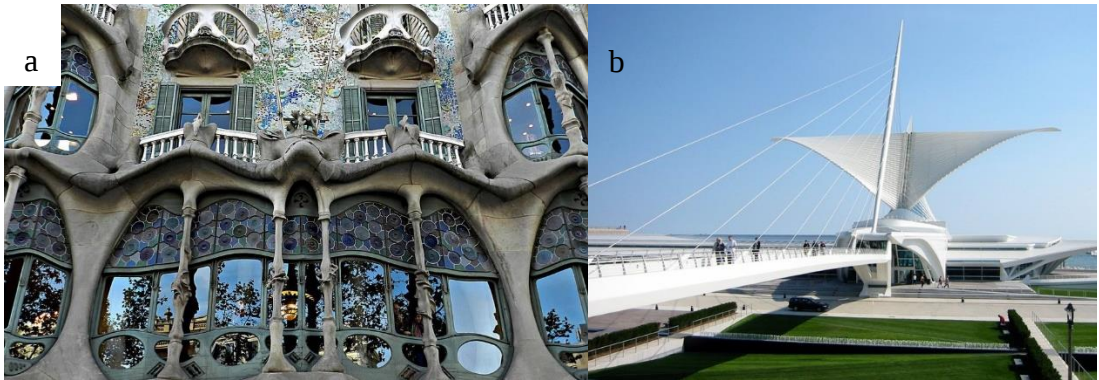
Hayvanlarda, daha az baskın olan strüktürel bir elemanın omurgaya dayandığı bilinmektedir. Bu fikir binalar için de uygun görünmektedir. Kaburgalar çatı için destek sağlar ve bir yapı biçiminde muhafaza oluşturur. Yapıların temel strüktürel elemanlarının kaburgalara dayandırılması gerektiği açıktır. Eiffel Kulesi tasarlanırken mimar Gustave Eiffel'in asistanı Maurice Koechlin insan vücudundaki en hafif ve en güçlü kemik olan femurdan ilham almıştır (Şekil 3.5). Femur kemiği dokusunun gözenekliliğinden dolayı kendiliğinden havalandırma özelliğine sahiptir.

Bu kemiğe benzer şekilde tasarlanan yapılar, inşaat malzemesini optimize etmekte ve inşaat iskeletinde sağlamlık ve esneklik sağlamaktadır (Selçuk, 2009).



Şekil 3.5 (a) Eiffel Kulesi (Url-7) ve (b) femur kemiği (Url-8)

Antoni Gaudi ve Santiago Calatrava omurga, iskelet sistemi ve kemikleri yapılarında en dikkat çekici şekilde kullanan mimarlardır. Gaudi'nin 1905 ve 1907 yılları arasında Barcelona'da tasarladığı Casa Batllo'da kemik şeklindeki sütunları ve dinazor omurgasını anımsatan tavan formasyonunu görmek mümkündür (Şekil). Santiago Calatrava ise tasarımlarında çoğunlukla iskelet ve kuşların kanat strüktürlerinden esinlenmiştir. Calatrava 2001 yılında tasarladığı Milwaukee Sanat Müzesi'nin orta sütununda bir martının omurga iskeletinden diğer kısımlarında ise bir kuşun kanatlarından hareketle tasarımını şekillendirmiştir. (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 (a) Casa Batllo (Url-9) ve (b) Milwaukee Sanat Müzesi (Url-10)

3.3 Ağ Benzeri Strüktürler

Doğada bulunan yapıların sınıflandırılmasında ağ benzeri strüktürler, hafiflikleriyle birlikte yüksek yük taşıma kapasiteleri dolayısıyla ayrı bir öneme sahiptir. Örneğin örümcek ipeklerinin, en güçlü insan yapımı elyaf olan Kevlar'a kıyasla daha güçlü ve elastik olduğu bilinmektedir. Ağ benzeri strüktürler, yük taşıyıcı özelliklerinde membran özelliği sergiler ve yük taşıma kapasiteleri son derece yüksektir. İnsan yapımı membran strüktüre sahip olan çadırların doğadaki bu ağ benzeri strüktürlerle benzer olduğu düşünülebilir (Arslan ve Sorguç, 2004).

Frei Otto, 1960'lı yılların çadırlar ve ağ yapıları arasındaki benzerlikleri inceleyen öncü mimarıdır. Araştırmalarını, strüktürel bir sistemde karşılaşılan başlıca kuvvetlerden biri olan çekme gerilmelerine odaklayarak yeni tasarım yaklaşımları oluşturmuştur. Modern çadır yapıları, Otto'nun çalışmalarına ve tasarımlarına dayanmaktadır. Ayrıca bu strüktürler güç ve zarafeti birlikte kullanma biçimiyle örümcek ağıyla karşılaştırılabilir özelliktedir. Modern çadır, geniş bir alanı kaplamak için minimum miktarda malzemeyi kullanmanın bir örneğidir. Geleneksel çadırlar, hafif uyarlanabilir binalar için öncü bir prototip olarak Otto tarafından yeniden gündeme getirilmiştir. Münih Olimpiyat Stadı Otto'nun önemli eserleri arasındadır. (Şekil 3.7) (Selçuk, 2009).



Şekil 3.7 Münih Olimpiyat Stadı (Url-11)

Otto, hafif ve yenilikçi strüktürleri çalışmaları boyunca geliştirmiştir. 1970'lerden bu yana ağ benzeri strüktürler, Ove Arup, Buro Happold, Eero Saarinen, Horst Berger, Matthew Nowicki, David Geiger Nicholas Goldsmith ve Todd Dalland tarafından savunulmuştur. Teknolojik gelişmelerin istikrarlı bir şekilde ilerlemesi kumaş çatılı strüktürlerin kullanımını arttırmıştır. Hafif malzemeler, geniş açık alanların kaplanmasında yapımı geleneksel yöntemlerden daha kolay ve daha ucuz hale getirir (Selçuk, 2009).

3.4 Pnömatik Strüktürler

Hem canlı hem de cansız doğada oluşan pnömatik strüktürler, canlı doğa, bitki ve hayvan gibi şekillerde, çeşitli yaşam süreçlerinde ve koşullarında kolaylıkla bulunabilir. Pnömatik strüktürler, tek bir yapı prensibinin, yani gerginliğe dayanıklı, esnek bir zarfın bir dolguyu çevrelediği bir sistem olan "Pneu" ilkesindeki sayısız varyasyonla geliştirilmiş ve inşa edilmiştir. Örtü ve dolgu birlikte bir yük taşıyıcı strüktürü oluşturur (Selçuk, 2009).

Doğadaki birçok şekil mikro kürelerden oluşur. Mikroküre, esnek ve dirençli yapısıyla sudaki sabun köpüğü gibi davranır. Hayvan veya bitki hücreleri membranlardan ve protoplazmadan oluşan pnömatik strüktürlerdir. Sıvıların temel özelliklerinden biri yüzey gerilimi olup, mukavemeti tipik kabarcıklara şekil verir. Yüzey alanı minimuma indirgenen bir kabarcığın şekli asgari miktarda malzemeden oluşur. Dayanıklı olmanın yanı sıra, bu hafif ve esnek strüktürler çok iyi düzeyde plastiklik özelliğe sahiptir (Al Hussaini, 2005).

Pnömatik yapılar ve onların hava destekleyici bir ortam olarak kullanılması, mimari dilin bir parçası haline gelmiş olup, pnömatik teknoloji hiçbir şekilde yeni kurulan bir bilim değildir. Sıvılar içinde oluşan hava kabarcığı araştırması kuşkusuz pnömatik bina yapımı tasarımında doğa ile ilgili en iyi örnektir. Mimaride pnömatik konstrüksiyonlara hava koridorları adı verilir. Bunlar, hava basıncı ile desteklenen bir membrandan oluşan destek sistemleridir. Dolayısıyla, bu sistemler ön gerilmeli strüktürel sistemlerdir (Arslan ve Sorguç, 2004).

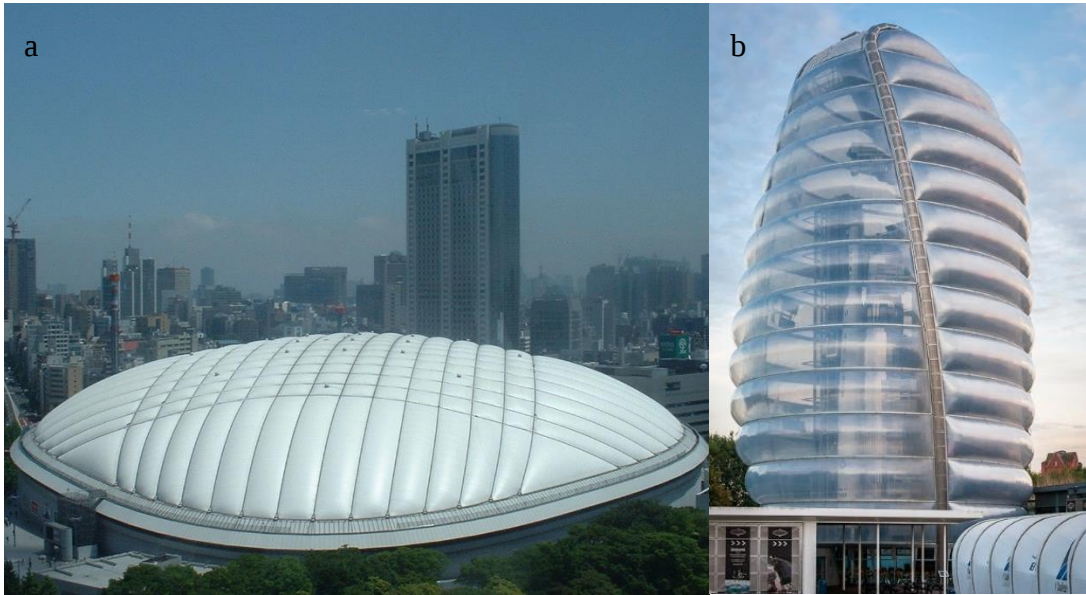
Pnömatik strüktürlerle yapılan ilk deneyler, sıcak hava balonlarının geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilmiştir. Brezilyalı rahip Bartolomeu de Gusmão, Lizbon'da 1709 gibi erken bir tarihte öncü bir deney yapmıştır. 18. yüzyılın sonunda

Montgolfier kardeşler, keten ve kağıttan yapılmış 11 metre çapında sıcak hava balonu yaptırmışlardır. Zeplinin babası olarak bilinen Jaques A.C. Charles, 19. yüzyılın sonlarında büyük bir sertliğe sahip ilk hidrojen balonunun inşasına başlamıştır (Selçuk, 2009).

Mimari açıdan, mevcut bilgilerin en iyisi, 1917’de iç hava basıncı ile çadırları destekleme fikrini ilk kez kaydeden İngiliz motorlu araç üreticisi Frederick William Lanchester ile başlar. Fakat Lanchester’ın çalışması ve fikirleri, zamanında yapı alanında dikkat çekmemiştir (Arslan ve Sorguç, 2004).

Pnömatik strüktürlerdeki formların üretimi ile ilgili akademik çalışmalar ise Frei Otto ile başlamış olup, Buckminster Fuller’in de çalışmalarının bir parçası olmuştur. Bu sistemler mimaride kirişler, duvarlar, zeminler, kolonlar ve kaplamalar gibi birçok stilde kullanılabilir. Çok büyük boyutlarda üretilebilmeleri, çok fonksiyonlu alanlar oluşturabilmesi, yumuşak, yuvarlak, hafif ve kolay taşınır olması, onarılabilir ve yeniden kurulabilir olması, düşük maliyetle yüksek düzeyde enerji tasarrufu sağlaması ve estetik bir görünüme sahip olması, bu tür yapıların olumlu yönleridir (Yeler, 2015).

Tokyo’da Forster tarafından tasarlanan Big Egg Dome ve İngiltere’nin Leicester kentindeki Grimshaw tarafından tasarlanan Ulusal Uzay Merkezi pnömatik strüktürlere örnek olarak verilebilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 (a) Big Egg Dome (Url-12) ve (b) Ulusal Uzay Merkezi (Url-13)

3.5 Kabuk Benzeri Strüktürler

Kabuklar, minimum malzeme kullanımı, yüksek dayanım, büyük açıklık kapasiteleri ve mekan oluşturma özellikleriyle doğada ve teknolojiye en yaygın ve en verimli strüktürler arasındadır. Doğada Yumurta, deniz kabuğu, kaplumbağa, kafatası, fıstık ve bazı kuşların ve böceklerin yuvaları gibi kabuk örnekleri oldukça fazladır. Mimarlık salyangoz, istiridye, tarak ve diğer deniz yumuşakçalarının yaptığı bu doğal güzelliklerin geometrisi ve barınak kapasitesinden derinden etkilenmiştir. Birçok bilim adamı kabuk şekillerini matematiksel ve geometrik açıdan incelemiştir (Selçuk, 2009).

Kabuk yapıları, belirgin kesit kalınlığını aşmayan, basınç ve çekme dirençli elemanlardan oluşan, taşıyıcı ve iletici elemanların bir bütün olarak ele alındığı sistemler olarak tanımlanabilir. Kabuk strüktürler, çoğunlukla kavisli yüzeyleri ve çok hafif ince strüktürleri ile yeri kaplayabilen, hacim oluşturan yapı elemanlarıdır; destek noktaları dışında ekstra taşıyıcıya ihtiyaç duymazlar ve bu özellikleri sayesinde büyük açıklıklar geçebilirler (Yeler, 2015).

Çimentonun keşfi, yapısal sistemlerde ince kabukları kullanarak yeni mimari tasarımların gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca yeni bir yapı malzemesi olarak betonun ve daha sonrasında yüksek dayanımlı betonun gelişmesi, inşaat felsefesini ve yeni kubbelerin tasarımını etkilemiştir. 1920'li yıllarda, betonarme kabukların ilk örnekleri Franz Dischinger ve Walter Bauersfeld tarafından tanıtılmış ve bu kubbelerin yumurta kabuklarıyla karşılaştırılması istenmiştir. 1930lar'da Dischinger, Finsterwalder ve Bauersfeld tarafından geliştirilen teknoloji, tek kemerli strüktürlerle uyumludur. Ayrıca bu formların analizinde ve üretim süreçlerindeki gelişmeler, çift kemerli eyer gibi daha karmaşık formlar inşa etmeyi mümkün kılmıştır. Robert Maillart, Edouardo Torroja, Eugène Freyssinet, Pier Luigi Nervi, Felix Candela gibi birçok mühendis ve mimar, betonarme yapılarda teknik olarak uygun ve zarif çözümler tasarlamaya ve uygulamaya devam etmiştir. Bunların arasında Nervi ve Candela doğadaki yapılardan esinlenerek tasarımlarına bazı çözümler getirmiştir (Selçuk, 2009).

Jorn Utzon tarafından tasarlanan Sydney Opera Binası ve Felix Candela tarafından tasarlanan L'Oceanogràfic kabuk benzeri strüktürlerin ünlü örneklerindendir. Meksika'da Octavio Ocampo tarafından tasarlanan Conch Shell House ve Manfred Nicoletti'nin Tayvan'da tasarladığı BioLab Filosu diğer örneklerdendir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 (a) Sydney Opera Binası (Url-14), (b) L'Oceanogràfic (Url-15), (c) Conch Shell House (Url-16) ve (d) BioLab Filosu (Url-17)

3.6 Bölüm Sonucu

3. bölümde biyomimetik strüktür türleri sınıflandırılıp, her bir strüktür türü örneklerle irdelenmiştir. Biyomimetik tasarım yaklaşımları açısından ele alınan mimari strüktürler, (i) Ağaç benzeri strüktürler, (ii) İskelet benzeri strüktürler, (iii) Ağ benzeri strüktürler, (iv) Pnömatik strüktürler ve (v) Kabuk benzeri strüktürler olmak üzere beş grupta incelenmiştir. İncelenen bu strüktür türleri mimarlık tarihinde farklı dönemlerden seçilen örneklerle desteklenmiştir.

4. BİYOMİMETİK YAPI ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

4.1 Masdar Genel Merkezi, Abu Dhabi, BAE

Tablo 4.1 Masdar Genel Merkezi hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2008 - 2012
	Mimari Tasarım	Adrian Smith ve Gordon Gill Mimarlık
	Strüktürel Tasarım	Thornton Tomasetti
	Strüktür Türü	İskelet
	Strüktür Malzemesi	Betonarme ve Çelik
	Fonksiyonu	Karma
	Kat Adedi	7
	Yükseklik	-
	Kat Alanı	116.372 m ²
	Esin Kaynağı	Ağaç
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Ağaç Benzeri Strüktür

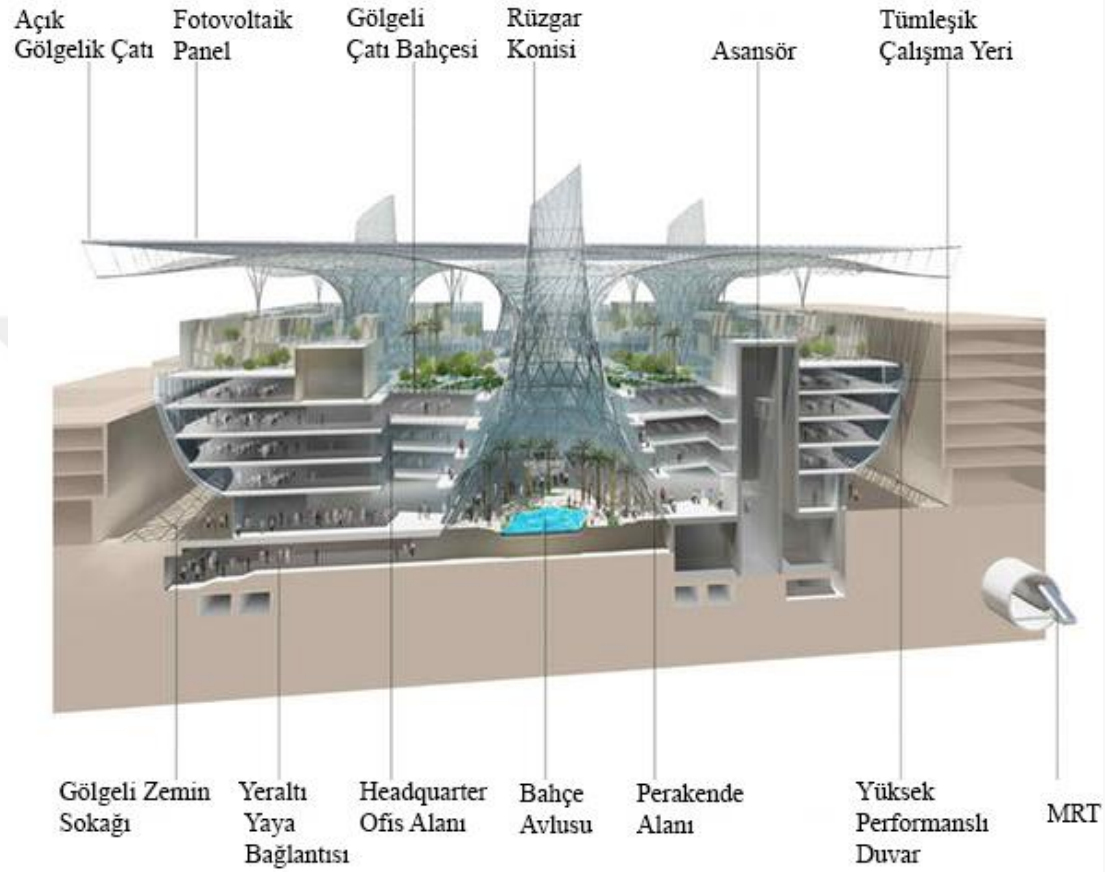
Şekil 4.1 Masdar Genel Merkezi (Url-18)

Mimari Özellikler

Yapımına 2008 yılında başlanan ve 2012 yılında tamamlanan, peyzajı da dahil olmak üzere toplam 134.662 m² alana sahip Masdar Genel Merkezi, 7 kattan oluşmaktadır. Dünyanın ilk karma kullanımlı sürdürülebilir yapısı olarak tasarlanan proje, ticaret ve konut alanları ve halka açık bahçelerin yanı sıra bir ibadet salonu ve şehrin ulaşım sistemlerine doğrudan erişimi de sağlayan kullanımlara sahiptir.

Masdar Genel Merkezi, doğal havalandırma ve soğutmayı sağlayan, her biri kendi içerisinde bir vaha etkisi yaratan 11 adet rüzgar konisi içermektedir. Aynı zamanda zeminde birer avlu oluşturan bu koniler, yapının iç mekanları için doğal gün ışığı da sağlamaktadır. Yapının geniş çatı örtüsü üzerinde, güneş enerjisinin depolanmasını sağlayan fotovoltaik güneş panelleri bulunmaktadır. Ayrıca çatıda bulunan gökyüzü

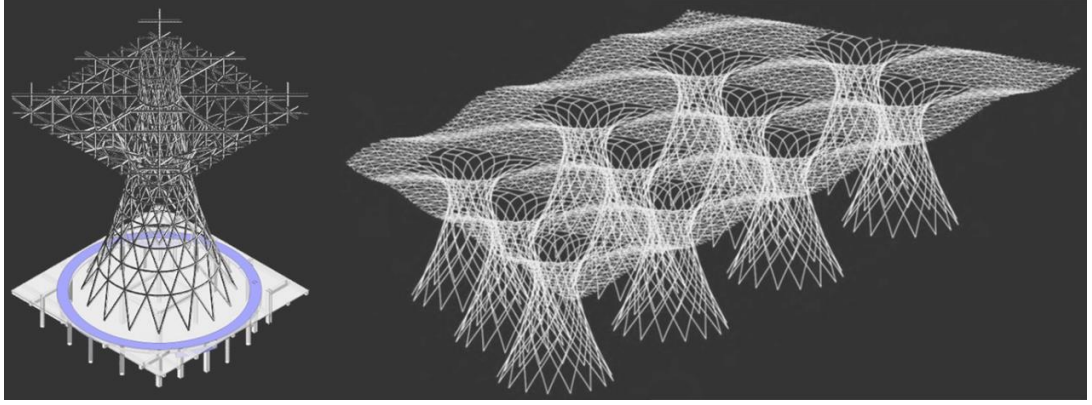
bahçesi ile mikro iklim etkisi sağlanmaktadır. Masdar Genel Merkezi, dünyanın en yeşil karma kullanımlı yapısı olarak tasarlanmış olup, LEED Platinum belgesine sahiptir. Aynı büyüklükteki karma kullanımlı binalardan %70 daha az su ve benzer iklimdeki eşdeğer bir yapıya göre en düşük enerjiyi tüketecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Masdar Genel Merkezi, kesit perspektifi (Url-18)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Dikdörtgen bir plana sahip yapı iskelet bir strüktür tarafından taşınmaktadır. Yapımında sürdürülebilir ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılmış olup, kullanılan kereste %100 sürdürülebilir nitelikte ve alüminyum %90 oranında geri dönüştürülmüş bileşen içermektedir. Düşük karbon içeriğine sahip, öğütülmüş granüle cüruf çimentosundan yapılan beton, geleneksel betondan daha yüksek dayanım sağlayacak şekilde kullanılmıştır. Yapının üst bölümünde örtü görevi gören çelik çatının dalgalı formu, strüktürel performansını da kolaylaştırmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Rüzgar konileri ve aerodinamik çatı birleşimleri (Url-19)

Biyomimetik Özellikler

Masdar Genel Merkezi ağaçlardan esinlenilerek, Abu Dhabi’de yapılmıştır (Şekil 4.4). Ağaca benzeyen strüktürü Thornton Tomasetti şirketi tarafından sayısal ortamda oluşturulmuştur.

Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimetik yaklaşım hedeflenmiştir. Yapıda ormanı andıran 11 adet strüktürel konik ağaç bulunmakta, bu ağaç benzeri strüktürler gerçek ağaçlar gibi doğal havalandırma ve soğutma sağlamaktadır. Biyomimetik strüktür türü ise ağaç benzeri strüktürdür.



Şekil 4.4 (a) Ağaç (Url-20) ve (b) Masdar Genel Merkezi (Url-21)

4.2 Oriente İstasyonu, Lizbon, Portekiz

Tablo 4.2 Oriente İstasyonu hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1993 - 1998
	Mimari Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktürel Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktür Türü	Uzaysal Kafes
	Strüktür Malzemesi	Yüksek Dayanımlı Beton + Çelik
	Fonksiyonu	Karma
	Kat Adedi	2
	Yükseklik	25 m
	Kat Alanı	21.284 m ²
	Esin Kaynağı	Palmiye Ağacı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyometik Strüktür Türü	Ağaç Benzeri Strüktür

Şekil 4.5 Oriente İstasyonu (Url-22)

Mimari Özellikler

Yapımına 1993 yılında başlanan ve 1998 yılında tamamlanan 25 metre yüksekliğindeki Oriente İstasyon Binası, 2 kattan oluşmaktadır. Yapı 68 m genişliğe ve 313 m uzunluğa sahip bir alan üzerinde inşa edilmiştir.

Yapı ana fonksiyonları olan metro ve tren istasyonlarına ek olarak ticari kullanımları da içermekte olup, yükseltilmiş katı ulusal tren ağına ait platformlarla ilişkili iken alt katı sergi (Expo) mekanlarına hizmet vermektedir. Ayrıca bu kat aynı zamanda kentin ulaşım ağının üçüncü bir unsuru olan ana otobüs terminali ile bağlantı kurmaktadır (Şekil 4.6). Yapının camla kaplı olmasından dolayı gün ışığı, istasyonu gün boyunca aydınlatmakta ve bu sayede iç mekanda bulunan lambalar geceleri uhrevi parlaklık sağlamaktadır.



Şekil 4.6 Katlar arasındaki bağlantı (Url-22)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

İstasyon binasının üst örtüsü uzaysal çelik kafeslerden oluşmaktadır. Kullanılan başlıca strüktürel malzemeler çelik ve yüksek dayanımlı betondur. Yapının üst örtüsünde kare formlu önüretimli kolon başlıkları kullanılmıştır.

Biyomimetik Özellikler

Oriente İstasyonu palmiye ağacından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.7). Kaburga kemerli bağlantılar ve keskin, ince kesitlerin kullanımı, palmiye ağacını hatırlatmaktadır.

Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimikri yaklaşımı esas alınmıştır. Yapıda bulunan palmiye ağacına benzer strüktürler, gerçek ağaçlar gibi gölgelendirme sağlarken aynı zamanda orman etkisi yaratmaktadır. Biyomimetik strüktür türü ise ağaç benzeri strüktürdür.



Şekil 4.7 (a) Palmiye ağacı (Url-23) ve (b) Oriente İstasyonu (Url-24)

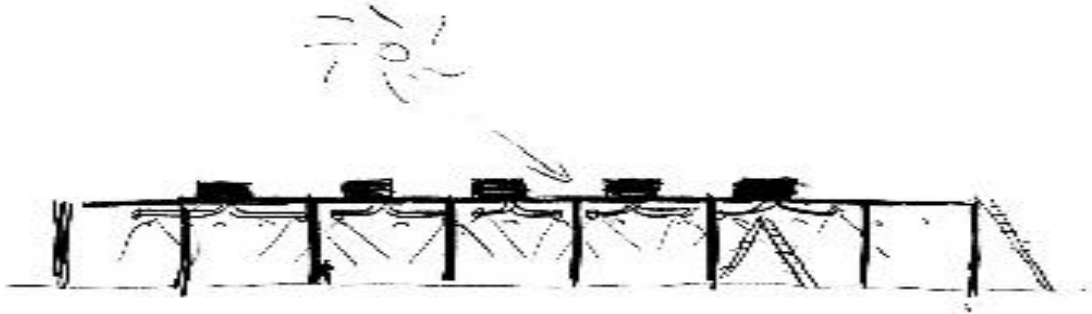
4.3 Stansted Hava Terminali, Essex, İngiltere

Tablo 4.3 Stansted Hava Terminal binası hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1987-1992
	Mimari Tasarım	Foster ve Ortakları
	Strüktürel Tasarım	Ove Arup ve Ortakları
	Strüktür Türü	Uzay Kafes
	Strüktür Malzemesi	Çelik
	Fonksiyonu	Havaalanı Terminali
	Kat Adedi	1
	Yükseklik	-
	Kat Alanı	32.076 m ²
	Esin Kaynağı	Ağaç
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Ağaç Benzeri Strüktür
	Şekil 4.8 Stansted Hava Terminali (Url-25)	

Mimari Özellikler

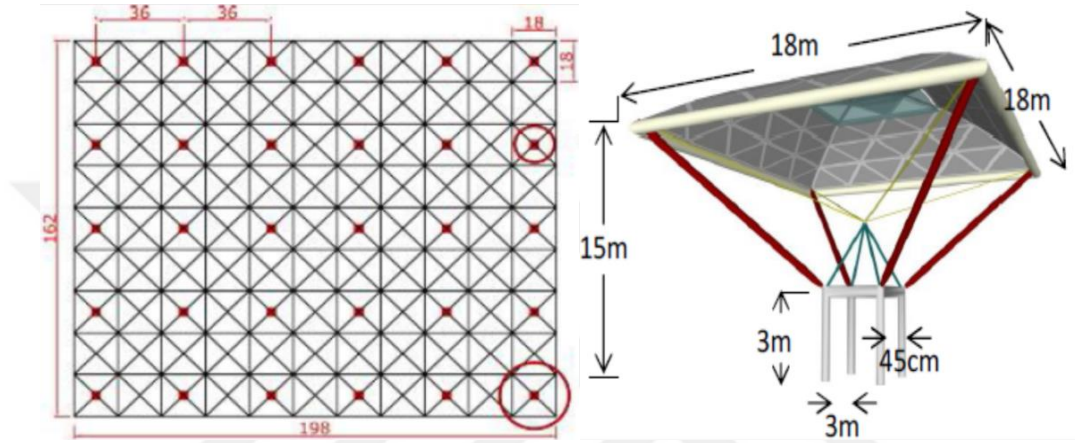
Foster ve Ortakları tarafından tasarlanan, yapımına 1987 yılında başlanan ve 1992 yılında tamamlanan Stansted Hava Terminali, tek katlı bir yapı olup, 32.076 m² kat alanına sahiptir. Terminal binasının çevresindeki ağaçlarla aynı yükseklikte olmasına özen gösterilmiştir. Otoparklar terminalin yanında, zeminde yer almaktadır. Yapının en önemli özelliği hafif bir çatı örtüsüne sahip olmasıdır. Çatı örtüsü üzerinde gün ışığından yararlanabilmek için pencereler bulunmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Stansted Hava Terminali kesit (Url-26)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapının üst örtüsü uzay kafes sistem olarak tasarlanmıştır. Dikdörtgen plan şemasına sahip yapının ölçüleri 198 m x 162 m olup, her bir strüktürel kolonun arasındaki aks aralığı 36 metredir. Plan düzlemi üzerinde 18 m x 18 m ölçülerinde birimlere sahip ızgara sistemi oluşturulmuştur. Her birim kendi içerisinde tek tabakalı uzay kafes sistem ile çözülmüştür. Üst örtü, 36 metre aralıklarla yerleştirilen, 15 m yüksekliğindeki ağaç kolonlar tarafından taşınmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Stansted Hava Terminali üst örtüsü ve strüktürel kolon (Url-27)

Biyomimetik Özellikler

Stansted Hava Terminali ağaçtan esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.11). Yapı ağaca benzeyen kolonlar sayesinde taşınmakta ve bu ağaçların bir aradaki görüntüsü ormanı andırmaktadır.

Yapıda organizma düzeyinde biyomimikri yaklaşımı görülmekte olup, ağaca benzeyen kolonlar gerçek ağaçlar gibi gölgelendirme sağlamaktadır. Biyomimetik strüktür türü ise ağaç benzeri strüktürdür.



Şekil 4.11 (a) Ağaç (Url-28) ve (b) Stansted Hava Terminali (Url-29)

4.4 Katar Ulusal Kongre Merkezi, Doha, Katar

Tablo 4.4 Katar Ulusal Kongre Merkezi hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2006 - 2011
	Mimari Tasarım	Arata Isozaki ve RHWL
	Strüktürel Tasarım	Buro Happold Consulting Mühendislik
	Strüktür Türü	İskelet
	Strüktür Malzemesi	Yüksek Dayanımlı Beton ve Çelik
	Fonksiyonu	Kongre Merkezi ve Tiyatro Binası
	Kat Adedi	6
	Yükseklik	20 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Sidra Ağacı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyometrik Strüktür Türü	Ağaç Benzeri Strüktür

Şekil 4.12 Katar Ulusal Kongre Merkezi (Url-30)

Mimari Özellikler

Yapımına 2006 yılında başlanan ve 2011 yılında tamamlanan Katar Ulusal Kongre Merkezi 6 kattan oluşan ve 20 metre yüksekliğe sahip bir yapıdır. Yapı, uluslararası kongreler, konserler ve sergiler gibi çeşitli etkinliklere hizmet etmektedir. Merkezin içerisinde 40.000 m²'lik sergi alanı, 2.300 kişilik tiyatro salonu, 3 oditoryum ve 4.000 kişilik konferans salonu bulunmaktadır. Yapının önemli özelliklerinden biri de LEED'in altın belgelendirme standartlarına uygun olarak inşa edilmiş olmasıdır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Katar Ulusal Kongre Merkezi genel görünüm (Url-30)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapının tez çalışması açısından önem oluşturan üst örtüsü, zemindeki betonarme bir temele oturan ve dev boyutta ağaç dallarına benzeyen çelik taşıyıcı elemanlar tarafından taşınmaktadır. Cephe boyunca uzanan 250 metre uzunluğundaki organik formlu bu çelik kollar Malezya’da üretilip, Doha’ya getirilmiş ve yerinde monte edilmiştir. Çatı bu organik formlu çelik kolonlar ile taşınmaktadır. Cephe boyunca uzanan çelik elemanlar, beton temel üzerinden yükselip dört bölüme ayrılmaktadır (Şekil 4.14). Ana oditoryumun çatısı, iki ana 45 metrelik transfer makasları tarafından desteklenmektedir. Sahne bölümü, çelik konstrüksiyon ve boşluklu önyapımlı döşeme olarak inşa edilmiştir.



Şekil 4.14 Beton temel ve çelik taşıyıcı eleman (Url-31)

Biyomimetik Özellikler

Katar Ulusal Kongre Merkezi, Katar kültüründe güç, cesaret, besin, öğrenme ve büyümeyi temsil eden Sidra ağacından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.15). Sidra Ağacı, Katar’ın çöl ikliminde yetişen ikonik bir bitkidir. Ağaç, çölde dallarının altında toplanan şairler ve alimler için gölgeli bir sığınak olma metaforuyla tasarlanmıştır.

Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimetik yaklaşım hedeflenmiştir. Yapıda bulunan Sidra ağacına benzer strüktürler; çatı örtüsünü taşıyarak gerçek ağaçlar gibi gölgelendirme sağlamaktadır. Biyomimetik strüktür türü ise ağaç benzeri strüktürdür.



Şekil 4.15 (a) Sidra ağacı (Url-32) ve (b) Katar Ulusal Kongre Merkezi (Url-33)

4.5 Turning Torso, Malmö, İsveç

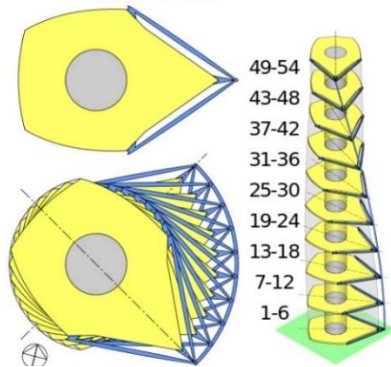
Tablo 4.5 Turning Torso hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2001-2005
	Mimari Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktürel Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktür Türü	Konsol döşemeli ve dış omurgalı
	Strüktür Malzemesi	Betonarme ve çelik
	Fonksiyonu	Konut ve Ofis
	Kat Adedi	54
	Yükseklik	190 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	İnsan Omurgası
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	İskelet Benzeri Strüktür

Şekil 4.16 Turning Torso
(Url-34)

Mimari Özellikler

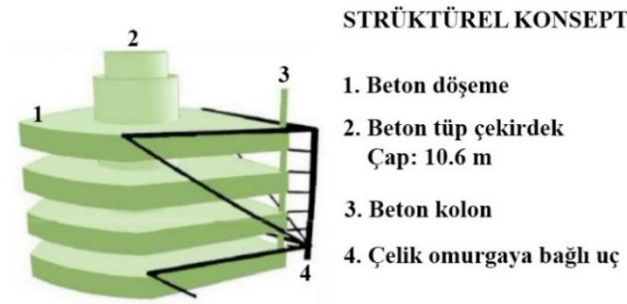
İsveç'in Malmö kentinde 2001 yılında yapımına başlanan ve 2005 yılında tamamlanan Turning Torso binası, 190 m yüksekliğinde 54 katlı bir konut yapısıdır. Yapının ilk iki katı ofis ve diğer katlar konut olarak kullanılmakta olup, toplam 147 adet konut birimi bulunmaktadır. Üst üste bindirilmiş 9 adet küpten oluşan ve her bir küp kendi içerisinde 5 kata sahip olan yapı, katların birbiri üzerinde 5 derece döndürülmesiyle dönel bir form kazanmıştır. Yapı en alt kattan en üst kata kadar kendi eksenini etrafında 90° dönmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Turning Torso plan ve eksenini etrafında 90° dönmesine ait 3D modelleme
(Url-35)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

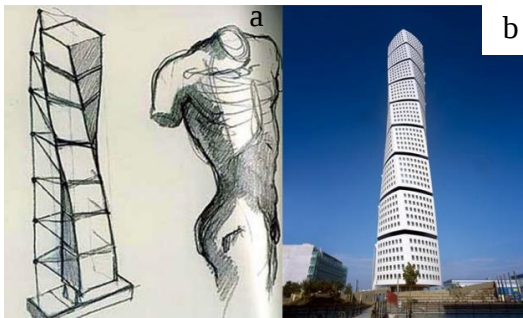
Turning Torso'nun taşıyıcı sisteminin başlıca elemanı ana omurgayı oluşturan, dairesel plan formuna sahip betonarme perde duvarlı bir çekirdektir. Bu çekirdek kat planlarının merkezinde yer almaktadır. Çekirdek, iç çapı 10.6 metre olan bir boru gibi tasarlanmıştır. Çekirdek duvarları alt katlarda 2.5 m ve üst katlarda ise yaklaşık 0.4 m kalınlıktadır. Bu strüktürel düzenleme alt ve üst katlar arasında 60 m²'lik bir fark yaratmaktadır. Yapıyı taşıyan büyük boyutlu çekirdekten başka, destekleyici eleman olarak dışta çelik bir kafes tasarlanmıştır. Her katın köşesine yerleştirilen, bu kafese ait çelik kolonları yatay ve çapraz çelik elemanlar ile bağlanmak ve dış iskeleti oluşturmaktadır (Şekil 4.18). Bu kafes yapıyla birlikte burulmakta olup, ana görevi bölgede çok etkili olan rüzgar yükü başta olmak üzere yatay yüklere karşı yapının dayanımını artırmaktadır.



Şekil 4.18 Turning Torso, 5 katlı modüle ait strüktürel konsept (Url-36)

Biyomimetik Özellikler

Turning Torso hareket halindeki insan formundan esinlenerek tasarlanmıştır (Şekil 4.19).Yapının biyomimikri düzeyi, insan formundan esinlenilmiş olduğundan organizma düzeyi olarak değerlendirilebilir. Biyomimetik strüktür türü ise iskelet benzeri strüktürdür.



Şekil 4.19 (a) Hareket halindeki insan formu ve (b) Turning Torso (Url-37)

4.6 Gherkin (Swiss Re) Kulesi, Londra, İngiltere

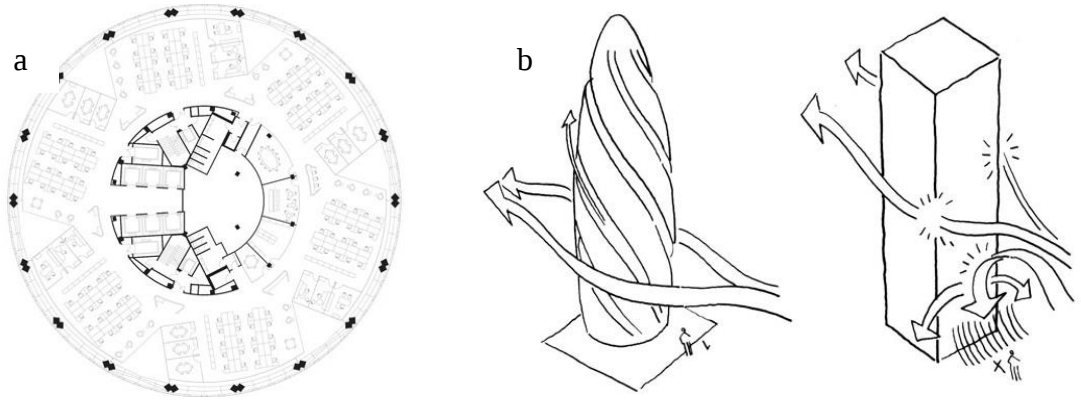
Tablo 4.6 Gherkin Kulesi hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2000 -2003
	Mimari Tasarım	Foster ve Ortakları
	Strüktürel Tasarım	Ove Arup ve Ortakları
	Strüktür Türü	Çelik Çekirdek+Diagrid
	Strüktür Malzemesi	Çelik
	Fonksiyonu	Ofis ve Ticari
	Kat Adedi	41
	Yükseklik	180 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Venüs Bitkisi Süngeri
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	İskelet Benzeri Strüktür

Şekil 4.20 Gherkin (Swiss Re) Kulesi (Url-38)

Mimari Özellikler

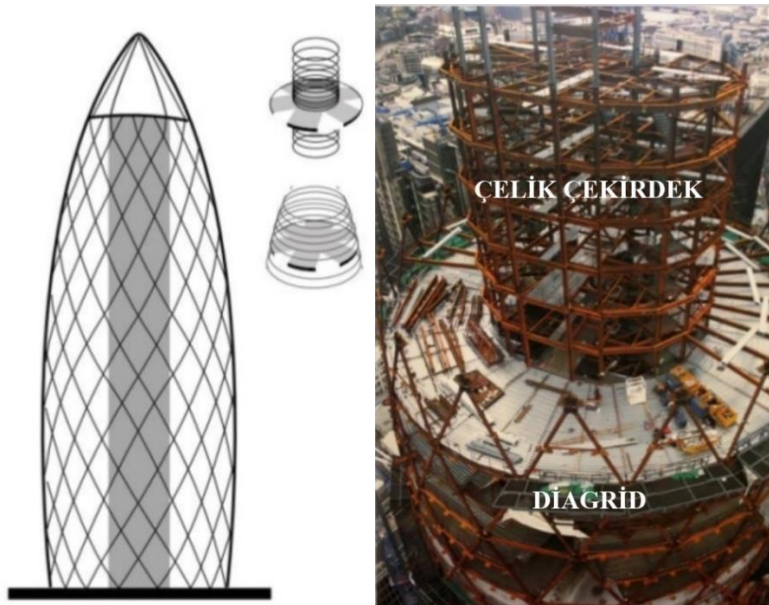
30 St Mary Axe veya Swiss Re olarak da adlandırılan Gherkin Kulesi'nin yapımına 2000 yılında başlanmış ve 2003 yılında tamamlanmıştır. 180 m yüksekliğe sahip yapı 41 katlıdır. 46.450 m² ofis ve 1.400 m² ticari alana sahiptir. Aşağıdan yukarıya genişleyen, tepe noktasına doğru daralan konik formdaki yapı, esnek ofis mekanlarına sahiptir. En geniş kat planı 56 m çapındadır. Yapının aerodinamik bir forma sahip olmasının amacı, rüzgardan kaynaklı oluşacak basınç, çekme ve türbülans etkilerini en aza indirmektir (Şekil 4.21). Gherkin Kulesi Londra'nın ilk ekolojik gökdelenidir.



Şekil 4.21 (a) Gherkin Kulesi 33. kat planı (Url-38) ve (b) formun çıkış noktasına ait eskiz (Url-39)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapının taşıyıcı sistemi, 30 m çapında merkezi bir çelik çekirdek ve cepheye yerleştirilen çelik diagrid sistemdir (Şekil 4.22). Çekirdek ile cephe arasında radyal olarak düzenlenmiş I profil döşeme kirişleri bulunmaktadır. Kat planları yangın dayanımı için 5 parçaya bölünmüş olup, kompozit döşeme her katta 5° burulmaktadır. Yapının 30 m yüksekliğe sahip tepe bölümü ise lamella örgü formunda bir kubbe ile tamamlanmıştır. Çift kabuk cephe sistemi yapıda ofis katlarının doğal olarak havalandırılmasını sağlamaktadır. Dış kabuk üçgen cam giydirmelerden ve profillerden oluşurken, iç duvar bakım amaçlı kullanılan kayar kapılardan oluşmaktadır.

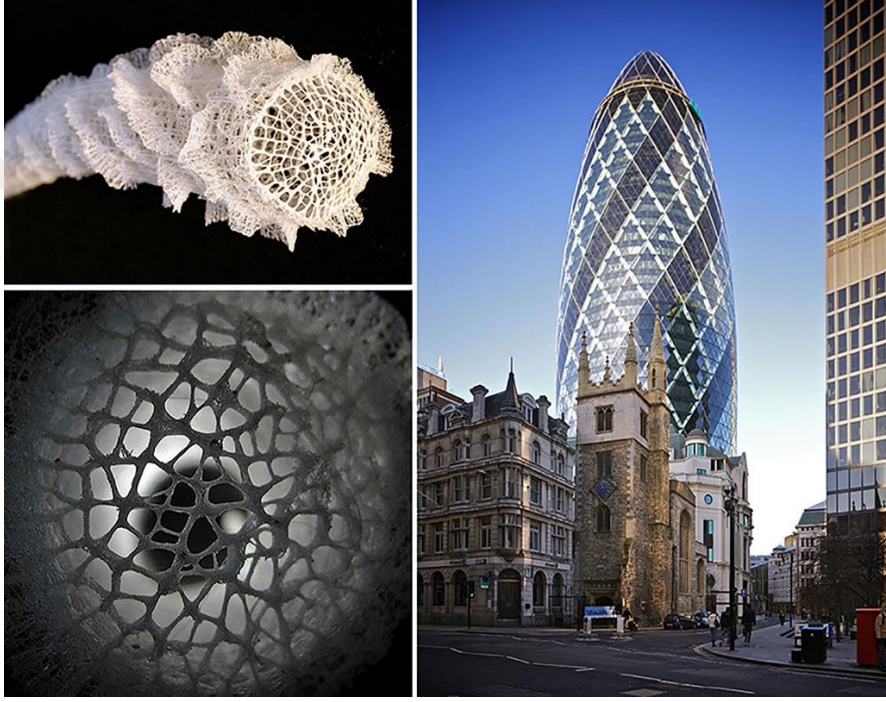


Şekil 4.22 Gherkin Kulesi'ne ait strüktürel sistem (Url-40)

Biyomimetik Özellikler

Gherkin Kulesi Venüs bitkisi süngerinden esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.23). Venüs bitkisi süngeri su altında parlak ve camsı bir kafes benzeri dış iskelete sahiptir. Norman Foster yapıyı tasarlarken bitkinin bu özelliklerinden ilham almıştır.

Yapının biyomimikri düzeyi, organizma olarak değerlendirilebilir. Biyomimetik strüktür türü ise venüs bitkisi süngerinin hekzagonal ve katmanlı dış iskeletinden esinlenildiği için iskelet benzeri strüktürdür.



Şekil 4.23 Venüs bitkisi süngeri ve Gherkin Kulesi (Url-41)

4.7 Lyon Hava-Tren İstasyonu, Lyon, Fransa

Tablo 4.7 Lyon Hava-Tren İstasyonu binası hakkında genel bilgiler.

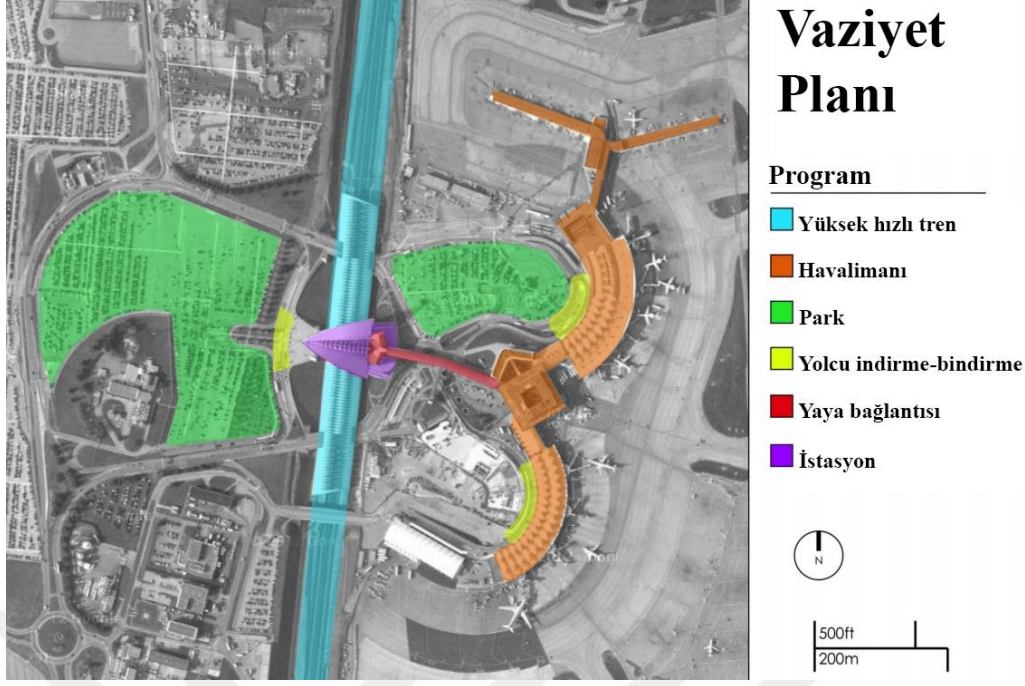
	Yapım Yılı	1989 - 1994
	Mimari Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktürel Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktür Türü	Kaburgalı İskelet
	Strüktür Malzemesi	Güçlendirilmiş Beton ve Çelik
	Fonksiyonu	Hava-Tren İstasyonu
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	39 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Kuş
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	İskelet Benzeri Strüktür

Şekil 4.24 Lyon Hava-Tren İstasyonu (Url-42)

Mimari Özellikler

Yapımına 1989 yılında başlanan ve 1994 yılında tamamlanan Lyon Hava-Tren İstasyonu 100 genişlikte 39 m yükseklikte bir yapıdır. Toplam 450 m uzunluğa ve 5.600 m² alana sahiptir.

Yapının bütünü bir terminal salonu, tren platformları ve istasyon ile havalimanını birbirine bağlayan bir geçitten oluşmaktadır. Terminal salonu üçgen plan şemasına sahiptir. Batıda giriş bölümü bulunurken doğu bölümü istasyon ve havalimanı arasında geçiş mekanı olarak hizmet vermektedir. Ana salonda, bilet ofisleri, perakende satış mekanları, mağazalar, restoranlar bulunmaktadır. Yapı, havalimanı, yüksek hızlı tren ve otomobil parkı gibi 3 önemli ulaşım programına sahiptir (Şekil 4.25).

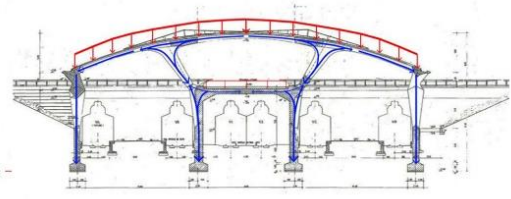
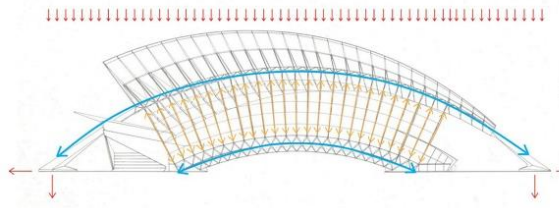


Şekil 4.25 Lyon Hava-Tren İstasyonu vaziyet planı (Url-43)

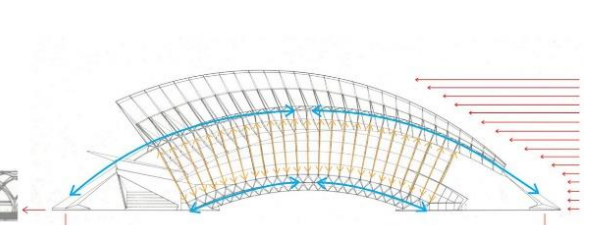
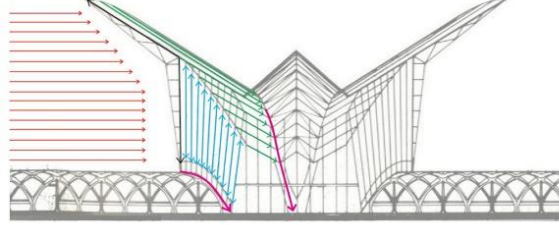
Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapının taşıyıcı sistemi, kaburgalı iskelet sistemdir. Ana salon bölümünde, iskelet strüktür eğilmiş olup, yere doğru etki eden ağırlık yüklerini taşımaktadır. Orijinal formuna dönme eğiliminde olan eğilmiş strüktürün hareketine atalet engel olmaktadır. Oluşan dönme momenti ya da her kafesteki yukarı yönlü kuvvetler, aşağı yönlü kuvvetlere karşı çalışmaktadır. 100 m'lik ana açıklık yapıyı tutmak için çekme kuvvetleri yaratmaktadır. Aynı zamanda bu omurga, 1300 ton'luk çelik ağırlığını çatıdan zemine kadar aktarmaktadır. Ana bölüme bitişik beton hizmet binasındaki kolonlar, ağırlık yükünü eğilmiş çatı strüktüründen zemine kadar aktarılmasında rol oynamaktadır. Ortada bulunan Y şeklindeki iki sıra kolonun birleşimi yükü yan taraflarında bulunan iki bileşene aktararak daha iyi bir mukavemet sağlanmaktadır. Lyon'da deprem nadiren görülmektedir. Bu nedenle, yatay yükler ağırlık yükleri, eğilme momenti, kesme ve eksenel kuvvetler kadar önemli değildir. tasarımda Yatay yük olarak rüzgar yükleri dikkate alınmıştır. Yatay yükler yapıya etki ettiğinde, 100 m açıklık sayesinde konsol çatıdan ve kafeslerden zemine aktarılmaktadır. Bu yolla sallanma ve dönme olmadan yapının ayakta kalması sağlanmaktadır (Şekil 4.26).

Ağırlık Yükleri



Yatay Yükler



Yerçekimi kuvveti Çekme Atalet Ağırlık yüklerinin zemine aktarılması

Şekil 4.26 Lyon Hava-Tren İstasyonu'na etki eden yükler (Url-43)

Biyomimetik Özellikler

Lyon Hava-Tren İstasyonu kuşun anatomisinden ve kanatlarının formundan esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.27). Yapının biyomimikri düzeyi, organizma düzeyi olarak değerlendirilebilir; biyomimetik strüktür türü ise uçuş durumundaki bir kuşun iskelet formunu canlandırmasından dolayı iskelet benzeri strüktürdür.



Şekil 4.27 (a) Uçan kuş formu (Url-44) ve (b) Lyon Hava-Tren İstasyonu (Url-42)

4.8 Absolute World Kuleleri I / II, Mississauga, Kanada

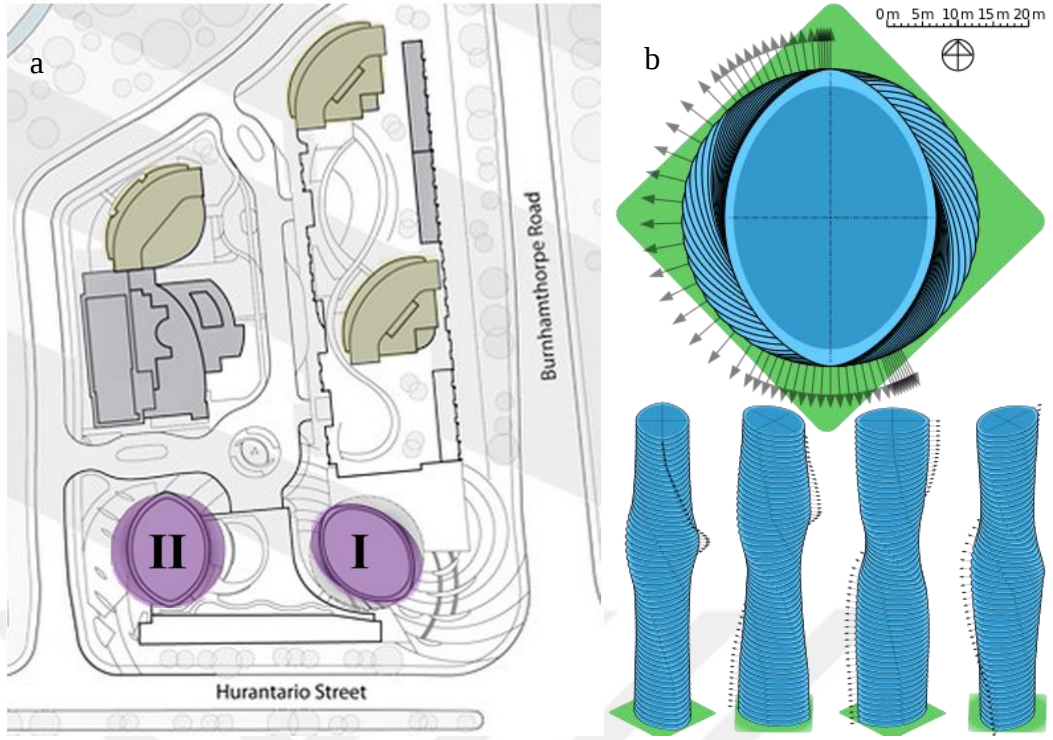
Tablo 4.8 Absolute World Kuleleri I / II hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2007-2012
	Mimari Tasarım	MAD ve Burka Mimarlık
	Strüktürel Tasarım	Sigmund Soudack ve Associates Inc.
	Strüktür Türü	Perde Duvarlı ve Çerçevesi
	Strüktür Malzemesi	Betonarme ve Çelik
	Fonksiyonu	Konut
	Kat Adedi	56 / 50
	Yükseklik	176 m / 158 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	İnsan Omurgası
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	İskelet Benzeri Strüktür

Şekil 4.28 Absolute World Kuleleri I / II (Url-45)

Mimari Özellikler

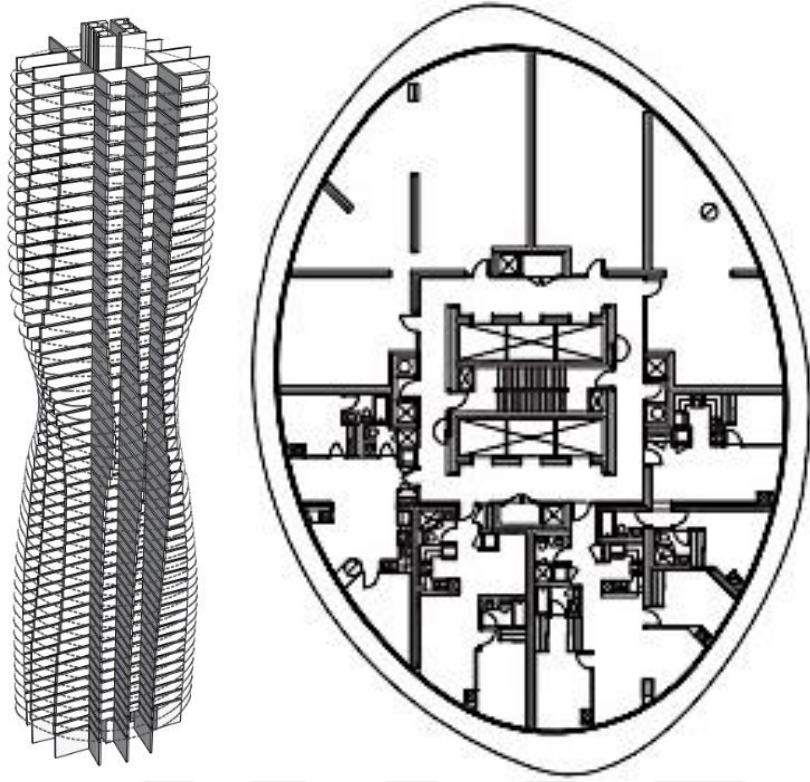
Absolute World Kuleleri Mississauga, Kanada’da bulunan beş konut bloğundan oluşan bir yapı kompleksi olup, üç kulenin yapımı 2008 yılında tamamlanmıştır. Absolute World Kulesi I / II ‘nin ise yapımına 2007 yılında başlanmış ve 2012 yılında tamamlanmıştır. Kulelerden 176 m yüksekliğe sahip olan 56 katlı ve 158 m yüksekliğindeki ise 50 kata sahiptir. Yapıların kat planlarının tümü helikoidal forma sahip olmakla birlikte, her bir kat yapının alt ve üst kısmında yarım derece, merkezi kısmında ise 1-4° arasında dönmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 (a) Absolute World Kuleleri vaziyet planı (Url-45) ve (b) kule planlarını dönmesine ait diagram (Url-46)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapıda, hibrid çelik/betonarme kolonlar, betonarme perde duvarlar ve betonarme plak döşemeden oluşan perde duvarlı çerçeve sistem kullanılmıştır (Şekil 4.30). Taşıyıcı duvarlar, döşemelerin dönmesinden kaynaklanan kesitsel dalgalanmalara tepki olarak uzamakta ve kısalmaktadır. Yapının formu sayesinde, oluşan rüzgar yükleri en aza indirilip, rüzgarın hareketine hangi yönden olursa olsun tekdüze ve dağınık bir şekilde tepki verilmektedir.



Şekil 4.30 Absolute World Kulesi strüktürel şeması ve kat planı (Url-47)

Biyomimetik Özellikler

Absolute World Kuleleri insan vücudunun formundan esinlenilerek tasarlanmış olup, halk tarafından “Marilyn Monroe” olarak da adlandırılmaktadır (Şekil 4.31).

Yapının biyomimikri düzeyi, organizma düzeyi olarak değerlendirilebilir. Yapının biyomimetik strüktür türü ise insan iskeletinin formunu canlandırmasından dolayı iskelet benzeri strüktürdür.



Şekil 4.31 Marilyn Monroe ve Absolute World Kuleleri (Url-48)

4.9 M n h Olimpiyat Stadı, M n h, Almanya

Tablo 4.9 M n h Olimpiyat Stadı hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1969 - 1972
	Mimari Tasarım	Frei Otto ve Günther Behnisch
	Strüktürel Tasarım	Rudolf Bergermann
	Strüktür Türü	Asma-Germe
	Strüktür Malzemesi	�elik
	Fonksiyonu	Stadyum
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	-
	Kat Alanı	75.000 m ²
	Esin Kaynağı	�r�mcek Ağı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma ve Davranış
	Biyomimetik Strüktür Türü	Ağ Benzeri Strüktür

şekil 4.32 M n h Olimpiyat Stadı (Url-49)

Mimari  zellikler

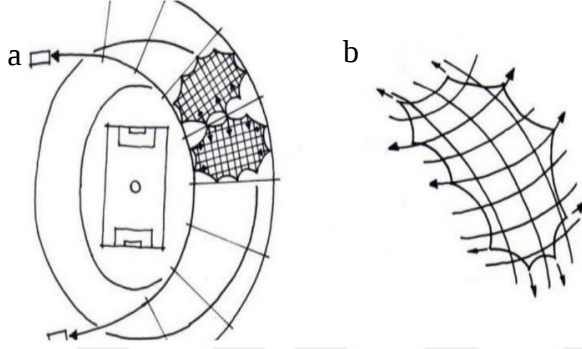
Frei Otto ve Günther Behnisch tarafından tasarlanan M n h Olimpiyat Stadı'nın yapımına 1969 yılında başlanmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. Olimpiyat Stadı M n h Olimpiyapark Spor Kompleksi'nde bulunan yapılardan biri olup, tesis içinde bulunan yapıların tümü aynı mimari üslupla tasarlanmıştır. Stadyum toplam 75.000 m² alana ve 69.300 kişi kapasitesine sahiptir (şekil 4.33).



şekil 4.33 M n h Olimpiyat Stadı genel görünüm (Url-50)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Münih Olimpiyat Stadı'nın taşıyıcı sistemi, asma-germedir. Yapının çatı strüktürü 8 adet kablo ağı biriminden oluşmaktadır. Çift eğrilikli öngerilmeli çelik kablo ağı, rüzgarın emme etkisini karşılamaktadır (Şekil 4.34). Kablolar ana ve kenar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ana kabloların zemine bağlantısı için çekmeye çalışan temeller bulunmaktadır. Çatı örtüsünde saydam pleksiglas paneller kullanılmıştır.

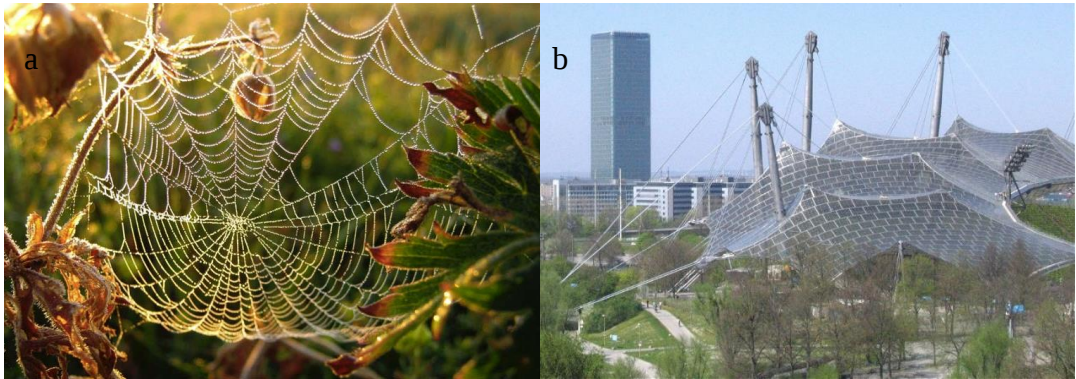


Şekil 4.34 (a) Münih Olimpiyat Stadı çatı planı ve (b) Çift eğrilikli kablo ağı (Url-51)

Biyomimetik Özellikler

Münih Olimpiyat Stadı, örümcek ağlarından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.35).

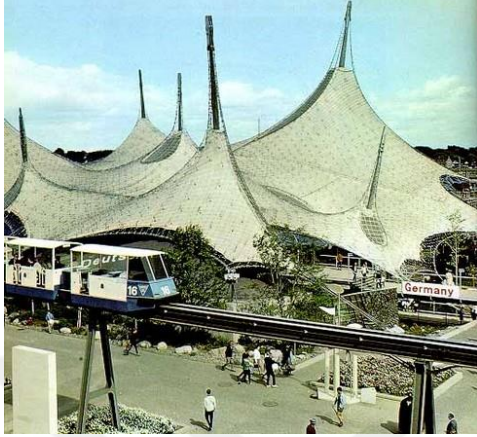
Yapıda organizma ve davranış düzeyinde biyomimikri yaklaşımı görülmekte olup, çatı örtüsü örümceklerin çalılar üzerinde oluşturduğu ağlara benzemektedir. Yapının biyomimetik strüktür türü ise ağ benzeri strüktürdür.



Şekil 4.35 (a) Örümcek ağı (Url-52) ve (b) Münih Olimpiyat Stadı (Url-53)

4.10 Alman Pavyonu Expo 67, Montreal, Almanya

Tablo 4.10 Alman Pavyonu, Expo 67 hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1967
	Mimari Tasarım	Frei Otto ve Rolf Gutbrod
	Strüktürel Tasarım	A. Drab
	Strüktür Türü	Asma-Germe
	Strüktür Malzemesi	Çelik
	Fonksiyonu	Sergi Pavyonu
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	14 - 38 m
	Kat Alanı	7.730 m ²
	Esin Kaynağı	Örümcek Ağı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma ve Davranış
	Biyomimetik Strüktür Türü	Ağ Benzeri Strüktür

Şekil 4.36 Alman Pavyonu, Expo 67 (Url-54)

Mimari Özellikler

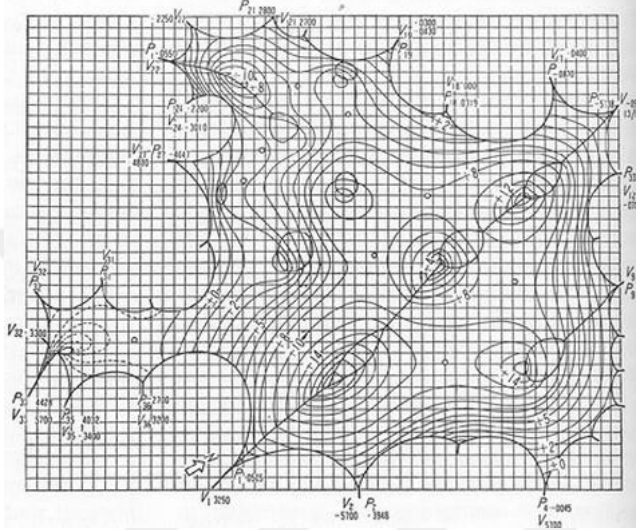
Alman Pavyonu, Frei Otto ve Rolf Gutbrod tarafından 1967 yılında Montreal Dünya Sergisi için tasarlanmıştır. Yapının tasarımı 13 ay, yapım süresi ise 6 haftadır. Alman Pavyonu toplam 7.730 m² alana ve 14 m ile 38 m arasında değişen yüksekliklere sahiptir. Yapı farklı bölümlerde yalnızca zemin kat ya da zemin ile birlikte asma kat olarak kullanılmaktadır. Ayrıca çatı örtüsü üzerinde bulunan açıklıklar sayesinde doğal ışıklandırma ve havalandırma sağlanmaktadır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37 Alman Pavyonu, Expo 67 genel görünüm (Url-54)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

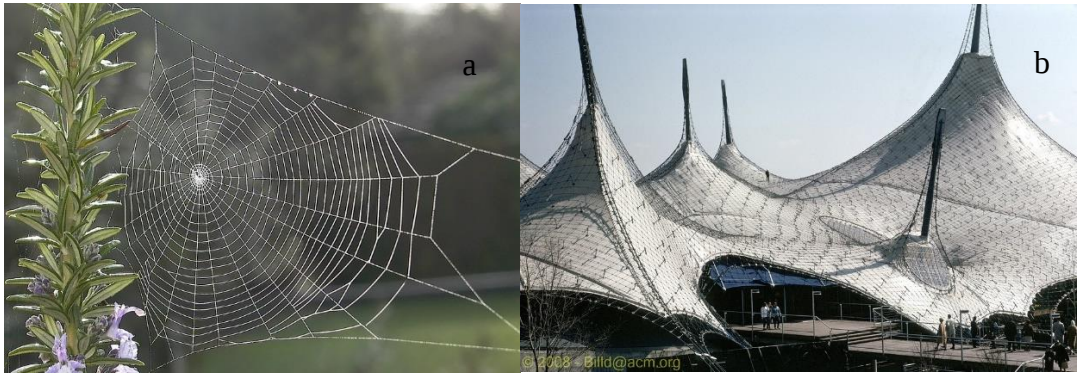
Alman Pavyonu'nun taşıyıcı sistemi, asma-germe sistemidir. Sistem, 8 adet çelik kolon tarafından desteklenen 85 ton ağırlığa sahip kablo ağından oluşmaktadır. Ana kolonla diğer kolonlar arasındaki en büyük açıklık 55 metredir. Yapının 68 ton ağırlığındaki membran örtüsü, her iki yüzü de ince bir PVC tabakayla kaplanmış 0.8 mm kalınlığında polyester kökenli trevira bezinden yapılmıştır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 Alman Pavyonu, Expo 67 çatı planı (Url-54)

Biyomimetik Özellikler

Alman Pavyonu örümcek ağlarından ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4.39). Yapının üst örtüsü, örümceklerin oluşturdukları ağlara benzemektedir. Yapının tasarımında organizma ve davranış düzeyinde biyomimetik yaklaşım hedeflenmiştir. Yapının biyomimetik strüktür türü ise ağ benzeri strüktürdür.



Şekil 4.39 (a) Örümcek ağı (Url-55) ve (b) Alman Pavyonu, Expo 67 (Url-56)

4.11 Millennium Dome, Londra, İngiltere

Tablo 4.11 Millennium Dome hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1997-1999
	Mimari Tasarım	Richard Rogers
	Strüktürel Tasarım	Buro Happold Consulting Mühendislik
	Strüktür Türü	Asma-Germe
	Strüktür Malzemesi	Çelik
	Fonksiyonu	Sergi-Festival Alanı
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	100 m
	Kat Alanı	80.000 m ²
	Esin Kaynağı	Örümcek Ağı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma ve Davranış
	Biyomimetik Strüktür Türü	Ağ Benzeri Strüktür

Şekil 4.40 Millennium Dome (Url-57)

Mimari Özellikler

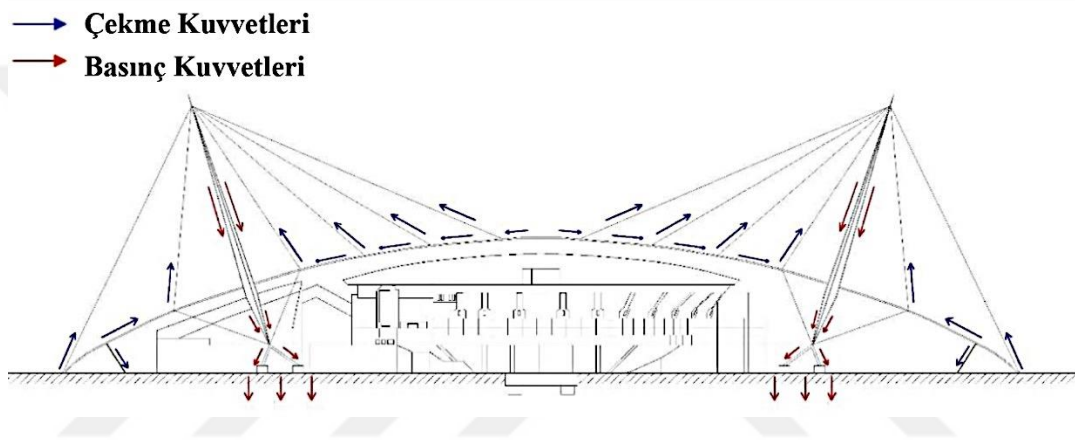
O₂ Dome olarak da bilinen yapının yapımına 1997 yılında başlanmış ve 1999 yılında tamamlanmıştır. Millennium Dome, 100 m yüksekliğe ve 80.000 m² alana sahip bir yapıdır. Sıfır meridyeninin geçtiği varsayılan Greenwich'te bulunan yapıda, bir yılın 12 ay, 52 hafta ve 365 gün olmasından dolayı 12 adet çelik direk bulunmakta, örtü yüksekliği 52 m ve çap 365 m'dir. Sergi, festival ve konser alanı olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 Millennium Dome genel görünüm (Url-58)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

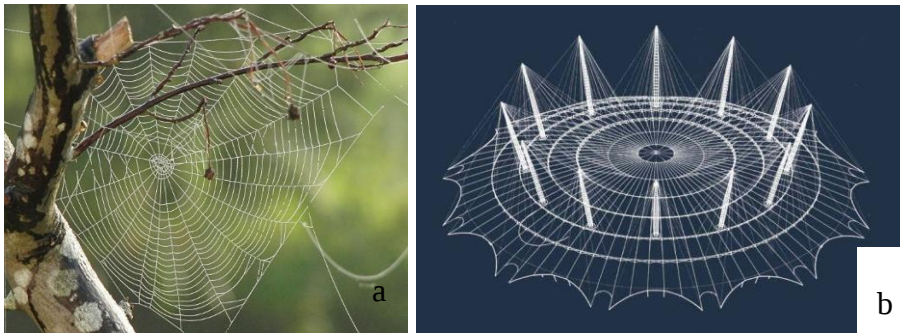
Dairesel plana sahip olan Millennium Dome'un taşıyıcı sistemi, asma-germe sistemidir. Bu sistem sayesinde kolonsuz, serbest ve esnek mekanlar elde edilmiştir. Yapının bulunduğu alan terk edilmiş bir sanayi arazisi olup zemine dolgu yapılmış ve 8.000 adet kazık uygulanmıştır. Çelik direkler 15 m'lik parçalar halinde birleştirilip daha sonra 100 m'lik direkler oluşturulmuştur. Merkezdeki çelik çemberi destekleyen çelik kafesler bulunmaktadır. Yapının üst örtüsünde kullanılan PTFE kaplamalı cam elyaf kumaş çelik direklerin ucundan uzanan yüksek dayanımlı kablolar tarafından askıya alınarak desteklenmektedir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 Millennium Dome'a etkiyen kuvvetler (Url-59)

Biyomimetik Özellikler

Millennium Dome örümcek ağlarından esinlenilerek tasarlanmış olup, üst örtüsü, büyük bir örümcek ağına benzemektedir (Şekil 4.43). Yapının tasarımında organizma ve davranış düzeyinde biyomimetik yaklaşım esas alınmıştır. Yapının biyomimetik strüktür türü ise ağ benzeri strüktürdür.



Şekil 4.43 (a) Örümcek ağı (Url-60) ve (b) Millennium Dome (Url-61)

4.12 Denver Uluslararası Havaalanı Terminali, Denver, ABD

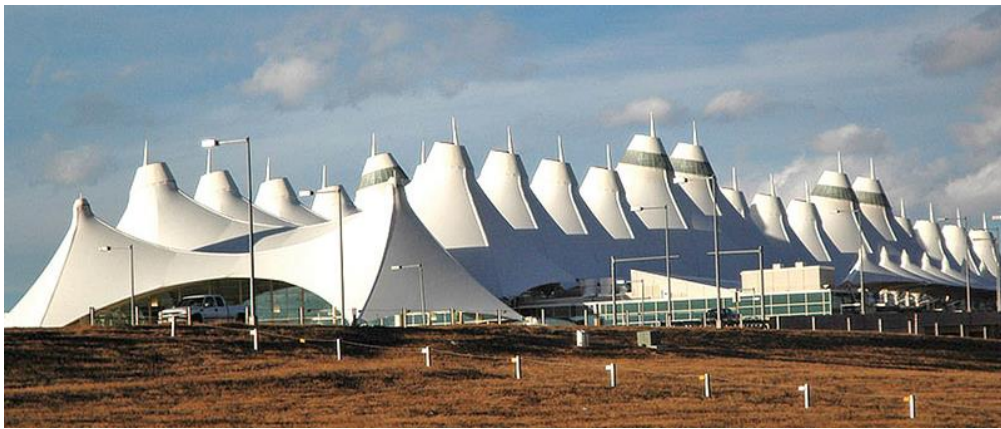
Tablo 4.12 Denver Uluslararası Havaalanı Terminal hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1980-1993
	Mimari Tasarım	Fentress Bradburn Mimarlık
	Strüktürel Tasarım	Reinhold Meyer
	Strüktür Türü	Asma
	Strüktür Malzemesi	Çelik
	Fonksiyonu	Havaalanı Terminali
	Kat Adedi	3
	Yükseklik	39 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Örümcek Ağı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma ve Davranış
	Biyomimetik Strüktür Türü	Ağ Benzeri Strüktürler

Şekil 4.44 Denver Uluslararası Havaalanı Terminali (Url-62)

Mimari Özellikler

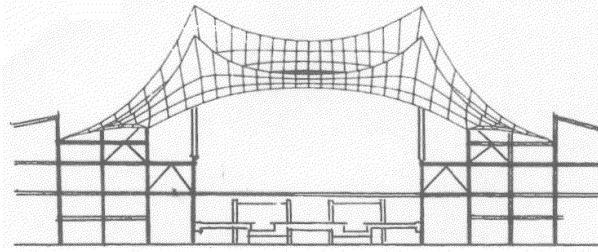
Yapımına 1980 yılında başlanan ve 1993 yılında tamamlanan Denver Uluslararası Havaalanı Terminali, 39 m yükseklikte ve 3 katlı bir yapıdır (Şekil 4.45). Yapının zemin katı gelen, üst katı da giden yolculara hizmet etmektedir. Zeminin alt katında ise alışveriş ve yeme-içme alanları bulunmaktadır. Yapının çatı örtüsünün yarı şeffaf teflon malzemesi olması doğal ışıklandırmada kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 4.45 Denver Uluslararası Havaalanı Terminali genel görünüm (Url-63)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

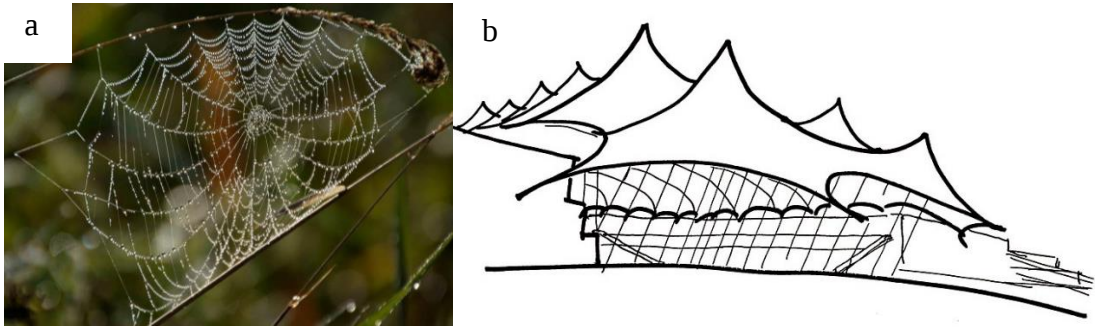
Denver Uluslararası Havaalanı Terminali'nin taşıyıcı sistemi, çift kablolu asma sistemdir. Birbirlerine dik şekilde yerleştirilmiş liflerle güçlendirilen membran çatı sistemi ana terminalin en büyük holünde kullanılmıştır. Membran malzeme, hafiflik, kurulmadaki kolaylık ve hız nedeniyle tercih edilmiştir. 34 adet çelik direk kullanılmış olup, her bir çelik direk çifti 45 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Direkler arasında gerilmiş, büyük holün üzerinde bulunan membranların yaptığı çökme 63 metredir. Bu membran çelik kablolarla güçlendirilmiştir. Çatı formunun tepe noktaları en fazla çekme kuvvetinin olduğu noktalardır ve bu noktalardaki çelik kabloların arasına dik olarak 12.2 m aralıklarla çelik kablolar yerleştirilmiştir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46 Denver Uluslararası Havaalanı Terminali kesit (Url-64)

Biyomimetik Özellikler

Denver Uluslararası Havaalanı Terminali örümcek ağlarından ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4.47). Yapının üst örtüsü, örümceklerin çayırlardaki otlar üzerinde oluşturdukları çarşaf görünümdeki ağlara benzemektedir. Bu nedenle biyomimikri düzeyi, organizma ve davranış düzeyi olarak değerlendirilebilir. Yapının biyomimetik strüktür türü ise ağ benzeri strüktürdür.



Şekil 4.47 (a) Örümcek ağı (Url-65) ve (b) Denver Uluslararası Havaalanı Terminali eskizi (Url-66)

4.13 Ulusal Su Sporları Merkezi, Pekin, Çin

Tablo 4.13 Ulusal Su Sporları Merkezi hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2003 - 2008
	Mimari Tasarım	PTW Mimarlık
	Strüktürel Tasarım	Ove Arup
	Strüktür Türü	Uzay Kafes
	Strüktür Malzemesi	Çelik ve ETFE
	Fonksiyonu	Ulusal Su Sporları Merkezi
	Kat Adedi	4
	Yükseklik	31 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Su Kabarcığı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Pnömatik Strüktür

Şekil 4.48 Ulusal Su Sporları Merkezi (Url-67)

Mimari Özellikler

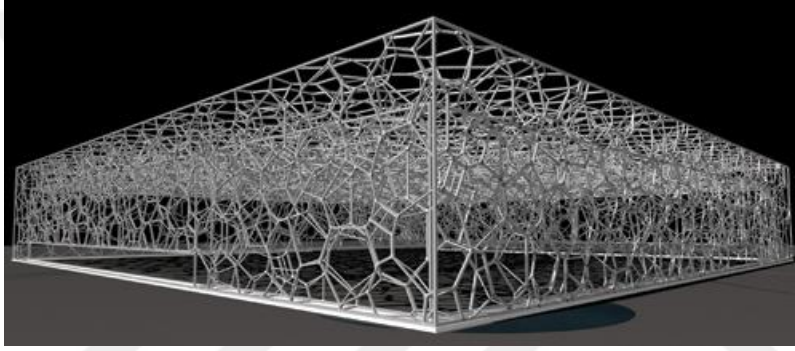
Su Küpü olarak da bilinen Ulusal Su Sporları Merkezi PTW Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Yapımına 2003 yılında başlanmış ve 2008 yılında tamamlanmıştır. 31 m yüksekliğe sahip olan yapı, zemin üstünde 4 kat ve zemin altında 2 kat olmak üzere toplam 6 katlıdır. Yapının toplam kullanım alanı 70.000 m²'dir. Dünyada üstü tamamen kapalı ve halka açık tek su sporları merkezi olup, 17.000 kişilik izleyici kapasitesine sahiptir (Şekil 4.49).



Şekil 4.49 Ulusal Su Sporları Merkezi genel görünüm (Url-68)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

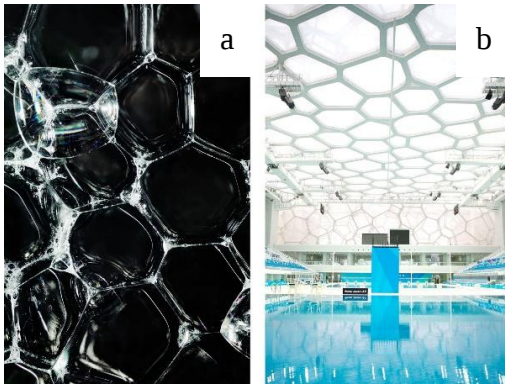
Ulusal Su Sporları Merkezi'nin taşıyıcı sistemi, uzay kafes sistemidir. ARUP şirketi tarafından geliştirilen bir analiz programı kullanılarak tasarlanan sistemde, her bir cephe modülü bir strüktür olarak değerlendirilmiş olup, her strüktürün kendi içinde en az kütleye sahip olması hedeflenmiştir (Şekil 4.50). Yapının strüktürü 3 farklı düğüm ve 4 farklı elemandan oluşup, 22.000 adet çelik eleman ve 12.000 adet düğüm noktası içermektedir. Strüktürün duvar kalınlığı 3,6 m ve çatı kalınlığı 7,2 m olup, 6.500 ton çelikten oluşmaktadır. Ulusal Su Sporları Merkezi'nde membran malzemesi olarak ETFE hava yastıkları kullanılmıştır. Yapının membran strüktüründe 3.000 şişme yastık bulunmaktadır.



Şekil 4.50 Ulusal Su Sporları Merkezi projesinin cephe modülleri (Url-69)

Biyomimetik Özellikler

Ulusal Su Sporları Merkezi, su kabarcıkları ve onların düzenli geometrilerinden ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4.51). Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimikri yaklaşımı esas alınmıştır. Yapının biyomimetik strüktür türü ise pnömatik strüktürdür.



Şekil 4.51 (a) Su kabarcığı ve (b) Ulusal Su Sporları Merkezi (Url-70)

4.14 Eden Projesi, Cornwall, İngiltere

Tablo 4.14 Eden Projesi hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1997 - 2001
	Mimari Tasarım	Nicholas Grimshaw
	Strüktürel Tasarım	Anthony Hunt
	Strüktür Türü	Kafes
	Strüktür Malzemesi	Çelik ve ETFE
	Fonksiyonu	Sera
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	50 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Su Kabarcığı
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Pnömatik Strüktür

Şekil 4.52 Eden Projesi (Url-71)

Mimari Özellikler

Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan Eden Projesi'nin yapımına 1997 yılında başlanmış ve 2001 yılında tamamlanmıştır. Projede, nemli ve ılıman iklim özelliklerine sahip biome olarak adlandırılan 2 adet büyük sera bulunmaktadır. Maksimum 50 m yüksekliğe ulaşılan proje, toplamda 23.000 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Eden Projesi'nde 3.865 türe ait 97.400 bitki bulunmaktadır (Şekil 4.53).



Şekil 4.53 Eden Projesi genel görünüm (Url-71)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Strüktürel tasarımı Anthony Hunt tarafından yapılan Eden Projesi'nin taşıyıcı sistemi, kafes sistemdir. Bitkilerin sergilendiği bu alanda, taşıyıcı eleman sayısının ve boyutunun az olması hedeflenmiş olup, hafif bir strüktür tasarlanmıştır. Termal yalıtımı yüksek ve ışık geçirgenliğine sahip olan ETFE, membran malzemesi olarak kullanılmıştır. 193 mm çapındaki çelik borulara ETFE yastıklar gerilerek sabitlenmiş olup, altıgen ve beşgen çerçeveler oluşturulmuştur. 5-11 m aralıklarla düzenlenen bu çerçevelerle, sera alanları kapatılmıştır (Şekil 4.54).



Şekil 4.54 Eden Projesi ETFE yastıkları ve çerçeveler (Url-72)

Biyomimetik Özellikler

Eden Projesi, su kabarcıkları ve onların düzenli geometrilerinden ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4.55). Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimikri yaklaşımı esas alınmıştır. Yapının biyomimetik strüktür türü ise şişme strüktürdür.



Şekil 4.55 (a) Su kabarcığı (Url-73) ve (b) Eden Projesi (Url-71)

4.15 Chicago Spire, Chicago, ABD

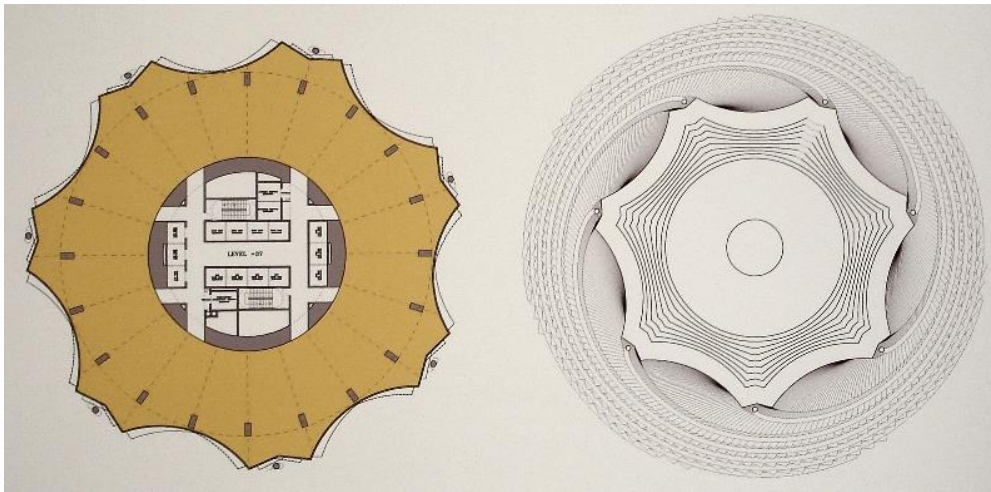
Tablo 4.15 Chicago Spire hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2007-
	Mimari Tasarım	Santiago Calatrava
	Strüktürel Tasarım	Thornton Tomasetti
	Strüktür Türü	Perde Duvarlı ve Çerçeve
	Strüktür Malzemesi	Yüksek Dayanımlı Beton ve Çelik
	Fonksiyonu	Konut
	Kat Adedi	150
	Yükseklik	610 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Deniz Kabuğu
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Kabuk Benzeri Strüktürler

Şekil 4.56 Chicago Spire (Url-74)

Mimari Özellikler

Santiago Calatrava tarafından tasarlanan Chicago Spire'in yapımına 2007 yılında başlanmıştır. 610 m yüksekliğe sahip yapı, 150 katlıdır. Yapıda 1.200 adet konut birimi bulunmaktadır. Yapı, kat planlarının her katta 2.44° dönmesiyle toplamda 360° burulmaktadır (Şekil 4.57).



Şekil 4.57 Chicago Spire 37. kat planı ve üst görünüm (Url-75)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

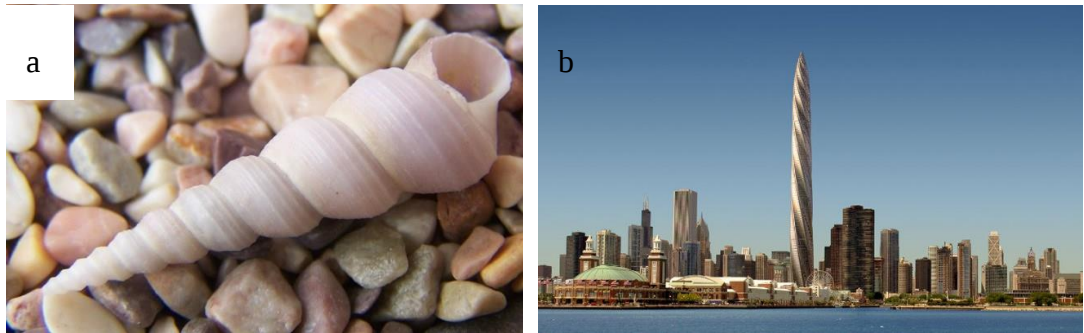
Yapının taşıyıcı sistemi, perde duvarlı ve çerçeveli taşıyıcı sistemdir (Şekil 4.58). Yüksek dayanımlı betonarme merkezi çekirdek boyutları, yapı incelerek yükseldikçe azalmaktadır. Yapının kenarlarının kıvrımlı olması rüzgar yüklerini en aza indirip yanal denge sağlamaktadır.



Şekil 4.58 Chicago Spire taşıyıcı sistem şeması (Url-76)

Biyomimetik Özellikler

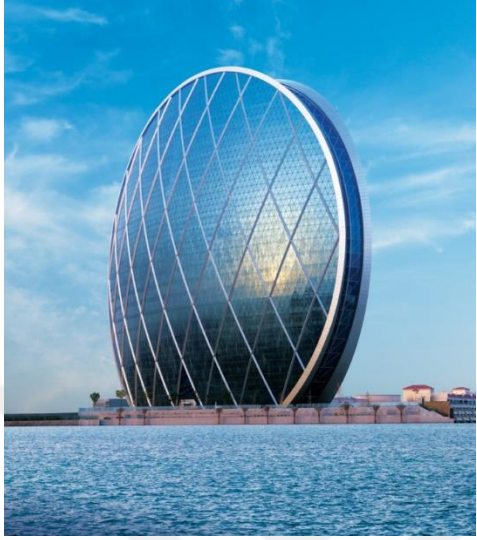
Michigan Gölü kıyısında Chicago Nehri üzerindeki Chicago Spire, uzun ve ince deniz kabuklarından ilham alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4.59). Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimetik yaklaşım hedeflenmiştir. Yapının biyomimetik strüktür türü ise kabuk benzeri strüktürdür.



Şekil 4.59 (a) Deniz kabuğu (Url-77) ve (b) Chicago Spire (Url-78)

4.16 Aldar Gökdeleni, Abu Dhabi, BAE

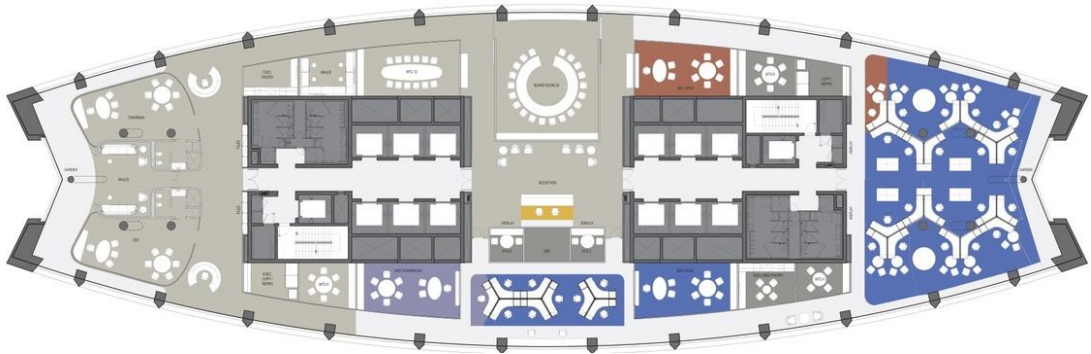
Tablo 4.16 Aldar Gökdeleni hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	2007-2010
	Mimari Tasarım	MZ Architects
	Strüktürel Tasarım	ARUP
	Strüktür Türü	Çekirdek veDiagrid
	Strüktür Malzemesi	Yüksek Dayanımlı Beton ve Çelik
	Fonksiyonu	Ofis
	Kat Adedi	25
	Yükseklik	110 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	İstiridye Kabuğu
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Kabuk Benzeri Strüktürler

Şekil 4.60 Aldar Gökdeleni (Url-79)

Mimari Özellikler

Aldar Gökdeleni, Birleşik Arap Emirlikleri'nin Abu Dhabi kentinde bulunmaktadır. Yapımına 2007 yılında başlanmış ve 2010 yılında tamamlanmıştır. “Dünyanın ilk dairesel gökdeleni” unvanına sahip olan yapı 110 m yüksekliktedir. 25 katlı yapının planı elips şeklindedir (Şekil 4.61). Ofis olarak tasarlanan Aldar Gökdeleni'nin toplam kullanım alanı 61.900 m²'dir.



Şekil 4.61 Aldar Gökdeleni 21. kat planı (Url-80)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

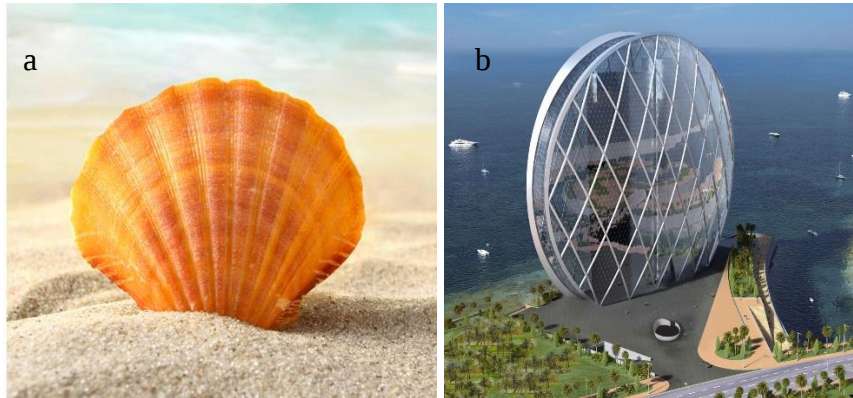
Yapının taşıyıcı sistemi çekirdek ve cepheye yerleştirilen çelik diagriddir (Şekil 4.62). Yapı çift çekirdeğe sahip olup bu çekirdekler yüksek dayanımlı betonarme perde duvarlardan oluşmaktadır. Yapının merkezinde perdelerden oluşan iki adet yüksek dayanımlı betonarme çekirdek bulunmaktadır. Binanın aerodinamik forma sahip olmasının amacı, rüzgar yüklerinin etkilerini en aza indirmektir. Aldar Gökdeleni'nin cephesine yerleştirilen çelik diagrid, üzerine binen yükleri güçlü kirişlerinden ve bağlantı noktalarından geçirip çekirdeklere aktarmaktadır. Yapıda toplam 6.400 ton çelik ve 25.000 m³ beton malzeme kullanılmıştır.



Şekil 4.62 Aldar Gökdeleni'nin strüktürel şeması (Url-81)

Biyomimetik Özellikler

Aldar Gökdeleni, istridye kabuklarından ilham alınarak tasarlanmıştır (Mıhlayanlar vd., 2017) (Şekil 4.63). Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimikri yaklaşımı esas alınmıştır. Yapının biyomimetik strüktür türü ise kabuk benzeri strüktürdür.



Şekil 4.63 (a) İstridye kabuğu (Url-82) ve (b) Aldar Gökdeleni (Url-83)

4.17 Palazzetto Dello Sport, Roma, İtalya

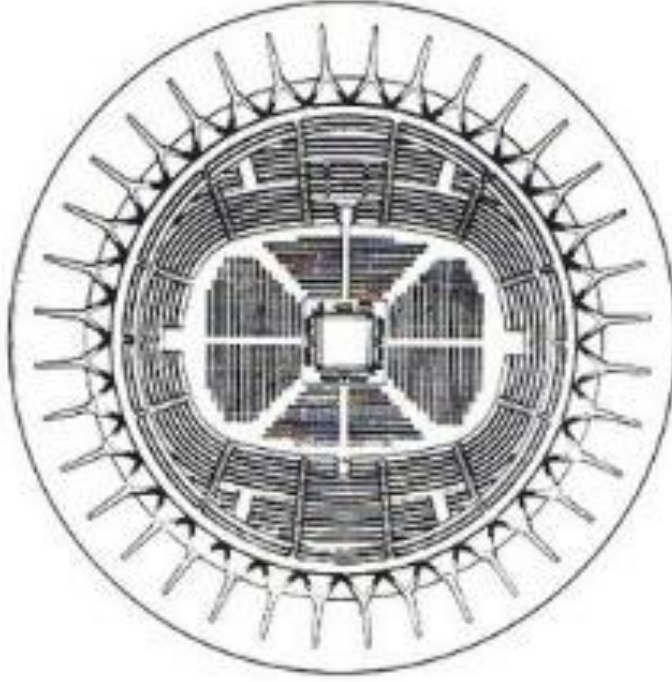
Tablo 4.17 Palazzetto Dello Sport hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1957 - 1960
	Mimari Tasarım	Annibale Vitellozzi
	Strüktürel Tasarım	Pier Luigi Nervi
	Strüktür Türü	Kabuk
	Strüktür Malzemesi	Yüksek Dayanımlı Beton
	Fonksiyonu	Spor Salonu
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	21 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Deniz Kabuğu
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Kabuk Benzeri Strüktürler

Şekil 4.64 Palazzetto dello Sport (Url-84)

Mimari Özellikler

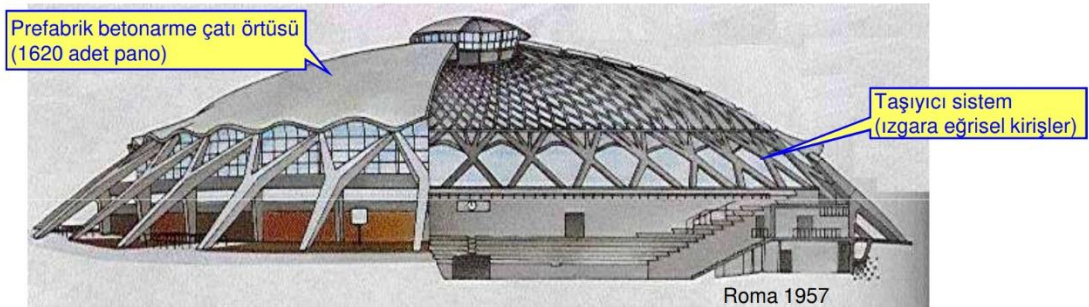
Yapımına 1957 yılında başlanan ve 1960 yılında tamamlanan Palazzetto dello Sport binası, 21 m yüksekliktedir. Resmi mimarı Annibale Vitellozzi olsa da, mühendislik yönüyle ön plana çıkan yapı, mühendisi ve müteahhidi olan Pier Luigi Nervi'nin bir çalışmasıdır. Spor salonu olarak kullanılan bina, dairesel bir plana ve 5.000 kişi kapasitesine sahiptir (Şekil 4.65). Yapının yardımcı ek hacimleri, izleyici tirübünlerinin altında yer almaktadır.



Şekil 4.65 Palazzetto dello Sport tribün planı (Url-85)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

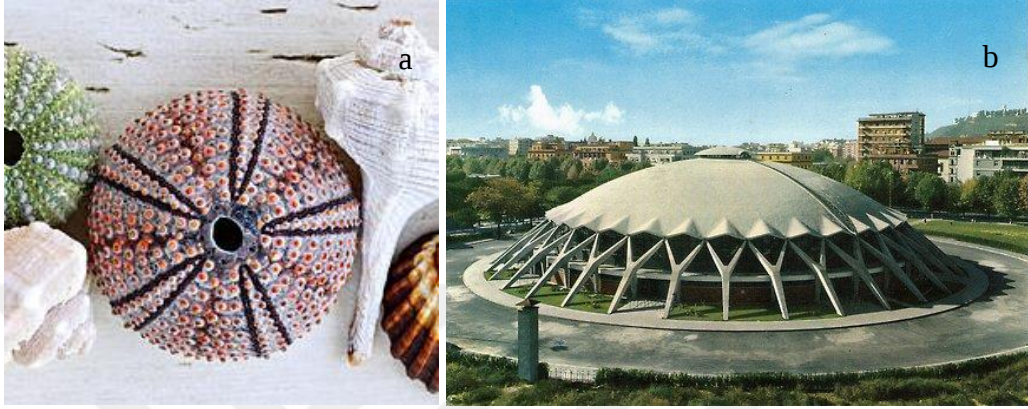
Palazzetto dello Sport binasının taşıyıcı sistemi, betonarme kabuk sistemdir. 59 m çapa sahip olan yapının çatı örtüsü ızgara eğrisel kirişler yardımıyla desteklenip, 1620 adet prefabrik betonarme pano ile kaplanmıştır (Şekil 4.66). Çatı örtüsünde bulunan ızgara eğrisel kirişler, iç mekanda görsel zenginliği arttırmaktadır. Yapı kabuğunun merkezinde bir basınç çemberi bulunmaktadır. Yapının kenarlarında bulunan Y şeklindeki eğik kolonlar ile kabuk desteklenmektedir.



Şekil 4.66 Palazzetto dello Sport'un strüktürel şeması (Url-86)

Biyomimetik Özellikler

Palazzetto dello Sport, dairesel formlu deniz kabuklarından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.67). Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimetik yaklaşım hedeflenmiştir. Yapının biyomimetik strüktür türü ise kabuk benzeri strüktürdür.



Şekil 4.67 (a) Deniz kabuğu (Url-87) ve (b) Palazzetto dello Sport (Url-88)

4.18 Sidney Opera Evi, Sidney, Avustralya

Tablo 4.18 Sidney Opera Evi hakkında genel bilgiler.

	Yapım Yılı	1957-1973
	Mimari Tasarım	Jorn Utzon
	Strüktürel Tasarım	Ove Arup
	Strüktür Türü	Kabuk
	Strüktür Malzemesi	Betonarme
	Fonksiyonu	Opera Salonu
	Kat Adedi	-
	Yükseklik	65 m
	Kat Alanı	-
	Esin Kaynağı	Deniz Kabuğu
	Biyomimikri Düzeyi	Organizma
	Biyomimetik Strüktür Türü	Kabuk Benzeri Strüktürler

Şekil 4.68 Sidney Opera Evi (Url-89)

Mimari Özellikler

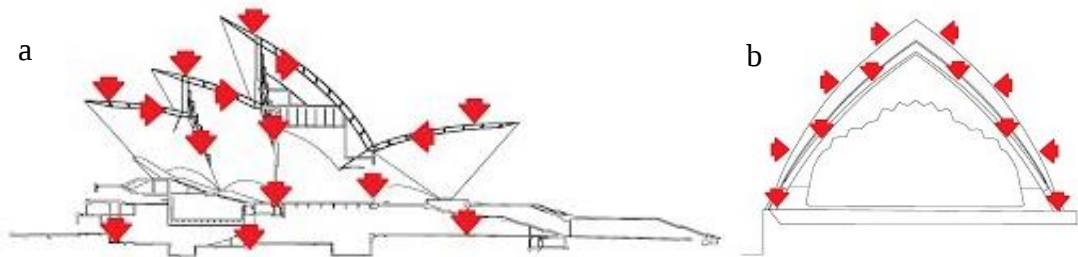
Yapımına 1957 yılında başlanan ve 1960 yılında tamamlanan Sidney Opera Evi, 65 m yüksekliktedir. Yapıdaki 2 oditoryum taş bir platform üzerinde yan yana tasarlanmış olup, bu platformun altına sahne arkası ve sahne yanı alanları yerleştirilmiştir. Bu sayede üstteki yüzey serbest bırakılıp halka açık bir alan haline getirilmiştir. Oditoryumlardan biri 3.500 ve diğeri 1.200 kişi kapasiteye sahiptir. Yapıda 250 kişilik bir restoran, 1 iletim merkezi, 2 toplantı odası, 1 bar, prova odaları ve manzara alanları bulunmaktadır (Şekil 4.69).



Şekil 4.69 Sidney Opera Evi genel görünüm (Url-90)

Taşıyıcı Sistem Özellikleri

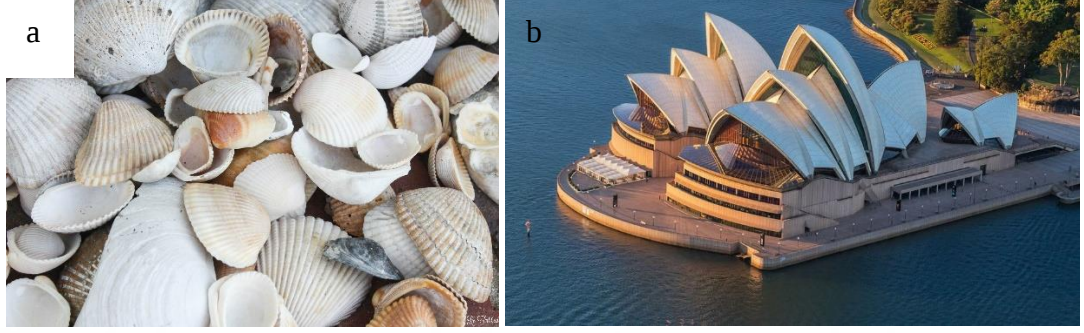
Strüktürel tasarımı Ove Arup tarafından yapılan Sidney Opera Evi'nin taşıyıcı sistemi, betonarme kabuk sistemidir. Yapının çatısında, betondan yapılan ve hazır beton kaburgalarla taşınan kabuklar bulunmaktadır. Yapı, denizin 25 m derinine çakılan 580 adet beton ayakla taşınmaktadır. Sidney Opera Evi'ne etkiyen dikey yükler, çatı kabuklarından platform kolonları boyunca zemine aktarılmaktadır. Yatak yükler ise cepheden betonarme kabuklara ve oradan da zemine doğru bir yol izlemektedir (Şekil 4.70).



Şekil 4.70 (a) Sidney Opera Evi'ne etkiyen dikey yükler ve (b) yatay yükler (Url-91)

Biyomimetik Özellikler

Sidney Opera Evi, deniz kabuklarından esinlenilerek tasarlanmıştır (Şekil 4.71). Yapının tasarımında organizma düzeyinde biyomimikri yaklaşımı esas alınmıştır. Yapının biyomimetik strüktür türü ise kabuk benzeri strüktürdür.



Şekil 4.71 (a) Deniz kabukları (Url-92) ve (b) Sidney Opera Evi (Url-93)

5. BİYOMİMETİK YAPI ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bundan önceki bölümünde, 18 adet biyomimetik yapı örneğinin, mimari, strüktürel ve biyomimetik özellikleri ön plana çıkarılacak şekilde incelenip, bir bilgi formatı hazırlanmıştır. Bu bölümde, ele alınan biyomimetik yapı örneklerinin özellikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve değerlendirmeye gidilmiştir. Bu karşılaştırma ve değerlendirmelerde 4. bölümde yer alan yapı örneklerine ait tablolardan yararlanılmıştır. Burada amaç biyomimetik yapılara ilişkin özelliklerin karşılaştırılarak analiz edilmesi, bu analizlerden sonuca giderek önerilerin ortaya konmasıdır.

Yapı örneklerine ilişkin karşılaştırma ve değerlendirmeler üç kategoride ele alınmıştır. Bu kategoriler (i) Mimari özellikler, (ii) Strüktürel özellikler, (iii) Biyomimetik özellikler olmak üzere sıralanmaktadır. Her kategori kendi içinde ayrıca alt kategorilere ayrılmaktadır. Örneğin yapıların mimari özellikleri yapım yılı, yeri, bina fonksiyonu ve yükseklik olarak ele alınıp değerlendirilmiştir. Strüktürel özelliklerin değerlendirilmesinde yapı türü, strüktür türü ve strüktür malzemesi gibi faktörler etkili olmuştur. Benzer şekilde biyomimetik özelliklerin değerlendirilmesinde de esin kaynağı, biyomimikri düzeyi ve biyomimetik strüktür türleri gibi faktörler etkili olmuştur. Yapı örneklerine ilişkin verilerin karşılaştırılması Tablo 5.1’de görülmektedir.

Değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar ve önerilerin gelecekte yapılacak olan biyomimetik yapılara ışık tutması beklenmektedir.

Tablo 5.1 Yapılara ilişkin bilgilerin karşılaştırılması

Mimari Özellikler					Strüktürel Özellikler			Biyomimetik Özellikler		
Yapı Adı	Yapım Yılı	Yeri	Bina Fonksiyonu	Yükseklik	Yapı Türü	Strüktür Türü	Strüktür Malzemesi	Esin Kaynağı	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Strüktür Türü
Masdar Genel Merkezi	2008 - 2012	Abu Dhabi / BAE	Karma	-	Geniş Açıklıklı	İskelet	Çelik + Betonarme	Ağaç	Organizma	Ağaç Benzeri Strüktür
Oriente İstasyonu	1993 - 1998	Lizbon / Portekiz	Karma	25 m	Geniş Açıklıklı	Uzaysal Kafes	Yüksek Dayanımlı Beton + Çelik	Palmiye Ağacı	Organizma	Ağaç Benzeri Strüktür
Stansted Hava Terminali	1987 - 1992	Essex / İngiltere	Havaalanı Terminali	-	Geniş Açıklıklı	Uzay Kafes	Çelik	Ağaç	Organizma	Ağaç Benzeri Strüktür
Katar Ulusal Kongre	2006 - 2011	Doha / Katar	Kongre Merkezi + Tiyatro	20 m	Geniş Açıklıklı	İskelet	Yüksek Dayanımlı Beton + Çelik	Sidra Ağacı	Organizma	Ağaç Benzeri Strüktür
Turning Torso	2001 - 2005	Malmö / İsveç	Konut + Ofis	190 m	Çok Katlı Yüksek Yapı	Konsol Döşemeli + Dış Omurgalı	Betonarme + Çelik	İnsan Omurgası	Organizma	İskelet Benzeri Strüktür
Gherkin (Swiss Re)	2000 - 2003	Londra / İngiltere	Ofis + Ticari	180 m	Çok Katlı Yüksek Yapı	Çelik Çekirdek + Diagrid	Çelik	Venüs Bitkisi Süngeri	Organizma	İskelet Benzeri Strüktür

Tablo 5.1 Yapılara ilişkin bilgilerin karşılaştırılması (Devam)

Mimari Özellikler					Strüktürel Özellikler			Biyomimetik Özellikler		
Yapı Adı	Yapım Yılı	Yeri	Bina Fonksiyonu	Yükseklik	Yapı Türü	Strüktür Türü	Strüktür Malzemesi	Esin Kaynağı	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Strüktür Türü
Lyon Hava Tren İstasyonu	1989 - 1994	Lyon / Fransa	Hava Tren İstasyonu	39 m	Geniş Açıklıklı	Kaburgalı İskelet	Yüksek Dayanımlı Beton + Çelik	Kuş	Organizma	İskelet Benzeri Strüktür
Absolute World Kuleleri I / II	2007 - 2012	Mississauga / Kanada	Konut	176 m / 158 m	Çok Katlı Yüksek Yapı	Perde Duvarlı + Çerçevesiz	Betonarme + Çelik	İnsan Omurgası	Organizma	İskelet Benzeri Strüktür
Münih Olimpiyat Stadı	1969 - 1972	Münih / Almanya	Stadyum	-	Geniş Açıklıklı	Asma - Germe	Çelik	Örümcek Ağı	Organizma + Davranış	Ağ Benzeri Strüktür
Alman Pavyonu, Expo 67	1967	Montreal / Almanya	Sergi Pavyonu	14 m – 38 m	Geniş Açıklıklı	Asma - Germe	Çelik	Örümcek Ağı	Organizma + Davranış	Ağ Benzeri Strüktür
Millennium Dome	1997 - 1999	İngiltere / Londra	Sergi + Festival Alanı	100 m	Geniş Açıklıklı	Asma – Germe	Çelik	Örümcek Ağı	Organizma + Davranış	Ağ Benzeri Strüktür
Denver Uluslararası Havaalanı	1980 - 1993	Denver / ABD	Havaalanı Terminali	39 m	Geniş Açıklıklı	Asma	Çelik	Örümcek Ağı	Organizma + Davranış	Ağ Benzeri Strüktür

Tablo 5.1 Yapılara ilişkin bilgilerin karşılaştırılması (Devam)

Mimari Özellikler					Strüktürel Özellikler			Biyomimetik Özellikler		
Yapı Adı	Yapım Yılı	Yeri	Bina Fonksiyonu	Yükseklik	Yapı Türü	Strüktür Türü	Strüktür Malzemesi	Esin Kaynağı	Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Strüktür Türü
Ulusal Su Sporları Merkezi	2003 - 2008	Pekin / Çin	Su Sporları Merkezi	31 m	Geniş Açıklıklı	Uzay Kafes	Çelik + ETFE	Su Kabarcığı	Organizma	Pnömatik Strüktür
Eden Projesi	1997 - 2001	Cornwall / İngiltere	Sera	50 m	Geniş Açıklıklı	Kafes	Çelik + ETFE	Su Kabarcığı	Organizma	Pnömatik Strüktür
Chicago Spire	2007	Chicago / ABD	Konut	610 m	Çok Katlı Yüksek Yapı	Perde Duvarlı + Çerçevesi	Yüksek Dayanımlı Beton + Çelik	Deniz Kabuğu	Organizma	Kabuk Benzeri Strüktür
Aldar Gökdeleni	2007 - 2010	Abu Dhabi / BAE	Ofis	110 m	Çok Katlı Yüksek Yapı	Çekirdek + Diagrid	Yüksek Dayanımlı Beton +	İstiridye Kabuğu	Organizma	Kabuk Benzeri Strüktür
Palazzetto Dello Sport	1957 - 1960	Roma / İtalya	Spor Salonu	21 m	Geniş Açıklıklı	Kabuk	Yüksek Dayanımlı Beton	Deniz Kabuğu	Organizma	Kabuk Benzeri Strüktür
Sidney Opera Evi	1957 - 1973	Sidney / Avustralya	Opera Salonu	65 m	Geniş Açıklıklı	Kabuk	Betonarme	Deniz Kabuğu	Organizma	Kabuk Benzeri Strüktür

5.1 Örneklerin Mimari Özellikleri Açısından Analizi

Çalışmada seçilen biyomimetik yapı örnekleri, sahip oldukları mimari özellikler açısından, başlıca dört faktör göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bu faktörlerden birincisi yapım yılı, ikincisi yeri, üçüncüsü bina fonksiyonu ve dördüncüsü de yapıların sahip olduğu yüksekliklerdir.

Seçilen biyomimetik yapı örnekleri yapım yılları açısından incelendiğinde, yapıların 1957- 2012 yılları arasında yapıldığı görülmektedir. Bunlardan en eskisi, yapımına 1957 yılında başlanan Palazzetto Dello Sport ve Sidney Opera Evi ve en yenisi de yapımına 2008 yılında başlanıp 2012 yılında tamamlanan Masdar Genel Merkezi'dir.

Biyomimetik yapı örneklerinin uygulandığı yerlere ilişkin inceleme yapıldığında, 18 adet örnekten 10'unun Avrupa, 4'ünün Asya, 3'ünün Kuzey Amerika ve 1'inin Okyanusya kıtasında bulunduğu görülmektedir. Avrupa kıtasındaki örneklerin 4'ü İngiltere, 2'si Almanya ve kalan 4'ü de Fransa, Portekiz, İtalya ve İsveç'te bulunmaktadır. Asya kıtasındaki örneklerin 2'si Birleşik Arap Emirlikleri'nde ve geri kalan 2'si Çin ve Katar'da bulunmaktadır. Kuzey Amerika kıtasındaki örneklerin 2'si Amerika Birleşik Devletleri'nde ve 1'i Kanada'da yer almaktadır. Okyanusya kıtasındaki yapının Avustralya'da bulunduğu görülmektedir.

Örnekler fonksiyonlarına göre incelendiğinde 6 tanesinin çeşitli fonksiyonlardan oluşan karma kullanımlı, 2 tanesinin konut, 2 tanesinin havaalanı terminali ve kalan 8 tanesinin sırasıyla su sporları merkezi, sergi pavyonu, ofis, spor salonu, opera salonu, stadyum, hava-tren istasyonu ve sera amaçlı olarak kullanıldığı görülmektedir (Tablo 5.2).

Seçilen 18 adet biyomimetik yapının yükseklikleri incelendiğinde, yapıların 20 m ile 610 m arasında değişen yüksekliklere sahip olduğu görülmekte olup, 3 tane yapının yüksekliğine ait bir veriye erişilememiştir. Yapılardan en yükseği 610 m yükseklik ile Chicago Spire ve en düşük yüksekliğe sahip olanı 20 m ile Katar Ulusal Kongre Merkezi'dir (Tablo 5.3).

Tablo 5.2. Seçilen biyomimetik yapı örneklerinde yapı fonksiyonlarının dağılımı

	Yapının Fonksiyonu	Adet	Oran (%)
Seçilen Biyomimetik Yapı Örnekleri	Havaalanı Terminali	2	11.1
	Hava Tren İstasyonu	1	5.55
	Karma	6	33.4
	Konut	2	11.1
	Ofis	1	11.1
	Opera Salonu	1	11.1
	Sera	1	11.1
	Sergi Pavyonu	1	11.1
	Spor Salonu	1	11.1
	Stadyum	1	11.1
	Su Sporları Merkezi	1	11.1
	Toplam	18	100

Tablo 5.3. Seçilen biyomimetik yapı örneklerinde yapı yüksekliklerinin dağılımı

	Yapı Adı	Yükseklik
Seçilen Biyomimetik Yapı Örnekleri	Masdar Genel Merkezi	-
	Oriente İstasyonu	25 m
	Stansted Hava Terminali	-
	Katar Ulusal Kongre Merkezi	20 m
	Turning Torso	190 m
	Gherkin (Swiss Re) Kulesi	180 m
	Lyon Hava-Tren İstasyonu	39 m
	Absolute World Kuleleri I / II	176 m / 158 m
	Münih Olimpiyat Stadı	-
	Alman Pavyonu, Expo 67	14 - 38 m
	Millennium Dome	100 m
	Denver Uluslararası Havaalanı Terminali	39 m
	Ulusal Su Sporları Merkezi	31 m
	Eden Projesi	50 m
	Chicago Spire	610 m
	Aldar Gökdeleni	110 m
	Palazzetto Dello Sport	21 m
	Sidney Opera Evi	65 m

5.2 Örneklerin Strüktürel Özellikleri Açısından Analizi

Çalışmada seçilen biyomimetik yapı örnekleri, strüktürel özellikleri açısından, başlıca üç faktör göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bu faktörlerden birincisi yapı türü, ikincisi strüktür türü ve üçüncüsü de binaların yapımında kullanılan strüktür malzemesidir.

Biyomimetik bina örnekleri yapı türlerine göre, geniş açıklıklı ve çok katlı yüksek yapı olmak üzere iki kategoride incelenmiştir. Seçilen 18 örnekten 13'ünün geniş açıklıklı ve 5'inin de çok katlı yüksek yapı olduğu gözlemlenmektedir.

Örneklerin strüktür türlerine ilişkin inceleme yapıldığında, çok katlı yüksek yapılarda genellikle, çekirdek ve diagrid (Aldar Gökdeleni ve Gherkin Tower) ya da perde duvarlı ve çerçeveli (Chicago Spire ve Absolute World Kuleleri I/II) sistemlerin tercih edildiği anlaşılmıştır. Yüksek yapılardan olan Turning Torso, konsol döşemeli ve dış omurgalı taşıyıcı sisteme sahip olmasıyla diğer çok katlı yüksek yapılardan ayrıldığı görülmektedir. Geniş açıklıklı yapıların ise çoğunlukla dikmeli ya da kafes strüktürlere sahip olduğu görülmektedir.

Örnekler strüktür malzemeleri açısından incelendiğinde, 5 adet çok katlı yüksek yapının 2'sinde yüksek dayanımlı beton ve çelik (Chicago Spire ve Aldar Gökdeleni), 1 tanesinde yalnızca çelik (Gherkin Kulesi) ve diğer 2'sinde de betonarme ve çelik (Absolute World Kuleleri I/II ve Turning Torso) malzeme kullanıldığı görülmektedir. Geniş açıklıklı yapılarda ise genellikle, yalnızca çelik kullanılmış olduğu gibi çelik ve ETFE'nin ya da yüksek dayanımlı beton ve çeliğin bir arada kullanıldığı gözlemlenmiştir.

5.3 Örneklerin Biyomimetik Özellikleri Açısından Analiz

Yapılan çalışmada seçilen biyomimetik yapı örnekleri, biyomimetik özellikleri açısından, başlıca üç faktör göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bu faktörlerden birincisi esin kaynağı, ikincisi biyomimikri düzeyi ve üçüncüsü de biyomimetik strüktür türüdür.

Biyomimetik yapı örnekleri esin kaynaklarına göre incelendiğinde, 18 adet yapının 4'ünün ağaç, 4'ünün deniz kabuğu, 4'ünün örümcek ağı, 2'sinin su kabarcığı, 2'sinin insan omurgası, 1'inin kuş ve 1 tanesinin de venüs bitkisi süngerinden ilham alınarak

tasarlandığı gözlemlenmiştir. Geniş açıklıklı yapıların tasarımında genellikle örümcek ağı ve ağaçlardan etkilendiği görülmektedir.

Çalışmada seçilen örneklerin biyomimikri düzeyleri (i) organizma, (ii) davranış ve (iii) ekosistem düzeyi olmak üzere üç farklı kategoride analiz edilmiştir. Seçilen 18 adet biyomimetik yapının 14'ünde organizma ve 4'ünde organizma+davranış düzeyinde biyomimetik tasarım yaklaşımının hedeflendiği görülmektedir. Organizma+davranış düzeylerinin birlikte görüldüğü yapıların örümcek ağlarından esinlenilerek tasarlandığı dikkati çekmiştir. Ayrıca, incelenen yapılardan herhangi birisinde ekosistem düzeyinde bir tasarım yaklaşımının kullanılmadığı görülmüştür.

Örnekler biyomimetik strüktür türlerine ilişkin analizi beş kategoride ele alınmıştır. Bu kategoriler (i) Ağaç benzeri, (ii) İskelet benzeri, (iii) Ağ benzeri, (iv) Pnömatik ve (v) Kabuk benzeri strüktürler olmak üzere sıralanmaktadır. İncelenen 18 örnekten 4'ünde ağaç, 4'ünde iskelet, 4'ünde ağ benzeri, 4'ünde kabuk benzeri ve 2'sinde pnömatik biyomimetik strüktür türünden yararlanıldığı görülmektedir. Pnömatik strüktür türlerinin diğer strüktür türlerine oranla az sayıda olması dikkati çekmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

5.Bölüm'de, örnek olarak seçilmiş olan 18 adet biyomimetik yapı örneği üzerinde yapılan karşılaştırmalı analizlerin ve verilen bilgilerin ışığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

6.1 Örneklerin Mimari Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Seçilen örneklerin yapım yılı, yeri, bina fonksiyonu ve yüksekliklerine göre değerlendirilmesiyle şu sonuçlara varılmıştır:

- Seçilen biyomimetik yapı örneklerinden ilki 1957 yılında uygulanmış olup, literatür araştırmasında, bu yaklaşımın gerçekte çok geçmiş dönemlerden beri izlendiği görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında, teknolojik gelişmelerle biyomimetik mimarlık uygulamalarının yaygınlaştığı açıktır.

- Örnekler uygulandığı bölgeler açısından incelendiğinde, İngiltere öncülüğünde en çok Avrupa kıtasında bulunduğu görülmüştür. Ancak bu yaklaşımın uygulanmasında herhangi bir bölgesel, coğrafi kısıtlama bulunmamaktadır.
- İncelenen biyomimetik yapı örneklerinin, en çok karma kullanımlı yapılarda tercih edildiği anlaşılmaktadır. Ancak yine literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ışığında, mimaride biyomimetik yaklaşımda herhangi bir fonksiyon kısıtlaması bulunmamaktadır.
- Örnekler yüksekliklerine göre analiz edildiğinde, en yüksek yapının 610 m ve en düşük yükseklikteki yapının 20 m olduğu görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, bu tür yaklaşımlarda yapı yüksekliği bir tasarım kısıtlaması olmamaktadır.

6.2 Örneklerin Strüktürel Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Çalışmada incelenen örneklerin yapı türü, strüktür türü ve strüktür malzemeleri açısından analizinin yapılmasıyla elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Biyomimetik bina örnekleri yapı türlerine göre değerlendirildiğinde, en çok geniş açıklıklı biyomimetik yapıların tasarlandığı görülmektedir. Mimarlıkta en önde gelen strüktürel sorunlardan birinin büyük açıklıkların geçilmesidir. Bu açıdan bakıldığında, büyük açıklıkların geçilmesinde yüksek etkinlik, bir başka deyişle hafif ve etkin strüktürler ortaya koymada doğadan yararlanmak büyük önem arz etmektedir. Bu açıdan bakıldığında, mimari ve strüktürel tasarımlarda biyomimetik yaklaşımlar yarar sağlamaktadır.
- Örneklerin strüktür türlerine ilişkin incelemesi yapıldığında, çok katlı yapılarda en çok çekirdek+diagrid ya da perde duvarlı+çerçeve sistemlerin tercih edildiği anlaşılmaktadır. Geniş açıklıklı yapılarda ise genellikle dikmeli veya kafes strüktürlerin kullandığı görülmüştür.
- Örnekler strüktür malzemeleri açısından incelendiğinde, çok katlı yapıların tasarımında en çok yüksek dayanımlı beton ve çeliğin kullanıldığı anlaşılmıştır.

6.3 Örneklerin Biyomimetik Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Seçilen örneklerin tasarımında etkili olan esin kaynakları, biyomimikri düzeyleri ve biyomimetik strüktür türlerine göre değerlendirilmesiyle şu sonuçlara varılmıştır:

- Biyomimetik yapı örnekleri esin kaynaklarına göre incelendiğinde en çok ağaç, deniz kabuğu ve örümcek ağından etkilendiği anlaşılmaktadır.
- Çalışmada seçilen örnekler biyomimikri düzeylerine göre değerlendirildiğinde en fazla organizma düzeyinde tasarım yaklaşımının hedeflendiği görülüp, ekosistem düzeyinde bir tasarım yaklaşımına rastlanılmamıştır.
- Örnekler biyomimetik strüktür türleri açısından incelendiğinde en az pnömatik strüktür türünün tasarımlarda kullanıldığı anlaşılmış olup, diğer strüktür türlerinin eşit sayıda kullanıldığı görülmüştür.

Sonuç olarak, geçmişten günümüze varolan doğadan esinlenme eylemi yıllar içinde teknolojik gelişmelerle birlikte işlevsellik ve sürdürülebilirlik açısından daha etkin bir hal almıştır. Doğayı gözlemleyen ve anlamaya çalışan mimarların doğadaki oluşumların form-strüktür-malzeme ilişkisini irdelleyerek biyomimikri kavramını tasarımlarına dahil etmesi gerektiği açıktır. Bu ilişki zinciri incelenirken biyoloji ve diğer bilim dalları bu sisteme dahil edilmeli bir başka deyişle disiplinler arası bir çalışma yapılmalıdır. Doğanın taklit edilmesi yoluyla yapılan bu çalışma kopyalamanın ötesinde bir tasarım anlayışı olan biyomimikri ile yapılmalıdır. Biyomimikrinin insana ve çevreye daha uyumlu yapılar ortaya koymanın yanı sıra çevre dostu malzemeler, mekanlar ve sürdürülebilir çevreler sunacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- Addis, B.** (2001). Creativity And Innovation The Structural Engineer's Contribution To Design. Oxford: Architectural Press.
- Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C. ve Zumbrunnen, C.** (2003). Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. Bioscience, 53, 1169-1179.
- Aldersey-Williams, H.** (2003). Zoomorphic - New Animal Architecture, London, Laurence King Publishing.
- Al Hussaini, K.D.** (2005). Design in Nature and Architecture. (Master's thesis). Retrieved from <https://curve.carleton.ca/18407e9f-b5f0-413c-99d9-c608a8fa1b47>.
- Arslan, S. ve Sorguç, G.A.** (2004). Similarities in Structures in Nature and Man-Made Structures: Biomimesis in Architecture", 2nd International Design and Nature Conference Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Rodos, 45-54, 28-30 Haziran 2004.
- Aziz M. S. ve El Sherif, A.Y.** (2016). Biomimicry As An Approach For Bio-Inspired Structure With The Aid Of Computation, Alexandria Engineering Journal55, 707-714.
- Benyus, J.M.** (1997). Biomimicry:Innovation Inspired by Nature. New York City: HarperCollins Publishers.
- Killeen, M.** (2002). Water Web. Metropolis Magazine, May.
- Mazzoleni, I.** (2013). Architecture Follows Nature, Biomimetic Principles for Innovative Design. Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- McDonough, W. ve Braungart, M.** (2002). Cradle to Cradle - Remaking the Way We Make Things, New York, North Point Press.
- Mihlayanlar, E., Yardımlı, S. ve Altınöz M.** (2017). Analyzing Energy and Biomimesis Concepts in the Context of Sustainability on Building

Envelope. A+ArchDesign - Year: 3 Number: 2 - Yıl: 3 Sayı: 2 - 2017
(1-14)

- Reap, J., Baumeister, D. ve Bras, B.** (2005). Holism, Biomimicry and Sustainable Engineering. ASME International Mechanical Engineering Conference and Exposition. Orlando, FL, USA.
- Rosemond, A. D. ve Anderson, C. B.** (2003). Engineering Role Models: Do Non-Human Species have the Answers? Ecological Engineering, 20, 379-387.
- Selçuk, A.S.** (2009). Proposal for a non-dimensional parametric interface design in architecture: A biomimetic approach. (Doktora tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Todd, J. ve Josephson, B.** (1996). The Design of Living Technologies for Waste Treatment. Ecological Engineering, 6, 109 - 136.
- Vincent, J.F.V., Bogatyrev, O., Pahl, A.-K., Bogatyrev, N.R. ve Bowyer, A.** (2005). Putting Biology into TRIZ: A Database of Biological Effects. Creativity and Innovation Management, 14, 66-72.
- Vincent, J.F.V., Bogatyrev, O., Pahl, A.-K., Bogatyrev, N.R. ve Bowyer, A.** (2006). Biomimetics - its practice and theory. Journal of the Royal Society Interface, April 2006.
- Yeler, M.G.** (2012). Mimarlıkta biyomorfizm. (Doktora tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Yeler, M.G.** (2015). Influences Of The Living World On Architectural Structures: An Analytical Insight. 1, 23-38, doi: 10.17482/uujfe.14962.
- Zari, M.P.** (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability, SBO7 NZ Conference, Transforming Our Build Environment, New Zealand.
- Url-1,** <https://www.pinterest.com/pin/411727590903729585/>, 15.03.2018
- Url-2,** <https://www.dayoutwiththekids.co.uk/kings-college-chapel>, 15.03.2018
- Url-3,** <https://trinityhousehistory.wordpress.com/tag/eddystone/>, 15.03.2018
- Url-4,** <https://traveldigg.com/la-sagrada-familia-the-church-nuanced-art-deco-in-the-%20heart-of-barcelona/>, 15.03.2018
- Url-5,** https://calatrava.com/projects/bce-place-galleria-heritage-square-toronto.html?view_mode=gallery, 15.03.2018

- Url-6**, <https://www.rikysongsu.com/blog/2017/4/26/stuttgart-airport>, 15.03.2018
- Url-7**, <http://www.thisinsider.com/eiffel-tower-facts-and-history-2017-3>, 15.03.2018
- Url-8**, <http://blog.eternalvigilance.me/2015/08/made-in-his-image-bone-an-engineering-marvel-by-randy-j-guliuza-p-e-m-d-institute-for-creation-research/>, 15.03.2018
- Url-9**, <http://www.oliviaplazahotel.com/la-casa-batllo>, 15.03.2018
- Url-10**, <https://www.archdaily.com/531290/spotlight-santiago-calatrava>, 15.03.2018
- Url-11**, <http://www.munichphotos.com/maxvorstadt/munich-olympic-park>, 15.03.2018
- Url-12**, <https://www.pinterest.com/pin/507992032939718961/>, 15.03.2018
- Url-13**, <https://blog.quintinlake.com/2012/08/14/national-space-centre-leicester-by-grimshaw/>, 15.03.2018
- Url-14**, <https://www.travelchannel.com/destinations/australia/sydney/articles/the-sydney-opera-house>, 15.03.2018
- Url-15**, <http://podroze.onet.pl/ciekawe/najciekawsze-futurystyczne-budowle-swiata/jfcfn>, 15.03.2018
- Url-16**, <https://www.airbnb.be/rooms/530250>, 15.03.2018
- Url-17**, <https://www.e-architect.co.uk/taiwan/taiwan-centers-disease-control>, 15.03.2018
- Url-18**, <https://archinect.com/soyounglee/project/masdar-headquarters>, 08.04.2018
- Url-19**, <http://www.carboun.com/sustainable-design/masdar-headquarters-the-first-positive-energy-building-in-the-middle-east/>, 08.04.2018
- Url-20**, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socotra_dragon_tree.JPG, 08.04.2018
- Url-21**, http://www.rwa.com/rwa/project_detail.php?ids=136%20&&%20pr_id=17, 08.04.2018
- Url-22**, <http://www.architravel.com/architravel/building/oriente-station/>, 09.04.2018
- Url-23**, https://es.pngtree.com/freepng/palm-tree_1852245.html, 09.04.2018
- Url-24**, <https://arqmodernalisboa.files.wordpress.com/2014/12/screen-shot-2014-12-09-at-8-56-32-pm1.png>, 09.04.2018

Url-25, <http://www.gcgp.co.uk/2015/01/stansted-hailed-uks-fastest-growing-airport/>, 07.05.2015

Url-26, <https://www.fosterandpartners.com/projects/stansted-airport/#drawings>, 09.04.2018

Url-27, <https://prezi.com/tdmas5smtqoy/mimarlk-ve-strukturel-sistemler-ii/>, 09.04.2018

Url-28, <http://slideplayer.biz.tr/slide/8738935/>, 14.04.2018

Url-29, <http://lollypepper.blogspot.com.tr/2010/09/aeroporto-stansted-norman-foster-london.html>, 14.04.2018

Url-30, <http://www.gmdproje.com/proje-detay/katar-ulusal-kongre-merkezi.php>, 14.04.2018

Url-31, <http://www.flickrriver.com/photos/28288777@N08/random/>, 14.04.2018

Url-32, <https://www.qf.org.qa/content/20th/twenty-years-of-serving-the-local-community-2015>, 14.04.2018

Url-33, <https://www.archdaily.com/425521/qatar-national-convention-centre-arata-isozaki/52290efde8e44e5a610000d8-qatar-national-convention-centre-arata-isozaki-photo>, 14.04.2018

Url-34, <http://www.archilovers.com/projects/475/turning-torso.html>, 07.05.2015

Url-35, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turning_Torso_structure.svg, 15.04.2018

Url-36, <https://edoc.site/turning-torso-malmo-pdf-free.html>, 15.04.2018

Url-37, <http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=157032>, 15.04.2018

Url-38, <http://www.theherkinlondon.com/space-plan-33/>, 15.04.2018

Url-39, <https://misfitsarchitecture.com/2015/01/05/dysfunctionalism/foster-partners-30-st-mary-axe-office-building-wind-diagram/>, 15.04.2018

Url-40, <http://article.sapub.org/10.5923.j.arch.20180801.01.html>, 15.04.2018

Url-41, <https://www.modlar.com/photos/collections/105/biomimicry/view/>, 15.04.2018

Url-42, <https://www.arch2o.com/lyon-saint-exupery-airport-railway-station-santiago-calatrava/>, 18.04.2018

Url-43, http://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/4433/LyonSatolasStation.pdf, 15.04.2018

Url-44, <http://www.pngmart.com/image/73461>, 18.04.2018

Url-45, <https://www.archdaily.com/306566/absolute-towers-mad-architects/>
18.04.2018

Url-46, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Absolute_World_Tower_1_massing_model.svg, 18.04.2018

Url-47, <http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=dxRkbF0pGsM%3d&tabid=3840&language=en-GB>, 19.04.2018

Url-48, <https://www.officerentinfo.hu/article/officemarket-news/marylyn-monroe-buildings-the-absolute-towers>, 19.04.2018

Url-49, <http://intranet.pogmacva.com/en/obras/53659>, 07.05.2015

Url-50, <https://www.modlar.com/photos/4153/munich-olympic-stadium-exterior/>,
23.04.2018

Url-51, <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2016/tekil/fevzi-dansik/5-fevzi-dansik.pdf>, 23.04.2018

Url-52, <https://building.closeupengineering.it/en/studying-the-spider-web-to-make-buildings-and-infrastructures/8423/>, 23.04.2018

Url-53, <https://aehistory.files.wordpress.com/1968/05/1297389380-olympic-munich-10-1000x735.jpg>, 23.04.2018

Url-54, http://www.mimarizm.com/makale/almanya-pavyonu-yeni-bir-yapi-muhendisligi_115431, 23.04.2018

Url-55, <https://pixabay.com/tr/spiderweb-web-biberiye-841610/>, 23.04.2018

Url-56, http://expo67.ncf.ca/expo_german_p14.html, 23.04.2018

Url-57, http://www.greatbuildings.com/cgi%20bin/gbi.cgi/Millennium_Dome.html/cid_1160284728_Millennium_Dome_02.html, 07.05.2015

Url-58, http://www.bbc.co.uk/london/content/image_galleries/2012_aerial_photos_gallery.shtml?1, 24.04.2018

Url-59, <https://prezi.com/votuknyrlze0/copy-of-asma-sistemler/>, 24.04.2018

Url-60, <https://mundo.sputniknews.com/ciencia/201703141067597471-metodo-despierta-interes-ciencia/>, 24.04.2018

Url-61, <https://en.wikiarquitectura.com/building/millennium-dome-o2-arena/#lg=1&slide=2>, 24.04.2018

- Url-62**, <https://www.mba.aero/denver-international-airport-reports-new-high-passenger-traffic/>, 07.05.2015
- Url-63**, <http://civitasinc.com/competitions/airports/denver-international-airport/#1>, 24.04.2018
- Url-64**, <http://denardis.com/specialty-structures/denver-international-airport-fabric-roof-co.html>, 24.04.2018
- Url-65**, <http://www.fotografiaessencial.com.br/2016/05/a-beleza-simetrica-das-teias-de-aranha.html>, 24.04.2018
- Url-66**, <https://en.wikiarquitectura.com/building/denver-international-airport/#lg=1&slide=0>, 24.04.2018
- Url-67**, <https://magazine.banananina.co.id/explore-tiongkok-menjelajahi-ragam-spot-menarik/>, 07.05.2015
- Url-68**, <https://kienviet.net/2017/09/13/kts-chris-bosse-ben-vung-la-co-de-thien-nhien-con-nguoi-cong-nghe-cong-sinh/beijing-water-cube-designboom-01/>, 24.04.2018
- Url-69**, <https://rhinorevit.wordpress.com/2008/11/03/case-study-water-cube/#jp-carousel-19>, 25.04.2018
- Url-70**, <https://www.bloomberg.com/news/photo-essays/2015-02-23/14-smart-inventions-inspired-by-nature-biomimicry>, 25.04.2018
- Url-71**, <http://www.edenproject.com/>, 26.04.2018
- Url-72**, <http://www.lookingatbuildings.org.uk/construction/materials/plastics.html>, 26.04.2018
- Url-73**, <https://www.flaironline.nl/huishouden/vaatdoekjes-schoonmaken/>, 26.04.2018
- Url-74**, <https://en.wikiarquitectura.com/building/fordham-spire/#lg=1&slide=3>, 15.05.2018
- Url-75**, <http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkcs/structures/research/floor-plan-spire.jpg>, 15.05.2018
- Url-76**, <https://en.wikiarquitectura.com/building/fordham-spire/#lg=1&slide=0>, 15.05.2018
- Url-77**, <http://www.ucreative.com/inspiration/you-be-inspired-10-nature-inspired-architectural-designs/>, 26.04.2018

- Url-78**, <https://www.archdaily.com/564045/santiago-calatrava-s-chicago-spire-finally-axed/54591ebee58ece518700001c-santiago-calatrava-s-chicago-spire-finally-axed-photo>, 26.04.2018
- Url-79**, <https://en.wikiarquitectura.com/building/aldar-headquarters-building/#lg=1&slide=7>, 27.04.2018
- Url-80**, <https://aineatara.com/gallery-for-hq/jj2n88vqeq2rva97olr7thcwataovl>, 27.04.2018
- Url-81**, <https://en.wikiarquitectura.com/building/aldar-headquarters-building/#lg=1&slide=4>, 15.05.2018
- Url-82**, <https://dekopano.com/dogadan-esinlenerek-tasarlanmis-10-yapi-dpp-214>, 27.04.2018
- Url-83**, <http://www.jllproperty.com/middle-east-en-gb/abu-dhabi/office-property-for-lease/aldar-hq/541682>, 27.04.2018
- Url-84**, <https://www.pinterest.co.uk/pin/54043264252660733/?lp=true>, 07.05.2015
- Url-85**, <http://www.archidiap.com/opera/palazzetto-dello-sport/>, 27.04.2018
- Url-86**, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu./index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_1.pdf, 27.04.2018
- Url-87**, <https://fineartamerica.com/featured/seashells-on-wood-background-elena-elisseeva.html>, 27.04.2018
- Url-88**, <http://architectureofdoom.tumblr.com/image/39384830119>, 27.04.2018
- Url-89**, <http://www.rodthomas.com.au/gallery/view/sydney-opera-house/australia>, 07.05.2018
- Url-90**, <https://mashable.com/2016/01/13/sydney-opera-house-evacuated/#PZPJSPRqrEqp>, 27.04.2018
- Url-91**, <https://sites.google.com/site/ae390group2sydneyoperahouse/structure>, 27.04.2018
- Url-92**, <http://www.re-fabbed.com/spray-painted-vacation-sea-shells/>, 27.04.2018
- Url-93**, <https://www.biennaleofsydney.art/venues/sydney-opera-house/>, 27.04.2018

ÖZGEÇMİŞ

Sinem KARADUMAN ERCAN, 1990 yılında Fatsa'da doğdu. Lise eğitimini Fatsa Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Anadolu Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2012 yılında Erasmus Programı'yla Almanya'nın Hessen eyaletinde bulunan Darmstadt Teknik Üniversitesi'ne girdi. 2014 yılında Anadolu Üniversitesi'ndeki eğitimini tamamlayıp, İstanbul'da özel sektörde çalışmalarını sürdürdü. 2015 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalı Yapı Bilgisi Programı'nda yüksek lisansa başladı. 2016 yılında Mimar ve İnşaat Mühendisi olan kardeşi Çınar KARADUMAN ile birlikte mimarlık ve mühendislik alanında hizmet veren bir ofis açtı, halen mesleki çalışmalarını kendi ofisinde sürdürmektedir.