



**SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK İÇİN DOĞADAN ÖĞRENİLEN
YAKLAŞIMLAR: DOĞA ESİNLİ FİKİRLERİN BİNA KABUĞUNA ETKİSİ**

Zehra Betül TÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2018

Zehra Betül TÜRK tarafından hazırlanan “SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK İÇİN DOĞADAN ÖĞRENİLEN YAKLAŞIMLAR: DOĞA ESİNLİ FİKİRLERİN BİNA KABUĞUNA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

Mimarlık Anabilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 25/07/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Zehra Betül TÜRK

25/07/2018

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK İÇİN DOĞADAN ÖĞRENİLEN YAKLAŞIMLAR: DOĞA ESİNLİ FİKİRLERİN BİNA KABUĞUNA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Zehra Betül TÜRK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2018

ÖZET

21. yüzyıl mimarlığı sürdürülebilirlik kavramıyla birlikte enerji etkin tasarımların ve doğayla uyumlu mimari çözümlerin öne çıktığı bir dönem olarak literatürdeki yerini almaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sürdürülebilir tasarım için doğanın kendisi birincil kaynak olarak görülmektedir. Benzer şekilde tasarımlarda binaların tek başına değil doğanın bir parçası olarak “doğadan öğrenen yenilikçi ve bütüncül bir yaklaşımla” ele alınması gereğine vurgu yapılmaktadır. Bu bağlamda “doğadan öğrenilen yenilikçi tasarım yaklaşımları” yüzyılın önemli mimarlık anlayışlarından biri olarak görülmektedir. Biyomimikri, günümüz mimarisinde kullanılan ve birçok tasarım problemine çözüm kaynağı olan yenilikçi bir yaklaşımdır. Sınırlı kaynakların her geçen gün tükendiği bu yüzyılda yapılarıdaki enerji verimliliğini etkileyen en önemli yapı elemanı bina kabuğudur. Bu sebeple bina kabuğunun enerji etkin biçimde ve bulunduğu yere özgü olarak tasarlanması, bir başka ifade ile sürdürülebilirliği önem kazanmaktadır. Bu bağlamda bu tezde, sürdürülebilir bina kabuğu tasarımını daha verimli hale getirmek için biyomimikrinin bina kabuğu üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak, biyomimikrinin tarihsel gelişimi, doğadaki organizmaların deri/kabuk fonksiyonları ile bina kabuğunda uygulanan biyometrik tasarım yaklaşımları konularına odaklanılmıştır. Doğada yer alan farklı deri/kabuk fonksiyonlarının bina kabuğuna nasıl aktarıldığını incelemek amacıyla, bu konuda öne çıkan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar kavramsal ya da uygulanmış projeler olup farklı iklim bölgelerinde farklı doğal deri ya da kabuk özelliklerinden esinlenerek/öğrenerek elde edilmiş tasarımlardır. Seçilen biyometrik bina kabuğu tasarım örnekleri, biyometrik tasarım yöntemleri ve sürdürülebilirlik ilkeleri kapsamında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda biyometrik bina kabuğu tasarımlarının aktif enerji kullanımı olmadan sürdürülebilir tasarım kriterleri olan enerji ve kaynak verimliliğini sağladığı görülmüştür. Ayrıca, biyometrik bina kabuğu tasarımı ile biyomimikrinin sürdürülebilir mimarlarda kullanımının enerji tasarrufu ve kaynak verimliliğini sağladığı ve aynı zamanda birçok alanda uygulanabilecek potansiyeller barındırdığı sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 80111

Anahtar Kelimeler : Sürdürülebilir mimarlık, biyomimikri, doğa esinli mimari, bina kabuğu

Sayfa Adedi : 121

Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

BIOMIMETIC APPROACHES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE:
THE IMPACT OF NATURE-INSPIRED IDEAS ON BUILDING SKIN

(M. Sc. Thesis)

Zehra Betül TÜRK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2018

ABSTRACT

The 21st century architecture takes its place in the literature as a period in which energy efficient designs and harmonious architectural solutions come to the fore along with the concept of sustainability. In recent years, nature itself for sustainable design has been seen as the primary resource. Similarly, it has been emphasizing the need for buildings to be addressed as a part of nature rather than alone, with an innovative and holistic approach that learns from nature. In this context, “innovative design approaches learned from nature” are seen as one of the important architectural insights of the century. Biomimicry is an innovative approach used in today's architecture and a solution to many design problems. The most important building element that affects energy efficiency in this century, where limited resources are consumed day by day, is the building envelope. For this reason, the design of the building envelope in terms of energy efficiency and specificity, in other words, sustainability gains importance. In this context, in this study, the impact of biomimicry on building shells has been examined to make sustainable building shell design more efficient. For this purpose, the focus is primarily on the historical development of biomimicry, the skin and skin functions of organisms in nature, and biomimetic design approaches to building shells. In order to examine how different skin / shell functions in nature have been transferred to the building shell, the pioneering studies in this regard have been examined. These studies are conceptual or applied projects and are designs that are inspired / learned from different natural skin or surface characteristics in different climate regions. Selected biomimetic building shell designs have been evaluated within the scope of biomimetic design methods and sustainability principles. As a result of the evaluation, biomimetic building shell designs have been found to provide sustainable design criteria energy and resource efficiency without active energy use. In addition, biomimetic building shell design and the use of biomimicry in sustainable architecture have resulted in energy savings and resource efficiency, as well as the potential for many field applications.

Science Code : 80111

Key Words : Sustainable architecture, biomimicry, nature-inspired architecture,
building shell

Page Number : 121

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük emeği olan ve çalışmam süresince değerli fikirleri ve akademik tecrübesiyle araştırmama yön vererek bu süreçte maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a tüm katkılarından dolayı şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Tez savunma jürimde bulunan ve tez çalışmama katkı sağlayan değerli jüri başkanı Sn. Prof. Dr. Figen BEYHAN ve değerli jüri üyesi Sn. Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL'e katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince; varlığıyla ve desteğiyle bana güç veren sevgili eşim İbrahim TÜRK'e, minik yüreğiyle beni cesaretlendiren biricik oğlum Yusuf Ekrem TÜRK'e, fikir ve yardımlarıyla hayatımın her anında yanımda olan sevgili ablam Kübra GÜÇLÜTÜRK ve kardeşim Zeynep GÖDEK'e, son olarak yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, varlığımı borçlu olduğum sevgili annem Hatice GÖDEK ve babam Ali GÖDEK'e en içten duygularıyla şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK VE DOĞA ESİNLİ FİKİRLER.....	5
2.1. Sürdürülebilir Mimarlıkta Öne Çıkan Tasarım Kriterleri.....	6
2.2. Doğa Esinli Fikirler: Biyomimikri.....	12
2.2.1. Biyomimetik tasarım yaklaşımları.....	18
2.2.2. Biyomimetik yenilikler	25
2.3. Biyomimikri ve Mimarlık.....	37
2.3.1. Mimarlık tarihinde doğadan esinlenme.....	39
2.3.2. Mimarlıkta biyomimetik ve biyomorfik tasarım	41
2.3.3. Biyomimetik mimari tasarım örnekleri	45
3. BİYOMİMİKRİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ KABUKLAR ÜZERİNE ETKİSİ.....	57
3.1. Sürdürülebilir Mimari Kabuk Nedir?	57
3.1.1. Sürdürülebilir mimari kabuk tasarımını etkileyen faktörler	58

	Sayfa
3.1.2. Sürdürülebilir mimari kabuk tasarımında görülen gelişmeler.....	63
3.2. Biyomimetik Mimari Kabuklara Geçiş.....	67
4. DOĞADAN ESİNLENİLEN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ KABUKLAR.....	69
4.1. Doğadaki Organizmaların Deri/Kabuk Fonksiyonları	69
4.2. Organizmalardan Esinlenilen Sürdürülebilir Mimari Kabuk Örnekleri	75
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	105
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Biyomimikri uygulamasının sınırları.....	17
Çizelge 2.2. Çözüm odaklı yaklaşım örnekleri - Biyolojiden tasarıma	23
Çizelge 2.3. Sorun odaklı yaklaşım örnekleri - Tasarımdan biyolojiye.....	24
Çizelge 2.4. Biyomimetik tasarım örnekleri, ilham kaynağı, problem çözümü ve biyomimikri düzeyi karşılaştırması.....	55
Çizelge 3.1. Dış çevre ve iç ortam faktörleri arasında bir arayüz olarak görev yapan bina kabuğu işlevleri.....	61
Çizelge 3.2. Isı transfer süreçleri ve bunları etkileyen bina kabuğu özellikleri.....	62
Çizelge 4.1. Organizmaların deri özellikleri, fonksiyonları ve mimari benzetimleri	71
Çizelge 4.2. Binalarda (iç ortam) ve doğada (dış çevre) bulunan farklı çevresel zorlukların bina kabuğundaki fonksiyonel yakınsaması	72
Çizelge 4.3. Doğada bulunan organizmaların deri özelliğinin mimari kabuklara biyomimikri ile aktarımı ve tasarıma olan etkisi.....	76
Çizelge 4.4. Waterloo Uluslararası Terminal - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği	79
Çizelge 4.5. Gherkin Tower- Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği.....	81
Çizelge 4.6. İçme suyu sağlayan proje - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği.....	84
Çizelge 4.7. One Ocean Thematic Pavilion - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği	87
Çizelge 4.8. Hygroskin - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği.....	90
Çizelge 4.9. Stoma Tuğlası - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği	93
Çizelge 4.10. S.C.A.L.E.S. Projesi - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği	97
Çizelge 4.11. Esplanade Theatres - Biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği	100
Çizelge 4.12. Biyomimetik tasarım örnekleri ile sürdürülebilir mimari kabuk çözümleri	102

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile sürdürülebilir tasarım kriterleri karşılaştırma tablosu.....	106
Çizelge 5.2. Biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile biyomimetik tasarım unsurları karşılaştırma tablosu olan etkisi	108



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sürdürülebilir tasarım için izlenen ortak ilkeler	6
Şekil 2.2. Sorun odaklı yaklaşım tasarım spirali - Tasarımdan biyolojiye	20
Şekil 2.3. Çözüm odaklı yaklaşım tasarım spirali - Biyolojiden tasarıma	21
Şekil 2.4. Gekonun ve parmak uçlarının makro, mezo, mikro ve nano ölçeğinde gösterimi	25
Şekil 2.5. Su damlasının lotusan yaprağı üzerindeki hareketi	27
Şekil 2.6. Biyomimetik yenilikler zaman çizelgesi	36
Şekil 2.7. Eastgate Merkezi ile termit tepciğinin havalandırma sistemi	52
Şekil 3.1. Güneş yolu diyagramı.....	59
Şekil 3.2. Sürdürülebilir bina kabuğu tasarım prensipleri	60
Şekil 3.3. Bina kabuğunun güneş ışığını emme ve yansıtma davranışı	62
Şekil 4.1. Urania Güvesinin kanadındaki birden fazla yüzeyden geçen gün ışığının yansımından kaynaklanan yanardönerlik.....	82
Şekil 4.2. Boru şeklindeki yapının kavisli yüzeyi ve tüpler arasındaki değişken mesafenin zamanla değişen rengi yansıtması	83
Şekil 4.3. Farklı cephe tabakalarının üst üste bindirilmesiyle su dolu renkli şişelerin değişen açılarından geçen ışığın renkli görünüm oluşturmaları	83
Şekil 4.4. One Ocean Thematic Pavilion iklimlendirme grafiği.....	86
Şekil 4.5. Yan lekeli kertenkelenin gün ışığına karşı davranışıyla ısı düzenlemesi	94
Şekil 4.6. Cephede kullanılan panellerin detayı ve gün ışığına duyarlı hareket özellikleri	96

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Leonardo Da Vinci'nin ornithopter tasarım eskizleri.....	13
Resim 2.2. Lotus bitkisi (Nilüfer çiçeği) ve süper hidrofobik yüzeyi	26
Resim 2.3. (a) Gekonun yapışkan parmak ucu ve Geckskin kaplamalı kumaş (b) Geko byte robot.....	28
Resim 2.4. Shinkansen hızlı treni ve ilham kaynağı Yalıçapkını kuşu.....	29
Resim 2.5. Kambur balina ve çıkıntılı yüzgeci.....	30
Resim 2.6. (a) Bal peteği (b) Bal peteği sandviç kompozit malzeme.....	32
Resim 2.7. Deniz kabuğunun kıvrımlı yapısı.....	32
Resim 2.8. Pıtrak bitkisi ve Velcro bant	33
Resim 2.9. (a) Fotovoltaik güneş gözeleri (b) Yaprak.....	34
Resim 2.10. (a) Stenocara (namib çölü böceği) (b) Warka su toplama kulesi	35
Resim 2.11. Milwaukee Sanat Müzesi (Quadracci Pavyonu), ABD (2001)	42
Resim 2.12. (a) TWA Terminal, John F. Kennedy Airport, New York, 1962 (b) Uçan Kuş	43
Resim 2.13. (a) Johnson Wax binasının mantar kolonları, Wisconsin, 1939 (b) Mantar bitkisi	44
Resim 2.14. (a) Amazon nilüferinin (<i>victoria amazonica</i>) kaburgayı andıran taşıyıcı damarları (b) Crystal Palace, Londra, 1851	45
Resim 2.15. Eiffel Kulesi, Paris, 1889 (<i>Eiffel Tower</i>) ve ilham kaynağı uyluk kemiği (b) Uyluk kemiğinin strüktürel detayı.....	46
Resim 2.16. Casa Mila'nın (La Pedrera) doğadaki formlardan oluşan yapısı	47
Resim 2.17. La Sagrada Familia, Barselona, İspanya.....	48
Resim 2.18. (a) Fuller'in tasarladığı Biyosfer Montreal (Jeodezik Kubbe), 1967 (b) Arı gözü.....	49
Resim 2.19. Frei Otto'nun iğne ve ince iplerle sabun köpüğünden elde ettiği minimal yüzeyler	50

Resim	Sayfa
Resim 2.20. Münih Olimpiyat Stadyumu, Almanya, 1972.....	51
Resim 2.21. (a) Eastgate Merkezi, Harare, Zimbabwe, 1996 (b) Termit kulesi	51
Resim 2.22. Water Cube cephe yüzeyi ve ilham kaynağı sabun köpüğü kümeleri	53
Resim 2.23. Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası, Namibya.....	54
Resim 3.1. SmartWrap™ akıllı kompozit cephe malzemesi	63
Resim 3.2. Syddansk Üniversitesi İletişim ve Tasarım Binası, Danimarka	64
Resim 3.3. Smart is Green binası, faz değişim malzemeli bina kabuğu	65
Resim 3.4. Palazzo Italia, Milano	65
Resim 3.5. The BIQ House, biyolojik temelli cephe, Almanya	66
Resim 3.6. Quai Branly Müzesi, bitkisel cephesi, Fransa	66
Resim 4.1. Doğadaki canlıların farklı işlevsel özelliğe sahip deri örnekleri	73
Resim 4.2. Waterloo Uluslararası Terminal ve ilham kaynağı pangolin.....	77
Resim 4.3. Gherkin Tower ve ilham kaynağı venüs çiçeği sünger.....	80
Resim 4.4. One Ocean Pavilion'un ilham kaynağı cennet kuşu çiçeği ve tünek hareketi.....	85
Resim 4.5. One Ocean Thematic Pavilion ve kinetik cephesinin açık ve kapalı lamel görünümü	85
Resim 4.6. Hygroskin biyomimetik yapı kabuğunun iç ve dış görünümü.....	88
Resim 4.7. Hygroskin açılıp kapanan modülleri.....	89
Resim 4.8. Kurak bölgeler için “stoma tuğlası” cephe tasarımı	91
Resim 4.9. Stoma tuğlası gözeneklerin detayı	92
Resim 4.10. S.C.A.L.E.S. projesi ve ilham kaynağı Yan lekeli kertenkele.....	95
Resim 4.11. Esplanade Theatres mimari kabuğu ve ilham kaynağı Durian meyvesi.....	98
Resim 4.12. Esplanade Theatres ve piramitlerden oluşan katmanlı bina kabuğu.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

°C	Derece - Celcius
cm	Santimetre
m	Metre
m ²	Metrekare
nm	Nanometre

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIA	Amerikan Mimarlar Enstitüsü
ETFE	Etilen tetrafloroetilen (yüksek özellikli plastik malzeme)
GFRP	Cam elyaf takviyeli polimer
HVAC	Isıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme
MÖ	Milattan önce
PCM	Faz değişim malzemeleri
PTW	Mühendislik firması (Permit to Work)
RIBA	İngiliz Mimarlar Enstitüsü
S.C.A.L.E.S.	Smart, continuous, active, layered, environmental system
SOMA	Mühendislik firması
UIA	Uluslararası Mimarlar Birliği
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Örgütü
UV	Ultraviyole (morötesi)
WCED	Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu

1. GİRİŞ

Problem durumu / Konunun tanımı

21. yüzyılda önemi her geçen gün daha da anlaşılan “sürdürülebilirlik” yaklaşımlarının birçok disiplinde konuşulması ve yaygınlaşması ile mimarlık disiplini de farklı platformlarda tartışılmaya başlanması eş zamanlı olmuştur. Yapılı çevrelerin şekillenmesinde önemli roller üstlenen mimarlık disiplini, “sürdürülebilirlik” konusunda paradigmaları etkileyecek çalışmalara da yön vermektedir. “Mimarlıkta sürdürülebilirlik” konusu, doğayla uyum içerisinde kalabilme, zamanın ve çevrenin şartlarına göre kendini yenileyebilme gibi özellikleriyle yapılı çevreler konusunda tasarlayan/üreten tüm aktörler için potansiyeller barındırmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramının mimarlığa eklenmesi ile birlikte, enerji etkin tasarımların ve doğayla uyumlu mimari çözümlerin önemi bir kez daha vurgulanmıştır. Mimarın, yaptığı tasarımları sadece bugünün koşullarına göre değil, binaların kullanım ömrü süresince ve geleceğe dönük ihtiyaçlarını da öngörerek bütüncül bir yaklaşımla ele alması gerektiği bir kez daha anlaşılmıştır. “Mimarın rolü” bu kavramların tasarım sürecine dahil edilmesi ile birlikte evrilmektedir.

Sürdürülebilir tasarım için birincil model doğanın kendisidir. Bu bağlamda binaların, doğanın bir parçası olarak tasarlanması ve doğadan öğrenen yenilikçi ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiği ön plana çıkmakta ve “doğadan öğrenilen yenilikçi tasarım yaklaşımları” konusu yüzyılımızın önemli araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Bu kapsamda, 21. yüzyılda gelişimi ve etkisi devam eden biyomimikri kavramı bu kavramın sürdürülebilir mimarlık ile olan ilişkisinin ortaya konulması çabası bu çalışmanın motivasyonu olmuştur.

Diğer bir yandan yapılardaki enerji verimliliğini etkileyen en önemli yapı elemanı bina kabuğudur. Bu çerçevede bina kabuğunun enerji etkin bir biçimde bulunduğu yere özgü olarak tasarlanması ve sürdürülebilirliği önem kazanmaktadır. Bu bağlamda çalışmada sürdürülebilir bina kabuğu tasarımını daha verimli hale getirmek için yenilikçi bir yaklaşım olan biyomimikrinin bina kabuğu üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Sürdürülebilir mimari kabuk kavramı incelenerek kabuk tasarımının “sürdürülebilir” olması için belirlenen kriterler kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Biyomimikri yaklaşımının sürdürülebilir

mimari kabuk tasarımını ne şekilde etkileyeceği sorgulanmıştır. Biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri, biyomimetik tasarım yöntemleri ve sürdürülebilirlik ilkeleri kapsamında değerlendirilmiş, bu kriterlere göre karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Literatür araştırması

Yapılan araştırmalar sonucunda, mimarlıkta biyomimikri (doğadan öğrenilen yaklaşımlar) ile ilgili uluslararası alanda yapılan araştırma ve çalışmaların yoğun olduğu görülmektedir. Bu bağlamda yapılan ön araştırmada, mimarlıkta biyomimikrinin yapı kabuğu üzerine olan etkisi ile ilgili literatürde yer alan araştırmaların ve çalışmaların (kitaplar, makaleler, sempozyum ve kongre bildirileri, ders notları, yüksek lisans ve doktora tezleri) büyük bir kısmının; genel bilimsel araştırmalar ve uygulama örnekleri üzerine olduğu görülmüştür.

Bu bağlamda araştırma boyunca, sürdürülebilir mimarlık, biyomimikri, bina kabuğu, biyomimetik mimarlık gibi konuları içeren birincil ve güncel kaynaklar taranarak, tezin kuramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Böylelikle en yeni bilgi ve gelişmelerin araştırılması ve en yenilikçi örneklerin belirli kriterlere göre değerlendirilmesi adına tezin literatüre bir katkıda bulunması hedeflenmiştir.

Araştırmanın amacı

Bu tez çalışmasında, incelenen akademik araştırmalar ve çalışmalar sonucunda, mimarlıkta biyomimikri yaklaşımının; tasarım, işlev, malzeme ve strüktür gibi detaylar üzerinden ele alındığı görülmektedir. Bu bağlamda 21. yüzyılda gelişimi devam eden ve yenilikçi bir tasarım yaklaşımı olan biyomimikri yaklaşımı ile enerji verimliliğini etkileyen en önemli yapı elemanının bina kabuğu olmasından ötürü biyomimikrinin bina kabuğuna olan etkisi araştırılmıştır. Yapılı çevrenin sürdürülebilir olmasında önem teşkil eden yapı kabuğu tasarımlarında, doğadan öğrenilen fikirlerin nasıl ve ne amaçla aktarıldığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla tasarlanarak uygulanmış ya da kavramsal düzeyde kalmış olan biyomimetik bina kabuğu tasarımları barındıran projeler sürdürülebilir ilkeler kapsamında irdelenmiş ve tartışılmıştır.

Araştırmanın önemi

Sürdürülebilirliğin gün geçtikçe daha fazla önem kazanmasıyla mimarlar tarafından tasarlanan yapıların enerji verimliliği de oldukça önem kazanmaktadır. Yapılardaki enerji verimliliğini artıran en önemli yapı elemanı bina kabuğudur. Bina kabuğunun bu rolü üstlenmesindeki asıl neden dış ortam koşullarıyla birebir karşı karşıya kalmasıdır. Bu bağlamda biyomimikri yaklaşımının, sürdürülebilir mimari kabuk üzerindeki etkisinin ortaya konulması bu alanda önem kazanmaktadır.

Biyomimikri yaklaşımı, enerji verimliliğinin artmasını sağlarken aynı zamanda bu yönde ortaya çıkan problemlerin doğru bir şekilde çözülmesinde etkili olmaktadır. Bu kapsamda doğada var olan problem çözümleri, biyomimikri yaklaşımı ve bu yaklaşımın kullanıldığı mimari tasarımlar ile, sürdürülebilir mimari kabuk tasarımlarının araştırılması hedeflenmiştir. Böylece bu araştırma, sürdürülebilir bina kabuğu elde etmek için biyomimikri yaklaşımı ile hangi aşamaların ve ilkelerin izlenmesi gerektiğini ortaya koymak adına önem taşımaktadır.

Araştırma sorusu ve hipotez

Bina kabuğu tasarımında doğa esinli yaklaşımlar tasarım kararlarında etkili midir? Pek çok disiplinde olduğu gibi mimarlık alanında da yenilikçi çalışmalara öncülük eden biyomimikri kavramı özellikle enerji konusunda yapılı çevrelerin sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilecek potansiyeller barındırmaktadır.

Varsayımlar ve sınırlılıklar

Bu çalışmada, sürdürülebilir mimarlık için doğa esinli fikirlerin bina kabuğuna etkisi konusuna odaklanılmıştır. Bu çalışma biyomimikri yaklaşımının (doğa esinli fikirlerin) sürdürülebilir mimarlığa olumlu katkı sağladığı ve daha sürdürülebilir mimari için biyomimetik bina kabuğu tasarımının etkili olacağı varsayımı ile yürütülmüştür. Bu bağlamda sürdürülebilir biyomimetik mimari kabuk örnekleri araştırılmış ve tasarımları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Materyal ve metot

Tez çalışmasında; konuya eleştirel bir bakış açısıyla yaklaşılmasını mümkün kılan, konunun daha net anlaşılmasını sağlayan ve içerdiği veri toplama araçları ile çalışmaya esneklik kazandıran nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araştırma problemi tanımlanarak amaç, kapsam ve yöntem açıklanmıştır. İkinci bölümde sürdürülebilir mimarlık ve tasarım kriterleri ile birlikte biyomimikri kavramı ve biyomimetik tasarım yaklaşımı ele alınmıştır. Mimarlıkta doğadan esinlenmenin tarihçesi irdelenmiş ve söz konusu kavram örnek tasarımlarla açıklanarak biyomimikri yaklaşımının mimariye yansıması ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde, sürdürülebilir mimari kabuk kavramı analiz edilmiş ve kabuk tasarımının sürdürülebilir olması için belirlenen kriterler kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. Ayrıca bu bölümde, biyomimikri yaklaşımının sürdürülebilir mimari kabuk tasarımını ne şekilde etkileyeceği sorgulanmıştır.

Dördüncü bölümde ise, çalışmanın odak noktası olan doğada bulunan organizmalardan esinlenilen biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri belirlenen kriterler kapsamında incelenmiştir. İnceleme sonucunda her bir örnek, biyomimetik tasarım unsurları kapsamında tablo haline getirilerek irdelenmiştir.

Beşinci bölüm olan değerlendirme ve sonuç bölümünde ise sürdürülebilir biyomimetik mimari kabuk tasarımları, biyomimetik yaklaşım, biyomimetik düzey ve esinlenilen organizmaların özellikleri ile değerlendirilerek sürdürülebilir tasarım kriterleri kapsamında analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ise, bütün biyomimetik tasarım örnekleri bir tablo haline getirilerek biyomimetik tasarım unsurları kapsamında karşılaştırılmış ve elde edilen bulgular tartışılmıştır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK VE DOĞA ESİNLİ FİKİRLER

Sürdürülebilir mimarlık anlayışında doğayı model almanın ötesinde öncelikli olarak yapılması gereken doğayı korumak ve doğayla uyum ve bütünlük içerisinde yaşayabilmektir. Doğayı korumaya yönelik yapılan uluslararası çalışmalar çevre bilincinin artış gösterdiği 1970’li yıllarda başlamıştır. 1972 yılında İsveç’in başkenti Stockholm’de “Birinci Dünya Çevre Konferansı” gerçekleştirilmiştir. Stockholm Deklarasyonu, “çevre hakkı” konusunda uluslararası düzeydeki ilk ve en önemli belge olma niteliğini taşımaktadır. 1987 yılında Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland başkanlığında “Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu” (WCED) tarafından yayımlanan "Ortak Geleceğimiz" (Brundtland Raporu) adlı raporda "Sürdürülebilir kalkınma" kavramı ilk kez dünya literatürüne yerleştirilmiştir. Brundtland raporuna göre, “sürdürülebilir kalkınma; bugünün gereksinimlerini ve beklentilerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini ve beklentilerini karşılama olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmıştır.

Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA-American Institute of Architects) ise sürdürülebilirliği, toplumun geleceğe doğru işlerliğine, sistemin ihtiyacı olan temel kaynakların tükenmesi veya aşırı yüklenmesi doğrultusundaki dengesinin bozulmadan devam etmesi, olarak tanımlamıştır (Mendler ve Odell, 2000).

Sürdürülebilir tasarımda pratik uygulama disiplinler arasında değişirken; mimariden ekonomiye, mühendislikten ziraate ve tıptan bilişime kadar tüm disiplinlerde izlenebilecek ortak ilkeler bulunmaktadır. Bu ilkeler:

- Düşük etkili malzemelerin üretimi ve kullanımı,
- Yenilenebilir kaynakların/enerjinin kullanımı,
- Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı,
- Kaynakların atık oluşumunun azaltılması,
- Yenilenebilir pasif enerji stratejilerinin geliştirilmesi,
- Yaşam döngüsü tasarımı ve
- Sürdürülebilir tasarım standartları geliştirilmesi (Şekil 2.1) olarak sayılabilmektedir. (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015)



Şekil 2.1. Sürdürülebilir tasarım için izlenen ortak ilkeler (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2015)

Sürdürülebilirlik kavramı, mimarlık alanında 1970’li yıllardan günümüze kadar farklı başlıklar altında incelenmiştir. Bilim ve yüksek teknoloji sayesinde yüksek standart ve konforla yapılı çevreler yaratmak ve optimum tasarımı yakalamak amacıyla analitik araştırmaların yapıldığı 1970’lerde “çevresel tasarım”; liberal ekonominin gelişmesiyle tüketim toplumunun teşvik edildiği, tüketimde “yeşil düşünce”nin geliştirildiği 1980’lerde “yeşil tasarım”; doğanın ana esin kaynağı yapılarak pasif enerji sistemlerinin kullanıldığı, insanın ekosistemin bir parçası, binanın da sağlıklı ve biyolojik bir organizma olarak görüldüğü 1980’lerin sonu ve 1990’ların başında “ekolojik tasarım” ifadeleri kullanılırken 1990’ların ortasından itibaren “sürdürülebilir tasarım” kavramına geçilmiştir (Durmuş Arsan, 2008).

Sürdürülebilir tasarımda temel model doğa olarak görülmektedir. Doğa her bakımdan etkin tasarımlar barındırmaktadır. Doğanın hiçbir atık üretmeme özelliği, insanlar tarafından oluşturulan yapılı çevrede israfı ortadan kaldırmak için tasarım sürecinde doğayı mantıksal bir model olarak karşımıza çıkarmaktadır (Mendler ve Odell, 2000).

2.1. Sürdürülebilir Mimarlıkta Öne Çıkan Tasarım Kriterleri

Sürdürülebilir mimarlık, “içinde bulunduğu koşullarda ve varlığının her döneminde gelecek nesilleri de dikkate alarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına öncelik

veren, çevreye duyarlı, enerjiyi, suyu, malzemeyi ve bulunduğu alanı etkin şekilde kullanan, insanların sağlık ve konforunu koruyan yapılar ortaya koyma faaliyetlerinin tümü” olarak tanımlanmaktadır (Sev, 2009:31). Bu yaklaşım aynı zamanda doğayla uyum içerisinde kalabilen, zamanın ve çevrenin şartlarına göre kendini yenileyebilen, dönüştürebilen enerji etkin yapıları tariflemek için de kullanılmaktadır.

Uluslararası Mimarlar Birliği (UIA) ve Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO) tarafından 1996 yılında hazırlanan Mimarlık Eğitimi Şartı’na göre, sürdürülebilir bina arayışında gelecekteki yaşam çevrelerini oluşturmak için benimsenmesi gereken hedefler sıralanmıştır. Bunlar;

- Yerleşim yerlerindeki bütün insanlar için, insanlığa yaraşır bir yaşam kalitesi,
- İnsanların, sosyal, kültürel ve estetik gereksinimlerine saygılı bir teknik uygulama,
- Yapılı çevrenin ekolojiye duyarlı ve sürdürülebilir gelişimi,
- Herkesin kendi malı ve sorumluluğu olarak görüp değer verdiği bir mimari, olarak belirlenmiştir (Özmehmet, 2007).

Sürdürülebilir mimarlıkta alt sürdürülebilirlik göstergesi olarak üç başlık öne çıkmaktadır: Ekolojik sürdürülebilirlik, ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal/kültürel sürdürülebilirlik. Sürdürülebilir mimarlık tam anlamıyla uygulandığında ekonomik ve sosyal/kültürel sürdürülebilirlik de sağlanmış olacaktır. Bu kapsamda sürdürülebilir mimarlık, sosyo-ekonomik, kültürel ve çevresel bağlamlarda yere uyarlanmış, gelecek nesillere ulaşabilecek binalar üretmeyi hedeflemektedir (Özmehmet, 2007).

Bu hedeflere ulaşabilmek için öncelikle binalarda kullanılan enerji (yapım, kullanım ve yıkım aşamasında harcanan bütün enerji miktarı) minimize edilmelidir, pasif tasarım stratejileri kullanılmalı, HVAC ve yapay aydınlatma gibi fazla enerji tüketen sistemlerin kullanımı azaltılmalı, yapı içinde bulunduğu bölgenin yerel iklimsel özelliklerine uygun tasarlanmalıdır (Guedes ve diğerleri, 2009).

Sürdürülebilir mimarlık tasarım kriterlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen literatür araştırmasında, bu konuda yapılmış farklı sınıflandırmaların olduğu görülmektedir. Bu sınıflandırmalardan biri McLennan (2004) tarafından yapılmış olup, sürdürülebilir

mimarlıkta çevresel etkileri azaltmak ve mekânsal konfor ve kaliteyi arttırmak için geliştirilen stratejiler 13 maddede özetlenmiştir:

- Gün ışığı kullanımı,
- İç mekân hava kalitesi,
- Pasif güneş enerjisi kullanımı,
- Doğal havalandırma,
- Enerjinin etkin kullanımı,
- Tasarım sürecinin her aşamasında etkin enerji kullanımı,
- İnşaat atıklarının minimize edilmesi,
- Su korunumu,
- Arazi korunumu,
- Katı atık yönetimi,
- Yenilenebilir enerji kullanımı,
- Doğal peyzaj kullanımı,
- İşletme etkinliği (tasarım ve yapım aşamalarında, yapının enerji tasarım stratejileri ve enerji performansı açısından hedef ve kriterlere uygun olup olmadığının değerlendirilmesi) (McLennan, 2004).

Bir diğer çalışma da bu konuda en sistematik çalışmalardan biri olan Royal Institute of British Architects tarafından hazırlanan '*RIBA Environmental Checklist*' adı altında sürdürülebilir tasarım unsurları 6 ana başlıkta toplanmıştır (Sassi, 2006):

- Arazi ve iklim (*land and ecology*),
- Toplum (*community*),
- Sağlık (*health*),
- Malzemeler (*materials*),
- Enerji (*energy*),
- Su (*water*).

Bu unsurların ise kendi içerisinde öne çıkan tasarım kriterleri belirlenmiştir (Sassi, 2006):

Arazi ve iklim (*land and ecology*);

- Yapılaşmaya uygun alanların kullanımı (*use of brownfield sites*),
- Mevcut yapıların yeniden kullanımı (*reuse of existing buildings*),
- Uygun yoğunluk (*appropriate density*),

- Peyzaj yatırımı (*investment in landscaping*),
- Toplu taşıma (*public transport*),
- Yeni yaya yolları (*new pedestrian routes*),
- Mikro iklimler üzerindeki etkiler (*effects on micro-climates*).

Toplum (*community*);

- Yerel toplumla danışma (*consultation with the local community*),
- Karma gelişim (*mixed development*),
- Toplumun ekonomik ve sosyal refahına katkısı (*contribution to the economic and social well-being of the community*),
- Geniş alanın zevki (*amenity of the wider area*),
- Alanın görsel zevki (*visual amenity space*),
- Estetik mükemmellik (*aesthetic excellence*),
- Tüm tasarım uzmanlıklarını içeren işbirlikçi işletme (*collaborative enterprise involving all the design professions*).

Sağlık (*health*);

- Bina kullanıcılarının konforu (*comfort for building inhabitants*),
- Doğal ışığın maksimum kullanımı (*maximum use of natural light*).

Malzemeler (*materials*);

- Doğal kaynakların korunumu (*conservation of natural resources*),
- Geri dönüşümlü malzemelerin kullanımı (*use of recycled materials*),
- Düşük enerjiyle oluşmuş malzemeler (*low embodied energy materials*),
- Doğrulanabilir bir kaynaktan yenilenebilir malzemeler (*renewable materials from a verifiable source*),
- Ozon tüketen kimyasalların kullanılmaması (*no-ozone depleting chemicals*),
- Uçucu organik bileşik içeren malzemelerin kullanılmaması (*no-volatile organic compound materials*).

Enerji (*energy*);

- Yüksek standartlarda enerji verimliliği (*highest standards of energy efficiency*),
- Yenilenebilir enerji kaynakları (*renewable energy sources*),
- Doğal havalandırmanın kullanımı (*use of natural ventilation*),

- Pasif solar enerjinin kullanımı (*use of passive solar energy*),
- Kullanıcı dostu bina yönetim sistemleri (*using-friendly building management systems*),
- Sabit zemin sıcaklığından istifade edilmesi (*exploiting the constant ground temperature*),
- Gölgeleme ve soğutmada dikim yönteminin kullanımı (*use of planting for shading and cooling*).

Su (*water*);

- Suyun verimli kullanımı (*efficient use of water*),
- Yağmur suyunun ve gri suyun toplanarak yeniden kullanımı (geri dönüşümü) (*harvesting rainwater and greywater*),
- Yağmur suyu akışının en aza indirgenmesi (*minimising rainwater run-off*).

Sürdürülebilir tasarım unsurları incelendiğinde, tasarıma yönelik birçok unsurun tasarımın sürdürülebilirliğini etkilediği görülmektedir. Tasarımın doğayla, kullanıcıyla ve toplumla kurduğu ilişki önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirliğin uygulanmasında yalnızca tasarımı yapan mimarın değil, tasarım sürecinde rolü olan herkesin ve bölgede yaşayan halkın da dahil olduğu birçok kişinin görev ve sorumluluğu bulunmaktadır.

Bu sürdürülebilir tasarım stratejilerinin kullanımı ve uygulama sayısı arttıkça tasarımın sürdürülebilirliği de o ölçüde artmaktadır. Sürdürülebilir tasarımda yalnızca ortaya çıkan ürün değil tasarımın uygulama süreci de sürdürülebilir bir yaklaşımla uygulanmalıdır. Binaların altyapısından, inşa sürecine kadar, malzeme temininden, malzemenin işlenmesi, kullanılması ve atık yönetimine kadar tüm süreçlerde malzeme israfının azaltılması, malzemenin geri dönüştürülmesi, binada enerji verimliliğinin sağlanması, suyun idareli kullanımı, bina bakım maliyetlerinin önceden düşünülüp en aza indirgenmesi sürdürülebilir yapı tasarımı çerçevesinde önemsenmesi gereken konulardır.

Sev (2009), sürdürülebilir mimarlığın üç temel ilkesi bulunduğunu belirtmiştir:

- Kaynak yönetimi,
- Yaşam döngüsü tasarımı,
- İnsan için tasarım.

Yedekçi (2015) ise, sürdürülebilir tasarımın en temel amacının, küresel ekosistemi oluşturan inorganik elementler, yaşayan organizmalar ve insanın birlikte var olmasını sağlamak olduğunu belirtmiş ve sürdürülebilir bir tasarım için 5 temel ilkenin göz önüne alınması gerektiğini vurgulamıştır. Bu ilkeler;

- Kaynak verimliliği: Kullanılan kaynakların sınırları dikkate alınmalıdır.
- Enerji verimliliği: Enerji etkin tasarımlar gerçekleştirilmelidir.
- Çevre kirliliğine engel olma: Dış ve iç mekân hava kalitesi, gürültü, vb. unsurlara dikkat edilmelidir.
- Çevreyle olan uyum: Bulunduğu çevre ile uyum içerisinde olmalıdır.
- Bütünleşik ve sistematik yaklaşımlar: Ele alınacak kriterler birlikte düşünülerek ortak bir yaklaşım elde edilmelidir. (Yedekçi, 2015: 28).

Sev (2009) ve Yedekçi (2015) nin belirttiği gibi sürdürülebilir tasarım ilkelerinin ortak hedefi, tasarımda doğanın sınırlarını kullanabilmek ve doğayla bütünleşik bir tasarım elde edebilmektir.

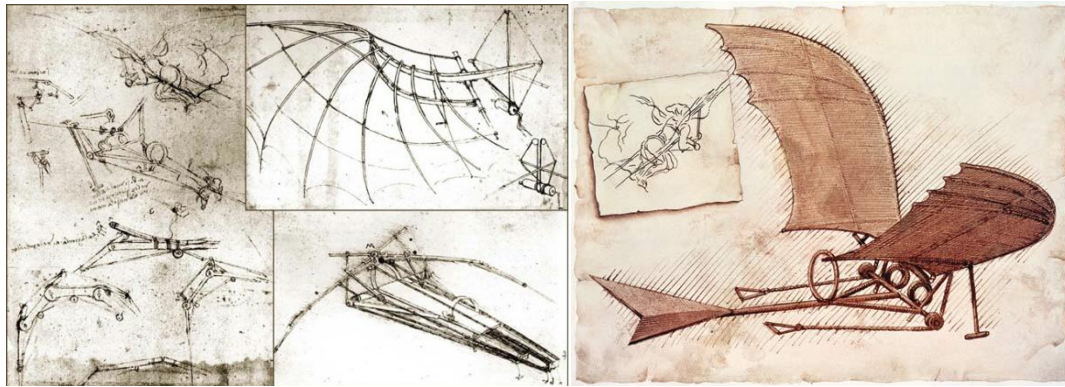
Yeang (2008), sürdürülebilir tasarımın bir alt başlığı olan ekotasarım hedefinin, tasarımı güneş kolektörü, rüzgâr jeneratörü, fotovoltaiik gibi ekocihazlarla donatmak değil; tasarımın çevreyle bütünleşmesini sağlamak olduğunu belirtmiştir. Ekotasarımda tasarımcı işe çevreden başlar ve tasarımda çevresel uyumu gözetir. Tasarlanan sistemin, biçim, içerik ve işlevi belirlenirken öncelikli hedef çevreyle uyumlu bütünleşme olmalıdır.

Doğal çevreyle uyumu gözetmek için ortaya çıkan bir diğer kavram olarak Ekotaklit (*Ekomimicry*); yapay ekosistemleri doğal ekosistemlerin yapısal özelliklerini, işlevlerini ve süreçlerini taklit ederek tasarlamak anlamına gelmektedir. Doğal ekosistemlere benzer özelliklere sahip yapı sistemleri tasarlanarak biyobütünleşme hedefine ulaşılabilir (Yeang, 2008: 45). Biyomimikri yaklaşımı da ekotaklit anlayışı ile benzer özellikleri barındırmaktadır. Yapılı çevrenin yaşamlarını doğal yoldan sürdürebilen bitki, hayvan ve mikroorganizma topluluklarının oluşturduğu doğal ekosistemlerin örnek alınarak biçimlendirilmesiyle ekolojik tasarım ve sürdürülebilirlik yaklaşımlarının hedeflerine daha kolay ve kesin bir yolla ulaşılacaktır.

Bu bağlamda birçok yeşil tasarım ve ekotasarım yaklaşımlarını kapsayan sürdürülebilir mimarlık ilke ve hedeflerinde izlenebilecek yolların doğada var olan çözümlerle birlikte düşünülebileceği fikri birçok tasarımcıyı doğaya yöneltmiştir. Doğa, kendi kendini yenileyebilmekte ve değişen çevresel koşullara göre (örneğin; iklim, hava hareketi, ışık, nem, yağmur suyu, vb.) uyum sağlayabilmektedir. Örneğin, bitkilerin hareketsiz yapısı iklim olgusunu araştırırken mükemmel bir biyolojik örnek teşkil etmektedir. Bitkiler, binalar gibi hareketten yoksun ve belirli bir konuma bağımlı oldukları için çevresel değişimlere maruz kalmakta, dolayısıyla onları etkileyen hava koşullarına uyum sağlaması gerekmektedir. Doğanın sahip olduğu bu özgün durum, tarih boyunca birçok tasarımcıya esin kaynağı olmuştur. Bu bağlamda günümüzde, doğadan esinlenerek yenilikçi, uyarlanabilir, çevre dostu ve sürdürülebilir çözümler elde etmek amacıyla biyomimikri yaklaşımı sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2. Doğa Esinli Fikirler: Biyomimikri

İnsanoğlu için doğa her dönemde ilham kaynağı olduğundan doğa esinli yaklaşımların kökeni uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Örneğin 16. yüzyılda yaşayan Leonardo da Vinci balıkların biçimlerini taklit eden gemi ve kuşların ve yarasaların kanadına benzeyen uçak benzeri uçan makine (*ornithopter*) çizimleri yapmıştır (Resim 2.1). Bu çizimler Wright Kardeşler'e ilham kaynağı olmuş, güvercinlerin uçuşlarıyla ilgili detaylı araştırmalarıyla da Vinci'nin çizimlerini geliştiren Wright kardeşler ilk uçağı 1903'te tamamlamıştır (Mazzoleni, 2013).



Resim 2.1. Leonardo Da Vinci'nin ornithopter tasarım eskizleri (URL-1)

19. yüzyıla gelindiğinde ise mühendislik ve diğer uygulamalı bilimlerde de doğa esinli gelişmeler görülmüştür. 1857’de Jean-Marie Le Bris, uzun bir yelken gezisinde bir albatrosun uçuşunu takip etmiş ve ilk biyo-esinli uçan makine olan “yapay albatros” u tasarlayarak inşa etmiştir. Yine 1950’lerde modern robotik çağının başlaması ile doğa esinli yaklaşımlar yükselişe geçmiştir. Bu kez, bilim insanları biyo-esinli cihazların geliştirildiği yeni bir mühendislik dalının kritik bir eşiğini tanımlamıştır. Zamanla robotlar, yaşayan organizmalara daha fazla benzer hale gelmiştir (Mazzoleni, 2013).

20. yüzyılda da gelişen teknoloji ve artan ekolojik söylemlerle birlikte, doğaya yönelen araştırmacıların sayısı artmaya başlamış ve bu konuda farklı kavramlar geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan biyomimikri kavramı, sıklıkla sürdürülebilirlik ile ilişkilendirilmektedir. Sözcüğün kökeni incelendiğinde, Yunanca “*bio*” hayat “*mimesis*” taklit etme kelimelerinden geldiği görülmektedir. Literatürde “Biyomimikri”; “Biyomimikri”, “Biyomimesis”, “Biyomimetik”, “Biyognosis” ve “Biyonik” terimleri ile aynı anlama gelecek şekilde kullanılsa da çalışma yapılan disiplinin özelliklerine göre nüanslar ve farklılaşan metodolojiler barındırmaktadır. Özünde, doğada bulunan bir fikir, form, oluşum ya da işleyiş mekanizmasını taklit ederek insan yapımı bir problemin çözümü için arayüz geliştirme sürecidir. Literatürde ise, daha sağlıklı daha sürdürülebilir bir dünya oluşturmak üzere “doğadaki tasarımın soyutlanması” ya da “doğanın tasarımlarını taklit eden yeni bir disiplin” (Lopez ve diğerleri, 2016) olarak tanımlanmıştır.

1950 yılında Amerikalı mühendis Otto Schmitt tarafından ortaya atılan “biyomimetik” kavramı insanlığın problemlerine doğanın yüzyıllardır test ettiği dokuları ve stratejileri inceleyerek sürdürülebilir çözümler arayan bir tasarım prensibi olarak tanımlanmıştır (Eggermont, 2007).

“Biyomimikri” terimi ilk olarak 1982 yılında bir doktora tezinde kullanılmış, daha sonra Benyus’un (1997) “*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (Biyomimikri: Doğadan İlham Alan Yenilik)” isimli kitabıyla popülerleşmiştir. Daha sonra bu konu hakkında, Biyoloji Bilimleri yazarı Janine Benyus, Biyoloji Profesörü Steven Vogel ve Biyomimetik Profesörü Julian Vincent gibi isimler tarafından üretilen yayınlar ile birlikte, biyomimikri üzerine yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Vincent (2001) “doğadaki iyi bir tasarımın soyutlanması” olarak tanımlarken, Pawlyn (2011) ise, biyomimikriyi, “sürdürülebilir çözümler üretmek için biyolojik formların, sistemlerin ve süreçlerin işlevsel esasını taklit

etme” olarak tanımlamıştır (Pawlyn, 2011). Benyus (1997) ise biyomimikriyi, “doğanın dehasının bilinçli olarak taklit edilmesi” olarak tanımlamıştır. Benyus’a göre “doğa”, neyin işe yaradığını, neyin uygun olduğunu ve Dünya üzerinde neyin yeteceğini bilir (Benyus, 1997). Doğa, yüksek verimli sistemleri ve süreçleri ile 3,8 milyar yıllık gelişim sürecinde atıklar, kaynak verimliliği ve günümüzde uğraşılan yönetim problemleriyle ilgili çözümler konusunda bir başucu kitabı konumundadır.

2005 yılında Bryony Schwan ve Janine Benyus ‘Biyomimikri Enstitüsü’nü kurmuştur. 2007 yılında Chris Allen, Benyus ve Schwan’e katılarak doğal çözümlerin listelendirildiği, doğal sistemlerin tasarım ve mühendisliğine göre sınıflandırıldığı koleksiyon sayesinde tasarımcıların araştırma yapabildiği ve dünyanın ilk dijital kütüphanesi olan “AskNature” platformunu oluşturmuştur (Radwan ve Osama, 2016).

Benyus (1997) doğanın 9 ana prensibi olduğunu ve bu prensiplerin biyomimikrinin uygulama sürecinde, öncelikle doğada örneğinin olup olmadığının anlaşılabilmesi için, araştırılması gereken özellikler olduğunu vurgulamıştır. Benyus’a (1997) göre bu prensipler şunlardır:

- Doğa gün ışığı ile çalışır (*nature runs on sunlight*).
- Doğa ihtiyacı olduğu kadar enerji kullanır (*nature uses only the energy it needs*).
- Doğa işlevin formuna uyar (*nature fits form to function*).
- Doğa her şeyi geri dönüştürür (*nature recycles everything*).
- Doğa işbirliğinin karşılığını verir (*nature rewards cooperation*).
- Doğa çeşitliliğe imkân verir (*nature banks on diversity*).
- Doğa yerel uzmanlığı talep eder (*nature demands local expertise*).
- Doğa fazlalıkları kendi içinde zapt eder (*nature curbs excesses from within*).
- Doğa sınırların gücünü kullanır (*nature taps the power of limits*).

Benyus’un (1997) açıkladığı doğanın prensiplerine benzer olarak Yeang (2008) ise, doğada var olan ekosistemlerin mevcut yaşamsal döngü ve özelliklerini başlıklar halinde sınıflandırmıştır:

- Yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı,
- Maddelerin geri dönüşümü,
- Yüksek yapısal çeşitlilik,

- Türler ve topluluklar arası bilgi ağı ve örgütlenme,
- Sistemik denetim,
- İşleve uygun biçim (Yeang, 2008:57-58).

Yeang'ın (2008) sınıflandırmasına göre, ekosistemlerin bu özellikleri sayesinde canlılar doğada yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeyi başarabilmiştir. Eğer doğadan öğrenilecek bir ders varsa öncelikli olarak burada sayılan yaşamsal döngü ve özellikler olmalıdır.

Doğada var olan ekosistemlerde, belirli bir alanda yaşayan canlı ve cansız varlıkların oluşturduğu sistem, her şey özümseyip sistemle yeniden bütünleştirildiği için atık diye bir kavram oluşmamaktadır. Ayrıca, ekosistemler yalnızca doğada serbestçe kullanılan ve bol miktarda bulunan bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisiyle çalışır ve bundan ötürü enerjinin verimli kullanımı mevcuttur. Doğanın ana kaynak olarak kullanıldığı biyomimikri yaklaşımında da, oluşturulacak tasarımlarda atık kavramı elenmeli, yapıları çevreler maddelerin sürekli yeniden kullanımı ve geri dönüşümü sağlanacak şekilde tasarlanarak mevcut güneş enerjisiyle işleyebilen bir hale getirilmelidir.

İnsan yapımı ürünlerde, biyomimikrinin kullanım düzeyi geçmişten günümüze farklı aşamalarda değişim göstermiştir. Bu konuda Benyus (1997) biyomimikri yaklaşımını doğanın kullanım düzeyine göre üç seviyede açıklamaktadır:

- Model olarak doğa (*nature as a model*): İnsanların problemleri çözmek için doğanın tasarımından ve süreçlerinden esinlenmesidir.
- Ölçü olarak doğa (*nature as a measure*): Yeniliklerin doğruluğunu sorgulamak için doğanın ekolojik bir standart ve/veya karşılaştırma ölçütü olarak belirlenmesidir.
- Akıl hocası olarak doğa (*nature as a mentor*): Doğadan ne görebildiğimiz değil ne öğrenebildiğimizdir ve doğayı gözlemlene ve değerlendirmenin yeni bir yoludur (Benyus, 1997).

İnsanlığın ilk zamanlarında doğayı gözlemleyen (*as a model*) ve deneyimler elde eden insanoğlu zamanla doğayı bir karşılaştırma ölçütü (*as a measure*) olarak kullanmaya başlamıştır. Benyus, doğadan esinlenmenin gelişim sürecinde insanoğlunun farklı disiplinlerde doğadan bir akıl hocası (*as a mentor*) olarak dersler almaya devam etmesiyle

önümüzdeki yıllarda “biyomimetik bir devrim” yaşanacağını öngörmüştür (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Zari (2007) biyomimetik teknolojilerde “organizma”, “davranış” ve “ekosistem” olmak üzere üç farklı biyomimikri düzeyi olduğunu iddia etmektedir. Organizma düzeyi, bitki ya da hayvan gibi belirli bir organizmanın bir kısmının ya da tamamının taklit edilmesidir. Davranış düzeyi, bir organizmanın nasıl davrandığı ve yaşam mücadelesinde ne tür ilişkilerde bulunduğu araştırılarak bunların taklit edilmesidir. Ekosistem düzeyi ise tüm ekosistemin ve bu sistemlerin başarılı bir şekilde işlev göstermesini sağlayan özelliklerin taklit edilmesidir. Bütün bu düzeyleri Zari (2007) bir tablo ile açıklamıştır (Çizelge 2.1). Bu tablo içerisinde, her düzeyde benzetime ilişkin beş farklı unsur bulunmaktadır. Bunlar; neye benzediği (biçim), neden yapıldığı (malzeme), nasıl yapıldığı (yapım), nasıl çalıştığı (süreç) ya da neler yapabildiği (fonksiyon) şeklinde ifade edilmiştir.

Çizelge 2.1. Biyomimikri uygulamasının sınırları (Zari, 2007)

Biyomimikri Düzeyi	Biyomimetik Unsur	Örnek: Termitleri taklit eden bir bina
Organizma Düzeyi (Belirli bir organizma takliti)	Biçim	Bina termite benziyor.
	Malzeme	Bina termite benzer bir malzemeden yapılıyor. Örneğin malzeme termitin dış kabuğunu taklit ediyor.
	İnşaat	Bina termite benzer bir yöntemle inşa ediliyor. Örneğin çeşitli büyüme dönemlerinden geçiyor.
	Süreç	Bina bir termit gibi çalışıyor. Örneğin genlerinin klonlanması sürecinde hidrojen üretiyor.
	Fonksiyon	Binanın fonksiyonları bir termite benziyor. Selüloz atığını dönüştürüyor ve gübre üretiyor.
Davranış Düzeyi (Bir organizmanın davranışı veya içeriğiyle ilgili takliti)	Biçim	Bina termitten yapılmış gibi görünüyor. Örneğin termit tepeciklerinin replikalarından oluşuyor.
	Malzeme	Bina termitin kullandığına benzer bir malzeme ile yapılmış. Örneğin sindirilmiş saf gübre temel malzeme olarak kullanılmış.
	İnşaat	Bina termitin inşa etmek için kullandığına benzer bir yöntemle inşa ediliyor. Örneğin belirli noktalardan belirli sayıda araziye bağlanmış.
	Süreç	Bina bir termit tepeciği gibi çalışıyor. Yönlenme, biçim, malzeme seçimi ve doğal havalandırma dikkatlice planlanmış veya bina termitlerin bir arada çalışmasını taklit ediyor.
	Fonksiyon	Binanın fonksiyonları bir termit tarafından yapılmış gibi. Örneğin iç mekân sabit bir ısıya sahip ve optimuma ayarlanmış.
Ekosistem Düzeyi (Bir ekosistemin takliti)	Biçim	Bina termitin içinde yaşadığı ekosisteme benziyor.
	Malzeme	Bina ekosistemle benzer bir malzemeden yapılıyor. Örneğin doğada kendiliğinden var olan bileşenler kullanılmış.
	İnşaat	Bina ekosistemdeki gibi bir araya getirilmiş. Örneğin zamanla artan bir karmaşıklık ve ilkeler dizisi var.
	Süreç	Bina ekosistem gibi işliyor. Örneğin enerjiyi tutuyor ve dönüştürüyor, suyu depoluyor.
	Fonksiyon	Binanın fonksiyonları ekosistemdeki fonksiyonlar gibi süreçler arasındaki ilişkiler ve biçimlere göre özelleştirilebiliyor. Örneğin bina ekosistemdeki hidroloji, karbon ve nitrojen gibi devinimlere katılabilir.

Bina - termit karşılaştırması üzerinden örneklendirilen bu sınıflandırmada her düzeye ilişkin örnekler verilmiştir. Biyomimikri düzeylerinin başlangıç seviyesi olan organizma düzeyinde, organizmanın benzetim unsurlarının herhangi biri (biçim/malzeme/inşaat/süreç/fonksiyon) taklit edilerek organizmadan esinlenilen bir tasarım oluşturulmaktadır. Bu konuda; yusuftuk böceğinin kanatlarından esinlenilerek tasarlanan helikopter pervaneleri organizma düzeyinde; ayçiçeği bitkisinin güneşe doğru yönelmesinden esinlenilerek oluşturulan hareketli fotovoltaiik güneş panelleri tasarımı davranış düzeyinde; ekosistemlerin özelliğinden esinlenilerek oluşturulan atık üretmeyen bir bina tasarımı ise ekosistem düzeyinde biyomimikri uygulamalarına örnek olarak verilebilir.

2.2.1. Biyomimetik tasarım yaklaşımları

Biyoloji günümüzde sadece kendi alanında değil başta tasarım olmak üzere birçok bilim dalında teknolojik gelişmelere ve yenilikçi yaklaşımlara ön ayak olmaktadır. Doğada gözlemlenen canlı ya da cansız organizmalar; ölçek, işlev ve oluşum süreçleri olarak, insan yapımı tasarımlardan farklı olmasına rağmen, birçok tasarım disiplinine esin kaynağı olmaktadır (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorgu, 2007).

Benyus (2004) PopTech Konferansında “Biyomimikri” adlı sunumu ile doğada teknolojinin gelişimini destekleyen 12 sürdürülebilir tasarım yönteminin bulunduğunu ifade etmiştir (URL-2):

1. Kendiliğinden oluşum (*Self assembly*): Bir organizmanın kendi gelişim sürecini yönlendirme yeteneği vardır.
2. Sudaki kimya (*Chemistry in water*): Aşırı sıcaklık veya sert kimyasala gerek kalmadan doğa normal çevre koşullarında tüm bileşiklerini üretir.
3. Güneş dönüşümleri (*Solar transformations*): Birçok organizma enerji emilimini maksimum düzeye çıkarmak için güneşe aktif olarak cevap verir.
4. Şeklin gücü (*The power of shape*): Doğa, kendi strüktürünü (bünyesini) oluşturmak için yapısal olarak etkin ve eğrisel (ortogonal olmayan) formlar kullanır.
5. Sistemler gibi malzemeler (*Materials as systems*): Doğa, malzemeleri ve belirli işlevler içeren bileşenleri fonksiyona karşılık gelen bir ölçeklendirme ile küçükten büyüğe doğru yapılandırır.

6. Yenilikçi bir makine gibi doğal seleksiyon (*Natural selection as an innovative engine*): Bir organizma üzerine etki eden çevresel güçler gelecek organizmaların gelişimine yön verecektir.
7. Malzeme geri dönüşümü (*Material recycling*): Doğa, yapıları oluştururken zehirli olmayan ve ömrünün sonunda tamamen geri dönüştürülebilir malzemeleri kullanır.
8. Gıda yetiştiren ekosistemler (*Ecosystems that grow food*): Doğada sistemler, çevresel kaynakların azalması gibi bir durum olmadan net üretim fazlalığına sahip olacak şekildedir.
9. Enerji tasarruflu hareket ve ulaşım (*Energy savvy movement and transport*): İç dolaşım ve hareket sistemleri, kendileri için küçük bir enerji yatırımını gerektirmeye adapte edilir.
10. Dayanıklılık ve iyileşme (*Resilience and healing*): Canlı organizmalar darbeleri emme yeteneğine sahiptir ve bir hasar meydana gelirse kendilerini onarabilirler.
11. Algılama ve cevap verme (*Sensing and responding*): Canlı organizmadaki bir dizi geribildirim sistemi, üzerine etki eden çeşitli çevresel faktörleri algılamasına ve bunlara uygun bir şekilde karşılık vermesine imkân verir.
12. Yaşam, yaşamın döngüsüne yardım eden koşullar yaratır (*Life creates conditions conducive to life*): Büyüme ve beslenmenin atık ürünleri ve çeşitli yan ürünleri diğer organizmaların gelişimi için faydalı olan malzemeleri oluşturur. (URL-2)

Biyomimetik yaklaşımın uygulandığı tasarımlarda yukarıda sıralanan 12 sürdürülebilir tasarım yönteminin sorgulanarak tasarımın sürdürülebilirliğinin değerlendirilebilmesi mümkündür. Bunun yanında doğadan esinlenilen fikirlerin tasarımı hangi ölçüde etkilediği sorusunun cevabına ulaşmada bu parametrelerden yararlanılabilir. Ayrıca, bir tasarımın erken evrelerinde söz konusu 12 sürdürülebilir tasarım yöntemi kullanılarak tasarımın daha ileri düzeyde sürdürülebilir olmasına katkı sağlanabileceğini söylemek mümkündür.

Biyomimikrinin tasarıma uygulanması sürecinde araştırmacılar, sorun odaklı yaklaşım ve çözüm odaklı yaklaşım olmak üzere iki temel yaklaşım ortaya koymuştur.

Sorun odaklı yaklaşım (Tasarımdan biyolojiye)

Sorun odaklı yaklaşım (tasarımdan biyolojiye), biyolojiden esinlenmenin birkaç adımın izlenmesi yoluyla oluşturulmasıdır. Bu adımlar, geri bildirimin yanı sıra döngüde

iyileştirme (*refinement*) sağlamaktadır. Bu yaklaşımda tasarımcılar sorunun tanımlanması yoluyla çözüm ararken biyologlar da sorunu benzer bir sorun çözmüş olan organizma ile eşleştirerek çözüm yöntemini araştırmaktadır. Sorun odaklı yaklaşım hedeflerin ve tasarım sınırlarının belirlenmesine dayanmaktadır (Radwan ve Osama, 2016).

Bu yöntem, Panchuk (2006) tarafından “dolaysız yaklaşım (*direct approach*)” ile Zari (2007) tarafından “biyolojiye bakan tasarım (*design looking to biology*)” olarak tanımlanmakta ve bir ihtiyacın ya da tasarım probleminin tanımlanması ve çözüm için doğadaki organizma ya da ekosistemlerin incelenmesi anlamında kullanılmaktadır.

Badarnah (2009) bu kategoriye, “*challenge to biology*” adı altında, bir insan ihtiyacının veya bir tasarım probleminin tanımında diğer organizmaların ya da ekosistemlerin bunu çözme şekillerine bakmak olarak tanımlamıştır. Macnab (2012) ise, aşağıdaki adımları içeren “*challenge to biology*” (Şekil 2.2) Biyomimikri Tasarım Spiralini tanımlamıştır.



Şekil 2.2. Sorun odaklı yaklaşım tasarım spirali - Tasarımdan biyolojiye (*challenge to biology*) (Macnab, 2012)

“*Challenge to biology*” tasarım spiralinde; Belirleme - Tanımlama - Yorumlama - Keşfetme - Soyutlama - Benzetme - Değerlendirme şeklinde 7 adım bulunmaktadır. Bu tasarım yönteminde öncelikle tasarım için sorular sorulur ve sorunların tanımlaması yapılır. Sorunun doğada ne şekilde ortaya çıktığı araştırılır ve çözümü için doğada bulunan

modellere bakılır. Tasarım prensipleri soyutlanarak doğanın stratejileri tasarımda benzetim yoluyla değerlendirilir.

Çözüm odaklı yaklaşım (Biyolojiden tasarıma)

Çözüm odaklı yaklaşım (biyolojiden tasarıma), “biyoloji etkili tasarım (*effective design of biology*)”, “aşağıdan yukarıya doğru bir yaklaşım (*a bottom-up approach*)” ve “biyolojik ilhamlı tasarım (*biologically inspired design*)” şeklinde farklı isimlerle ifade edilmektedir. Tasarım süreci, insani tasarım sorunlarının yerine biyolog ve bilim adamlarının bilimsel bilgisine bağlı olduğunda bu yaklaşım kullanılmaktadır. Örneğin, nilüfer çiçeğinin bataklık suyunda temiz kalan yüzeyinin bilimsel analizi birçok yeni tasarımla sonuçlanmıştır (Radwan ve Osama, 2016). Aynı zamanda bu yaklaşımı, Panchuk (2006) “dolaylı yaklaşım (*indirect approach*)” Zari ise (2007) “tasarımı etkileyen biyoloji (*biology influencing design*)” olarak tanımlamakta olup; bir organizma ya da bir ekosistemin belirli karakteristik davranışın ya da işleyişin incelenerek, elde edilen verilerin tasarımda uygulanması olarak tariflenmektedir. Her iki biyomimikri yaklaşımının da kullanıldığı örnekler incelendiğinde, bu yaklaşımların tasarım alanında yeniliklerle sonuçlandığını söylemek mümkündür. Badarnah (2009) bu kategoriyi, “*biology to design*”, bir organizmanın veya bir ekosistemin belirli karakteristik davranış veya fonksiyonunu tanımlamak ve bunu insan tasarımlarına dönüştürmek olarak tanımlamıştır. Macnab (2012) ise, aşağıdaki adımları içeren “*biology to design*” (Şekil 2.3) Biyomimikri Tasarım Spiralini tanımlamıştır.



Şekil 2.3. Çözüm odaklı yaklaşım tasarım spirali - Biyolojiden tasarıma (*biology to design*) (Macnab, 2012)

“*Biology to design*” tasarım spiralinde; Keşfetme - Soyutlama - Beyin Fırtınası - Benzetme - Değerlendirme şeklinde 5 adım bulunmaktadır. Bu tasarım yönteminde öncelikle doğada bulunan modeller keşfedilir ve tasarım prensiplerine uygun bir şekilde soyutlanır. Ardından doğanın stratejilerinden benzetim yapılarak tasarımla birlikte değerlendirilir.

Biyomimikri tasarım spirallerindeki adımlar aşağıda tanımlanmıştır (Macnab, 2012):

- **Tanımlama:** İhtiyaç için bir tasarım özeti hazırlanır ve temel sorunlar tanımlanır. Bunun için öncelikle “Ne tasarlamak istiyorum?” sorusu değil, “Tasarımın ne yapmasını istiyorum?” sorusu sorulmalıdır. Ardından tanımlanan sorunlara ilişkin “Soruna kimler katılıyor ve kim çözümle ilgilenecek? Sorun nerede olacak ve herhangi bir çözüm uygulanmalı mı?” gibi sorulara cevaplar aranmalıdır.
- **Yorumlama:** Sorun biyolojik olarak incelenir ve sorular doğanın perspektifinden sorulur. “Doğa bu işlevi nasıl yapıyor? Doğa aynı prensiplerle nasıl ilişki kurar?” gibi sorular yöneltilerek tasarım ve sorunları yorumlanmalıdır.
- **Keşfetme:** Bu sorunun cevabını bulan doğal süreçlere ve organizmalara bakılarak soruların cevaplanması için en iyi doğal modeller bulunur. Doğada aynı sorunla en çok karşılaşan organizmalar bulunarak bu sorunla birlikte en başarılı şekilde hayatta kalabilen organizmalar seçilmelidir. Sorun çözümünde edebi ve mecazi çözümler düşünülmeli, konu hakkında biyolog ve uzmanlarla açık tartışmalar yapılmalıdır.
- **Soyutlama:** Doğada başarıyı elde eden, yinelenen kalıplar ve süreçler bulunur. Başarıyı elde eden benzer tasarımların yaşam stratejileri sınıflandırılmalıdır. Organizmaları sınıflandırmak ve tanımlamak için hiyerarşik sistem kullanılır. Tasarıma en uygun stratejiler ve organizmaları seçilir.
- **Benzetme:** Doğal modellere dayalı fikir ve çözümler geliştirilir. Doğadan alınan derslerin (form, işlev veya süreç) tasarımlarda taklit edilebilmesi için öncelikle gerekli deneylerle uygulaması yapılmalıdır. Organizmadaki form ve sürecin etkinliği üzerinde etkili olan faktörler araştırılarak süreç veya ekosistemin de taklit edilebilmesine ilişkin yollar düşünülmelidir.
- **Değerlendirme:** Geliştirilen fikirler doğanın başarılı prensipleriyle karşılaştırılır. Hayatın prensiplerinden uygun sorular geliştirilerek soru sormaya devam edilmelidir. Sorular konseptin geliştirilmesi veya geleceği hakkında olabilir. Tasarımın geliştirilmesi ve yeni soruların sorulması için ek yollar tanımlanmalıdır.

Bu adımların hepsi bütün tasarımlara uygun olmayabilir, ancak bu adımlar ile, doğanın geri bildirim döngüleriyle nasıl çalıştığı, sürekli öğrenme ve adapte olma durumunda olduğu görülerek yapılacak olan tasarımda nasıl bir yol izlenmesi gerektiği belirlenmelidir.

“*Challenge to biology*” ve “*Biology to design*” yaklaşımlarına doğanın çalışma prensiplerinden esinlenilen farklı problem çözümleri örnek verilerek Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3 oluşturulmuştur.

Çizelge 2.2. Çözüm odaklı yaklaşım örnekleri - Biyolojiden tasarıma (*biology to design*) (URL-3)

Doğanın Çalışma Prensipleri	Bu Prensiplerin Doğadaki Kullanım Örnekleri	Doğada bulunan Örneklerin Bir Problem Çözümünde Kullanımı
<i>Doğa güneş ışığıyla çalışır.</i>	Yapraklar güneş ışığını fotosentez için kullanır.	Temiz yanan yakıtların içindeki suyun ayrışmasında bitkilerin güneş ışığını nasıl işlediği taklit edilmektedir. Bu, enerji üretiminin sebep olduğu kirlilik sorununu ortadan kaldırmaktadır.
<i>Doğa ihtiyacı olduğu kadar enerji kullanır.</i>	Yapraklar ağaçtan düşer ve ağaç için besin maddesine dönüşür.	Bir işletmede geri dönüşüm fabrikasının atık üreten fabrikanın yakınında yer alması atığın taşınma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.
<i>Doğa sınırların gücünü gösterir.</i>	Belirli bir çevredeki bitkiler bu bölgenin sıcaklık aralığında gelişir.	Mimar bir tasarım yaparken o bölgedeki doğanın sınırlarını kullanır. Örneğin, tasarımın içinde bulunacağı bölgenin iklim koşullarına göre bir bina tasarlar. Bu da yapı malzemesinin verimli kullanımıyla sonuçlanmaktadır.

Çizelge 2.3. Sorun odaklı yaklaşım örnekleri - Tasarımdan biyolojiye (*challenge to biology*) (URL-3)

Bir Problemin Tanımlanması	Problemin Doğadan Örneklerle Karşılaştırılması	Doğadaki Örneklerin Problemin Çözümünde Kullanımı
<i>Enerji üretiminin sebep olduğu kirlilik sorunu nasıl ortadan kaldırılabılır?</i>	Yapraklar fotosentez yaparken karbondioksit ve su sentezinde güneş ışığını kullanır.	Bitkilerin güneş ışığını nasıl işlediği taklit edilerek yakıtların içindeki suyun ayrıştırılmasıyla enerji üretiminin sebep olduğu kirlilik sorunu ortadan kaldırılmaktadır.
<i>Bir işletmede atığın taşınma ihtiyacı nasıl ortadan kaldırılabılır?</i>	Yapraklar ağaçtan düşerek ağaç için besin maddesine dönüşür. Bu da doğanın ihtiyacı olduğu kadar enerji kullanmasını sağlar.	Yaprakların ağacın yakınına düşmesi taklit edilerek bir işletmede geri dönüşüm fabrikasının atık üreten fabrikanın yakınında yer almasıyla atığın taşınma ihtiyacı ortadan kaldırılmaktadır.
<i>Bir bina tasarlarken yapı malzemesi nasıl verimli kullanılabilir?</i>	Örneğin ılımlı iklimde yetişen bitkilerin gelişmesi için bu bölgenin sıcaklık aralığı yeterlidir.	Bitkilerin belirli sıcaklık aralığında gelişmesi taklit edilerek ılımlı iklimin sıcaklık koşullarına göre yeterli miktarda malzeme kullanılarak bir bina tasarlanır ve böylece yapı malzemesinin verimli kullanımı sağlanmaktadır.

Çizelgelerde verilen örnekler iki yaklaşım modeli için de açıklanarak biyomimetik tasarım yaklaşımlarının nasıl bir yöntemle uygulanacağı gösterilmiştir. İki yaklaşımın da amacı ve sonucu aynıdır ancak başlangıçta biri soruna odaklanırken diğeri çözüme odaklanmıştır. Öncelikle yapılacak olan tasarımlarda çözülmesi gereken bir problem varsa ona odaklanılır ve tasarımdan biyolojiye yaklaşımı uygulanır veya herhangi bir problem olmadan doğanın bir işleyiş mekanizması örnek alınır ve biyolojiden tasarıma yaklaşımı uygulanır. Biyomimetik yaklaşımın uygulandığı tasarımlarda biyomimetik yenilikler ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan biyomimetik yenilikler ise farklı alanlarda yeniden kullanılarak birçok problemin çözüme ulaşmasını sağlamaktadır.

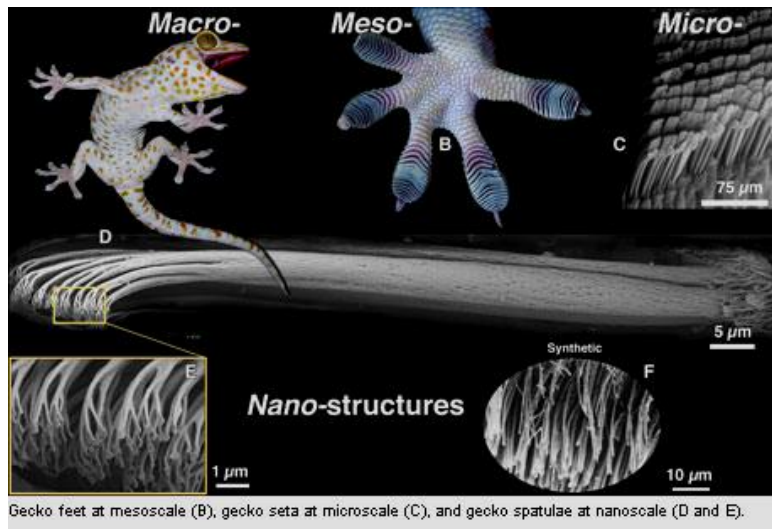
2.2.2. Biyomimetik yenilikler

21. yüzyılın gelişen teknolojisi doğrultusunda biyomimetik yenilikler birçok alanda hızla yerini almaktadır. Örneğin; termitlerin yaşamsal faaliyetlerinden ilham alınarak enerji tasarrufu yapılması, yaprakların fotosentez yapma özelliğinden esinlenerek güneş panellerinin oluşturulması, köpek balığı derisinin kir tutmama özelliğinden yola çıkılarak hijyenik yer ve duvar kaplamaları üretilmektedir. Bu örnekler doğanın birçok alanda bir model olduğunu açıklamaktadır.

Biyomimetik yenilikler; malzeme alanında, form arayışlarında, strüktür tasarımında görülen biyomimetik yenilikler ve işlevsel amaçlı biyomimetik yenilikler olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırılabilir:

Malzeme alanında görülen biyomimetik yenilikler

Biyomimetik yenilikler birçok bilim dalında olduğu gibi malzeme biliminde de karşımıza çıkmaktadır. Doğada bulunan canlıların yüzeyleri, nanometrelerden mikrometrelere kadar değişen boyutlarda hiyerarşik yapılarla karakterize edilir. Canlıların yüzeylerindeki hiyerarşik yapıların bilgisinden esinlenilerek yenilikçi materyaller oluşturan bilimin adı nanoteknolojidir. Bir nanometre (nm) metrenin milyarda biri, milimetrenin de milyonda biri kadar bir uzunluktur (Şekil 2.4) (URL-5).



Şekil 2.4. Gekonun ve parmak uçlarının makro, mezo, mikro ve nano ölçeğinde gösterimi (URL-4)

Nanoteknoloji; atomların ve moleküllerin en küçük birimlerini ifade etmek ve maddeyi atomik boyutu ile kontrol etmek amacı ile kullanılmaktadır. Eğer doğadaki atomik dizilim taklit edilebilir ya da kopyalanabilirse atomlar hareket ettirilebilecek ve böylece birçok farklı madde oluşumları sağlanabilecektir. Günümüzde fizik, kimya, biyoloji, bilgisayar, malzeme bilimi, elektronik ve tıp gibi alanlarda oldukça çarpıcı gelişmelere imkân sağlamaktadır (URL-5).

Shimomura (2010), nilüfer yapraklarını taklit eden süper su tutmaz yüzey malzemeleri, gecko parmaklarını taklit eden yapıştırıcıları ve morpho keleklerinden esinlenen fotonik materyalleri “yeni nesil biyoloji ilhamlı materyaller” olarak ifade etmektedir (Shimomura, 2010).

Lotus bitkisi (nilüfer çiçeği) çamurlu yerde yetişmesine rağmen yaprakları her zaman temizdir. Üzerinde toz barındırmaz. Bu yapraklar, birbirinden küçük yumrucuklarla kaplı olmasının yanı sıra bütün yüzeyi hidroforik tabaka ile örtülüdür. Yüzeydeki kirler su damlacığının yüzeyine yapışır ve onunla birlikte yuvarlanarak yüzeyi terk eder (Resim 2.2).

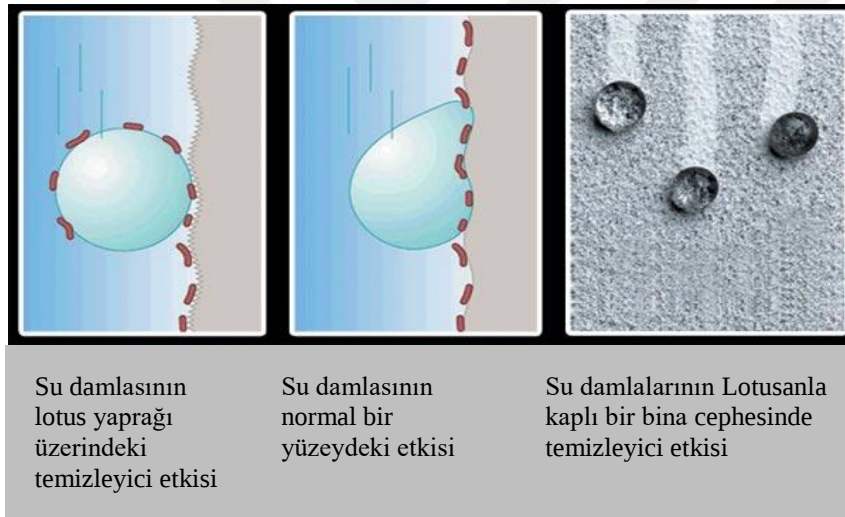


Resim 2.2. Lotus bitkisi (Nilüfer çiçeği) ve süperhidroforik yüzeyi (URL-6)

1990’lı yılların başında Profesör Wilhelm Barthlott (Bonn Üniversitesi), lotus yapraklarının yüzeyinde, balmumu benzeri bileşiklerin süper hidroforik özellik üreten ve kendi kendini temizleyen bir etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Nilüfer yapraklarının yüzeyinde birkaç mikrometre boyutunda olan her bir çıkıntının üzerinde balmumu benzeri mikro kristallerin çıkıntıları oluşur. Bu hiyerarşik yapıya sahip fraktal dalgalı yapı, lotus yapraklarının yüzeyine süper hidroforik özellik sağlamaktadır. Yüzey mikro yapısı,

hidrofobikliğe yol açarak Lotus-Effect® (Bonn Üniversitesi'nin bir ticari markası) olarak adlandırılan bir temizleme etkisiyle sonuçlanmaktadır (Şekil 2.5) (Shimomura, 2010).

Süper hidrofobik yüzey, bir damla suyun bir küre oluşturduğu yüzeydir ve su damlasının yuvarlanmasını sağlamak için hafif bir eğim yeterlidir. Yüksek su temas açısı, düşük kayma açısı ve yüzeyin su damlacıklarından ayrılma yeteneği, süper hidrofobik bir yüzeyin olması gereken üç özelliğini oluşturur. Bu yüzeyler yapışmayı ve kirlenmeyi önleyebilme ve kendi kendini temizleyebilme gibi özellikler barındırmaktadır. Doğada süper hidrofobik özelliği bulunan canlılar ve yüzeylere örnek olarak; nilüfer yaprakları, pirinç yaprakları, kelebek kanatları, sivrisinek gözleri, güve gözleri, ağustosböceği kanatları, kırmızı gül yaprakları, kertenkele ayakları, çöl böceği, örümcek ağı ve balık pulları gibi yüzeyler sıralanabilir (Latthe ve diğerleri, 2012).



Şekil 2.5. Su damlasının lotusan yaprağı üzerindeki hareketi (URL-6)

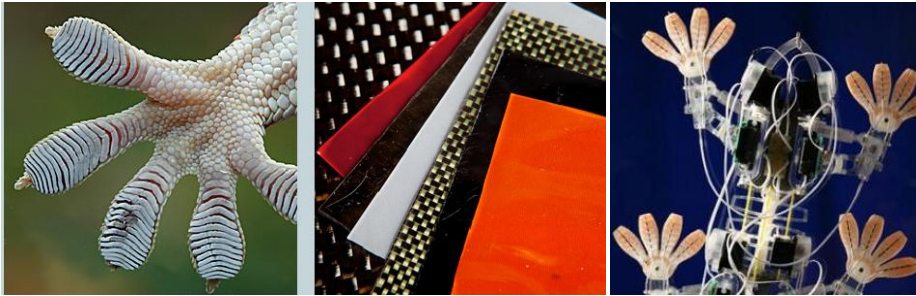
Lotusan doğadan ilham alınarak tasarlanmış yenilikçi biyomimetik bir tasarımıdır. Bonn Üniversitesi birkaç firma ile birlikte bir araştırma yapmış ve Lotusan adını verdiği içinde hidrofobik silika gibi nanopartiküllerin bulunduğu yapışkan bir film olan boyayı tasarlamıştır. Bu buluşu en etkili biyomimetik tasarımlardan biri olarak kılan özellik inovasyonun biyoloji-bilim-endüstri üçlüsünün işbirliği ile yapılmış olmasıdır (Shimomura, 2010).

Süper hidrofobik kaplama; otomotiv endüstrisinde, araba camlarının iç yüzeyinde buğulanmanın oluşmasını önlemek amacıyla, sağlık sektöründe, uzun süren dayanıklılıkları

ve antibakteriyel özellikleri sayesinde, cerrahi aletlerde kullanılmaktadır. Ayrıca, Lotus bitkisinin yüzeyindeki dizilişe benzer bir düzenlemeyle elde edilecek süper hidrofobik yüzeyler mimaride kullanılarak binaların dış cephe duvarlarının her zaman temiz kalmaları sağlanabilmektedir (Özgür ve diğerleri, 2007).

Malzeme alanında görülen biyomimetik yenilikler yalnızca hidrofobik yüzeyin keşfiyle kalmamıştır. Örneğin, kelebek kanatlarının fotonik yapıları güneş pillerinin daha etkili üretilmesine ilham kaynağı olmuştur. Ayrıca kelebek kanatlarının anatomik çeşitliliği birçok disiplinde teşvik edilen biyomimetik araştırmaların odağı haline gelmiştir (Parker ve Ingram, 2008).

Bir gekonun parmak uçlarının yapıştırıcı kuvveti, yapışkan içermeyen bir yapıştırma malzemesi olan “Geko Bant” tasarımına ilham kaynağı olmuştur. Yapılan araştırmalar sonrasında “Geckskin” kaplamalı kumaşlar ve duvarlar boyunca hareket edebilen bir “Geko byte” robot geliştirilmiştir (Resim 2.3). Günümüzde bu tür bir robotun pratik kullanımına yönelik çalışmalar devam etmektedir (Shimomura, 2010).



(a)

(b)

Resim 2.3. (a) Gekonun yapışkan parmak ucu ve Geckskin kaplamalı kumaş (URL-7)
(b) Geko byte robot (URL-8)

Günümüzde oluşan çevre sorunlarına da doğadan ilham alınarak çeşitli önlemler geliştirilebilir. Karbon salınımına karşı karbonla beslenen mercanları taklit eden yapı malzemeleri üretilerek önemli bir çevre sorunu malzeme alanında biyomimetik bir yenilikle ortadan kaldırılabilir. Bütün yenilikçi malzemelerin ortak yararı çok fonksiyonlu olmasıdır. Geleneksel malzemelerin her birinde bir fonksiyon varken biyomimetik malzemelerin fonksiyon sayısı artmaktadır. Günümüzde malzeme alanında görülen biyomimetik yeniliklere ilişkin gelişmeler hızla devam etmektedir.

Form arayışlarında görülen biyomimetik yenilikler

Doğada var olan formlar birçok bilim insanına ilham kaynağı olmuştur. İnsanların doğadan örnek alarak yaptığı formlar genellikle bir probleme yönelik işlevsel ve uzun vadede kalıcı olmuştur. Forma yönelik doğadaki arayışlar birçok disiplinde devam etmektedir.

Form arayışlarında görülen biyomimetik yeniliklere örnek olarak Japon hızlı treninin form arayışı karşımıza çıkmaktadır. Japon hızlı treni olan Shinkansen 500 treninin tasarımında karşılaşılan problem, trenin hızı sebebiyle tünelde oluşacak yüksek gürültü seviyesi olmuştur. Tasarımda karşılaşılan probleme yönelik trenin başmühendisi ve aynı zamanda bir kuş gözlemcisi olan Eiji Nakatsu “Doğada iki farklı ortam arasında çok hızlı ve düzgün bir biçimde hareket edebilen ne var?” sorusunu sorarak problemin çözümünü Yalıçapkını kuşunda (*Alcedo atthis*) bulmuştur (URL-9).

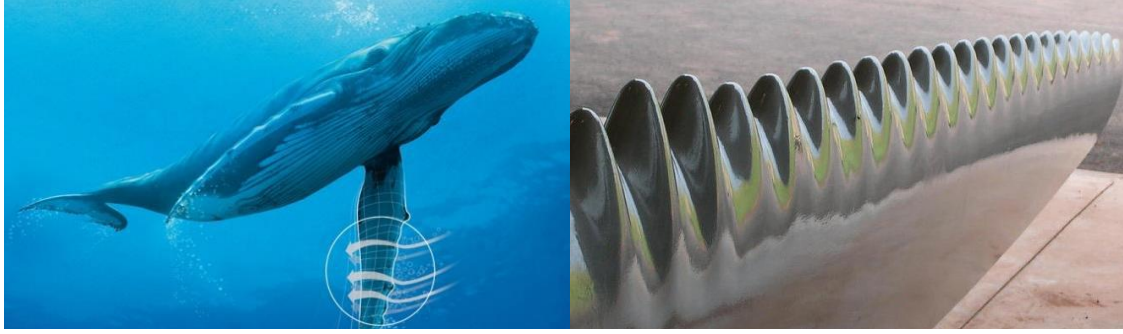
Yalıçapkını kuşunun uzun gagasıyla havayı konik biçimde delmesi trenin uç kısmına model olmuştur (Resim 2.4). Bu form trenin tünele girip tünelden çıkarken başarılı bir şekilde hava direncini değiştirmesini sağlamıştır. Hava direncinin değişmesi ise tünellerdeki ses sorununu ortadan kaldırarak rüzgârdan kaynaklanan sürtünmeyi %30 oranında azaltmış, enerji kullanımını %13 oranında düşürmüştü ve hızı yaklaşık %10 oranında artırmıştır (URL-9).



Resim 2.4. Shinkansen hızlı treni ve ilham kaynağı Yalıçapkını kuşu (URL-9)

Form arayışlarında görülen biyomimetik yeniliğe ikinci bir örnek de Kambur balinaların yüzgeçlerinden esinlenilen rüzgâr türbinleri kanatlarıdır. Kambur balinalar, 14-15 m uzunluğunda ve 30-40 ton ağırlığında olmalarına rağmen balinalar arasında en çevik ve akrobatik türlerden biri olarak bilinmektedir. Diğer balina türlerinden farklı olarak

yüzgeçlerinde bulunan tümsekler suyun direncini %32 oranında azaltırken kaldırma gücünü de %8 oranında artırarak balinaların suda daha rahat yüzmesini sağlamaktadır (Resim 2.5) (URL-10).



Resim 2.5. Kambur balina ve çıkıntılı yüzgeci (URL-10)

Frank Fiso ve Stephen Dewar Kambur balinalardan öğrenilen derslerle insan yapımı sistemlerin verimini artırmak için WhalePower adlı bir şirket kurarak rüzgâr türbinlerinin tasarımına uygulamıştır. Rüzgâr tüneline test edilen tüberküllü (çıkıntılı) kanadın tepeciklerin arasında oluşan hava akımları sayesinde, kanadın daha az dirence maruz kaldığı ve havanın kaldırma kuvvetinden daha fazla yararlandığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar klasik modellerle karşılaştırıldığında tüberküllü kanadın daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, tüberkül teknolojisine dayanan fanların %25 daha fazla hava taşıdığı ve aynı hızda dönen geleneksel bıçaklara sahip fanlardan yüzde %5 daha az güç tükettiği anlaşılmıştır. Bu doğal teknoloji aynı zamanda uçakların ve fanların güvenliğini ve performansını geliştirmek için potansiyel barındırmaktadır (URL-11).

Doğada bulunan bir formun biyomimetik bir yeniliğe dönüştürülmesi o formun fonksiyonel bir özelliğinin bulunduğunu kanıtlamaktadır. Biyomimikrinin form arayışlarında görülen örnekleri incelendiğinde doğadaki canlıların formunun işlevsel bir süreçle alakalı olduğu görülmüştür. Bu çerçevede biyomimetik bilim ile canlı organizmaların yalnızca formu değil formla birlikte fonksiyona ilişkin özellikleri de sistematik ve bilimsel bir yöntemle araştırılmaktadır. Böylece form arayışlarında görülen biyomimetik yenilikler birçok işlevsel soruna da çözüm olabilmektedir.

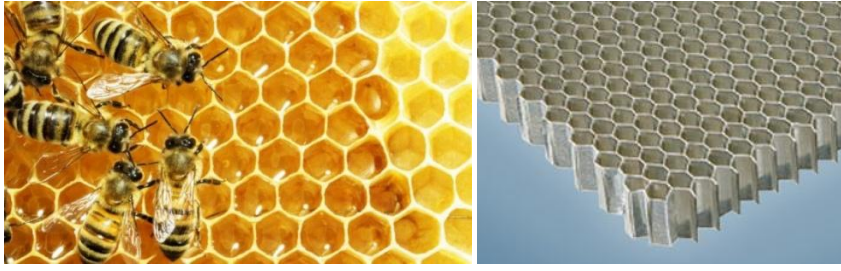
Strüktür tasarımında görülen biyomimetik yenilikler

Strüktür tasarımında doğada bulunan strüktürlerden ilham alınması biyomimetik bir yenilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bal peteği strüktürü, sinek kanadı yapısı, Yusufçuk böceği kanatları strüktür tasarımında doğadan esinlenen canlı yapılara örnektir.

Doğada bulunan canlı ve cansız varlıklar insan yapımı yapılarda olduğu gibi yük taşıma kapasitesine sahiptir ve her varlıkta bir strüktür yapısı mevcuttur. Doğada bulunan yapılar tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Tek boyutlu doğal yapılar genellikle hafif elementlerdir. Bunlara; gerilmeli lifler, kaslar, bağırsaklar, kuş tüyleri ve kemikler örnek olarak verilebilir. Ayrıca, hücreler, deriler, bağırsaklar ve örümcek ağları; iki boyutlu membranlar olarak düşünülebilir. Gerilmeli veya membran kabuk özelliklerine sahip dayanıklı yapılar ile böceklerin, yarasaların, kuşların vb. kanatları gibi yüzeysel elemanlar iki boyutludur. Ancak canlı doğada çoğu yapı üç boyutludur. Bunlar arasında özellikle hücreler, organlar, içi boş kabuklar bulunmaktadır. Ağaçların strese ve bükülmeye dayanıklı iskelet sistemleri, çalılar ve kemik içindeki kıkırdak vb. yapılar üç boyutlu yapılara örnek verilebilir (Arslan ve Gönenç Sorguç, 2004).

Bal peteğinin strüktürel dayanımı birçok yenilikçi strüktür tasarımına ilham kaynağı olmuştur. Bal peteği yapısı taklit edilerek mimaride, havacılık ve diğer endüstri dallarında kullanılmaktadır. Petek yapısı altıgenlerin birleşiminden oluşur ve bu şekilde oluşan strüktür diğer geometrik yapılara ve malzemelere göre çok düşük ağırlığa ve yüksek dayanıma sahip olmaktadır.

Bal peteği sandviç yapısı kompozit endüstrisinin önemli yapısal mühendislik buluşlarından biridir (Resim 2.6). Bal peteği sandviç kompozit malzemede petek hücreleri sandviç panel yüzeylerine düzenli ve kuvvetlendirilmiş destek vermektedir. Petek-yüzey tabakalar arası kullanılan yapıştırıcı, her iki elemanı kuvvetli bir şekilde bağlayarak bir bütün olarak hareket etmesini sağlamaktadır. Sonuçta yüksek burulma ve eğilme dayancı oluşmaktadır. Bu sistem havacılık ve diğer endüstri dallarında yoğunlukla kullanılmaktadır (Bekem ve diğerleri, 2011).



(a)

(b)

Resim 2.6. (a) Bal peteği (URL-12)

(b) Bal peteği sandviç kompozit malzeme (Bekem ve diğerleri, 2011)

Bir başka örnek olarak deniz kabuğunun yapısal dayanımı strüktür tasarımında birçok yeniliğe ilham kaynağı olmuştur. Deniz kabuklarının kalsiyum karbonat kristali içerikli sedef yapısı taklit edilerek elde edilen nano ölçekli sentetik kompozit yapı malzemeleri, hafif fakat sağlam askeri araç ve uçak zırhlarının yapımında, inşaat sektöründe, havacılık ve uzay taşımacılığı uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca deniz kabuğunun kıvrımlı yapısı mimarlık ve mühendislik problemi olan yapısal dayanımı kuvvetlendirmede birçok tasarımcıya ilham kaynağı olmuştur (Resim 2.7) (URL-13).



Resim 2.7. Deniz kabuğunun kıvrımlı yapısı (URL-13)

Abalone (denizkulağı) deniz canlısının kabukları insanlar tarafından üretilen seramiklere göre çok daha dayanıklı ve yük altında kararlı bir yapı sergilediği yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Doğal abalone sedefinin sert ve yumuşak yapısını taklit etme çabası içinde olan, Sandia National Labs'de Jeff Brinker, bir montaj yaklaşımı geliştirmiştir. Tek bir adımda yüzlerce farklı katmana inorganik ve organik yapı taşları düzenleyerek abalone kabuğunu taklit etmeyi başarmıştır (URL-14).

Abalone, salyangoz ve midye gibi yumuşakça kabukları laminat kompozit yapısına sahiptir. Kalsiyum karbonat, aragonit tabakası ve çeşitli proteinleri içeren canlı dokudan meydana gelirler. Burada, aragonit tabakası yük için gereken mukavemeti sağlarken, canlı doku da yapıya esneklik sağlamaktadır. Abalone kabuklarından hafif ancak kırılmaya karşı dirençli olması gereken sert malzemeler üretebilmek için esinlenilmektedir. Abalone kabuğundan ilham alarak kabuğun içeriğinde bulunan polimerler yardımıyla gözenekli seramikler güçlendirilmektedir (URL-15).

Araştırmalarda görüldüğü gibi doğada bulunan strüktürlerden makro ve nano ölçekte birçok alanda esinlenilmektedir. Özellikle strüktürün önem kazandığı mimarlık ve mühendislik disiplinlerinde yaygın olarak doğadaki strüktürler taklit edilmektedir.

İşlevsel amaçlı biyomimetik yenilikler

Doğadan öğrenilen dersler birçok alanda işlevsel amaçlı kullanılmaktadır. Örneğin bir canlı sisteminin işleyiş mekanizması veya canlının yaşadığı çevreye olan etkilerinin sonuçları işlevsel amaçlı biyomimetik yeniliklere ön ayak olmaktadır.

Pıtrak bitkisi olarak bilinen Dulavrat otunun tüylü yüzeylere tutunma özelliğinden esinlenilerek üretilen Velcro bantlar, işlevsel amaçlı biyomimetik bir yeniliktir. İsviçreli mühendis George de Mestral, 1948 yılında Dulavrat otunun köpeğinin tüylerine yapıştığını fark etmesi ve onları bir büyüteç ile incelemesi sonucunda bitkinin dikenleri, Velcroya ilham kaynağı olmuştur (Resim 2.8). Bu esinlenme günümüzde birçok alanda kullanılan Velcronun diğer bir adıyla cırt cırt bantın icat edilmesini sağlamıştır (Pawlyn, 2011).



Resim 2.8. Pıtrak bitkisi ve Velcro bant (URL-16)

Velcro bant, iki farklı yüzey barındırmaktadır. Bir yüzeyinde minik plastik iğneleri olan bir bant ve diğer yüzeyinde ise tüylü bir banttan oluşmaktadır. Bu iki yüzey birbirine kolayca yapışabilmekte ve ayrılabilir. Velcro bantlar ayakkabı bağcığından düğmeye kadar birçok şeyin yerine kullanılabilir. Ayrıca astronotların kıyafetleri de velcro bantlar ile üretilmektedir (URL-16).

Bir başka işlevsel amaçlı biyomimetik yenilik örneği, fotovoltaik güneş panelleri, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır (Resim 2.9). Bu cihazların çalışma sürecinde yaprakların işleyiş mekanizması örnek alınmıştır. Güneş panellerinin elektrik akımı oluşturma sürecinde öncelikle güneş ışığındaki fotonlar panel içerisindeki yarı iletken malzemeler tarafından soğurulmaktadır. Fotonlar tarafından uyarılan elektronlar ya doğrudan ısı enerjisi yayabilmekte ya da bir elektroda ulaşana kadar panel içerisinde hareket ederek bir elektrik akımı oluşturabilmektedir (URL-17).



Resim 2.9. (a) Fotovoltaik güneş panelleri (URL-17) (b) Yaprak (URL-18)

Ayrıca, yapraklar yoğun ultraviyole ışınlar maruz kaldıklarında gördükleri zararı, zarar gören hücrelerin yerine sürekli yenilerini üreterek onarmaktadır. Yaprakların bu işlevsel sürecinden esinlenilerek tasarlanan yapay yaprak benzeri fotovoltaik güneş panelleri, özel proteinleri, bakteri ve suyu kullanarak kendilerini onarabilmektedir (Ekici, 2013).

Doğada işleyiş mekanizması örnek alınan diğer bir canlı da çöl böceğidir (*Stenocara*). Afrika'nın güneyindeki Namib çölünde yaşayan küçük çöl böceği *Stenocara*'nın kanatları yumrularla kaplıdır. İngiliz bilim adamları Andrew Parker ve Chris Lawrence tarafından 2001 yılında yapılan araştırmaya göre, havada bulunan sis tarafından taşınan su, böceğin üzerinde bulunan yumuşak yumruların hidrofilik zirvelerine yerleşir ve hızla büyüyen su

damlacıkları oluşturur (Norgaard ve Dacke, 2010). Stenocaranın gövde yüzeyi, birbirine benzemeyen parçalı yüzeylerden oluşan bir örtü ile kaplıdır. Hidrofilik yüzey yamaları içinde emilen çiğ damlaları yavaş yavaş büyür, onların ağırlığı hidrofobik yüzeyler boyunca aşağı doğru dönmelerine neden olur ve böceğin ağzına toplanır. Prof. M. Rubner ve R. Cohen (*Massachusetts Institute of Technology*) çöl böceğinin yüzey derilerini taklit eden su toplama materyalleri geliştirmiştir. Bu tip bir yüzey kurak bölgelerde veya su kaynaklarının yeterli olmadığı yerlerde suyun toplanması için çiğ toplama cihazı olarak kullanılabilir (Shimomura, 2010). Etiyopya'nın dağlık bölgeleri için geliştirilen Warka Su Toplama Kulesi, Stenocaranın yüzeyi ve sis yakalama sisteminden ilham alınarak tasarlanmıştır (Resim 2.10). Dikey strüktür atmosferdeki içilebilir suyu toplamak için yapılmıştır. Warka Su Toplama Kulesi Stenocara gibi havadaki yağmuru, sisi ve çiği toplayarak içilebilir suya dönüştürmektedir (URL-19).



Resim 2.10. (a) Stenocara (Namib çölü böceği) (URL-20)
(b) Warka su toplama kulesi (URL-19)

Yarasa ve yunusların ekolokasyon donanımlarının radar ve sonar sistemlerinde, araç sensörlerinde ve görme engellilerin yön bulma araçlarında kullanılması, şahinlerin kanat yapısından kanatlarını katlayarak dalış yapabilen uçakların tasarımı, örümcek ağından doğal ameliyat ipliklerinin tasarımı gibi birçok alanda işlevsel amaçlı biyomimetik yenilikler karşımıza çıkmakta ve bu örnekler zamanla artarak devam etmektedir. 15. yüzyıldan 21. yüzyıla kadar malzeme alanında, form arayışlarında, strüktür tasarımında görülen biyomimetik yenilikler ile işlevsel amaçlı biyomimetik yeniliklerin tamamı incelendiğinde biyomimetik çalışmaların biyolojik algıdan teknolojik kavramlara doğru gelişerek ve sayıca artarak devam ettiği görülmektedir. Biyomimetik çalışmaların tarihsel süreçteki gelişimi biyomimetik çalışmalar zaman çizelgesinde gösterilmiştir (Şekil 2.6).

BİYOMİMETİK YENİLİKLER

BİYOLOJİK İLHAMDAN - TEKNOLOJİK KAVRAMLARA	
    	Kuş yuvalarından esinlenme Örümcek ağları Leonardo Da Vinci'nin 16. yy icatları Yunusların ince derilerini taklit etme Texas'da çalılardan alınan ilham - Michael Kelly - 1868 Şahin kanatlarının uçuşu - Wright Kardeşler - 1904 Göze batan pıtrak bitkisi - George Mestral - 1940 Notilusun 38 içten bağlantılı bölümü Sinir hücreleri ve beyinde bilgi aktarımı Yapraktan alınan ilham Kavram - Otto Schmitt - 1950 İnsan vücudunu taklit etme-1950 Yarasaların sesle yer bulma özelliğini taklit etme Balık ve kuşların gözlemi Termit kulelerinin havalandırma tasarımı Hava hızı gürültüsünü azaltma - Yalıçapkını kuşu Gecko kertenkelesinin yüzeylere tutunma mekanizması Lotus etkisi - Kendi kendini temizleyebilme Kuş tüylerinin ışığı kırması - Ray Anderson - 1995 Yayın - "Biyomimikri" Janine Benyus - 1997 Kertenkelenin renk değiştirmesi Doğada bulunan logaritmik spiraller Fotosentez sürecini taklit etme Sülfürü oksitleyen özel bakteri Balinaların temiz kalması için filtre balina besleme Malzeme - Köpek balığı derisini taklit etme Robotlar - Hamamböceğinin yapısı Penguenlerin yalıtım katmanı Örümcek ağının kimyasal yapısı Ekosistem takliti - John Todd İnsanın iç anatomisinde salyangoz hareketi keşfi Abalon canlısının kabuğunu oluşturmaması-Dr. Berchel- 2004 Kuruluş - Bryony Schwan & Janine Benyus-2005 Timsah derisinin kollajen proteinli yapısı Ateşböceklerinin sarı yeşil ışık üretimi İncinin yapısındaki zarar azaltıcı özelliği Ağaç dallarının bölünmeleri Dijital Kütüphane - Asknature - 2007 Yarasanın önündeki engeli aşabilmesi Ari gözünün altgenlerden oluşan formu Bal peteğinin strüktür yapısı Mürekkkep balığının hareketi Morfo kelebeğinin fotonik yapısı Stenocaranın sis toplama özelliği
16.YY ...	Kulübeler Çadırlar Yenilikler Tekne Gövdeleri Dikenli tel Uçak Velcro bant Denizaltı kompartımanları Modern mikroişlemci Güneş paneli Biyomimetik Kavramı Yapay organlar - protezler Sonar, radar, ultrason Uçakların aerodinamik yapısı Eastgate Merkezi, Zimbabve Japon Shinkansen 500 hızlı treni Yeni nesil yapıştırıcı - Geko bant Lotusan cephe kaplaması Entropi halı Biyomimetik Devrim Renk değiştiren kıyafetler Pax çarkı DSC solar paneller Biyoyakıt ağır sanayi Baleen filtre teknolojisi Biyomateryaller Speedo fastskin dalış kıyafeti Biyomimetik Robotlar Marsı keşfeden nasa robotları Akıllı kumaşlar Kevlar - Kurşun geçirmez malzeme Living machine atıksu dönüşümü Salyangoz robotlar Şarj edilebilir bataryalar Biyomimikri Enstitüsü Fiberglas teknolojisi Verimli ışık üretimi Jet motorlarının tamiri Zic fiat - sıfır etkili otomobil Biyomimikri Kütüphanesi Robot akıllı akustik sensör Teleskop aynaları Bal peteği sandviç kompozit malzeme Jet uçakları Güneş pilleri Su toplama kulesi
19.YY	 
20.YY	
1950	
1997	
21.YY	
2005	
2007	
...	

Şekil 2.6. Biyomimetik yenilikler zaman çizelgesi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

2.3. Biyomimikri ve Mimarlık

Genellikle mühendislik ya da tıp gibi diğer alanlarda gelişen bir disiplin olan biyomimikrinin son yıllarda mimarlıkta da yeni çözümler bulmak için çeşitli araştırma ve çalışmalar ivmelenerek artmaktadır. Mimarlık alanında biyomimetik prensipleri uygulayan öncü mimar, Michael Pawlyn biyomimikriyi, “*Biyomimikri, biyolojik formların, süreçlerin işlevsel temelini taklit eder ve sistemleri sürdürülebilir çözümler üretir.*” şeklinde tanımlayarak mimarlıkta nasıl daha verimli yapılar inşa edilebileceğine, sıfır atık sistemlere ve binalar için enerji üretimine dair ipuçlarının doğada aranabileceğini iddia etmektedir (Lopez ve diğerleri, 2016).

Ayrıca, McDonough ve Braungart (1998) doğanın bir model ve akıl hocası olarak tasarımda kullanımına yönelik; “Tasarımcının bakış açısından şunu sorarım: Neden ağaç gibi bir bina tasarlayamıyorum? Oksijen sağlayan, azotu sabitleyen, karbonu bağlayan, suyunu damıtan, yakıt olarak güneş enerjisini kullanan, kompleks şekerler ve yiyecekler yapan, mikro iklimler yaratan, mevsimlere ve kendi benliğine göre renk değiştiren bir ağaç. Bu doğanın bir sorun olarak değil, bir model ve bir akıl hocası olarak kullanımıdır. Bu hoş bir beklenti ...” sorgulamasını yapmıştır (Zari, 2007).

Günümüzde doğada karşımıza çıkan bal arısı peteklerinin geometrileri, deniz kabuklarının seramik özellikleri, örümcek ağlarının hafifliklerine rağmen gösterdikleri rijitlik, termit kulelerinin doğal olarak havalandırılması, köpüklerin yüzey gerilimleriyle elde ettikleri dayanım, yaprakların güneşe yönelişi gibi birçok örnek daha sürdürülebilir yapılar üretmek amacıyla iyi birer esin kaynağı olarak kullanılmaktadır (Selçuk ve Sorguç, 2007).

Mimarlıkta biyomimikri, yalnızca doğanın görünen bileşenlerini temin eden bir bilim dalı değil, bunun yanında yapının işlevselliğinde oluşan problemleri çözmek için doğadan dersler alan uygulamalı bir bilim dalıdır. Sürdürülebilirlik, binaların tasarımında doğal çevre için gerekli olan unsurları barındıran ve doğaya karşı olan çalışmaları değil doğayla işbirliği içerisinde olan çalışmaları destekleyen yeni bir düzeye ilerlemektedir. Biyomimikri son on yılda sürdürülebilirliğin doğa üzerindeki olumsuz etkilerini minimuma indirirken aynı zamanda sürdürülebilirliğin sağlanmasında ortaya çıkan sorunları çözmede popülerlik kazanmıştır (Nkandu ve Alibaba, 2018).

Buckminster Fuller, biyomimikrinin “doğayı taklit etmek değil, doğanın kullandığı prensipleri bulmak” olduğunu söylemiştir. Biyomimetik mimarlık, doğanın işlev ve sistemlerinin işleyişini örnek alarak; teknoloji ve biyolojiden yararlanılarak; form dışında, strüktür, formun içsel ve dışsal yüklere en az malzeme ile en iyi biçimde dayanımını sağlayan matematiksel oranlarla ele alınarak; canlı ve cansız organizmaların oluşum biçiminin (malzeme, form ve strüktür oluşum sürecinin) deneysel verilerle forma aktarılması olarak açıklanabilir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007, a).

Koelman (URL-14), biyomimikrinin mimarlıkta;

- Daha dayanımlı, güçlü ve kendi kendine “birleşebilen” ve kendi kendini onarabilen malzemelerin geliştirilmesi,
- Binaların ve yapıları çevrenin iklimlendirilmesinde doğal süreç ve kuvvetlerin kullanılması,
- Enerji korunumlu ve çevrimli, atıkların tekrar kullanılmasına olanak veren, kaynakları tüketerek değil kaynak üreterek yapıları çevrelerin oluşturulması, olmak üzere üç temel uygulama alanı bulabildiğini ifade etmiştir.

Sonuç olarak biyomimikri doğada var olan organizmaların nasıl var olduğundan çok formun kattığı fonksiyonun ne işe yaradığı ile ilgilenmektedir. Pek çok mimari üslup ve akımın doğanın sunduğu form ve strüktürlerden esinlenerek geliştiği, çoğu zaman bu esinlenmenin soyutlamalardan öteye geçemediği ancak biyomimikri olarak adlandırılan bilim alanının gelişmesi, teknolojinin ilerlemesi ve sayısal tasarım ve üretim araçlarının yaygınlaşması ile tüm tasarımcılar gibi mimarların da doğaya bakış açısının değiştiği görülmüştür (Gertik, 2012). Bu değişimle birlikte biyomimikri ve mimarlık birlikte çalışan iki ayrı disiplini değil, iç içe geçmiş bir tasarım modelini oluşturmaktadır.

Elde edilen veriler ışığında, bu tez çalışması içerisinde, biyomimikrinin iklimlendirme ve enerji korunumunda rol oynayan bina kabuğu üzerine kullanılabilirliği ve uygulama alanı araştırılarak biyomimikri ve bina kabuğu ilişkisi ele alınmıştır.

2.3.1. Mimarlık tarihinde doğadan esinlenme

Mimarlık alanında doğadan esinlenme kaygısı neredeyse insanlık tarihi kadar eskiye dayanmaktadır. Tarihler öncesinden beri insanlar dış etkenlerden korunmak ve yaşamlarını sürdürebilmek amacıyla barınma ihtiyacını karşılamak zorunda kalmışlardır. İnsanlar göçebe yaşamları boyunca barınma ihtiyacını mağara, kaya sığınağı, ağaç kovuğu gibi doğada hazır bulun yerlerde karşılamıştır. Yerleşik düzene geçilmeye başladığında ise barınak inşa etmeye başlamışlardır. Yerleşik düzenin ilk dönemlerinde insanlar barınaklarını doğayı taklit ederek ağaç kovukları veya mağaraya benzer şekilde yuvarlak form ile oluşturmuştur. Doğa gözlemleri sonucunda yaprak, dal, çiçek biçimleri süsleme motifleri olarak kullanılmıştır. Sütun başlıklarında yine doğadan alınmış biçimler kullanılmıştır (Mutlu, 2007: 9,10).

İnsanoğlu toplayıcılık ve avcılıkla geçen ilkel dönemler sonrasında üç büyük devrimsel süreçten geçmiştir. İlki ve en uzun tarım dönemi ve yerleşik hayata geçiş, ikincisi 18. yüzyılda yaşanan Sanayi Devrimi, üçüncüsü de 20. yüzyıl sonundaki gelişimleri kapsayan bilgi toplumuna dönüşümdür. Toplumsal dönüşümü en çok etkileyen unsur teknolojinin gelişimi olmuştur. 21. yüzyılda teknolojinin gelişimiyle birlikte mimarlıkta birçok yeni disiplin ortaya çıkmıştır. Ekolojik mimarlık, bilgisayar mimarlığı, genetik mimarlık (*Nanoarchitecture*), yeni malzemeler ve yapım sistemleri içeriğini doğadan alan mimarlık yaklaşımlarıdır. Günümüzde yeni malzemeler ve yeni teknolojilerle binalar yaşayan bir organizma gibi tasarlanabilmektedir (Altun Akyol, 2007).

Mimarlık sanatının ilk kuramcılarında Vitruvius (MÖ 90-20) mimarlığı doğanın bir taklidi olarak tanımlamaktadır. “Mimarlık Üzerine On Kitap” adlı eserinde doğa ve mimari arasındaki ilişkiyi anlatan metinler mevcuttur. Vitruvius (MÖ 90-20), insanoğlunun kırlangıç yuvalarının yapılışını taklit ederek ince dallarla çamurdan sığınak yaptığını, taklitçi ve öğrenilmeye hazır bir doğa bulunduğundan insanların gün geçtikçe doğadan yeni şeyler öğrenerek doğayı taklitte yaptığı barınaklarını geliştirdiğini vurgulamıştır (Vitruvius, 1990: 27).

Gelişimi MÖ 3000’lerde başlayan ve mimarlık tarihinin ilk yapısal anıtları olan Mısır Piramitleri, doğanın bir parçasıymış gibi doğadan güç alınarak inşa edilmiş ve anıtsallığı vurgulanmıştır. MÖ 2000’lerde inşa edilen tapınaklar, yüzeyi doğadan esinlenilmiş

şekillerle bezenen sütunları barındırmaktadır. 12-16. yüzyıl arası gelişen Gotik Mimari’de doğadan alınan birçok biçim kullanılmıştır. 15. yüzyılda Rönesansın ilanından sonra mimaride doğal formlar daha çok kullanılmaya başlanmış ve özellikle doğadan ilham alan mimari akımlar görülmüştür. 17. ve 18. yüzyılın önemli akımları olan Barok ve Rokoko akımlarının biçim dili doğadan esinlenilerek oluşturulmuştur. Doğada bulunan S ve C kıvrımları, eğri çizgileri, istiridye kabuğu gibi organik formlar yüzeylerde sıklıkla kullanılmıştır (Melvin, 2005).

18. yüzyılın ikinci yarısı ile birlikte gelişen endüstri ile yeni bilimsel buluşlar ve biyoloji ve matematik gibi birçok bilim dalında yaşanan gelişmeler mimarlığı da dönüşüme uğratarak mimarlıkta önemli gelişmeler yaşanmasını sağlamıştır. Zamanla gelişen birçok yönelimde mimarlığın temelinin doğada olduğu savunulmuştur (Gertik, 2012).

19. yüzyılda ortaya çıkan Art Nouveau akımının öncüsü İspanyol mimar Antoni Gaudi mimari eserlerinde çoğunlukla doğadan esinlenmeyi kullanmıştır. “Atölyemin hemen dışındaki ağaç benim akıl hocamdır.” diyen Gaudi, mimarinin ilham kaynağının doğa olması gerektiğini, “Eğer doğa Tanrı’nın yapıtıysa ve eğer mimari formlar doğadan ilham alıyorsa bu durumda Tanrı’yı onurlandırmanın en güzel yolu onun yapıtlarına benzetmek olacaktır.” sözü ile açıklamaktadır (URL27).

20. yüzyılın ortalarına kadar doğanın tasarım sürecine ortak olduğu örneklerde daha çok forma yönelik benzetimler görülmektedir. 20. yy mimarlık tarihinde, makine ve teknolojiyi taklit eden binaların tarihi olarak görülebilmektedir. Son yüzyıl boyunca makine ve teknoloji doğadaki ilerlemenin ve insanlığın ustalığının simgesi olmuştur. Le Corbusier, “Evler içinde yaşanan makinelerdir.” diyerek 20. Yüzyılın genel mimarlık anlayışını özetlemektedir (URL-28).

20. yüzyıl mimarisinde, doğadan esinlenilen az sayıda mimari tasarım bulunmaktadır. Akıl hocası Luis Sullivan (1856-1924) olan Frank Lloyd Wright (1867-1959), kariyerinin merkezinde doğayla olan ilgisini ortaya koymuştur. Kendisini organik mimarinin başlatıcısı olarak değerlendirmiştir. Bir Organik Mimarlık (1939) adlı kitabında, sadece her binanın çevresi içinden doğal olarak yetişmesi gerektiğine değil, aynı zamanda binanın tasarımının doğadaki ekosistemler gibi her bir elementin diğeriyle ilişkili olduğu birleşik bir organizma şeklinde olması gerektiğini ifade etmiştir. Alvar Aalto (1898–1976)

tarafından tasarlanan Villa Mairea (1939), doğanın mimarlık üzerindeki en iyi örneklerinden biridir. Evi çevreleyen orman, düzensiz sütun ve direklerden yapılan iç mekânlar doğanın kavranması için itici unsur haline gelmektedir (Mazzoleni, 2013).

Doğaya yönelim ve doğadan esinlenme hareketi genellikle biçim ve strüktürel arayışlar doğrultusunda analogik bir yaklaşımla oluşmuştur. Ancak sanayi devrimi sonrasındaki teknolojik gelişmeler neticesinde, doğadaki gözlemlerler farklı alanlara yayılarak gelişim göstermiştir. Bu gelişme sonucunda doğa, hem biçim (form) hem de işlev (fonksiyon) olarak taklit edilmiştir (Gertik, 2012).

20. yüzyılın sonlarında Buckminster Fuller'in jeodezik kubbesi ve Frei Otto'nun asma germe sistemli çadır örtüleri tasarımlarında doğadan öğrenmenin söz konusu olduğu görülmektedir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007).

21. yüzyılda ihtiyaç duyulanan aslında doğada var olduğu fikri benimsenmiş ve doğa tasarımlarda daha yoğun olarak kullanılmıştır. McLennan (2003), çiçeklerin binalar için mükemmel bir metafor olduğunu, çünkü çiçeklerin binalar gibi tüm enerjisini güneşten, tüm su ihtiyaçlarını gökyüzünden ve hayatta kalmak için gerekli olan tüm besin maddelerini topraktan aldıklarını, ifade ederek 21. yüzyılda gelişmeye devam eden biyomimikri anlayışının kabul edilebilirliğini kanıtlamaktadır.

2.3.2. Mimarlıkta biyomimetik ve biyomorfik tasarım

Mimarlıkta biyomimikri yaklaşımını daha iyi kavrayabilmek için biyoloji ve mimarlık işbirliği sonucunda ortaya çıkan “biyomorfik” tasarım yaklaşımını incelemek faydalı olacaktır.

Biyomorfik tasarım, doğada yer alan serbest formlara benzeyen veya onları taklit eden bir tasarım yaklaşımıdır (Yedekçi, 2015: 111). Biyomimikri ve biyomorfik tasarım arasında bir ayrım yapmanın gerekliliği fonksiyonel ihtiyacın öne çıkmasından doğmaktadır. Tezin kuramsal çerçevesinde açıklandığı üzere 21. yüzyılda beklenen dönüşümlere ihtiyaç duyulan çözümler biyomorfizmden çok biyomimikri aracılığı ile ulaşılabilecektir. En genel ifadesi ile tasarımda belirli bir doğal benzetim/ilham ile sağlanan fonksiyon; süreç ve

sonuca dair ise biyomimetik, sonuç biçimsel kaygılarla elde edilmişse o zaman biyomorfik bir tasarım olarak adlandırılmaktadır (Pawlyn, 2011).

“Biyomorfizm” terimi 1936 yılında Gregory Grigson tarafından ortaya atılmıştır. Bu yaklaşımın temelinde bir form arayışı, dekoratif, stile dayalı bir metafor etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla bu yaklaşım doğanın biçimsel olarak taklit edilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Biyomorfik yaklaşım, Frei Otto, Eero Saarinen, Antonio Gaudi, Calatrava gibi mimarlar tarafından doğal, alışılmamış formlar ve sembolik birleşimler için bir kaynak olarak kullanılmıştır (Yedekçi, 2015: 114).

Mimarlık ve doğanın etkileşimli birlikteliğine dikkat çeken teorisyenlerden Charles Jencks (1971), mimarlığın 2000’li yıllara kadar evrimsel gelişimini ve mimari akımları temsil eden tablosuna göre, 1980 sonrası mimarlığında Biyomorfik Hareket’in (*Biomorphic Movement*) etkili olacağını öngörmüştür (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2007, a).

Santiago Calatrava’nın Quadracci Pavyonu, Eero Saarinen’in TWA terminal binası ve Frank Lloyd Wright’ın Johnson Wax binası, biyomorfik mimarlık kapsamında örnek olarak gösterilebilir. İspanyol mimar ve mühendis Santiago Calatrava taklit ettiği formlara hareket kabiliyetini ekleyerek tasarımlarında doğadaki formların fonksiyonel yönlerine de yer vermiştir. Milwaukee Sanat Müzesi için ek olarak tasarlanan Quadracci Pavyonu üzerinde bulunan Burke Brise Soleil adı verilen güneş engelleyici strüktür tasarımı, Calatrava’nın biyomorfik tasarım anlayışına iyi bir örnektir (Resim 2.11).



Resim 2.11. Milwaukee sanat müzesi (Quadracci Pavyonu), ABD (2001) (URL-21)

Santiago Calatrava’nın 1994 yılında Michigan Gölü’ndeki kuşların kanatlarından ve yelkencilik kültüründen esinlenerek tasarladığı Quadracci Pavyonu 2001 yılında

Milwaukee müzesinin bir eklentisi olarak tamamlanmıştır. Beyaz çelik ve beton binadan oluşan müzenin en dikkat çekici özelliğini resepsiyon salonunun üzerinde yer alan ve gölgelik işlevi gören, alçalıp yükselebilen hareketli kanatları oluşturmaktadır. 36 adet kanatçıktan oluşan ve 66 m uzunluğunda olan çelik kanatlar gün içinde iki kez açılıp kapanmaktadır (URL-21).

Amerikalı mimar Eero Saarinen'in bir kuşun açık kanatlarının formu ile "uçuş" kavramını imgeleyerek biyomorfik formlar kullandığı TWA Terminal, 20. yüzyılda öne çıkmış örneklerden biridir (Resim 2.12).



Resim 2.12. (a) TWA Terminal, John F. Kennedy Airport, New York, 1962 (URL-23)
(b) Uçan kuş (URL-24)

1962 yılında yapımı tamamlanan TWA Terminal'de iç ve dış bir özdeşlik. İç mekânlarda da Saarinen'nin standart formlarından kurtulma, serbest ve organik biçimlere yönelme fikri devam etmiştir (URL-22).

Bir başka biyomorfik tasarım örneği ise, Frank Lloyd Wright'ın 1939 yılında tasarladığı Johnson Wax binasıdır. Johnson Wax binasında kullanılan "mantar" kolonlar form ve oranlarıyla etkileyici bir mekân yaratırken, mantarların doğal ortamlarındaki fonksiyonlarından "öğrenme" söz konusu değildir (Resim 2.13). Büyük Oda olarak adlandırılan alan, 23 cm çaplı tabanlardan filizlenen ve zambak yastıklı beton üstleri oluşturmak için genişleyen ağaç benzeri sütunlara sahiptir. Wright, endüstri parkındaki konumuna rağmen, binayı doğal formlara referansla organik mimari tarzında tasarlamıştır (URL-25).



(a)

(b)

Resim 2.13. (a) Johnson Wax binasının mantar kolonları, Wisconsin, 1939 (URL-25)
 (b) Mantar bitkisi (URL-26)

Bu tür biyomorfik çalışmaların sayısı artırılabilir. Bu tür esinlenmeler mimarlık tarihine bakıldığında öncül yapılar ve tasarımlar olarak literatürdeki yerlerini almıştır. Oysa doğa mimarlar için “analoji kaynağı” olmasının ötesinde çok daha fazla fonksiyonel potansiyeller barındırmaktadır. Biyomimikri olarak adlandırılan bu yaklaşımın mimarlık alanındaki temel hedeflerinden birinin tıpkı doğadaki gibi enerji verimliliğine odaklanması hiç te şaşırtıcı olmamalıdır.

Biyomorfik unsurları basit bir şekilde biyolojiden mimariye transfer etmenin ötesinde biyomimikride problemlerin çözüm yolu stratejilerinin analizi yoluyla uygulamalı bir düzeyde bilgi aktarımı olmaktadır.

Vincent (2001), mühendislikteki soruların doğa kimliğini belirlemek için disiplinler ve prosedürler arasındaki bilgi transferinin önemine vurgu yaparken onların doğadan gelecek cevaplarla doğru bir şekilde birleştirilmesinin yollarını araştırmaktadır ve aktarma başarısızlığının olası nedenlerini şöyle açıklamaktadır: Yüzeysel bir araştırma, Yaşam bilimlerinde bilgi sahibi olmama, Yaratıcı olmayan bir yaklaşım ya da ölçülebilirliği olmayan bir olgu. Bu nedenle biyomimetik çalışmaların disiplinler arası çalışma ekipleri ile özellikle de yaşam bilimlerinde uzmanlardan danışmanlık olarak yürütülmesi önemlidir.

Zari ise (2007), bir organizmayı tek başına taklit etmenin çevresel etki açısından ortalamanın altında kalan tasarımları üretme potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Çünkü bütün bir sistemin değil organizmaların taklit edilmesi organizmanın belirli bir özelliği taşıdığını göstermektedir. Ancak tasarımcılar yeterli biyolojik bilgiye sahip değilse

ve erken tasarım aşamasında ekolojistler ya da biyologlar ile işbirliği yapılmazsa, biyomimikri, binalardan ayrılmaz bir tasarım unsuru değil binalara eklenen bir teknoloji haline gelmektedir. Bu yöntem, yeni ve yenilikçi bina teknolojileri veya malzemeleri ile sonuçlansa da sürdürülebilirliği artırmaya yönelik oluşturulan yöntemlerin keşfini sınırlamaktadır.

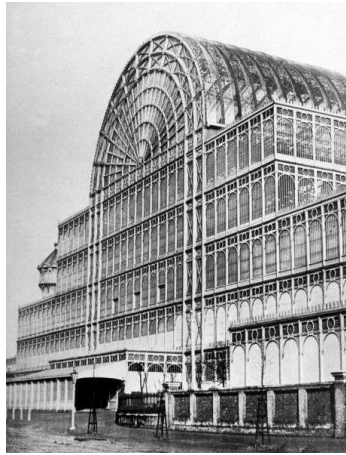
2.3.3. Biyomimetik mimari tasarım örnekleri

1851 yılında İngiltere’de bir bahçeci ve sera yapıcısı olan Joseph Paxton, Sanayi Devrimi’nin ardından ortaya çıkan teknolojik gelişmelerin sergilenmesi amacıyla inşa edilen Kristal Saray (*Crystal Palace*), bir insanın ağırlığını taşıyabilen tropikal bir nilüfer çiçeği türü *Victoria Amazonica*’dan esinlenerek tasarlamıştır (Portoghesi, 2000).

Paxton, nilüfer yapraklarının alt tarafının kaburga benzeri bir yapı ile desteklenmiş olduğunu fark etmiş ve nilüfer yaprağındaki kaburgaya benzer yapıyı demir taşıyıcılarla, yaprağın asıl dokusunu ise cam ile özdeşleştirerek büyük cam paneller için nervürlü demir destek yapısı tasarlamıştır (Resim 2.14). Bu sayede, cam ve demirden yapılma, hafif ama aynı zamanda geniş bir alanı kaplayacak kadar sağlam çatılı bir bina yapmayı başarmıştır (Eggermont, 2007).



(a)

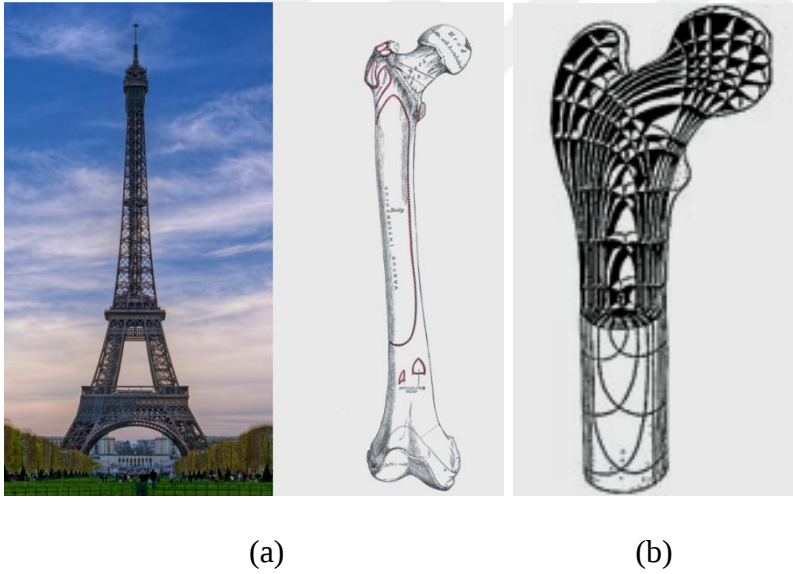


(b)

Resim 2.14. (a) Amazon nilüferinin (*Victoria Amazonica*) kaburgayı andıran taşıyıcı damarları (URL-29) (b) Crystal Palace, Londra, 1851 (URL-30)

Toplam 92 000 m² alan üzerine kurulmuş Crystal Palace, 35 m yüksekliğinde ve 7500 m² lik bir alan kaplamaktadır. Yapının en önemli özelliği konstrüksiyon detaylarıdır. Prefabrike demir taşıyıcılar ve bu taşıyıcıların arasına yerleştirilmiş cam levhalar yapıyı oluşturmaktadır (URL-29).

1889 yılında inşa edilen Eyfel Kulesi tasarlanırken vücudun en hafif ve dirençli kemiği olan uyluk kemiğinden esinlenilmiştir (Resim 2.15). Gustave Eiffel, yapısını bir anatomist ve mühendis, Karl Cullman ve Hermann Von Meyer, tarafından yapılan araştırmaya dayanarak inşa etmiştir. Von Meyer ve Cullman, femurun başını ve femurdaki sırtların kafesini incelemiştir. Bunun sonucunda kulede merkez dışı yükleri desteklemek için uyluk kemiğinden ilham almışlardır. Eiffel, femurun yapısını yeniden üretmek için bir dizi dövme demir, parantez ve çivi kullanmıştır (Eggermont, 2007). Bu örgü sayesinde kule, rüzgârın eğme ve makaslama kuvvetleri ile oluşan basınca rahatlıkla dayanabilmektedir (URL-31).



Resim 2.15. Eyfel Kulesi, Paris, 1889 (*Eiffel Tower*) ve ilham kaynağı uyluk kemiği (URL-31) (b) Uyluk kemiğinin yapısal detayı (URL-32)

19. yüzyılın sonlarında ortaya çıkan Art Nouveau sanat akımının tipik özelliği simetrik olmayan, dalgalı çizgilerin kullanılmasıdır. Doğadan alınan bir çiçeğin goncası, böcek kanatları, asma filizleri gibi zarif doğal biçimler Art Nouveau sanatçısının esin kaynağı olmuştur. Art Nouveau akımı içerisinde görülen İspanyol mimar Antonio Gaudí'nin doğada bulunan formları fazlasıyla benimsediği Casa Mila'da görülmektedir (Resim 2.16).

1910 yılında inşa edilen Casa Mila'ya Barselona halkı tarafından taş ocağı anlamına gelen “Le Pedrara” denmektedir. Cephesindeki forma paralel olarak planında organik planlama yapılmıştır. Planı ve süslemesinde, denizin oyduğu kayalık veya taştan kesilmiş cepheyi sular yumuşatıp aşındırmış gibi doğada oluşan formlar kullanılarak yapının her tarafına yosunları anımsatan metaller asılmıştır. Birçok tasarımı olduğu gibi Antonio Gaudi, Casa Mila'yı da doğanın akışı ile kaynaştırmıştır (Karagöz, 2007).



Resim 2.16. Casa Mila 'nın (*La Pedrera*) doğadaki formlardan oluşan yapısı (URL-33)

Casa Mila'nın kalabalık strüktürü, Torre Bellesguard'ın çatıları ve Park Güell'deki Santa Coloma'nın kriptosu, inşaat teorisi hakkında derin bir bilgi birikimine dayanan bir ustalık tekniği ile zanaatkâr sadeliğini birleştiren teknolojinin mükemmel örnekleridir. Ancak, Park Güell ana kilisesinde ve Sagrada Famillia'da doğadan esinlenme, yüzeydeki kaburgaların çok ötesine geçmektedir (Portoghesi, 2000).

“Sagrada Familia”nın ağaç benzeri sütun yapısı, doğa esinli mimarinin önemli örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Imani, 2007) (Resim 2.17). Yapımına 1882 yılında başlanan Sagrada Familia kilisesinin inşası ile Gaudi 1926 yılında gerçekleşen vefatına kadar ilgilenmiştir. Ancak yapımı henüz tamamlanmayan kilisenin inşası halen devam etmektedir (URL-34). Sagrada Familia kilisesinde ağaç dallarının taşıyıcı özelliğinden ilham alınmıştır.



Resim 2.17. La Sagrada Familia, Barselona, İspanya (URL-35)

“Geleceğin mimarları doğayı taklit edecekler.” diyen Gaudi, çok sayıda yapısal sistemi doğal organizmalardan ilham alır. Örneğin, ağaç dalları mimari tasarımda esneklik ve deforme olabilirlik arasında motive edici kolon ve kiriş yapısını göstermektedir. Böcekler ve yumuşakçaların kabuğu hafif ve sağlam yapılara, örümcek ağları ve hayvan hücreleri, sırasıyla gerginlik ve pnömatik yapılar için ilham kaynağı olmaktadır (Imani, 2017).

Buckminster Fuller, doğada dinamik, işlevsel ve sonuç ürünleri hafif olan bir teknolojinin olduğunu iddia etmiş ve doğal yapılaşmaların optimum verimlilikte olmasının, insan yapımı strüktürler için önemli ipuçları barındırdığını söylemiştir (Portoghesi, 2000). Fuller’in imzası olarak kabul edilen jeodezik kubbelerin en önemlilerinden biri 1967 Dünya Expo Fuar’ı için Montreal, Kanada’da inşa edilen Biosfer Montreal (*Biosphere*)’dir (Resim 2.18) (URL-36).

Fuller, jeodezik kubbeleri her türlü mimari yapıda kullanılabilecek, sürdürülebilir, kolay inşa edilen ve fonksiyonel bir sistem olarak görmektedir. Bu nedenle ABD Pavyonu’nun yapımında da bu dinamik ve yenilikçi sistem kullanılmıştır. 76 metre çapında olan küresel yapı, çok büyük bir hacmi içinde barındırmaktadır. Kubbenin strüktüründe arı gözünün geometrisinden esinlenilmiştir. Geometrik olarak yirmi-yüzlü eşkenar üçgen biçimli çelik birimlerin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Bu çelik elemanlar, akrilik paneller ile

kaplanarak, kubbenin içerisine gelen ışık miktarı ve kubbenin içerisindeki ısı kontrol edilmeye çalışılmıştır (URL-36).



(a)

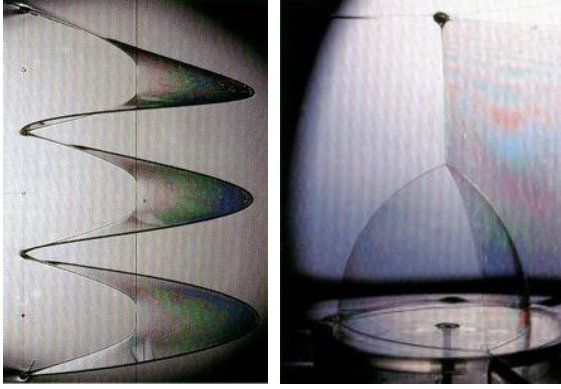


(b)

Resim 2.18. (a)Fuller'in tasarladığı Biosfer Montreal (Jeodezik Kubbe), 1967 (URL-36)
(b) Arı gözü(URL-37)

Alman mühendis ve mimar Frei Otto, tasarımlarında organik ve minimal bir mimarlık sergilemiştir. Otto'ya göre biyoloji mimarlık için vazgeçilmezdir ve insanlar canlı doğa nesnelerinden veya hayvan teknolojilerinden teknik nesneler keşfetmiştir. Bu teknik nesneler doğadan uzak bir mesafede dururlar ve modellere, kurallara veya düzene ihtiyaç duymazlar. Çok az gelişir veya hiç gelişmezler. Bunlara; kemerler, asma köprüler ve balık ağları gibi formlar örnek gösterilebilir (Otto, 1995: 2).

Otto'nun modern strüktür anlayışı ve sabun köpüğü deneyleri birçok mimara esin kaynağı olmuştur (Resim 2.19). Otto, sabun filmi deneyleri yaparak gerilim yüklü membran, pnömatik ve hidrolik olarak gerilmiş membran ve halat ağı strüktürlerinde minimal alanlar üretmek için mimari tasarımda form bulma yöntemleri geliştirmiştir. Otto, çatı ve çadır tasarımlarında bu tip deneylerden faydalanmış ve bir düzleme monte ettiği iğne ve saç inceliğindeki iplikler sabunlu suya batırılarak elde ettiği minimal alanları tasarımlarında kullanmıştır (Otto, 1995: 56).

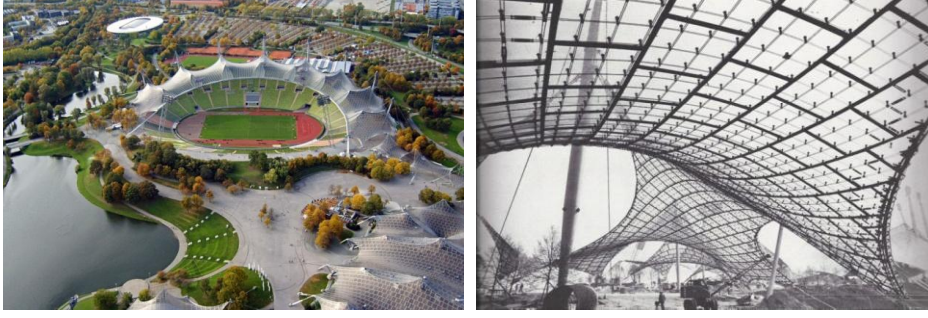


Resim 2.19. Frei Otto'nun iğne ve ince iplerle sabun köpüğünden elde ettiği minimal yüzeyler (Otto, 1995: 59)

Frei Otto, çalışmalarında form ve strüktür arasındaki bağlantıya odaklanmıştır. Böylelikle çadır strüktürlerin şeklini ve tasarımda kendiliğinden oluşan minimal yüzeyin önemini keşfetmiştir (Otto, 1995: 74).

1960'larda çadırlar ve örümcek ağı strüktürü arasındaki benzerlikleri inceleyen Otto, sistem gerilmelerinde karşılaşılan temel güçler üzerine araştırmalarını geliştirmiştir. Örümcek ağından esinlenilen modern çadırlarda geniş bir alanı kaplamak için minimum miktarda malzeme kullanmıştır. 1972 yılında Frei Otto tarafından tasarlanan Münih Olimpiyat Stadyumu'nun çadırı sabun köpüğü deneylerinden elde edilen minimal yüzeyler kullanılarak yapılmıştır. Otto birçok çatı modeli tasarlamıştır ve tül modeline dayanan tasarım seçilmiştir (Otto, 1995: 106).

Münih Olimpiyat Stadyumu eğriselliğin mimaride bu ölçekte kullanılmasına dair ilk örneklerdendir (Resim 2.20). Örümcek ağının strüktürel dayanımı ilham alınarak germe çelik sistemi üzerine akrilik cam kaplamadan oluşan strüktür Alp dağlarının ritmik görüntüsünden esinlenilerek tasarlanmıştır (URL-38).



Resim 2.20. Münih Olimpiyat Stadyumu, Almanya, 1972 (URL-38)

Harare, Zimbabve’de bulunan Eastgate Merkezi, Mike Pearce tarafından 1996 yılında termit tepeciklerinin strüktürel ve işlevsel özelliğinden ilham alınarak tasarlanmıştır (Resim 2.21). Yapının havalandırma sistemi, termit tepeciği ile aynı şekilde çalıştığından hiçbir yapay sistem kullanılmadan sabit ortam koşulları sağlanmaktadır (URL-39).

Bir böcek türü olan termitlerin (beyaz karınca) inşa ettiği ve yükseklikleri 5-6 metreye kadar varabilen termit kuleleri veya termit tepeciklerinde yeraltından başlayarak yüzeye doğru genişleyen odacıklar bulunmaktadır. Süngerimsi bir görüntüsü olan termit tepecikleri tropik bölgelerin sürekli değişen olumsuz dış şartlarını iyi bir şekilde izole edebilmektedir. Sıcaklık ve nem oranı, dışarıda değişen koşullarla rağmen, iç ortamda sabit kalmaktadır. Termitler, termit kulelerindeki doğal havalandırma sistemi sayesinde Zimbabve’nin 2-40 C arasındaki sıcaklığında hayatta kalabilmektedir (URL-39).

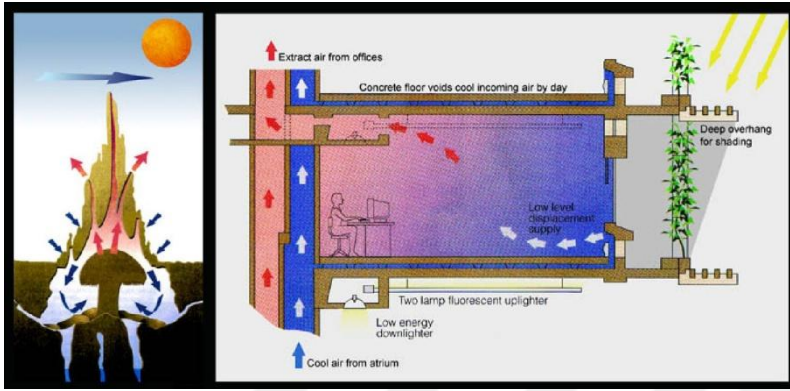


(a)

(b)

Resim 2.21. (a) Eastgate Merkezi, Harare, Zimbabve, 1996 (URL-39)
(b) Termit kulesi (URL-40)

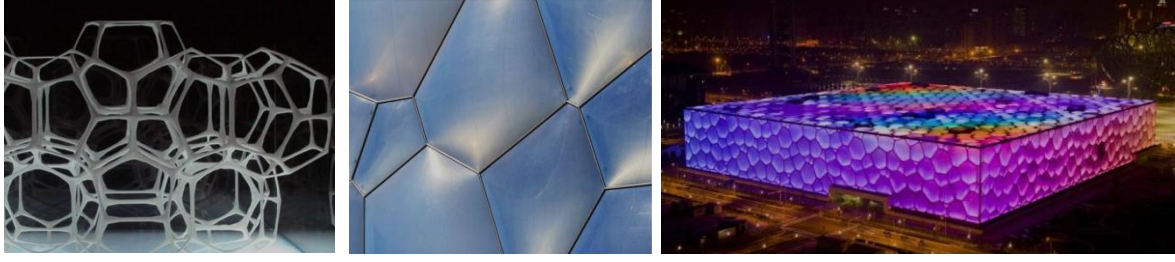
Termitler iki farklı havalandırma sistemi kullanmaktadır. Bunlar; termosifon modeli ve indüklenen hava akımı modelidir. Eastgate Merkezi’nde termit kulelerinde kullanılan iki havalandırma modeli de kullanılmaktadır (Şekil 2.7). İndüklenen hava akımını harekete geçirmek için atriumdan alınan soğuk hava fanlar yardımıyla kulelerle buluşmaktadır. Ayrıca her iki kulede de havayı bütün katlara dağıtmak için fanlara merkezi bir beton kanal bağlanmıştır. Termal kütle ve makineden üretilen sıcak hava, termosifon akımıyla yukarı doğru aynı kanala ve bacaya doğru ilerlemektedir (Manlutac, 2008).



Şekil 2.7. Eastgate Merkezi ile termit tepesi havalandırma sistemi (URL-39)

Termit kulelerinin içinde iç mekânın havalanması için tasarlanmış havalandırma kanalları bulunmaktadır ve bu kanallar acil durumlarda termitler tarafından kontrol edilmektedir. İç ortamdaki sıcaklıkta düşüş olduğunda acil durum süresince kanallar termitler tarafından kontrol altına alınmakta ve sonrasında bu kanallar yine termitler tarafından açılarak havanın baca etkisi yöntemiyle dışarı çıkması sağlanmaktadır (Pawlyn, 2011). Termit kulelerinin özel havalandırma bacaları ve tünelleri örnek alınarak inşa edilen binalarda ısıtma ve soğutma sistemlerinde, diğer binalara oranla enerji %90 daha verimli kullanılmaktadır (Ekici, 2013).

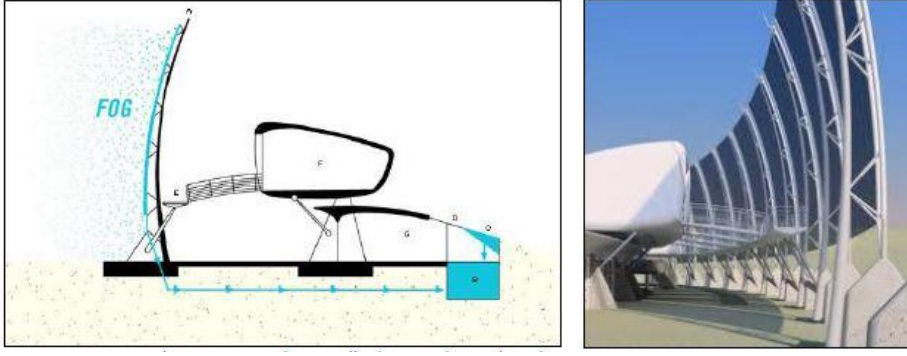
2008 yılında Pekin Su Olimpiyatları'na merkez olan “Water Cube” projesinin strüktürel tasarımı, mimarlık firması PTW ve ARUP mühendisleri tarafından, 1993 yılında, Weaire ve Phelan’ in keşfettiği sabun köpüğü kümelerinin strüktüründen esinlenilerek çizilmiştir. Her bir sabun köpüğünün bağlantılarının analizinde sekiz polihedral hücreyle tekrarlanan bir model elde etmişlerdir. Altı tanesi 14 yüzlü, iki tanesi 12 yüzlü polihedradan oluşmaktadır. Toplamda 4000 farklı yüzeyle, Water Cube, homojen bir cephe görünümü kazanmıştır (Resim 2.22) (Manlutac, 2008).



Resim 2.22. Water Cube cephe yüzeyi ve ilham kaynağı sabun köpüğü kümeleri (URL-41)

Water Cube tasarımı işlevsel süreçte görülen biyomimetik bir yaklaşım da bulunmaktadır. Cephesinde bulunan bütün yapı hücreleri ETFE (etilen tetra flor etilen) ile yapılan pnömatik hava yastığı içermektedir. Rüzgâr yüklerine karşı dayanım ve yalıtım sağlamak üzere düşük basınçlı hava ile şişirilen pnömatik ETFE yastıklar, hafif bir çelik strüktür tarafından desteklenen alüminyum çerçeveler içine gerilmiştir. Her yastık otomatik olarak izlenmektedir. Cama göre ETFE daha yüksek UV ışığı yaymaktadır ve yastıkların yalıtım özelliği olduğundan Water Cube ‘daki etkisi seradaki gibi havuzu ve iç mekânları ısıtmaktadır. Bunun yanı sıra ETFE’nin şeffaflığı doğal ışığı sağladığından işletme maliyetlerinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Doğada bulunan kendi kendini üreten bu form, form ve fonksiyonun sorunsuz entegrasyonu ile optimize edilmiş bir membran içinde geliştirilmiştir. Ayrıca, ETFE yastıkların cepheden görünümü yan yana gelmiş sabun köpüklerinin doğal geometrisini esas alan bir yaklaşımla tasarlanmıştır (Manlutac, 2008).

Matthew Parkes tarafından tasarlanan Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası çöl böceğinden esinlenilerek tasarlanmıştır (Resim 2.23). Çöl ortamında havada çok seyrek olarak bulunan nemi rüzgârlardan ayrıştırarak içen Stenocara böceğinin havada uçan su zerreciklerini nasıl ayırdığı ve bu işlemi çöl ortamında nasıl gerçekleştirdiği araştırılmıştır. Buna göre, bina sisteki sudan faydalanan bir dizi kemerli kabuk dizisi okyanusa bakan ve döndükçe sisi toplayan naylon ağdan yapılmış uzun bir perdenin arkasında konumlandırılmıştır (Tekin ve Kurugöl, 2011).



Resim 2.23. Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası, Namibya (Tekin ve Kurugöl, 2011)

Parkes, bu sistemi binanın altyapısıyla birleştirmiştir. Ağ doyma noktasına ulaştıkça yerçekimi, nemi oluklara yönlendirmekte ve bu sayede suyun tutulduğu yeraltı sarnıçları soğuk kalarak buharlaşma önlenmektedir. Parkes bu sistemin su yakalayan düşük seviyeli teknolojik bir yaklaşım olduğunu ancak tüm teknolojinin bina formuyla birleştirildiğini ifade etmiştir (Tekin ve Kurugöl, 2011).

19.yy. dan 21. yy. a kadar uzanan biyomimetik tasarım örnekleri, ilham kaynağı, problem çözümü ve biyomimikri düzeyleri ile karşılaştırılarak Çizelge 2.4’de tablo haline getirilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi farklı yüzyıllarda tasarlanan biyomimetik tasarım örneklerinde doğadan esinlenilerek oluşturulan problem çözümleri tasarımın ana bileşenlerini belirlemede büyük rol oynamaktadır. Doğanın çözümleri, yüzyıllar boyunca tasarım sorunlarına ışık tutmaktadır. Böylece tasarımcılar tarafından yüzyılın barındırdığı teknoloji sayesinde tasarımlara büyük katkı sağlanmaktadır.

Çizelge 2.4. Biyomimetik tasarım örnekleri, ilham kaynağı, problem çözümü ve biyomimikri düzeyi karşılaştırması (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Biyomimetik Tasarım Örneği	Esinlenen Organizma	Tasarımdaki Uygulaması	Problem Çözümü	Biyomimikri Düzeyi
Kristal Saray (<i>Crystal Palace</i>) Londra, 1851	Victoria Amazonica (Nilüfer çiçeği)	Çatıda nilüfer çiçeği bitkisinin damarlarından esinlenilerek taşıyıcı metal strüktür ile cam malzemesi kullanılmıştır.	Hafif ancak geniş bir alanı kaplayacak bir cam çatının taşıyıcı sorunu ve büyük açıklık geçme sorunu çözülmüştür.	Organizma Düzeyi
Eyfel Kulesi (<i>Eiffel Tower</i>) Paris, 1889	Uyluk Kemiği	Kulede uyluk kemiğine benzer şekilde metal saplamalar ve desteklerden oluşturulan kafes strüktürü kullanılmıştır.	Rüzgârdan dolayı oluşan bükme ve kesme etkilerine dayanma kuvveti ve havalandırma sorunu çözülmüştür.	Organizma Düzeyi
Sagrada Famillia Kilisesi İspanya	Ağaç Dalları	Kilisede ağaç benzeri sütunlar kullanılmıştır.	Taşıyıcı ve estetik sorunu çözülmüştür.	Organizma Düzeyi
Biyosfer Montreal (Jeodezik Kubbe) Kanada, 1967	Arı Gözü	Kubbenin strüktür geometrisinde arı gözünün mercek altındaki geometrisi kullanılmıştır.	Geometrik olarak yirmi-yüzlü eşkenar üçgen biçimli çelik birimlerin bir araya gelmesiyle strüktür sorunu çözülmüştür.	Organizma Düzeyi
Münih Olimpiyat Stadyumu Almanya, 1972	Sabun Köpüğü Örümcek Ağı	Çatı örtüsünün tasarımı ve strüktüründe örümcek ağı ile sabun köpüğü strüktürü kullanılmıştır.	Sabun köpüğünde oluşan minimal yüzeyler ile örümcek ağının yapısal özelliğinin çadır strüktüründe kullanımıyla büyük açıklık geçme sorunu çözülmüştür.	Organizma Düzeyi
Eastgate Merkezi Harare, 1996	Termit Kulesi (Höyüğü)	Binanın merkezinde bulunan havalandırma kanallarının tasarımında termit kulesinin havalandırma sisteminden esinlenilmiştir.	Mekanik sistemler kullanılmaksızın iklimlendirme ve havalandırma sorunu çözülmüştür.	Davranış Düzeyi
Water Cube, Pekin, 2008	Sabun köpüğü	Cephede kullanılan ETFE paneller sabun köpüğünün doğal geometrisi ve strüktüründen esinlenilerek düzgün bir biçimde birleştirilmiştir.	Sabun köpüğü strüktüründe tasarlanan ETFE paneller ile rüzgâr yüklerine karşı dayanım, yalıtım ve doğal ışık sağlanmıştır.	Organizma Düzeyi
Namibya Üniversitesi Hidroloji Binası, Namibya	Çöl Böceği	Suyu toplamak için kemerli kabuk dizisi ile okyanusa bakan ve döndükçe sisi toplayan naylon ağdan yapılmış uzun bir perde kullanılmıştır.	Kurak iklimde su toplayan bir sistem geliştirilerek binanın su kaynağı sorunu kısmen çözülmüştür.	Organizma Düzeyi



3. BİYOMİMİKİRİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ KABUKLAR ÜZERİNE ETKİSİ

Biyomimikrinin sürdürülebilir mimari kabuklar üzerine olan etkisini inceleyebilmek amacıyla sürdürülebilir mimari kabuk tanımı ele alınmalıdır. Sürdürülebilir mimari kabuk tanımını özümseyebilmek için öncelikle bina kabuğunun görevi irdelenmelidir. Bina kabuğu, iç ve dış ortamı birbirinden ayıran fiziksel bir öğedir. Dış ortam iç ortama bakmaksızın sürekli değişir. Bina kabuğu ise değişen dış ortam koşulları ile iç ortam arasında bir arayüz oluşturur. Aynı zamanda bina kabuğu, dış çevre koşulları ve arzu edilen iç ortam konforu arasında filtre görevi görmektedir. Bu bağlamda iç ortamın fiziksel çevresini belirleyen en önemli tasarım parametrelerinden biri olan bina kabuğu enerji tüketiminin düzenlenmesinde önemli bir yere sahip olmuştur.

Bina kabuğu (*building skin*), yapı kabuğu, bina zarfı (*building envelope*) da denilen mimari kabuklar yapı kimliğinin algısını oluşturmaktadır. Bina kabuğu cephe ve çatı olmak üzere dış duvarlar, katlar, pencereler ve kapıları içermektedir. Bina kabuğunu birçok araştırmacı farklı şekilde tanımlamıştır. Rankouhi, “Bina kabuğu yapıların çevre ile olan etkileşiminin gerçekleştiği sınırdır.”olarak tanımlarken, Hoeven, bina kabuğunun en yaygın özelliğinin “taşıdığı fonksiyonlara cevap veren en uygun iç koşulları sürdürebilmek” olduğunu ifade etmiştir. Öte yandan Kieran, bina kabuğunu “en çok enerji ve malzeme alışverişinin gerçekleştiği yer” olarak tanımlamıştır (Radwan ve Osama, 2016).

3.1. Sürdürülebilir Mimari Kabuk Nedir?

Sürdürülebilir mimari kabuk, iç ortam ve dış çevre arasında bir arayüz görevi gören bina kabuğudur. Sürdürülebilir mimari kabuk, bir dış kabuk değil, canlı derisi/kabuğu gibi zaman içinde vücudun gereksinimlerine göre ortamı seçici olarak kabul eden veya reddeden bir filtre görevi görmektedir (Yowell, 2011).

Bu bağlamda araştırmacılar tarafından yapı kabuklarının sürdürülebilir olması için bazı ilkeler geliştirilmiştir. Bu araştırmacılarından biri olan Yowell (2011), sürdürülebilir bir bina kabuğunun daha verimli olması için nasıl çalışması gerektiğini sorgulayarak yedi adet strateji geliştirmiştir. Buna göre sürdürülebilir mimari kabuğun;

- Doğal unsurlardan korunması,

- Çevre dostu üretim olması,
- Kullanımının sonunda doğal çevreye zararlı olmaması,
- İnce bir tabaka içinde çoklu sistemlerin entegre edilmesi,
- Isı, hava ve su transferini etkin bir şekilde düzenlemesi,
- Yerel çevresine uyulanabilir olması ve buna göre cevap vermesi ve
- Güzel olması gerekmektedir.

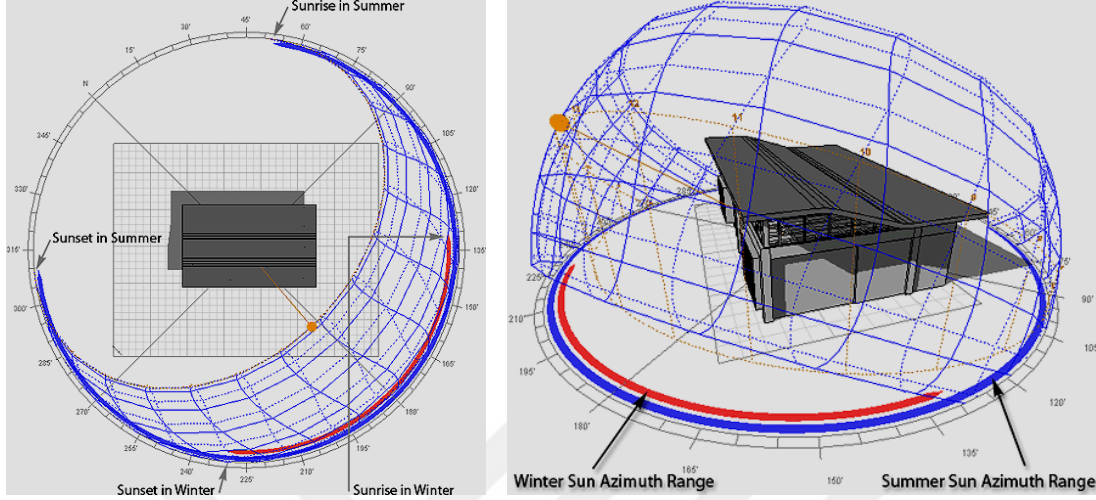
Yowell'in (2011) stratejisine göre bu kriterleri kapsayan bir bina kabuğu sürdürülebilir olabilmektedir. Son yıllarda bina kabukları daha yüksek verimliliğe ulaşmak, enerjinin performansını artırmak, iç ortam konforunu yükseltmek ve sürdürülebilir olmak amacıyla birçok çalışmaya ve araştırmaya dünya çapında konu olmuştur. Günümüzde uygulanan biyomimetik yaklaşım ise daha fazla sürdürülebilir mimari üretilmesine olanak tanımaktadır (Lopez ve diğerleri, 2016).

3.1.1. Sürdürülebilir mimari kabuk tasarımını etkileyen faktörler

Çevre sürekli bir değişim halindedir ve mimari kabuk tasarımı bu değişime cevap verecek nitelikte olmalıdır. Doğada var olan ısı (güneş radyasyonu), sıcaklık, bağıl nem, yağmur suyu, rüzgâr (hava hareketi) ve karbondioksit (hava kalitesi) bir binayı etkileyen temel çevresel etkenlerdir. Bu etkenler, yapı performansının yanı sıra kullanıcı konforunu da önemli ölçüde etkilemektedir (Lopez ve diğerleri, 2015). Binanın tamamına etki eden bu faktörler öncelikle bir arayüz olarak görev yapan bina kabuğuyla etkileşim haline girmektedir. Bu nedenle bina kabuğu, binanın doğal havalandırmadaki performansını iyileştirme, ısı transferini yönetme, gün ışığını yönlendirme ve filtreleme gibi işlevleri barındırmaktadır.

Doğada bulunan ve bina kabuğunu etkileyen çevresel unsurların yanı sıra doğanın düzeni, tasarımcıların doğru bir şekilde öngörebildiği ve kullanabileceği bir koşul sağlamaktadır. Buna örnek olarak dünyada güneşin her gün nerede olacağı bir sürpriz değildir. Bir tasarımcı doğayla birlikte tasarım yaptığında öncelikle o yere özgü güneşin yönü ve güneş ışınımı açısına ilişkin araştırma yapmalıdır. Bunu güneş yolu diyagramını kullanarak saptayabilmektedir (Şekil 3.1). Doğadan öğrenilen prensipleri uygulamak bir binayı daha

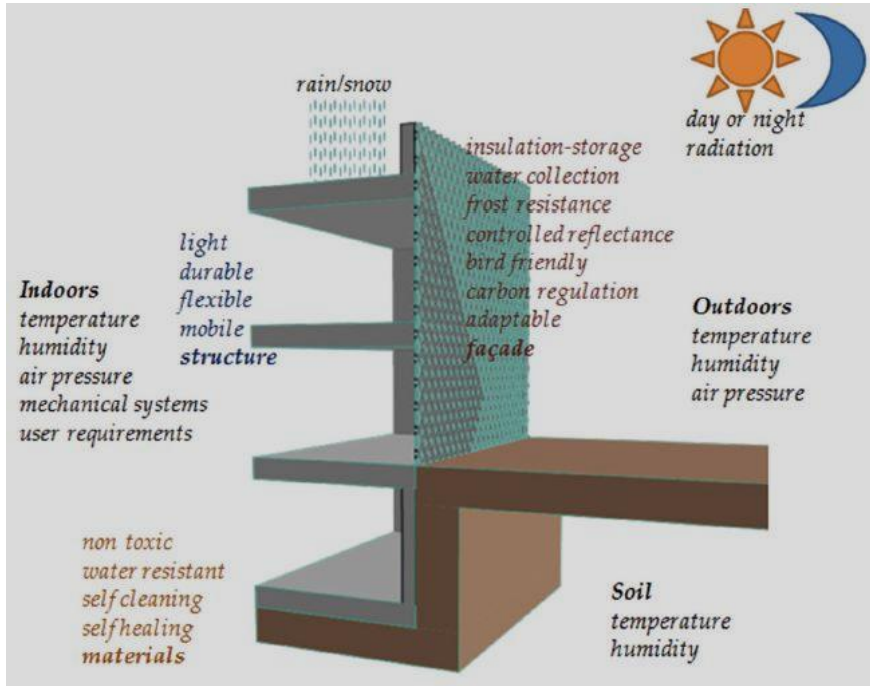
verimli yapmanın ötesinde kullanım aşamasında daha sürdürülebilir ve kullanıcılar için daha konforlu bir hale getirmektedir (Yowell, 2011).



Şekil 3.1. Güneş yolu diyagramı (URL-42)

Bu kapsamda sürdürülebilir bina kabuğu, dış çevresel faktörlere bağlı olarak doğal havalandırmayı sağlama, çapraz havalandırmayı denetleme, dış görünüm sunma, güneşten koruma, rüzgârı ve yağmuru düzenleme ve şiddetli yağın yağmur sularını boşaltma, soğuk mevsimlerde yalıtım sağlama (ılıman bölgelerde yaz, kış ve iki mevsim arasında ortaya çıkan gereksinimleri karşılamak) ve doğal çevreyle doğrudan bir ilişki geliştirmek üzere değiştirilebilir açıklıklara sahip olmalıdır (Yeang, 2008: 202).

Sürdürülebilir bina kabuğu tasarım parametreleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Sürdürülebilir bina kabuğunun su toplama, ısı depolama, donma direnci, kontrollü yansıtma, karbon düzenleme ve uyarlanabilme gibi özelliklere sahip olması gerektiği belirtilmiştir (Tokuç ve diğerleri, 2018). Bina kabuğu ancak bazı işlevleri yerine getirdiğinde bu özelliklere sahip olabilmektedir.



Şekil 3.2. Sürdürülebilir bina kabuğu tasarım prensipleri (Tokuç ve diğerleri, 2018)

Bina kabuğunun bir arayüz olarak yerine getirmesi gereken işlevler iç ortam ve dış çevre arasında değişen faktörlere cevap veren nitelikte olmalıdır. Sürdürülebilir mimari kabukta faktörlerin türüne göre verilen cevap değişkenlik gösterir. Örneğin, bina kabuğu ısı faktörüne yansıtma, emme, yönlendirme veya dağıtma yoluyla cevap verebilmektedir. Bu cevap ise sürdürülebilir mimari kabukta mevsime, günün saatine ve ışığın durumuna göre değişebilmelidir. Çevresel faktörler ve kullanıcı gereksinimleri arasında bina kabuğunun işlevleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (Çizelge 3.1).

Lopez ve diğerleri, 2015, sürdürülebilir mimari kabukların;

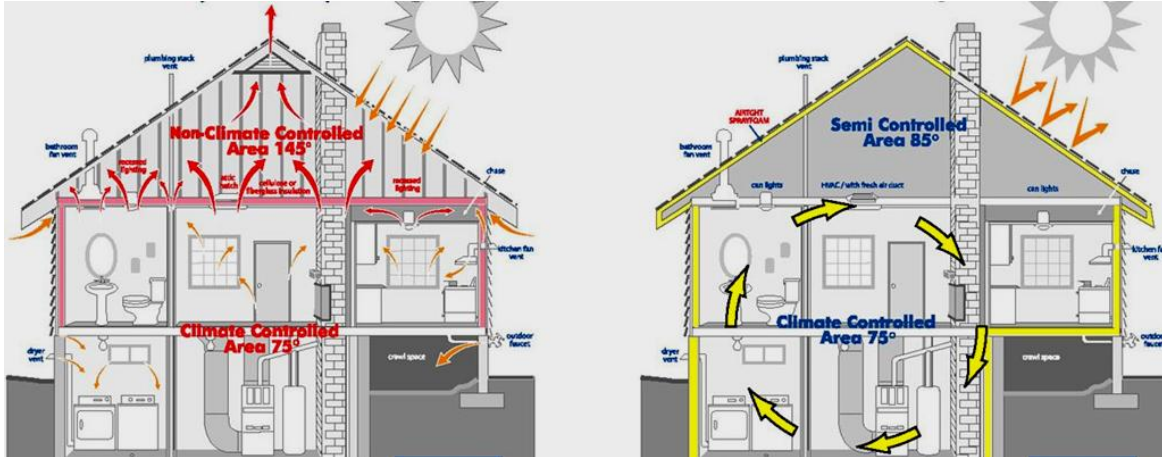
- Nemi düzenlemek için emme, toplama veya buharlaştırma,
- Sıcaklığı düzenlemek için sıcaklığı kazanma veya muhafaza etme,
- Karbondioksiti düzenlemek için filtreleme veya değişim (hava kalitesi),
- Işığı düzenlemek için yansıtma, yönlendirme veya yayma işlevlerini zamanında gerçekleştirebilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Çizelge 3.1. Dış çevre ve iç ortam faktörleri arasında bir arayüz olarak görev yapan bina kabuğu işlevleri (Badarnah Kadri, 2012)

Kullanıcı Gereksinimleri & Talepleri (İç Ortam)	Bina kabuğu (Arayüz)	Çevresel Faktörler (Dış Çevre)
Işık	Yansıtma Emme Yönlendirme Dağıtma	Güneş ışıınımı
Sıcaklık	Dağıtma Kazanma Koruma	Hava Sıcaklığı
Hava Kalitesi (CO ₂)	Filtreleme Değişim	Hava Kalitesi (CO ₂)
Hava Hızı	Değiştirme Akış	Hava Hareketi
Nem	Emme Toplama Buharlaştırma	Nem
Gürültü	Azaltma	Ses/Gürültü

Günümüzde uygulanan biyomimetik yaklaşımla cepheler yenilenebilir enerji üreteçleri haline gelebilmektedir. Dünyadaki birincil enerji kaynağı olan fosil yakıtların oluşumunu sağlayan fotosentezdir. Bitkilerin fotosentez yapma özelliğinden esinlenilerek oluşturulan fotovoltaik teknolojisi ise adeta yapay fotosentezi oluşturmaktadır. Bu kapsamda biyomimikri daha fazla sürdürülebilir mimari üretilmesine olanak tanımaktadır.

Bina kabuğunun tasarımı aydınlatma, mekanik sistemler ve bakım için harcanan enerji miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bina kabuğunun bu sistemlerle olan ilişkisini gösteren diyagram Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Diyagrama göre bin kabuğundan alınan güneş ışıınımı iç ortamdaki hava sıcaklığını, katlar arası ısı akışını ve kullanıcı konforunu dolaylı bir şekilde etkilemektedir.



Şekil 3.3. Bina kabuğunun güneş ışığını emme ve yansıtma davranışı (URL-43)

Bina kabuğunda, ısı transferi dört ana strateji yoluyla oluşmaktadır: radyasyon, iletim, konveksiyon ve canlılar için geçerli olan faz değişimi (Çizelge 3.2). Isı transferinde aktif sistemler kullanılabildiği gibi pasif soğutma sistemleriyle de bina kabuğunda ısı transferi sağlanabilmektedir. Radyasyon, buharlaşma, havalandırma, gölgelendirme ve yalıtım olmak üzere bina kabuğunda beş adet uygulanabilecek pasif soğutma sistemi bulunmaktadır (Mohamed, 2018).

Çizelge 3.2. Isı transfer süreçleri ve bunları etkileyen bina kabuğu özellikleri (Mohamed, 2018)

Radyasyon	İletim	Konveksiyon	Faz Değişimi
- Açıklıkların boyut/şekil/yeri - Gölgeleme elemanları - Bina kabuğu genel morfolojisi - Dış malzemenin yansıtma özelliği	- Termal direnç (izolasyon) - Termal kapasite - Malzemelerin kalınlığı - Malzemelerin düzenlemesi	- Havalandırma sistemi - Açıklıkların boyutu - Açıklıkların yeri - Nemlendirme	- Nemlendirme - Havalandırma sistemi - Bina kabuğu malzemelerinin geçirgenliği - Faz değişim malzemeleri

Ayrıca, sürdürülebilir mimari kabuk çok işlevli olmalıdır. Örneğin; dış gölgeleme araçları, mekâna giren ısı kazanımını azaltabilir, temiz hava akımı sağlayabilir, ses bariyeri işlevi görebilir, erişime süreklilik kazandırabilir ve binanın estetiğine katkıda bulunabilir. Mimari kabukların bütün bu işlevleri gerçekleştirebilmesi amacıyla bazı yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmektedir. Yenilikçi yaklaşımlar mimari kabuklara teknoloji yoluyla uygulanabilmektedir. Teknolojinin kullanımı ise daha çok enerji tüketimine sebep

olmaktadır. Ancak sürdürülebilir bir mimari kabuk tasarlamak için yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesinde mutlaka doğaya yönelim olmalıdır. Bunun sebebi ise doğadan esinlenen sistemlerin kendiliğinden enerji tasarruflu ve ekolojik bir biçimde işleyebilmesidir.

3.1.2. Sürdürülebilir mimari kabuk tasarımında görülen gelişmeler

Sürdürülebilir bina kabuğu araştırmaları kapsamında farklı sistemler geliştirilmiş olup bunlar genellikle teknolojiyle veya doğayla bütünleştirilmiş sistemlerden oluşmaktadır. Yowell (2011)'in sınıflandırmasına göre; entegre (bütünleşik) sistemler (*integrating systems*), duyarlı (tepki veren) bina kabuğu (*responsive building skin*), faz değişim malzemeli cepheler (*phase change*), kendi kendini onarabilen cepheler (*self healing*), biyolojik temelli cepheler (*bio-based*) ve bitkisel cepheler (*vegetative facades*) olmak üzere 6 temel grupta sıralanmıştır.

Entegre (bütünleşik) sistemler (*integrating systems*)

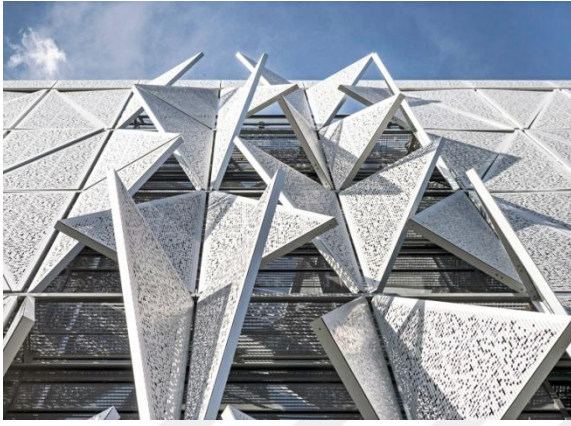
Entegre sistemler, bina kabuğunda çeşitli sistemleri bütünleşik bir biçimde barındırır. Philadelphia merkezli “Kieran Timberlake” firması “SmartWrap™”adında yüksek performanslı dış kaplamalar üretmektedir. “SmartWrap™” ile; geleneksel hacimli duvar, iklim kontrolü, güç, aydınlatma ve bilgi ekranını tek bir alt tabaka üzerinde birleştiren milimetre ölçeğinden oluşan kompozit malzemeye dönüşmektedir. İnce cephesi, bir zar gibi koruma ve iklim kontrolü sağlamaktadır. Bu ince membran üzerine güneş panelleri ve elektronik devre baskılandığında binaya aydınlatma, bilgi ekranı ve güç sağlayabilmektedir (Resim 3.1) (Yowell, 2011).



Resim 3.1. SmartWrap™ akıllı kompozit cephe malzemesi (URL-44)

Duyarlı (tepki veren) bina kabuğu (*responsive building skin*)

Bina kabuğunun teknolojik bir mekanizma ile oluşturulduğu sistemdir. Sistem herhangi bir uyarana cevap verecek şekilde tasarlanır. Örneğin, gün ışığına duyarlı açılıp kapanan cepheler, suya/neme veya sıcaklığa duyarlı cepheler gibi sistemler bulunmaktadır (Yowell, 2011). Syddansk Üniversitesi İletişim ve Tasarım Binası, iç ortam sıcaklıklarını düzenleyen ve iklim duyarlı kinetik bir cepheye sahiptir Duyarlı bina kabuğu geometrik panelleriyle gün ışığını düzenlemek için hareket edebilmektedir (Resim 3.2) (URL-45).



Resim 3.2. Syddansk Üniversitesi İletişim ve Tasarım Binası, Danimarka (URL-45)

Faz değişim malzemeli cepheler (*phase change*)

Faz değişim malzemeleri (PCM) belirti göstermeyen enerji depolama malzemeleri olarak bilinmektedir. Bu teknoloji ısı depolamak veya bırakmak için kimyasal bağ kullanır. Bir malzeme katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya değiştiğinde, termal enerji transferi gerçekleşmektedir. Buna durum veya faz değişimi denir. Faz değişim malzemelerinin kullanıldığı cepheler bu gruba örnektir (Yowell, 2011). Smart is Green binası, faz değişim malzemesinin kullanıldığı bina kabuğuna örnektir (Resim 3.3). Binanın cephesine dahil edilen faz değişim malzemeleri (PCM), sabit bir sıcaklık tutar. PCM, sıcak olduğunda ısıyı emer ve depolar, dış hava sıcaklığı düştüğünde ise bu ısıyı serbest bırakır (URL-46).



Resim 3.3. Smart is Green binası, faz değişim malzemeli bina kabuğu, (URL-46)

Kendi kendini onarabilen cepheler (*self-healing*)

Bu sistemde, Newcastle Üniversitesi'nde bir ekip tarafından, bakterilerin oluşturduğu ürün sayesinde kendi kendini iyileştiren bir beton malzeme oluşturulmuştur. Betonda oluşan çatlakları yeniden yapılandırmak için genetik olarak değiştirilmiş bir mikrop geliştirilmiştir. Bakteri bu mikrop ile beslenerek betonu tamir eden bir kalsiyum karbonat ve mikrobiyal tutkal karışımı oluşturması sağlanmıştır (Yowell, 2011). Palazzo Italia, bina kabuğunda bulunan beton paneller ile hava kirliliğini emerek azaltabilmektedir. Bu özelliğiyle enerji harcamadan kendi kendini onarabilen cephelere örnek olmaktadır (Resim 3.4) (URL-47).



Resim 3.4. Palazzo Italia, Milano (URL-47)

Biyolojik temelli cepheler (*bio-based*)

Temelini biyolojiden alan bir tasarımla oluşturulan cephelerdir. Doğadaki bir organizmadan esinlenilen bir işlev, süreç veya form yoluyla oluşturulabilir (Yowell, 2011). The BIQ House, algler ile enerji sağlayan biyolojik temelli cepheye örnektir (Resim 3.5) (URL-48)



Resim 3.5. The BIQ House, biyolojik temelli cephe, Almanya (URL-48)

Bitkisel cepheler (*vegetative facades*)

Bu tür cephelerde bina canlı bir bitkiyle örtülüdür. Canlı bitkilerin tasarıma dahil edildiği cephelerdir (Yowell, 2011) (Resim 3.6).



Resim 3.6. Quai Branly Müzesi, bitkisel cephesi, Fransa (URL-49)

Bina kabuğunda ortaya çıkan bu gelişmeler mimari kabuk tasarımıındaki yenilikçi yaklaşımların ürünleridir. Biyomimikri yaklaşımının oluşturduğu ürün ise biyomimetik bina kabuğudur. Biyomimetik bina kabuğunun sayılan başlıklar altında değil, ayrı bir çerçevede, farklı bir başlık altında ele alınması gerekmektedir. Çünkü biyomimetik bina kabuğu özelliğine göre yukarıda sayılan başlıkların herhangi birine veya tamamına dahil olabilmektedir. Bu bağlamda, biyomimetik bina kabuğunun uygulama örnekleri incelenerek biyomimikri ve bina kabuğu etkileşimi irdelenmiştir.

3.2. Biyomimetik Mimari Kabuklara Geçiş

Doğadaki canlıların sahip olduğu deri ya da dış kabukların işlevi, mimari cephelerin işleviyle birçok benzerlik taşımaktadır. Deriler, kabuklar, kütiküller, zarlar ve diğer dış organizma tabakaları, canlı organizmaları korur, sınırlar ve içine alır. Mimarlık çoğunlukla insan faaliyetleri için bir iç ortam sunar ve cepheler iç ve dış ortam arasında bir fark yaratır (Gruber ve Gosztanyi, 2010).

Doğada yaşayan birçok hayvanın derisi bir zırh gibi kendisini korumaktadır. Örneğin kaplumbağalar ve sümüklü böceklerin kabukları veya istiridyeler doğal avcılar tarafından saldırıya uğramamak için kullandıkları zırhlarıdır. Binalar da insanları çevresel faktörlerden korumaktadır ancak değişen iklim koşulları, asit yağmurları ve hava kirliliğinden korumak için bina kabuğu farklı özelliklere sahip olmalıdır. Örneğin, bina kabuğu, bazı akıllı zırhlar sayesinde güneş ışığını filtreleyerek zararlı etkilerinden arındırmakta ve böylece gerekli iç konfor ve enerji sağlanabilmektedir (Yedekçi, 2015: 141-142).

Doğada bulunan canlıların dış ortamla olan ilişkisini sağlayan deri, yüzey veya kabuklarının işleyiş mekanizması örnek alınarak enerji verimliliği sağlanabilir. Biyomimikrinin bina kabuğu ile olan etkileşiminde, enerji verimliliği ile yüksek kaliteli iç ortam iklim ihtiyaçları doğada bulunan ilkelerden esinlenilerek yapı kabuğuna entegre edilmektedir.

Deriler/kabuklar ve bina zarfları arasındaki birincil benzetim bir fark yaratmadır. Bu fark, bir iç ortamın kurulmasıdır. Organizmalar söz konusu olduğunda, ihtiyaç duyulan fark derecesi bir tarafta çevresel koşullara ve diğer tarafta ise metabolizma, enerji ve kaynak

dengeğine bağlıdır. Mimaride ihtiyaç duyulan farklılık derecesi, aynı zamanda, kullanıcıların konforuyla da ilgilidir (Gruber ve Gosztonyi, 2010).

İç ve dış ortam arasındaki etkileşim, toplam kapanma ve toplam açıklık arasında madde ve enerji akışları için birçok formu almaktadır. Mekanik etkiler, radyasyon, istenmeyen maddeler ve diğer organizmalardan korunma, deri ve bina cephelerini birbirine bağlayan en önemli fonksiyonel özelliklerdir. Ancak, iç ve dış ortam arasındaki sınır, metabolizmayı sürdürmek için gerekli olan madde ve enerjiyi değiştirmek için mekanizmalar sağlamak zorundadır (Gruber ve Gosztonyi, 2010).

Lopez (2017) uyarlanabilir (adaptif) mimari yapı kabuğu tasarımında hedeflere ulaşmak için doğal sistemlerin kullanılması ile ilgili üç sorunun sorulabileceğini belirtmiştir:

- Doğayla bütünleşen ve doğa gibi işlevini yerine getiren bir yapı kabuğunun oluşturulmasında bitki sistemlerinden elde edilen derslerden nasıl yararlanılabilir?
- Yapı kabukları için çevresel görünümü düzenleyen, bitkilerin adaptasyon stratejilerine dayalı tasarım konseptleri üretmek mümkün müdür?
- Geleneksel yöntemlerle oluşturulan bina cephelerine karşı binalarda dış duvarların yapımında doğayı taklit ederek cephede büyük ölçüde enerji verimliliği elde etmek mümkün müdür? (Lopez ve diğerleri, 2017)

Bir arayüz olarak, binanın dış cephe duvarlarını, çatıyı ve dış açıklıkları içeren, bina zarfı çevrenin ilk savunma hattı olarak ortaya çıkar. Bina kabuğu ve iç duvarlar binanın iç ortam sıcaklığı ve davranışları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir, bu nedenle, enerji talebindeki artış ve iklim değişikliğinin olumsuz etkisi olan binalarda çevre üzerindeki sıcaklık, ısı ve nem gibi uyarana tepki vermeyen geleneksel malzemeler kullanılmamalıdır. Biyomimikri sayesinde binalar da insan derisinin yaptığı gibi işlev görmeli ve insan müdahalesi olmadan doğal ve otomatik olarak etkileşime girmelidir. Bu, biyomimetik tasarıma sahip mimaride akıllı materyaller kullanılarak başarılabilmekte ve böylece mimaride enerji verimli tasarıma büyük ölçüde katkı sağlanabilmektedir (Mohamed, 2018).

4. DOĞADAN ESİNLENİLEN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ KABUKLAR

Biyomimetik bina kabuğu tasarımı için öncelikle bina kabuğunun doğadaki benzeri olan organizmaların deri/kabuk oluşumları araştırılmalıdır. Biyomimetik bina kabuğu tasarımında belirlenecek olan ilk tasarım unsuru esinlenen organizmaların deri/kabuk fonksiyonları olmalıdır.

4.1. Doğadaki Organizmaların Deri/Kabuk Fonksiyonları

“Kabuk (*skin*)” kavramı kürk, tüy, pul, dış iskelet ve kabuklar dahil olmak üzere herhangi bir hayvanın kaplamasına değinmek için genel bir düzeyde kullanılmaktadır. Hayvanlar sahip oldukları derinin türüne göre koruma, algılama, ısı ve su regülasyonu gibi derinin kritik işlevlerini kullanma biçimlerinde kayda değer çeşitliliğe sahiptir. Mimaride ise bina zarfları bina sakinleri ve çevresel unsurlar (su, hava, ses, ışık ve sıcaklık) arasındaki arayüzler olarak birden fazla role hizmet eder (Mazzoleni, 2013). Bu nedenle biyomimetik tasarımda yaygın olarak bina zarfı (*building envelope*), “bina kabuğu (*building skin*)” olarak adlandırılmaktadır. Yowell (2011) ve Mazzoleni (2013) “kabuk (*skin*)” kavramının biyolojik referans için en uygun kavram olduğunu ifade etmiştir.

Canlıların derisi çok yönlü fonksiyonları nedeniyle mimari olarak ilham almak için ideal bir organdır. Deri/kabuk iç ve dış ortamlar arasındaki eşiği oluşturur; ikisi arasındaki bağlantı unsurudur. Deri/kabuk bir bariyerdir, ancak yine de geçirgendir. Bu karşılaştırmalar hem biyolojik hem de mimari dünyalar için geçerlidir. Ayrıca, çok sayıda kritik işlev gerçekleştirir. Patojenlere, yırtıcılara ve çevreye karşı koruyucu bir bariyer görevi görür. Isı kazanımı ve kaybı ile sıcaklık regülasyonuna yardımcı olur. Vücuttaki su kaybını önleyerek veya suyu salıvererek vücudun su dengesini düzenler. Bütün bu farklı işlevler sayesinde, kabuk, mimari tasarımda yenilik, gelişme ve iyileştirme için iyi bir başlangıç noktası olabilmektedir (Mazzoleni, 2013).

Deriler ve bina zarfları, iç ve dış dünyalar arasında her ikisinden de gelen girdilere karşılık olacak şekilde diyalog kurmaktadır. Örneğin, bina zarfı çevreyle iletişim kurmamızı sağlarken aynı zamanda bizi çevreden korumaktadır. Adaptasyon, değişen çevre koşullarını tolere ederken, sabit iç koşullarını koruma yeteneğidir. Biyolojide, yaşamak

için canlı organizmaların temel bir özelliği olan homeostaz olarak adlandırılır. Besin maddeleri, oksijen, tuzlar, atıklar, ısı, basınç ve hacim konsantrasyonu da dahil olmak üzere, homeostaza ulaşmak için çeşitli organizmalar vücut organizmaları tarafından sürekli olarak düzenlenir. Ayrıca, organizmalar tarafından yapılan yapılarda da adaptasyon görülmektedir. Adaptasyon çeşitli zaman aralıklarında gerçekleşir. Örneğin ayieklerin gün boyunca güneşi izlemesi, balinanın yağ dağılımı ve fok balığının deri kalınlığının mevsimlere göre değişkenlik göstermesi bunu kanıtlamaktadır (Badarnah, 2017).

Biyomimetik bina kabuğu tasarımı oluştururken öncelikle organizmalardaki deri fonksiyonları ile mimari benzetimlerinin karşılaştırılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Gruber ve Gosztonyi (2010) tarafından hazırlanan çizelgede, bu karşılaştırmanın organizmaların deri zelliięinin fonksiyonu ile benzetim kurulacak mimari özellik arasında yapılması biyomimetik tasarımı oluşurmada kolaylık sağlamaktadır (izelge 4.1).

Çizelge 4.1. Organizmaların deri özellikleri, fonksiyonları ve mimari benzetimleri (Gruber ve Gosztanyi, 2010)

Birincil fonksiyon, iç ve dış arasındaki ara boşlukta gerçekleşir.			
Organizmaların Deri Özellikleri	Organizmalarda Deri Fonksiyonu	Ne ile	Mimari Benzetim
İnşa etme	Strüktür sağlamak	Kabuk / Yumuşak Gövde ve İç Yapı	Bina konstrüksiyonu
Koruma	İç organları koruma ve örtme Mekanik koruma	Yumuşak veya gergili tabaka	Membran Sistemleri Sert dış tabaka
	Kendinden iyileşme Radyasyondan koruma Kirden koruma Mikroorganizmalardan koruma	Yüzey özellikleri/ karakteristiği, Kimyasal eylem	Kendini iyileştirici malzemeler UV koruması Kendi kendini temizleme Yüzey oksidasyonu
	Enerji korunumu/yalıtım sağlama	Dış tabaka (saç, tüy)	Isı yalıtım
Geçiş/Değişim	Algılama Enerji toplama Hava geçiş kontrolü Termoregülasyon Dolaşımın düzenlenmesi	Çeşitli bilgi Termal ve solar enerji Oksijen, karbondioksit	Sensörler Solar Sistemler Difüzyon Sistemleri Isı Dengesi Filtre Sistemleri
	Maddelerin geçişi Kayıpları Önlemek Su ve nem-terleme	Besinler Su	Soğutma
Bütünleşik fonksiyon, burada bir mekanizmanın kullanımı gerçekleşir.			
Sinyal	Çevredeki görünüş İşaret verme	Renkler, desenler Renk değişimi vb.	İletişim İletişim
Ara boşluktaki bütünleşik fonksiyon, organizmanın başka bir yerinde de gerçekleşebilir.			
Depolama	Enerji depolama Kimyasal enerji depolama Nem depolama	Termal enerji Yağ, şeker	Isı depolama Enerji depolama Su depolama

Biyomimetik bina kabuğu tasarımında öncelikle hem binalar hem de doğa için ortak işlevler tanımlanmıştır (Çizelge 4.2). Çünkü işlevler, binalarda uyum sorunları arasında temel bir bağlantı oluşturmaktadır. Doğada potansiyel olarak bulunan uygun çözümler tanımlanan anahtar fonksiyonların adaptasyona yol açmasıyla gerçekleşmektedir. Bina zarfları iletişim, termoregülasyon, su dengesi ve koruma olmak üzere derilerde bulunan dört anahtar biyolojik fonksiyondan ilham almaktadır (Mazzoleni, 2013).

Bu adaptasyonlar genellikle temel fizik yasalarına dayanır. Organizmaların ısı, hava, su ve ışık yönetimi doğada bulunan uyum stratejileridir. Bu stratejiler de çeşitli çevresel zorluklarda uygulanan özgün süreçleriyle insan yapımı süreçlere örnek olmaktadır (Badarnah, 2017).

Çizelge 4.2. Binalarda (iç ortam) ve doğada (dış çevre) bulunan farklı çevresel zorlukların bina kabuğundaki fonksiyonel yakınsaması (anahtar fonksiyonlar) (Badarnah, 2017)

Ortam	Sıcaklık	Hava	Su	Işık
Binalar (İç Ortam)	Isı Konforu Enerji	Yaşamsal Oksijen sağlama Karbondiyoksit sağlama Soğutma Havalandırma	Nemlendirme Soğutma Sağlama Tüketim Dağıtım	Gün ışığı Görsel konfor Medya Enerji
Doğa (Dış Çevre)	Yaşamsal Isı Düzenleme Çoğalma	Yaşamsal Oksijen sağlama Karbondiyoksit sağlama Soğutma Havalandırma	Yaşamsal Isı Düzenleme Kimyasal Reaksiyon	Yaşamsal Fotosentez Görme İletişim Algılama
Fonksiyonel Yakınsamalar	Kazanma Koruma Dağıtım Önleme	Değişim Hareket etme	Kazanma Koruma Taşıma Kaybetme	Filtreleme Aydınlatma Yayma

Bir organizmanın biyolojisi ve yaşadığı çevre bu işlevleri belirlemektedir. Örneğin Afrika'da bir pangolinde sert pullar canlıyı hem avından hem de yırtıcılardan korumak için kullanılır; ancak kertenkele pulları çöl ikliminde su kaybını önlemeyi sağlamaktadır. Davranışsal adaptasyonlar ve sert bir dış iskelet ile çöl böceğinde su kaybı önlenir. Su aygırı gibi tüysüz derili büyük memeliler ise, kendilerini sudan ve güneşten gelen UV ışınlarından korumaktadır. Soğuktan koruyan bir yalıtım tundra kuğusunda tüy tabakalarıyla sağlanırken, dağlarda yaşayan bir kar leoparının kalın kürkü ile gerçekleşmektedir. Bir tropikal zehirli kurbağanın derisi nem dengesini sağlarken, sinek kuşunun renkli tüyleri eşlerini cezbetmeye yaramaktadır (Resim 5.2) (Mazzoleni, 2010).



Resim 4.1. Doğadaki canlıların farklı işlevsel özelliğe sahip deri örnekleri (Mazzoleni, 2010)

Bitkilerin adaptasyonu ise tüm organizmalar gibi üç ana yolla gerçekleşmektedir: morfolojik, fizyolojik ve davranışsal. Ancak bitkilerin adaptasyon çözümlerinin transferini kolaylaştırmak için bitki adaptasyonları ve çevreleriyle etkileşimleri iki kategoriye ayrılmıştır: dinamik mekanizmalar ve statik stratejiler. Bitkilerdeki stomalar dinamik mekanizmaların ve statik stratejilerin bir örneğidir. Stoma, gaz değişimini kontrol etmek için kullanılan yaprakların epidermisinde bulunan bir gözenektir. Gözenek, açıklığın boyutunu düzenlemekten sorumlu olan koruyucu hücreler barındırmaktadır. Koruyucu hücreler, ışık, nem, karbondioksit, sıcaklık, kuraklık ve bitki hormonları gibi çevresel ve iç uyaranları algılar. Hücresel tepkileri tetiklemek için, stoma açılma veya kapanma ile sonuçlanır (Lopez ve diğerleri, 2015).

Canlıların adaptasyon stratejileri doğada değişen koşullara göre oluşmaktadır. Örneğin, organizmalar sıcaklık, hava ve su değişkenlerine ve içinde bulunduğu ortama göre adaptasyon sağlamaktadır. Bu değişkenler ayrı ayrı incelendiğinde her birinde farklı stratejilerin geliştirildiği görülmüştür.

Sıcaklık

Canlılar hayatta kalmak için vücut ısını çok dar aralıklarda tutmaktadır. Isıyı metabolik olarak üretmenin ötesinde ısı; iletme, konveksiyon, radyasyon ve buharlaşma yoluyla hayvanlar ve çevreleri arasında aktarılır. Bu süreçler organizmalar tarafından gerçekleştirilir ve/veya ısıyı kazanmak, tutmak, yaymak ve önlemek için yerleşik yapılarında kullanılırlar. Örneğin, termit kuleleri, doğal konveksiyon yoluyla, tukanlar ise radyasyon emisyonu yoluyla ısıyı dağıtırlar. Kutup ayıları kalın kürk ve blumberlerin yardımıyla kendilerini kompakt çukurlara gömerek kendilerini verimli bir şekilde yalıtılabilmektedir (Mazzoleni, 2010).

Hava

Hava, organizmaların enerji üretmesi için gıda ve materyal oksidasyonu sürecinde gerekli olan oksijen ve karbondioksiti sağlamaktadır. Organizmalar hareket ve değişim olan iki temel fonksiyonla doğal konveksiyon, basınç farkı, hız gradyanları ve karşı akımlar gibi çeşitli stratejileri gerçekleştirirler. Bazı küçük organizmalar, vücut yüzeylerinde difüzyon yoluyla yeterli miktarda oksijen alırlar. Höyükler (termit kuleleri), yuvalar ve yuvalar etraftaki havayı hareket ettirmek için doğal konveksiyon ve hız gradyanlarını kullanmaktadır (Mazzoleni, 2010).

Su

Doğada su adaptasyon stratejileri çeşitlidir ve su kıt ortamlarında bazı olağanüstü yetenekler bulunmaktadır. Fonksiyonlar açısından su, termoregülasyon ve diğer kimyasal reaksiyonlar için kazanılabilir, korunabilir, taşınabilir ve/veya kaybedilebilir. Bazı organizmalar, vücut yüzeyinde yoğunlaşma ile su kazanırlar (Mazzoleni, 2010).

Organizmalar iletişim, ısı düzenleme, su dengesi ve strüktür sağlama/koruma olmak üzere dört farklı adaptasyon stratejisi geliştirmiştir. Bu adaptasyon stratejileri organizmaların yapısında gerçekleşse de öncelikle deri/kabuk/kabuk kısımlarında görülmektedir. Bundan ötürü organizmaların deri/kabuk/kabuk özellikleri ve adaptasyon stratejileri araştırılarak mimari kabuklara aktarım yapılabilmektedir.

Organizmaların hayatta kalmak için strüktür sağlama, iletişim, ısıl düzenleme ve su dengesi yoluyla geliştirdikleri adaptasyon stratejileri biyomimikriye ilham kaynağı olmaktadır. Bu dört adaptasyon stratejisine uygun olarak organizmalardan esinlenilen sürdürülebilir mimari kabuk örneklerinden her biri için ayrı örnek projeler seçilmiş ve tasarımları biyomimetik tasarım unsurları ile karşılaştırılarak bir tablo düzenlemesi yapılmıştır.

4.2. Organizmalardan Esinlenilen Sürdürülebilir Mimari Kabuk Örnekleri

Doğada bulunan canlı organizmalar derilerindeki farklı işlevler sayesinde bulunduğu ortama adapte olabilmektedir. Örneğin, derisi ile kamufle olabilen, kendini temizleyebilen, ısıyı koruyabilen, iletişim kurabilen vb. canlılar biyomimikri sayesinde mimari kabukların gelişimine ön ayak olmaktadır. Bazı organizmalar ve özellikleri ile bu özelliklerinin tasarımlara nasıl uyarlandığı örneklendirilmiştir (Çizelge 4.3).

Organizmalardan esinlenilen sürdürülebilir mimari kabuklara; Lotus yaprağının kendini temizleyebilme özelliğinin kendini temizleyen cephelere, kutup ayısı derisinin üç katlı olup ısıyı depo edebilme özelliğinin enerji korunumlu ısıl düzenlemeye sahip cephelere, namib çölü böceğinin suyu biriktirebilme özelliğinin ise kurak bölgede yağmur suyunu toplayan cephelere ilham kaynağı olması örnek olarak verilebilir.

Çizelge 4.3. Doğada bulunan organizmaların deri özelliğinin mimari kabuklara biyomimikri ile aktarımı ve tasarıma olan etkisi (İleritürk, 2016)

İLHAM ALINAN ORGANİZMA	ORGANİZMA ÖZELLİKLERİ	DOĞADAN AKTARILAN ÖZELLİĞİN TASARIMA ETKİSİ
İNSAN DERİSİ	*En esnek ve büyük organ *Hissiyatı yüksek (acı, ısı, basınç dayanımı) *Koruyucu *Vücuda zararlı, gereksiz mikrop vs. ter yolu ile atar. *Vücut ısısı bellidir.	* Isı abrobesi (Damar yerine ısı kanalları ile) * Temiz hava sağlar.
KÖPEK BALIĞI DERİSİ	*Aerodinamik (derisindeki girinti çıkıntı ile) *Bakterileri tutuyor. *Ortama göre cevap veriyor. (Korumacı)	*Rüzgâr dengeleyici olabilir. *Suyu, karı, pisliği, yağı yüzeyde tutmaz.
LOTUS YAPRAĞI	* Kendini temizler.(tümsekli yüzeyi sayesinde suyu içine almayarak yüzeyinde kaydırarak temizliyor.) *Suya dirençli	*Kendini temizleyen cepheler.
MÜREKKEP BALIĞI	*Kamufle olabilir. *Renk değişimi ile iletişim sağlar.	*Cephelere led yapılabilir. Oluşturulan parametrelerle kalabalık, trafik, hava durumu vs. göre cephede renk değişebilir. Önemli binalarda (müze gibi) kullanılabilir.
KUTUP AYISI DERİSİ	*Deri 3 katlıdır. (En dışta beyaz tüyler, siyah deri, deri altı tüy tabakası) En alt katman ısıyı depo eder. *Çevresel etmenlerden koruyucu *Mor ötesi ışığı emer. Işığı ve ısıyı yansıtır.	*Enerji korunumu sağlar. *Işık yayını (gölge oluşturur.)
BUKALEMUN	*Kamufle olabilir. *Renk değişimi ile iletişim sağlar. *Isıyı düzenler.	*Cephelere led yapılabilir. Oluşturulan parametrelerle kalabalık, trafik, hava durumu vs. göre cephede renk değişebilir. Önemli binalarda (müze gibi) kullanılabilir.
TİMSAH DERİSİ	*Su kaybını engeller. *Hareketlidir. *Isıyı düzenler. *Flextir.	*Güneşten korur. *Derinin mozaik gibi farklı ölçekte pulları gölge sağlar. *Isıyı doğal hava alışverişi ile düzenler.
MOLOK	*Vücudunda su depo eder. Derisi ıslaktır. (İhtiyacı olan suyu yağmur ve duran sulardan sağlar ve depo eder.) *Çevresel etmenlere karşı koruyucu derisi vardır.	*Su biriktirerek yangına bariyer oluşturur. *Isıyı düzenler.
NAMİB ÇÖLÜ BÖCEĞİ	*Çok nadir yağın yağmur suyunu biriktirir.	*Su biriktirir. *Pencerelerde buğu oluşturmaz. *Pencerelerde damla tutmaz.
NİLÜFER ÇİÇEĞİ	*Kendini temizler. *Kirlenmez	*Kendini temizleyen cepheler
SU AYGIRI DERİSİ	* Zamanının çoğunu su altında geçirdiği için su üzerine çıktığında derisinde bulunan 2 pigment sayesinde UV ışığı absorbe eder.	*Enerji korunumu sağlar. *Gün ışığından faydalanarak enerji depolar.
SU AYISI DERİSİ	*Kendini temizleyebiliyor.	*Kendini temizleyen cepheler oluşturulabilir.
BEYAZ KELEBEK	*Kanatları direk gelen güneş ışığını reflekte ediyor. *Kanatları arasındaki açı sayesinde solar enerjiyi vücutlarında depo edebiliyor.	*Enerji korunumu/deposu *Gün ışığından faydalanma
KURBAĞA, KUTUP BALIĞI	*Soğuk nedeniyle donup tekrar hayata dönüyorlar ve organları hiç zarar görmüyor.	*Çok soğuk iklime sahip yerlerde don olaylarına karşı kullanılır.
SU AYGIRI DERİSİ	* Zamanının çoğunu su altında geçirdiği için su üzerine çıktığında derisinde bulunan 2 pigment sayesinde UV ışığı absorbe eder.	*Enerji korunumu sağlar. *Gün ışığından faydalanarak enerji depolar.

Bu tez çalışmasında organizmalardan esinlenilen sürdürülebilir mimari kabuk örnekleri organizmaların deri/kabuk fonksiyonlarına göre 4 başlık altında incelenmiştir. Bunlar strüktür sağlama, iletişim, su/nem dengesi ve ısıl düzenleme fonksiyonlarıdır. Biyomimetik bina kabuğu örneklerinde strüktür sağlama fonksiyonunda Waterloo Uluslararası Terminal ve Gherkin Tower; iletişim fonksiyonunda İçme Suyu Sağlayan Proje (Madagaskar) ile One Ocean Thematic Pavilion; su/nem dengesi fonksiyonunda Hygroskin; ısıl düzenleme fonksiyonunda ise Soma tuğlası, S.C.A.L.E.S. projesi ve Esplanade Theatres tasarımları incelenmiştir.

Strüktür sağlama/Koruma

Nicholas Grimshaw ve Partnerleri tarafından tasarlanan ve 1993 yılında İngiltere Londra'da yapımı tamamlanan Waterloo Uluslararası Terminali, biyomimikri yaklaşımının kullanıldığı bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarım konsepti ve mimari özellikleri bakımından yapının ilk taslak çizimlerinden camının son parçasının sabitlenmesine kadar geçen oluşum süreci, hayal gücü işbirliğini ve 19. yüzyılın büyük mühendislik strüktürlerini hatırlatan bir tasarım olduğunu göstermektedir (Slessor ve Linden, 1997).

Waterloo Uluslararası Terminalinin kabuk tasarımına pangolin ilham kaynağı olmuştur (Resim 4.2). Bu tasarım organizma düzeyindeki biçim ve süreç biyomimikrisine bir örnektir. Pangolin, Pullu memeliler familyasından, Asya ve Afrika'nın tropik bölgelerinde yaşayan vücutları pullu dişsiz memeli türlerinin genel adıdır. Pullu karıncayiyenler de denmektedir. Pangolinler, Asya, Afrika ve bazı Pasifik adalarında toprak veya ağaçlar üzerinde yaşarlar. Bir tehlike anında kabuğundaki hareketli pullar sayesinde yuvalanarak topaç haline gelmektedir. Bu davranışı pangolinin kendisini korumasını sağlamaktadır (Apak, 1994: 171-172).

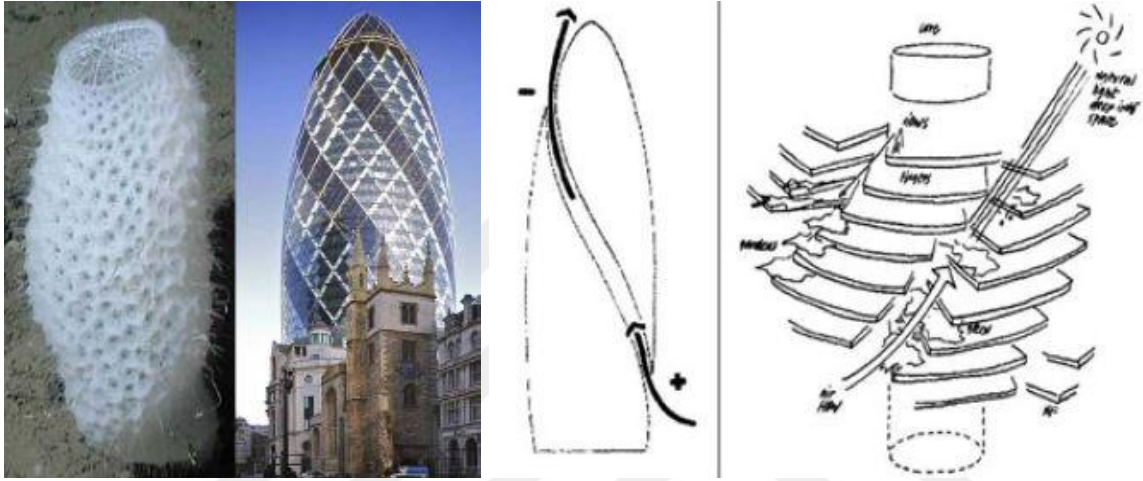


Resim 4.2. Waterloo uluslararası terminal ve ilham kaynağı pangolin (URL-50)

Terminaller trenlerin terminale girip çıkarken oluşturduğu hava basıncı değişikliğine tepki verebilmelidir. Cam paneli sabitleme parçaları, pangolinin esnek pullarının düzenini taklit eder, böylece yüklenen hava basıncı kuvvetlerine tepki olarak hareket edebilmektedir. Cam panellerin düzeni ve hareketi, istasyona giren trenlerden gelen hava basıncındaki artışın verimli ve güvenli bir şekilde dağılmasına/kaçmasına izin vermektedir. Ayrıca bina kabuğunun esnek hareketi havanın dolaşımına izin vererek sıcaklığını ayarlamaktadır (Zari, 2007). Böylece biyomimetik tasarım işlevsel bir sorunu çözüme kavuştururken aynı zamanda enerji tüketimi olmadan iç ortam sıcaklığının ayarlanmasını sağlayarak enerji verimliliğine katkı sağlamıştır.

Waterloo Uluslar arası Terminali'ne ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.4'te tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.4).

Gherkin Tower, Norman Foster ve partnerleri tarafından Venüs çiçeği süngerinin altıgen yüzeyi ve strüktüründen esinlenilerek tasarlanmıştır (Resim 4.3). Bu sünger güçlü su akıntılarının olduğu bir sualtı ortamında bulunmaktadır. Süngerin kafes benzeri dış iskeleti ile yuvarlak şekli çeşitli yönlerde oluşan gerilmeleri dağıtmaya ve yuvarlak şekli güçlü su akıntılarının oluşturduğu kuvveti azaltmaya yardımcı olmaktadır (Nkandu ve Alibaba, 2018).



Resim 4.3. Gherkin Tower ve ilham kaynağı venüs çiçeği süngerini (Nkandu ve Alibaba, 2018)

Kulenin ana strüktürü alüminyum kaplı çelik diyagrid taşıyıcılardan oluşmaktadır. Diyagrid strüktür, dikey bir konsol görevi görerek kule yüksekliğini bir dizi modüle ayırır. Üçgen şeklindeki döner atriyumlarla kesintisiz bir iç ofis alanı sağlayan bu bağımsız yapıda, hiçbir sütun bulunmamaktadır. Böyle yüksek bir yapıda doğadan alınan bir strüktür mimari tasarıma aktarılarak taşıyıcı ve büyük cam cephe sorunu çözüme ulaştırılmıştır (Nkandu ve Alibaba, 2018).

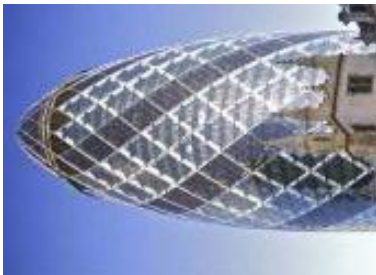
Ayrıca, döndürülmüş zemin plakalarının kullanımı ile, her bir kata doğal gün ışığı ve havalandırma sağlayan ışık kuyusu oluşturulmuştur. Güneşe maruz kalmayı en üst düzeye çıkarmak için çift katmanlı cephe sistemi seçilmiştir. Çift katmanlı cephenin kullanılmasıyla pasif soğutma, ısıtma, havalandırma ve aydınlatma teknikleri etkili bir şekilde uygulanabilmektedir (Nkandu ve Alibaba, 2018).

Gherkin Tower'a ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.5'te tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Gherkin Tower-biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım			Biyomimetik Düzey			Esinlenen Deri/Kabuk Özelliği			
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Isıl Düzlenme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim
✓		✓				✓			
Esinlenen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri							
Ventüs Çiçeği Süngeri	Ventüs çiçeği süngeri yapısında bulunan diyagrid yüzeylerle dayanımlı silindirik bir forma sahiptir.	Alüminyum kaplı çelik diyagrid taşıyıcılar ile silindirik formun taşıyıcı sorunu çözülmüş ve üçgenlere bölünmüş yüzeyler ile büyük cam cephe oluşturulabilmiştir.	Alüminyum kaplı çelik diyagrid taşıyıcılar ile silindirik formun taşıyıcı sorunu çözülmüş ve üçgenlere bölünmüş yüzeyler ile büyük cam cephe oluşturulabilmiştir.	Alüminyum kaplı çelik diyagrid taşıyıcılar ile rüzgâr yüklerine karşı dayanımlı, silindirik camdan oluşan sürdürülebilir mimari kabuk	Strüktür Tasarımında Görülen Biyomimetik Yenilik				

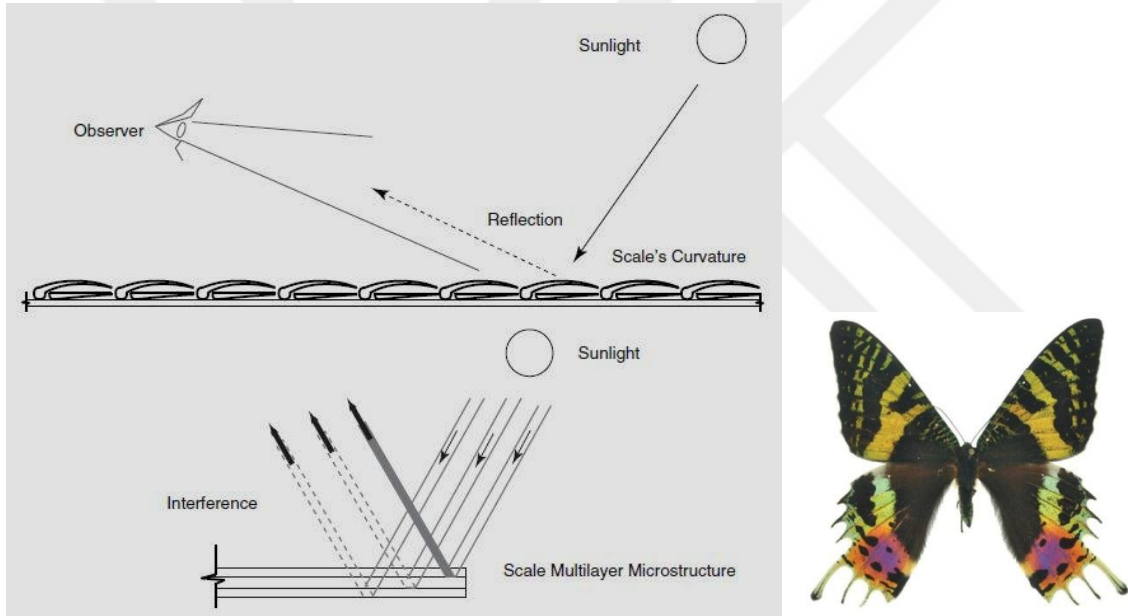
GHERKIN TOWER,
LONDRA, 2003



ESİNLENİLEN ORGANİZMA:
VENÜS ÇİÇEĞİ SÜNGERİ

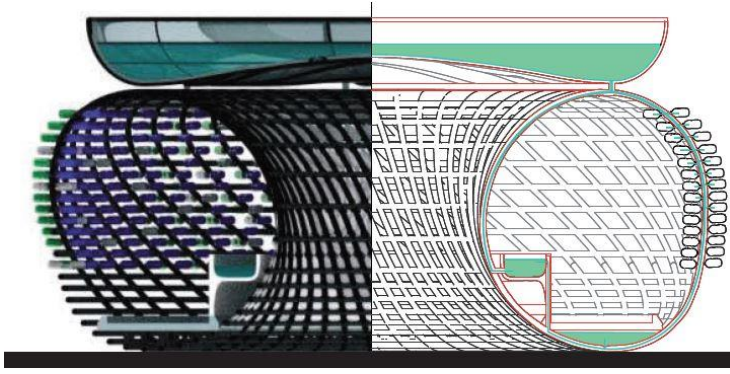
İletişim

Urania Güvesinin kanat yapısından esinlenilen İçme Suyu Sağlayan Proje, Madagaskar'daki kurak bir kasaba olan Urania Güvesinin doğal ortamında yer almaktadır. Yapı kabuğunun tasarımında, güvelerin çok katmanlı ve çok renkli kanat takımının yansıtıcı ve kırıcı özelliklerinden esinlenilmiştir (Şekil 4.1). Urania güvesi olarak adlandırılan Madagaskar gümbatımı güvelerinin en göz alıcı özelliği rengârenk olmasıdır. Kanat desenleri yanardöner özelliktedir. Yanardönerlik, izleme açısı veya aydınlatma açısı değiştirildiğinde renk değiştiren bir yapının yüzeyi olarak tanımlanır. Kelebek ve güve kanatları, kısmen üst üste binen katmanlardan oluşmaktadır (Mazzoleni, 2013).



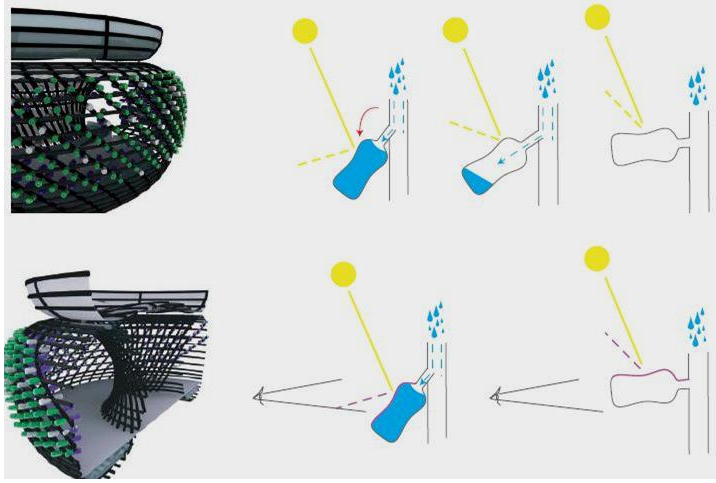
Şekil 4.1. Urania Güvesinin kanadındaki birden fazla yüzeyden geçen gün ışığının yansımalarından kaynaklanan yanardönerlik (Mazzoleni, 2013)

Bina, yağmur suyunun geniş bir çatı yüzeyinden toplandığı yerel toplum için yeni ve temiz bir içme suyu sistemi sağlamaktadır. Suyu çatıdan binanın kabuğuna iten bir filtrasyon sistemi, yapısal bir kafes boyunca suyu toplayan yeniden kullanılabilir renkli şişelerin toplanmasını desteklemek için inşa edilmiştir. Boru şeklindeki yapının kavisli yüzeyi ve tüpler arasındaki değişken mesafe suyun varlığını duyurmak için zamanla değişen rengi yansıtmaktadır (Şekil 4.2) (Mazzoleni, 2013).



Şekil 4.2. Boru şeklindeki yapının kavisli yüzeyi ve tüpler arasındaki değişken mesafenin suyun varlığını duyurmak için zamanla değişen rengi yansıtmaları (Mazzoleni, 2013)

Şişelerin açısı şişelerde toplanan su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Boş olduğunda şişeler cepheye diktir ve kap su ile ağırlaşırken cepheye paralel olarak değişir. Işık, su dolu şişelerin şekli ve açısına göre çeşitli yansımalar oluşturur (Şekil 4.3) (Mazzoleni, 2013).



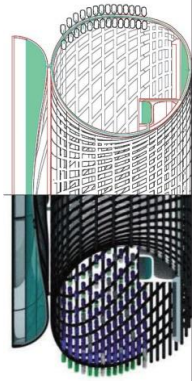
Şekil 4.3. Farklı cephe tabakalarının üst üste bindirilmesiyle su dolu renkli şişelerin değişen açılarından geçen ışığın renkli görünüm oluşturmaları (Mazzoleni, 2013)

Bina, yağmur suyunun toplanmasıyla temiz bir içme suyu sistemi sağlamaktadır. Urania güvesinin kanadındaki renk değişimi gibi binanın kabuğunda da şişelerde toplanan su ile şişe dolana kadar renk değiştirmektedir. Böylece insanlar dolu olanları rengiyle ayırt edebilmektedir. Bu projede biyomimetik bina kabuğu ile binada herhangi bir otonom sistemi olmadan insanlarla iletişim sağlanabilmiştir. Madagaskar içme suyu sağlayan projeye ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.6'da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. İçme suyu sağlayan proje- biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım			Biyomimetik Düzey			Esinlenilen Deri/Kabuk Özelliği			
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Isıl Düzzenleme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim	
	✓	✓						✓	
Esinlenilen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Bina, yağmur suyunun toplanmasıyla temiz bir içme suyu sistemi sağlamaktadır. Binanın kabuğunda şişelerde toplanan su ile şişe dolana kadar renk değiştirmektedir. Böylece dolu olan şişeler ayırt edilebilmektedir.	Yağmur suyunun suyu oluşturan ve herhangi bir otonom sistemi olmadan insanlarla iletişim sağlayabilen sürdürülebilir mimari kabuk	Tasarımda Oluşan Biyomimetik Yenilik				
Urania Güvesi, Madagaskar	Urania güvesinin kanadındaki katmanlı yapısı ışık açısına göre yansıtarak renk değiştirir. Bu özelliği çevresiyle iletişim kurmasını sağlamaktadır.								
ESİNLENİLEN ORGANİZMA: URANIA GÜVESİ									

İÇME SUYU SAĞLAYAN
PROJE, MADAGASKAR



One Ocean Thematic Pavilion, Güney Kore'de Yeosu Expo 2012 uluslararası mimari proje yarışmasında SOMA mimarlık firması tarafından tasarlanmıştır. Binanın ana giriş cephesi biyomimetik bir yaklaşımla kinetik cephe olarak tasarlanmıştır. Cephenin çalışma mekanizması, bir burulma bükme mekanizmasına dayanan Güney Afrika'da yetişen cennet kuşu çiçeğinin (*Strelitzia reginae*) tüneğinde bulunan yaprakların açılmasından esinlenilmiştir. Cennet kuşu çiçeği kuşlarla tozlaştığında tünekte bulunan yapraklar aşağı eğilerek burulmayla açılmaktadır (Resim 4.4). Cennet kuşu çiçeğinden ilham alınarak Flektofin® adlı cephe malzemesi tasarlanmıştır (Lopez ve diğerleri, 2017).



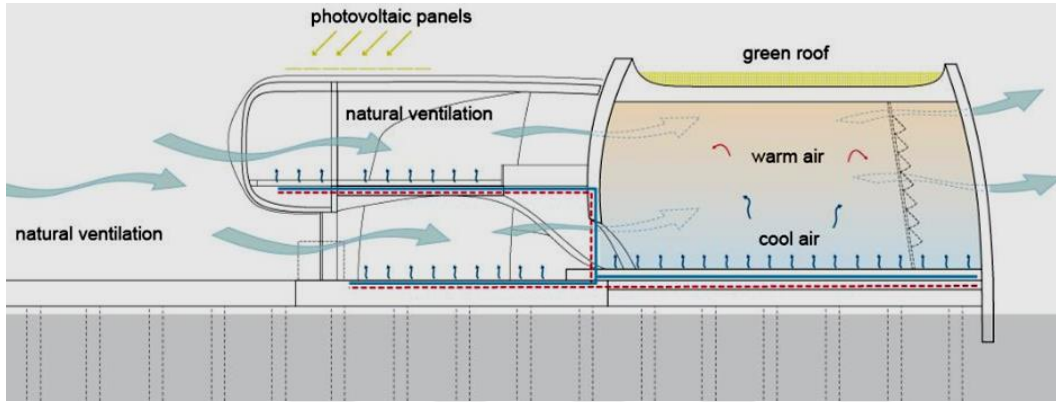
Resim 4.4. One Ocean Pavilion'un ilham kaynağı cennet kuşu çiçeği (*Strelitzia reginae*) (Tokuç ve diğerleri, 2018) ve tünek hareketi (URL-51)

One Ocean Thematic Pavilion cephe tasarımında Flektofin®malzemesinin özelliği kullanılmıştır. Kinetik cephe, cam elyaf takviyeli polimerden (GFRP) üretilen fiberglas lamellerden oluşmaktadır. Her bir modül lamel, cephenin üst ve alt kenarlarında bulunan aktüatörlerle hareket ettirilir ve çatı üzerinde bulunan güneş panelleri ile çalıştırılır. Cam elyafların yüksek mukavemeti ve düşük bir bükülme sertliği bulunmaktadır. Aynı zamanda rüzgâr yüklerine karşı yapısal direnç elde etmek için oldukça esnek bir epoksi reçineyle birleştirilir. Gün boyunca, kinetik cephenin hareketli lamelleri fuayeye ışık girişini kontrol eder. Lameller, ışık koşullarına karşı kontrollü hareketine ek olarak fuayede cephede okyanus dalgaları gibi hareketli desenler yaratır (Resim 4.5) (Tokuç ve diğerleri, 2018).



Resim 4.5. One Ocean Thematic Pavilion ve kinetik cephesinin açık ve kapalı lamel görünümü (URL-52)

Biyomimetik kinetik cephede geometri, malzeme özellikleri, açılma açısı ve ışık birbiriyle entegre olmuştur. Böylece projede biyomimetik tasarım yaklaşımı tutarlı bir etki oluşturmaktadır. Projenin iklimlendirmesinde ise yine biyomimetik bir yaklaşımla kinetik yapı kabuğu etkili olmuştur. Doğal havalandırma lamellerden kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ayrıca çatıdaki fotovoltaik paneller yardımıyla enerji üretimi yapılabilmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 4.4. One Ocean Thematic Pavilion iklimlendirme grafiği (URL-52)

One Ocean Thematic Pavilion'a ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.7'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. One Ocean Thematic Pavilion - biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım		Biyomimetik Düzey			Esinlenen Deri/Kabuk Özelliği				
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	Sürdürülebilirlik Sağlama/Kabuk Özellikleri	Isıl Düzlenme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim	
	✓		✓					✓	
Esinlenen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Tasarımda Oluşan Biyomimetik Yenilik					
Cennet kuşu çiçeği, Güney Afrika	Cennet kuşu çiçeği kuşlarla tozlaştığında tünekte bulunan yapıtlar aşağı eğilerek burulmayla açılmaktadır.	Cennet kuşu çiçeği esinlenilerek oluşturulmuş Flektofin kullanılmıştır. Kinetik cephenin hareketli lamelleri fuayeye ışık girişi kontrol etmektedir. Lameller cephede okyanus dalgaları gibi hareketli desenler oluşturur.	Cennet kuşu çiçeğinden esinlenilerek oluşturulmuş Flektofin kullanılmıştır. Kinetik cephenin hareketli lamelleri fuayeye ışık girişi kontrol etmektedir. Lameller cephede okyanus dalgaları gibi hareketli desenler oluşturur.	İşlevsel Amaçlı Biyomimetik Yenilik Malzeme Alanında Görülen Biyomimetik Yenilik					

ONE OCEAN
THEMATIC PAVİLİYON,
GÜNEY KORE, 2012



ESİNLENİLEN ORGANİZMA:
CENNET KUŞU ÇİÇEĞİ

Nem/su dengesi

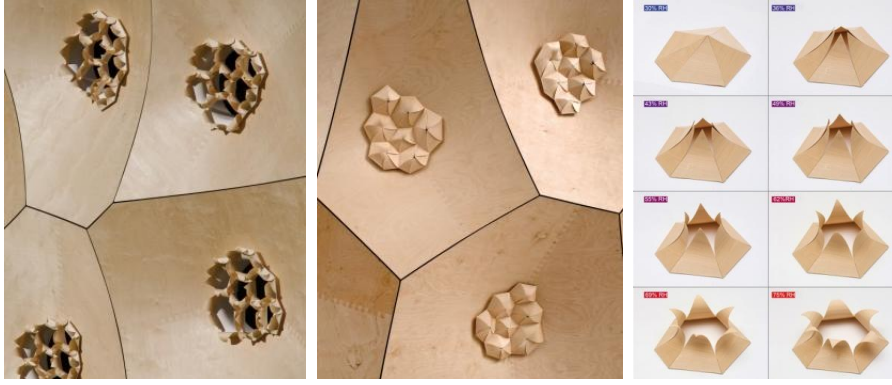
Hava durumuna/iklime duyarlı pavyon Hygro Skin, 2013 yılında Oliver David Krieg ve Steffen Reichert ortaklığıyla Achim Mengesin tarafından biyomimetik bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Bu pavyonun yapı kabuğu, ladin kozalaklarının nem değişimine verdiği pasif bir tepki olarak gözlenen hareketine dayanmaktadır (Resim 4.6). Bina kabuğunda kullanılan modüller nem değişimine karşı açılıp kapanarak tepki vermektedir. Çevreyle etkileşime girmek için bağıl nem farklarını yeşil bir tetikleyici olarak kullanan Hygro Skin malzemenin tepkisel kapasitesini kullanmaktadır (Lopez ve diğerleri, 2017).



Resim 4.6. Hygro Skin biyomimetik yapı kabuğunun iç ve dış görünümü (URL-53)

Ahşap, ağaçların destek, iletim ve depolama gereksinimlerini karşılamak için oldukça etkili bir biyolojik sistem olarak geliştirilmiş ve doğal ortamda yetiştirilmiş organik bir dokudur. Ahşabın aktif eğilme davranışını ve malzemenin higroskopik olarak harekete geçirilmesini sağlayan iklime duyarlı bileşenlerin incelenmesi sonucu katmanlar oluşturulmuştur. Malzemenin konik yüzeyler oluşturma kapasitesine bağlı olarak malzeme, yapısal davranış, robotik imalat ve montajın biyomimetik tasarım yaklaşımıyla bütünleştirilmesi sonucunda hesaplamalı tasarım süreci geliştirilmiştir. Her bir bileşen, konik yüzeyler halinde oluşan ve ardından vakumlu presleme ile bir sandviç panelin üretilmesi için birleştirilen bir çift tabakalı katmandan oluşur. Koni açılımı (kurduğunda) ve kapanımı (ıslandığında) malzemenin çift katmanlı yapısı tarafından etkinleştirilmektedir (Resim 4.7) (Krieg ve diğerleri, 2014).

Kanat aralıkları bağıl nem değişimine %30 ila %90 arasında tepki vermekte bu sayede yapı kabuğunun ışık iletimini ve görsel geçirgenliğini ayarlamaktadır (Lopez ve diğerleri, 2017).



Resim 4.7. Hygroskin açılıp kapanan modülleri (URL-53)

Doğada iklim duyarlılığı çoğunlukla malzemenin davranışına doğal olarak gömülürken, mimaride genellikle ayrı teknik algılama, çalıştırma ve düzenleme cihazları ile elde edilir. Ancak Hygroskin Pavyonu, malzeme yapısına cevap vermenin doğal prensibini kullanır ve bu nedenle herhangi bir kontrol mekanizması, teknik ekipman veya harici enerji tedarik sistemi gerektirmez (Krieg ve diğerleri, 2014).

Ahşabın neme karşı olan hassaslığı, hava değişimlerine tepki olarak açılıp kapanabilen havaya duyarlı bir kabuk kurmak için otonom bir sistem ortaya çıkarmıştır. Hygro Skin tasarımı tamamen biyomimetik prensiplere dayanmıştır ve enerji verimliliği açısından sürdürülebilir adaptif mimari kabuğun geliştirilmesinde herhangi bir algılayıcı veya elektriksel sisteme ihtiyaç duyulmadığını göstermiştir (Lopez ve diğerleri, 2017)

Hygroskin Pavyonu'na ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.8'de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Hygroskin - biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım		Biyomimetik Düzey			Esinlenen Deri/Kabuk Özelliği				
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	S trüktür Sağlama/K oruma	Isıl Düzenleme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim	
✓			✓				✓		
Esinlenen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Tasarımda Oluşan Biyomimetik Yenilik					
Ladin Kozalağı	Ladin kozalakları nem değişiminde yaptıklarını hareket ettirerek nem değişimine pasif bir tepki vermektedir.	Mimarî kabukta kullanılan malzeme nem değişimine karşı açılıp kapanarak tepki verilmektedir. Ayrıca ışık iletimi ve görsel geçirgenlik otomasyon sistemi kullanılmadan sağlanmaktadır.	Neme karşı duyarlı ve herhangi bir otom sistemi olmadan açılıp kapanabilen hareketli adaptif sürdürülebilir mimari kabuk	İşlevsel Amaçlı Biyomimetik Yenilik Malzeme Alanında Görülen Biyomimetik Yenilik					

HYGROSKIN

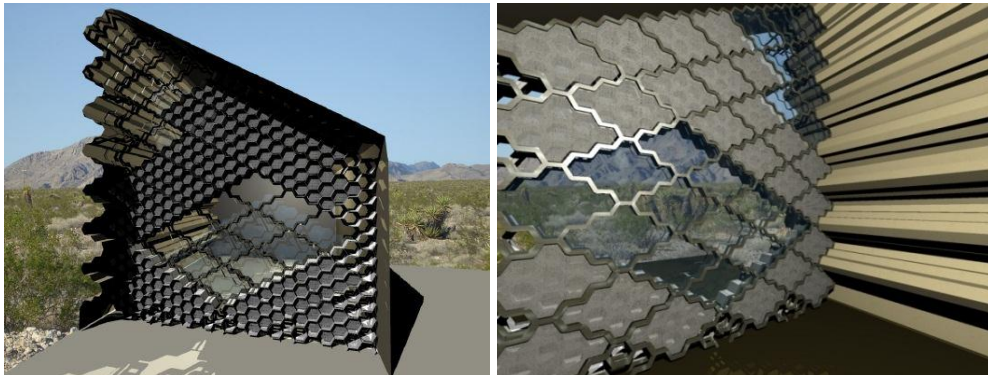
ESİNLENİLEN ORGANİZMA:
LADİN KOZALAĞI

Isıl düzenleme

Doğada bulunan organizmalar dalgalanan çevresel sıcaklıklara uyum sağlamalarını kolaylaştıran stratejilere sahiptir. Doğada kendiliğinden oluşan bu stratejiler ısı düzenlemeyi meydana getirmektedir. Isıl düzenleme ise birkaç farklı yolla gerçekleşebilmektedir. Örneğin, termit tepelikleri pasif havalandırma, tuna balığı sıcaklık değişimi, insan derisi terleme, kuşlar çırpınma ve bitkiler stomalar ile ısı düzenlemeye cevap verirler.

Kurak iklimler için bina kabuğunda kullanılan ve buharlı soğutma sistemiyle çalışan “Stoma Tuğlası (*Stoma Brick*)” doğada bulunan organizmaların ısı düzenleme sistemi prensiplerine göre tasarlanmıştır (Resim 4.8). Stoma tuğlası sistemi, bitkilerin stomasının ozmotik basınç değişiminin buharlaşma için açıklıkları kontrol etme; çam kozalağının bağıl nem değişikliklerinin malzeme deformasyonuna neden olma; göz çevresindeki kirpiklerin küçük parçacıklara karşı koruma (toz ve kum) ve insan cildinin gizli ısı transferiyle buharlaşma yoluyla soğutma özelliklerini barındırmaktadır (Badarnah ve diğerleri, 2010).

Genişleme, daralma, açıklık, terleme, gaz değişimi gibi özelliklere sahip olan sistemde cephe 9’lu ve 3’lü gözenekli bloklardan oluşmaktadır. Ayrıca sistem buharlı soğutma için kapalı sulama sistemi içermektedir (Farchi Narchman, 2009).

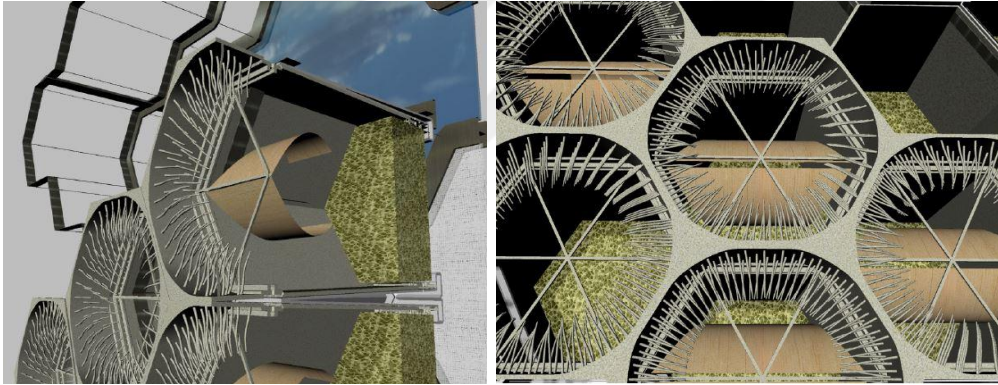


Resim 4.8. Kurak bölgeler için “stoma tuğlası” cephe tasarımı (Farchi Narchman, 2009)

Sıcak ve nemli havalarda kaplama panjur nemlendiğinde deforme olur, bu da havanın süngerimsi yapıdan geçmesine izin verir. Sıcak ve kuru havalarda ise sistem farklı

çalışmaktadır. Havanın nemlendirilmiş süngerimsi yapıdan içeri girmesine izin vermek amacıyla su döngüsü su damlacıklarının kaplama panjuru üzerine düşerek panjurun deforme olmasını sağlar. Süngerimsi tabaka da nemli havanın geçmesine izin verir. Sonuç olarak, giren kuru hava iç alana ulaştığında her koşulda nemli olmaktadır. Soğuk ve kuru havalarda süngerimsi yapı, ısı kaybını azaltan bir yalıtım tabakası görevi görmektedir (Badarnah ve diğerleri, 2010).

Buharlı (evaporatif) soğutma yöntemi sergileyen cephe dört parçadan oluşmaktadır (Resim 4.9). Stoma tuğlası, termoregülasyon için gözenekli malzemeden yapılmış fonksiyonel parçalardan oluşmaktadır. Kabuk içerisinden geçen havayı filtrelemek için kabuk dışında tüylü bir tabaka bulunmaktadır. Kabuk içerisinde nem oranına bağlı olarak açılıp/kapanan bir kaplama panjuru yer almaktadır. En iç tabaka ise buharlaşma sonucu oluşan nemi tutmak için süngerimsi/gözenekli bir özelliğe sahiptir (Badarnah ve diğerleri, 2010).



Resim 4.9. Stoma tuğlası gözeneklerin detayı (Farchi Narchman, 2009)

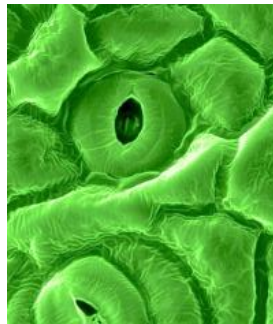
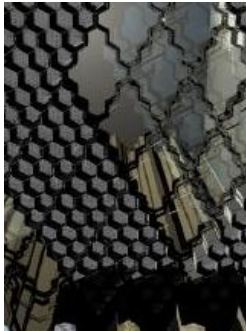
Çerçeveye yerleştirilen stoma tuğlası içerisinde sulama sistemi oluşturulmuştur. En iç katmanda, hava temizleme için filtre ya da dış ortam ile aydınlatma ve görsel iletişim için yerleştirilen çift akrilik cam bulunmaktadır. Stoma tuğlası, bütünleşik montajı nedeniyle “çöl bataklığı soğutucuları” gibi doğrudan buharlaştırıcı sistemlerinde avantaj sağlamaktadır. Ayrıca 3 lü ve 9 lu “Lego” çeşitliliğinin birçok avantajı vardır ve ihtiyaç duyulan soğutma miktarı, genel tasarımı etkileyecektir. Bu sistem kurak iklimler için verimli bir bina zarfı olarak kullanılabilecektir (Farchi Narchman, 2009).

Stoma tuğlasına ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.9’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.9).

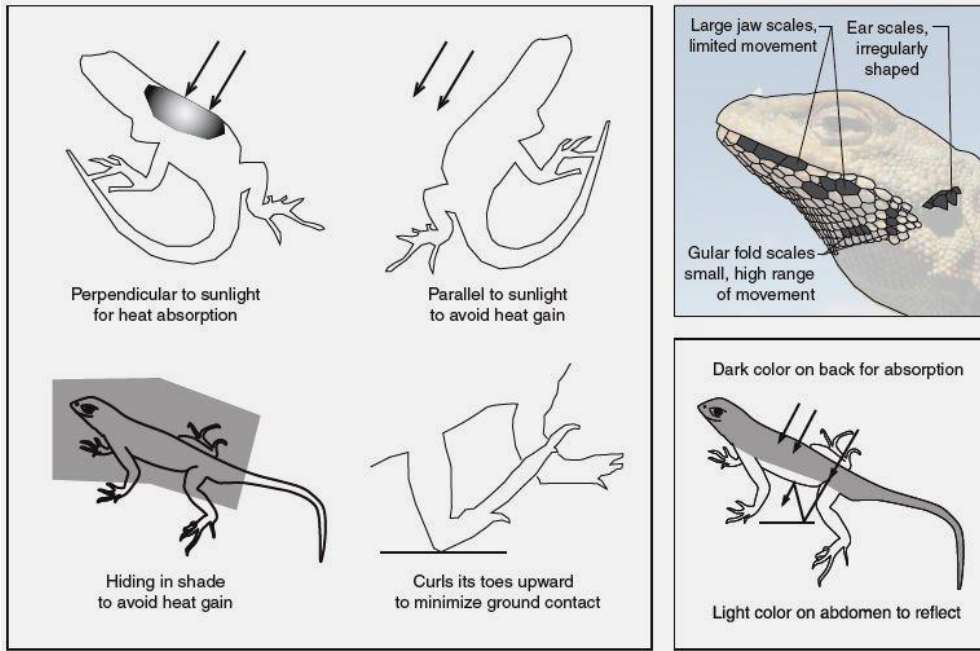
Çizelge 4.9. Stoma Tuğlası - biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım		Biyomimetik Düzey			Esinlenilen Deri/Kabuk Özelliği				
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	S trüktür Sağlama/K oruma	Isıl Düzlenme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim	
	✓		✓			✓			
Esinlenilen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Tasarımda Oluşan Biyomimetik Yenilik					
Stoma, Çam kozalağı, Kırpıklar, İnsan cildi	Stoma basınç değişimine buharlaşma yoluyla, çam kozalağı bağıl nem değişikliğine hareketiyle tepki vermektedir. Kırpıklar gözü küçük parçacıklara karşı korumaktadır. İnsan cildi buharlaşma yoluyla kendini soğutmaktadır.	Bina kabuğunda buharlı soğutma sistemiyle çalışan stoma tuğlası doğada bulunan organizmaların ısıı düzenleme sistemi prensiplerine göre tasarlanmıştır. Sistem genişleme, daralma, açıklık, terleme, gaz değişimi gibi özelliklere sahiptir.	Sıcaklığa karşı duyarlı ve herhangi bir otonom sistemi olmadan açılıp kapanabilen hareketli adaptif sürdürülebilir mimari kabuk	İşlevsel Amaçlı Biyomimetik Yenilik Malzeme Alanında Görülen Biyomimetik Yenilik					

STOMA TUĞLASI

ESİNLENİLEN
ORGANİZMA: STOMA

Büyük Havza Çölü’nde yer alan S.C.A.L.E.S. (*Smart, Continuous, Active, Layered, Environmental System*) konut projesi yan lekeli kertenkelenin çöl sıcaklık rejimine yönelik fizyolojik ve davranışsal uyarlamalarından ilham alarak oluşturulmuş bir konut projesidir. “Akıllı, sürekli, aktif, katmanlı, çevresel sistem” olarak adlandırılan proje için söz konusu kertenkelenin habitatu ve iklimsel koşulları incelenmiştir. Kertenkeleler vücut ısını düzenlemek için çevrelerini kullanırlar. Kertenkelelerde sıcaklık regülasyonu, kabuk özelliklerinin ve davranışlarının bir kombinasyonu ile elde edilir. Yan lekeli kertenkele, güneş ışığı Emilimi için arkada koyu bir renk ve sıcaklığı yerden yansıtması için karın kısmı açık bir renk olan bir kabuk renklenme modeline sahiptir. Bir kertenkele vücut pozisyonunu, ısı Emilimi için güneş ışığına dik şekilde durarak veya ısı kazanımını önlemek için güneş ışığına paralel şekilde, ayaklarını kıvrırarak vücudunun en az kısmının zemine değmesini sağlayarak ayarlamaktadır (Şekil 4.5) (Mazzoleni, 2013).

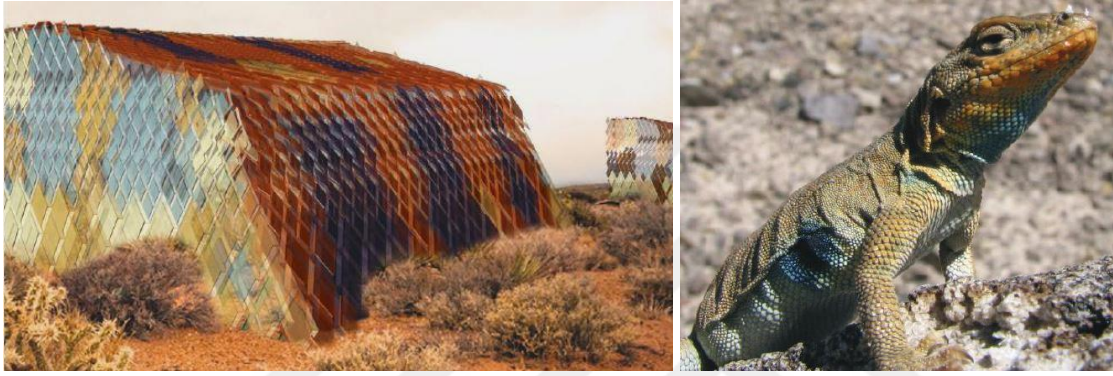


Şekil 4.5. Yan lekeli kertenkelenin gün ışığına karşı davranışlarıyla ısı düzenlemesi (Mazzoleni, 2013)

Palm Springs, Kaliforniya’da bulunan projede hedef çöl ikliminde bina sıcaklığının insan konfor seviyeleri içinde kalmasını sağlamaktır. Tasarımın odak noktası ise, sıcak, kurak günlerde ve bazen çok soğuk gecelerde ikamet için 24 saat konfor sağlayan bir muhafaza sistemi oluşturmaktır. Kertenkele derisinin fizyolojik stratejileri konutun duvarlarının tasarımına ilham verirken, kertenkelenin davranışsal adaptasyonları sensörler tarafından

çalıştırılan “akıllı” güneş takip sistemini oluşturmuş ve panellerin hareketi hidrolik sistem ile sağlanmıştır (Resim 4.10) (Mazzoleni, 2013).

Paneller güneş yoluna göre renklendirilmiştir. Konutun çatısı ve güney tarafı koyu renkli, doğu ve batı kısımları ise daha açık renkli fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır. Bu renk düzeni güney ve çatı yüzeyinde ısı ve ışığı absorbe ederek, doğu ve batı yüzeylerinde ısı ve ışığı yansıtır ve konutun aşırı ısınmasını önler (Mazzoleni, 2010).

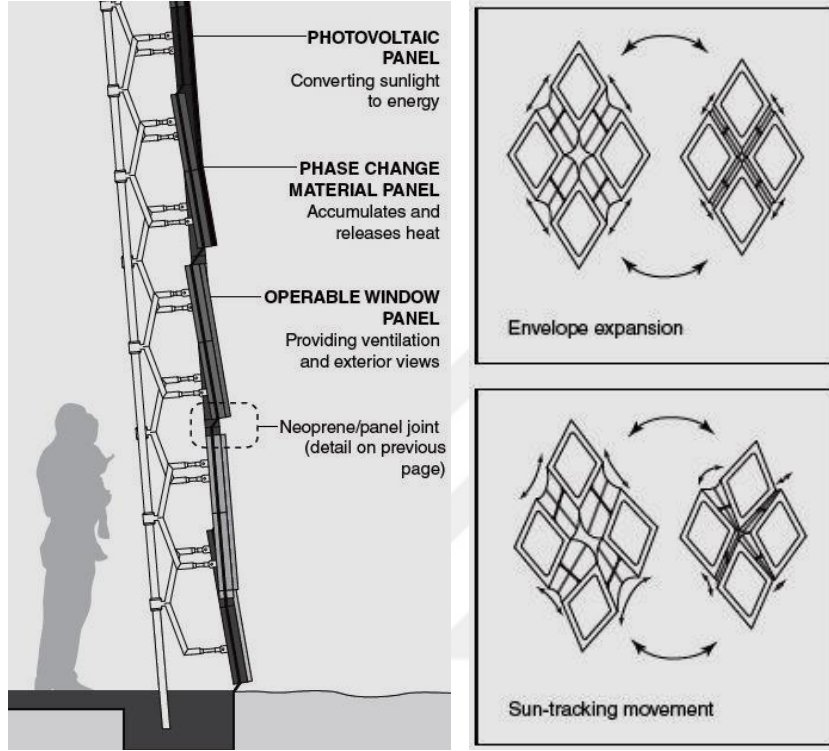


Resim 4.10. S.C.A.L.E.S. projesi ve ilham kaynağı renkli kertenkele (Mazzoleni, 2013)

Bina kabuğunda kullanılan paneller farklı şekillerde çalışabilmektedir. Güneye bakan duvar yalıtkan faz değişim malzemeli panel, fotovoltaik panel ve açılabilir pencere paneli olmak üzere üç farklı tipte panelden oluşmaktadır. Yalıtkan panel, gün boyunca sabit bir iç sıcaklığa izin vermek için biyo-bazlı bir faz değişim malzemesi kullanır. İç ortamı serin tutarken, gün boyunca panele ısı depolanır. Depolanan ısı yavaş yavaş serbest bırakılır ve geceleri iç ortamı ısıtır. Bina kabuğunun strüktürü, panellerin tutturulduğu bir köşeli çelik ızgaradan oluşur. Konut, kertenkele gibi, kendisini doğrudan çöl zemine sabitler. Isı ve enerji toplarken paneller güneş ışığında parlar. Yapı, güneş açısına en uygun şekilde konumlandırılmak için çatı ve güney cephesinde hafif bir eğim sağlamaktadır (Mazzoleni, 2013).

Konut duvarları, her bir panel arasında hidrolik pistonlara ve esnek neopren membrana sahip renkli fotovoltaik panelize yüzeylerden oluşmaktadır (Şekil 4.6). Membran, duvar panellerinin genişlemesine ve dönmesine, yüzey alanının artmasına ve panellerin güneşe karşı açısallığının optimize edilmesine izin verir. Panellerin farklı boyutları, kertenkelenin deri pullarının daha hareketli kısımlarda daha küçük boyutlu, az hareketli kısımlarda daha

büyük boyutlu olması gibi, cephenin hangi bölümlerinin daha sık hareket ettiğini gösterir. Duvarların hareketi aynı zamanda konut alanlarında da farklılıklara neden olur. Hidrolik sistem ve güneş takip sistemi, fotovoltaik hücreler tarafından toplanan elektrik tarafından desteklenmektedir (Mazzoleni, 2010).



Şekil 4.6. Cephede kullanılan panellerin detayı ve gün ışığına duyarlı hareket özellikleri (Mazzoleni, 2013)

S.C.A.L.E.S projesine ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.10’da tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. S.C.A.L.E.S. Projesi-biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

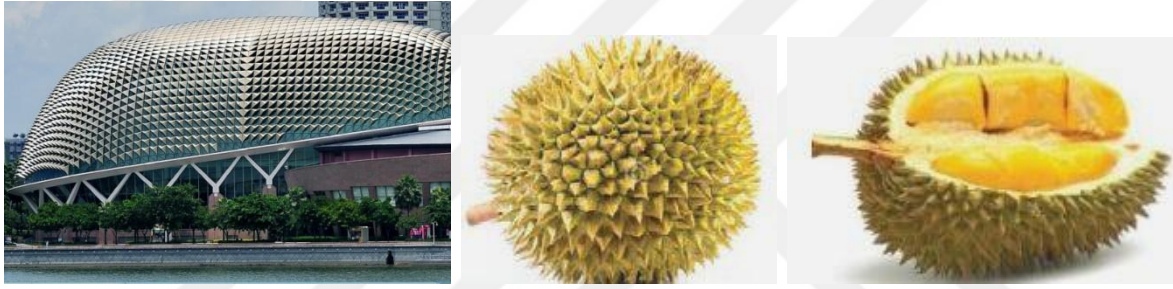
BIYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım			Biyomimetik Düzey			Esinlenilen Deri/Kabuk Özelliği			
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Özellikleri	Isıl Düzlenme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim	
✓		✓	✓			✓			
Esinlenilen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Tasarımda Oluşan Biyomimetik Yenilik		
Yan lekeli kertenkele	Yan lekeli kertenkelenin güneş ışığı emilimi için arka kısmı koyu renkli ve sıcaklığı yerden yansıması için de karın kısmı açık renklidir. Güneş ışığına karşı dik veya paralel durabilme davranış adaptasyonu gelişmiştir.	Kertenkele derisinin fizyolojik stratejileri duvarların tasarımını; kertenkelenin davranışsal adaptasyonları ise akıllı güneş takip sistemi ve hidrolik sistem ile panellerin güneş ışığına karşı hareketini oluşturmıştır.	Güneş ışığına karşı duyarlı, ısıl düzenlemeyi sağlayabilen hareketli adaptif sürdürülebilir mimari kabuk	İşlevsel Amaçlı Biyomimetik Yenilik					

S.C.A.L.E.S. PROJESİ,
KALİFORNİYA



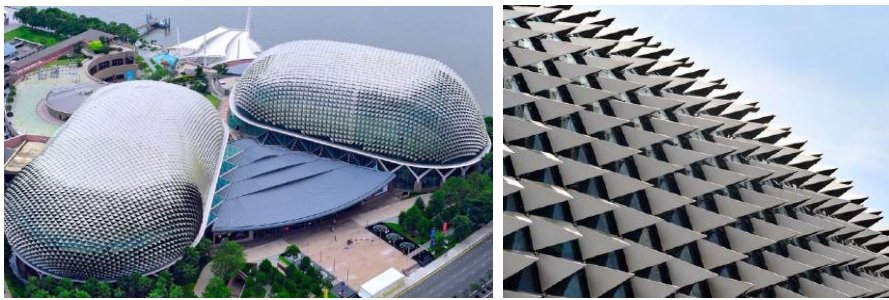
ESİNLENİLEN ORGANİZMA:
YAN LEKELİ KERTENKELE

Esplanade Theatres, Singapur Nehri'nin yakınındaki Marina koyunda, 2002 yılında Michael Wildford ve partnerleri tarafından tasarlanmıştır. İki ana kütlenin tasarımında Güneydoğu Asya meyvesi olan parlak sarı ve dikenli kabuklu durian meyvesinden esinlenilmiştir (Resim 4.11). Durian meyvesinin dikenli, çok katmanlı ve yarı sert basınçlı kabuğu içindeki tohumları korumaktadır. Dikenlerin piramit ucu, birkaç farklı fonksiyonu yerine getirir. Durian meyvesi yarı sert/rijit kabuğu sayesinde içindeki meyveyi güneş ışığı ve çevresel etmenlerden korumaktadır. Buna ek olarak dikenlerin piramit şekli meyvenin ısınmasını sağlarken, aynı zamanda aşırı ısınmadan da tohumları korumaktadır (Radwan ve Osama, 2016). Bu özellikler bina kabuğuna aktarılarak gerektiği kadar gün ışığı almasına izin verilmiş ve enerji korunumu sağlanmıştır.



Resim 4.11. Esplanade Theatres mimari kabuğu ve ilham kaynağı Durian meyvesi (Radwan ve Osama, 2016).

Bina kabuğu durian meyvesinin kabuğu gibi piramit şeklindeki parçalarla katmanlı bir gölgeleme sistemi ile kaplanmıştır. Oluşan katman iç mekânın aşırı ısınmasını engellerken, güneş ışığının da kontrollü ölçüde iç mekâna alınmasını sağlamaktadır (Resim 4.12) (Minsolmaz Yeler ve Yeler, 2017).



Resim 4.12. Esplanade Theatres ve piramitlerden oluşan katmanlı bina kabuğu (URL-54)

Ayrıca dinamik güneş kalkanı ile oluşturulan biyomimetik tasarımla; kullanıcılar için konforlu ortam, Singapur sıcaklığına karşı koruma, doğal ışığın içeri girmesine izin verme ve iç kısmı aşırı ısınmadan koruma ile azaltılmış HVAC kullanımı sağlanmıştır (Radwan ve Osama, 2016).

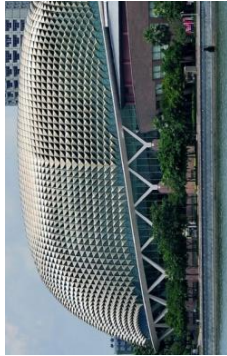
Esplanade Theatres projesine ilişkin biyomimetik tasarım özellikleri Çizelge 4.11’de tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 4.11).



Çizelge 4.11. Esplanade Theatres - biyomimetik bina kabuğu tasarım örneği

BİYOMİMETİK TASARIM UNSURLARI									
Biyomimetik Yaklaşım		Biyomimetik Düzey			Esinlenilen Deri/Kabuk Özelliği				
Sorun Odaklı Yaklaşım	Çözüm Odaklı Yaklaşım	Organizma Düzeyi	Davranış Düzeyi	Ekosistem Düzeyi	S trüktür Sağlama/K oruma	Isıl Düzenleme (Termo-regülasyon)	Su/Nem Dengesi	İletişim	
✓		✓				✓			
Esinlenilen Organizma	Organizmanın İlham Alınan Özellikleri	Sürdürülebilir Mimari Çözümleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri	Güneş ışığına karşı duyarlı, ısıl düzenlemeyi ve gün ışığı miktarını ayarlayabilen adaptif sürdürülebilir mimari kabuk	Tasarımda Oluşan Biyomimetik Yenilik				
Durian Meyvesi, Güneydoğu Asya	Meyvenin kabuğunda bulunan dikenler meyveyi güneş ışığı ve çevresel etmenlerden korumaktadır. Dikenlerin piramit şekli meyvenin ısınmasını sağlarken, aynı zamanda aşırı ısınmadan da tohumları korumaktadır.	Bina kabuğu piramit şeklindeki parçalarla katmanlı bir gölgeleme sistemi ile kaplanmıştır. Oluşan katman iç mekânın aşırı ısınmasını engellerken güneş ışığının da kontrollü ölçüde iç mekâna alınmasını sağlamaktadır.							

ESPLANADE THEATRES,
SİNGAPUR, 2002

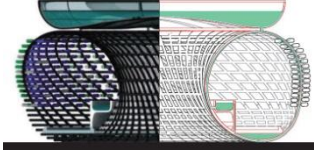


ESİNLENİLEN
ORGANİZMA: DURIAN
MEYVESİ

Biyomimikrinin bina kabuğundaki kullanımı, organizmaların strüktür sağlama, ısı düzenleme, su/nem dengesi ve iletişim stratejileri ile adaptif yapı kabuğunun oluşturulduğu görülmektedir. Biyomimetik tasarım örneklerinde sürdürülebilir mimari kabuk çözümleri farklı unsurlarla sağlanmıştır. Bu biyomimetik çeşitlilik, sürdürülebilirliği artırarak birçok mimari tasarıma farklı organizmalar yoluyla farklı çözümler sunmaktadır (Çizelge 4.12).



Çizelge 4.12. Biyomimetik tasarım örnekleri ile sürdürülebilir mimari kabuk çözümleri

Biyomimetik Tasarım Örneği	Esinlenilen Organizma	Organizmanın Doğal Prensipleri	Sürdürülebilir Mimari Kabuk Çözümleri
Waterloo Uluslararası Terminal, Londra, 1993 	Pangolin, Asya-Afrika 	Pangolinin esnek kabuğunun hareketli olması ve kabuğun içerisinde hava dolaşımı sağlanarak sıcaklık düzenleme özelliği bulunmaktadır.	Hareketli Kabuk sayesinde terminal hava basıncı değişikliğine tepki verebilmektedir. Oluşturulan cam panellerin düzeni ve hareketiyle hava basıncındaki artışın güvenli bir şekilde azaltılabilmektedir.
Gherkin Tower, Londra, 2003 	Venüs Çiçeği Süngeri 	Venüs çiçeği süngeri yapısında bulunan diyagrid yüzeylerle dayanımlı silindirik bir forma sahiptir.	Alüminyum kaplı çelik diyagrid taşıyıcılar ile silindirik formun taşıyıcı sorunu çözülmüş ve üçgenlere bölünmüş yüzeyler ile büyük cam cephe oluşturulabilmiştir.
İçme Suyu Sağlayan Proje, Madagaskar 	Urania Güvesi, Madagaskar 	Urania güvesinin kanadındaki katmanlı yapısı ışık açısına göre yansıtarak renk değiştirir. Bu özelliği çevresiyle iletişim kurmasını sağlamaktadır.	Bina, yağmur suyunun toplanmasıyla temiz bir içme suyu sistemi sağlamaktadır. Binanın kabuğunda şişelerde toplanan su ile şişe dolana kadar renk değiştirmektedir. Böylece dolu olan şişeler ayırt edilebilmektedir.
S.C.A.L.E.S. projesi, Kaliforniya 	Yan lekeli kertenkele 	Yan lekeli kertenkelenin güneş ışığı Emilimi için arkası koyu renk ve sıcaklığı yerden yansıtması için karın kısmı açık renktir. Güneş ışığına karşı dik veya paralel durabilme davranış adaptasyonu gelişmiştir.	Kertenkele derisinin fizyolojik stratejileri duvarların tasarımını; kertenkelenin davranışsal adaptasyonları ise "akıllı" güneş takip sistemi ve hidrolik sistem ile panellerin güneş ışığına karşı hareketini oluşturmuştur.

Çizelge 5.6. (devam) Biyomimetik tasarım örnekleri ile sürdürülebilir mimari kabuk çözümleri

One Ocean Thematic Pavilion, Güney Kore, 2012 	Cennet kuşu çiçeği, Güney Afrika 	Cennet kuşu çiçeği kuşlarla tozlaştığında tünekte bulunan yapraklar aşağı eğilerek burulmayla açılmaktadır.	Cephede cennet kuşu çiçeğinden esinlenilerek oluşturulmuş hareket özelliği kullanılmıştır. Kinetik cephenin hareketli lamelleri fuayeye ışık girişini kontrol etmektedir. Lameller cephede okyanus dalgaları gibi hareketli desenler yaratır.
Hygroskin 	Ladin Kozalağı 	Ladin kozalakları nem değişiminde yapraklarını hareket ettirerek nem değişimine pasif bir tepki vermektedir.	Mimari kabukta kullanılan malzeme nem değişimine karşı açılıp kapanarak tepki verebilmektedir. Ayrıca ışık iletimi ve görsel geçirgenlik otomasyon sistemi kullanılmadan sağlanmaktadır.
Stoma Tuğlası 	Stoma 	Stoma basınç değişimine buharlaşma yoluyla, çam kozalağı bağıl nem değişikliğine hareketiyle tepki vermektedir. Kirpikler gözü küçük parçacıklara karşı korumaktadır. İnsan cildi buharlaşma yoluyla kendini soğutmaktadır.	Bina kabuğunda buharlı soğutma sistemiyle çalışan stoma tuğlası doğada bulunan organizmaların ısı düzenleme sistemi prensiplerine göre tasarlanmıştır. Sistem genişleme, daralma, açıklık, terleme, gaz değişimi gibi özelliklere sahiptir.
Esplanade Theatres, Singapur, 2002 	Durian Meyvesi, Güneydoğu Asya 	Meyvenin kabuğunda bulunan dikenler meyveyi güneş ışığı ve çevresel etmenlerden korumaktadır. Dikenlerin piramit şekli meyvenin ısınmasını sağlarken, aynı zamanda aşırı ısınmadan da tohumları korumaktadır.	Bina kabuğu piramit şeklindeki parçalarla katmanlı bir gölgeleme sistemi ile kaplanmıştır. Oluşan katman iç mekânın aşırı ısınmasını engellerken, güneş ışığının da kontrollü ölçüde iç mekâna alınmasını sağlamaktadır.



5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Tez çalışmasında incelenen biyomimetik bina kabuğu tasarım örneklerinde; biyomimikrinin bina kabuğuna yansımaları olarak organizmaların strüktür sağlama, ısı düzenleme, su/nem dengesi ve iletişim stratejileri ile adaptif sürdürülebilir mimari kabukların oluşturulduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında incelenen biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile biyomimetik unsurlar karşılaştırıldığında, her bir tasarımın biyomimetik yaklaşımı, biyomimetik düzeyi ve organizmadan esinlenen deri/kabuk fonksiyonu tasarımın türüne, bulunduğu yere, kullanım amacına ve mimari sorununa göre belirlendiği görülmektedir. Dolayısıyla biyomimetik yaklaşımla hazırlanan bir projede öncelikle sürdürülebilirlik sorunu belirlenmeli ve bu sorunun çözümü doğada aranmalıdır.

Biyomimetik yaklaşımla tasarlanan sürdürülebilir bina kabuğu örneklerinde, öncelikle biyomimetik tasarım yöntemleri, biyomimetik düzey, esinlenen organizmanın özelliği araştırılmış ve tasarım sonucu ortaya çıkan enerji verimliliği, malzeme detayları ve sürdürülebilir tasarım kriterleri de incelenerek değerlendirme kapsamına dahil edilmiştir.

Ayrıca, biyomimetik bina kabuğu tasarımlarında kullanılan organizmanın strüktür sağlama özelliği strüktür tasarımında görülen biyomimetik yeniliklere; ısı düzenleme, su/nem dengesi ve iletişim özellikleri ise malzeme alanında görülen biyomimetik yenilikler ile işlevsel amaçlı biyomimetik yeniliklere ön ayak olmaktadır.

Çizelge 5.1’de biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile sürdürülebilir tasarım kriterleri ve Çizelge 5.2’de biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile biyomimetik tasarım unsurları karşılaştırma tabloları oluşturulmuştur. İncelenen 8 adet biyomimetik bina kabuğu tasarımlarının sürdürülebilir mimarlık tasarım kriterlerine uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile sürdürülebilir mimarlık tasarım kriterleri karşılaştırma tablosu

Biyomimetik Bina Kabuğu Örnekleri	Sürdürülebilir Mimarlık Tasarım Kriterleri	Waterloo Uluslararası Terminal	Gherkin Tower	Madagaskar İçme Suyu Projesi	S.C.A.L.E.S Projesi	One Ocean Thematic Pavilion	Hygroskin	Stoma Tuğlası	Esplanade Theatres
		Doğal Kaynakların Kullanımı	Malzemenin Etkin Kullanımı	Gün Işığı Kullanımı	Pasif Güneş Enerjisi Kullanımı	Enerjinin Etkin Kullanımı	Doğal Havalandırma	Isı Depolama / Düzenleme	Pasif Soğutma Sistemi
	Kaynak Verimliliği	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Enerji Verimliliği	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Çizelge 5.1’de oluşturulan tabloya göre, Biyomimetik bina kabuğu tasarımları, sürdürülebilir mimarlık tasarım kriterlerinde bulunan enerji ve kaynak verimliliği unsurlarından;

- Doğal kaynakların kullanımı,
- Malzemenin etkin kullanımı,
- Gün ışığı kullanımı,
- Pasif güneş enerjisi kullanımı,
- Enerjinin etkin kullanımı,
- Doğal havalandırma,
- Isı depolama/düzenleme ve
- Pasif soğutma sistemi kullanımı

işlevlerini barındırdığı görülmektedir. Bu bağlamda incelenen biyomimetik bina kabuğu tasarımları sürdürülebilir mimarlık tasarım kriterlerini sağlamaktadır.

Çizelge 5.1’de görülen 8 adet biyomimetik kabuk tasarımından 5 tanesi doğal kaynakların kullanımı, 4 tanesi malzemenin etkin kullanımı ve 5 tanesi gün ışığı kullanımı sağlayarak kaynak verimliliği unsurlarından en fazla doğal kaynaklar ile gün ışığı kullanımının sağlandığı, görülmektedir.

Aynı şekilde 8 adet biyomimetik kabuk tasarımından 3 tanesi pasif güneş enerjisi kullanımı, 7 tanesi enerjinin etkin kullanımı, 5 tanesi doğal havalandırma, 5 tanesi ısı depolama/düzenleme, 3 tanesi pasif soğutma sistemi sağlayarak enerji verimliliği unsurlarından en fazla enerjinin etkin kullanımının sağlandığı; ikinci olarak ise doğal havalandırma ve ısı depolama/düzenlemenin kullanıldığı belirlenmiştir.

Biyomimetik kabuk tasarımlarını tek başına ele aldığımızda sürdürülebilir mimarlık tasarım unsurlarından minimum 3 tane, maksimum 7 tane unsurun sağlandığı, ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda sürdürülebilir mimarlıkta biyomimetik kabuk tasarımı ile sürdürülebilir tasarım unsurlarının birçoğunun sağlanması biyomimikrinin bina kabuğunda kullanımını desteklemektedir.

Çizelge 5.2. Biyomimetik bina kabuğu tasarım örnekleri ile biyomimetik tasarım unsurları karşılaştırma tablosu

Biyomimetik Bina Kabuğu Örnekleri		Waterloo Uluslararası Terminal	Gherkin Tower	Madagaskar İçme Suyu Projesi	S.C.A.L.E.S Projesi	One Ocean Thematic Pavilion	Hygroskin	Stoma Tuğlası	Esplanade Theatres
Biyomimetik Tasarım Unsurları	Biyomimetik Yaklaşım	✓	✓		✓		✓		
				✓		✓		✓	✓
Biyomimetik Düzey	Organizma Düzeyi	✓	✓	✓	✓				
	Davranış Düzeyi				✓	✓	✓	✓	✓
	Ekosistem Düzeyi								
Esinlenen Deri / Kabuk Fonksiyonu	Isıl Düzenleme				✓			✓	✓
	Su / Nem Dengesi			✓			✓		
	Strüktür Sağlama / Koruma	✓	✓						
	İletişim			✓	✓		✓		

Çizelge 5.2’de biyomimetik bina kabuğu tasarım örneklerinin biyomimetik yaklaşımlardan sorun odaklı yaklaşım ve çözüm odaklı yaklaşım olmak üzere her iki yaklaşımın da eşit dağılımında kullanıldığı görülmektedir. Biyomimetik düzeylerden organizma ve davranış düzeyinin eşit oranda kullanıldığı, belirlenmiştir.

Ancak tez çalışmasında biyomimetik kabuk tasarımı örneklerinin dağılım oranının daha çok organizma ve davranış düzeyinde olmasından ötürü ekosistem düzeyine ilişkin herhangi bir biyomimetik kabuk tasarımı örneği değerlendirmeye alınmamıştır. Ekosistem düzeyinde daha çok sürdürülebilir mimarlığın tamamına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda biyomimetik kabuk tasarımında ekosistem düzeyine ilişkin yapılan çalışmaların artması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

21. yüzyılda gelişimi devam eden ve yenilikçi bir tasarım yaklaşımı olan biyomimikrinin, mimarlıkta özellikle bina kabuğuna olan etkisi biyomimetik bina kabuğu tasarımları barındıran projeler üzerinden bir bütün olarak sürdürülebilir tasarım bağlamında irdelenmiştir. Biyomimetik yaklaşım kullanılan bina kabuğu tasarım örneklerinde; biyomimikrinin enerji tüketimini azalttığı ve işlevselliği artırdığı görülmektedir. Doğa esinli fikirlerle biyomimikri, modern yapım teknikleri ile günümüzde çevresel koşullara daha iyi cevap veren ve bina kabuğunun tıpkı canlı bir organizma gibi davranmasına izin veren yenilikçi adaptif yöntemler içeren yeni fırsatlar sunmaktadır.

Biyomimetik tasarım yaklaşımının kullanımı, diğer mimari yaklaşımları da öne çıkarmaktadır. Örneğin, biyomimetik yaklaşımla tasarlanan bir yapının aynı zamanda kinetik mimari, adaptif mimari veya ekolojik mimari gibi farklı mimari yaklaşımları da barındırdığı görülmektedir. Bu bağlamda biyomimetik tasarımın birçok yönüyle yeniliklerle sonuçlandığını söylemek mümkündür. Biyomimetik tasarım gelecekteki kullanımıyla da birçok alanda yerini bulacak ve mimarlıkta olduğu gibi evrensel alanda da çığır açan bir yaklaşım haline gelecektir.



KAYNAKLAR

- Altun Akyol, T. D. (2007). Geleceğin Mimarlığı: Bilimsel-Teknolojik Değişimlerin Mimarlığa Etkileri. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, (1), 77-91.
- Apak, İ. (1994). *Yeni Rehber Ansiklopedisi*. İstanbul: İhlas Gazetecilik Holding A.Ş., 171-172.
- Arslan, S. and Gönenç Sorguç, A. (2004). *Similarities in Structures in Nature and Man-Made Structures: Biomimesis in Architecture*. The Proceedings of the 2nd Design and Nature Conference Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Wessex Press, England.
- Arslan Selcuk, S. (2006). *Mathematics as a Tool to Evaluate Biomimetic Inspirations: a Study on Seashell Modeling*. 1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference on Built Environment and Information Technologies, Ankara.
- Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2007, a). Mimarlık Paradigmasında Biomimesisin Etkisi. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 22(2), 451-459.
- Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2007, b). *Yapay Zeka Araştırmaları ve Biomimesis Kavramlarının Günümüzde Mimarlık Alanındaki Uygulamaları: Akıllı Mekanlar*. 4.Yapı ve Kentte Bilişim Kongresi, Ankara.
- Arslan Selçuk, S. (2009). *Proposal for a Non- Dimensional Parametric Interface Design in Architecture: A Biomimatic Approach*. Doctor Thesis, Natural and Applied Sciences, METU, Ankara, 9-71.
- Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2015). *Reconsidering The Role Of Biomimesis In Architecture: A Holistic Approach For Sustainability*. 2nd International Sustainable Building Symposium, Ankara.
- Badarnah, L., Farchi, Y. N. and Knaack, U. (2010). Solutions From Nature For Building Envelope Thermoregulation. *WIT Transactions on Ecology and the Environment. Design & Nature V*, 138, 251-262.
- Badarnah, L. (2017). Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation. *Buildings*, 40 (7), 1-16.
- Badarnah Kadri, L. (2012). *Towards The Living Envelope Biomimetics For Building Envelope Adaptation*. Doctor Thesis, Bachelor of Architecture, Israel Institute of Technology, Haifa, 12-170.
- Bekem, A., Ercan, H., Doğu, M. ve Ünal, A. (2011). *Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi*. 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ.
- Benyus, J. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: William Morrow, 10-300.

- Durmuş Arsan, Z. (2008). Türkiye’de Sürdürülebilir Mimari. *Mimarlık Dergisi*, 340, 21-30.
- Ekici, K. Ö. (2013). Biyobenzetim. *Bilim ve Teknik*, 546. sayının eki, 1-2.
- Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1-244.
- Farchi Nachman, Y. (2009). Learning From Nature: Thermoregulation Envelope. *TU Delft Façade Design*, 1(2), 62-66.
- Gertik, A. (2012). *Biyomimesis Anlayışı ve Bu Bağlamda Günümüz Kuzey Kıbrıs Mimarisi’ne Eleştirel Bir Bakış*. Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, 6-50.
- Gruber, P. and Gosztanyi, S. (2010). Skin In Architecture: Towards Bioinspired Facades. *WIT Transactions on Ecology and the Environment Design & Nature V*, 138, 503-513.
- Guedes, C. M., Piheiro, M. and Alves, M. L. (2009). Sustainable Architecture and Urban Design In Portugal: An overview. *Renewable energy*, 34, 1999-2006.
- İleritürk, İ. (2016). *Mimarlık Eğitiminde Doğa İle İlişki Bağlamında Biyomimikri*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14-20.
- Imani, M. (2017). Bio-Inspired Design Approach Analysis: A Case Study of Antoni Gaudi and Santiago Calatrava. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 11(8), 1156-1162.
- İnternet: URL-1, Leonardo Da Vinci’nin ornithopter tasarım eskizleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.thinglink.com%2Fscene%2F649387411842793474&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.
- İnternet: URL-2, Benyus, J. (2004). Biomimicry, PopTech Conference. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.archive.org%2Fweb%2F20130729211343id_%2Fhttp%3A%2F%2Ffitc.conversationsnetwork.org%2Fshows%2Fdetail241.html%2F&date=2018-07-21, Son Erişim Tarihi: 21.07.2018.
- İnternet: URL-3, Doğanın çalışma prensipleri ve bu prensiplerin bir problem çözümünde kullanım tablosu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.cloudinstitute.org&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.
- İnternet: URL-4, Gekonun ve parmak uçlarının makro, mezo, mikro ve nano ölçeğinde gösterimi URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sme.org%2FMEMagazine%2FArticle.aspx%3Fid%3D21341%26taxid%3D1427&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-5, Nanoteknoloji nedir, kullanım alanları nelerdir? URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bilgiustam.com%2Fnanoteknoloji-nedir-faydalari-ve-kullanim-alanlari-nelerdir%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-6, Lotus Bitkisi URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dogaveteknoloji.com%2Fkendisini-surekli-temiz-tutan-lotus-bitkisi%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-7, Gekonun yapışkan parmak ucu ve Geckskin kaplamalı kumaş URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgeckskin.umass.edu%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-8, Geko byte robot, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fnews.mit.edu%2F2009%2Fstickybot-092509&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-9, Shinkansen Hızlı Treni ve ilham kaynağı Yalı Çapkını Kuşu URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiomimicrytr.org%2Fcategory%2Fbiomimicry%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2018.

İnternet: URL-10, Kambur balina ve çıkıntılı yüzgeci, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiomimicry.org%2Fbiomimicry-examples%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-11, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fhimpunanmahasiswamesinunsyah.wordpress.com%2F2011%2F05%2F29%2Ffrom-whales-to-fans%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-12, Bal peteği URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.frag-mutti.de%2Fwissenswertes-ueber-honig-bienen-und-imker-a43348%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-13, Deniz kabuğunun kıvrımlı yapısı, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dogaveteknoloji.com%2Fsaglam-ve-hafif-catilara-ornek-olan-istiridye-kabuklari%2F&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-14, Koelman, O. (2004). Biomimetic Buildings Understanding and Applying the Lessons of Nature, *Bioinspire*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiomimicry.typepad.com%2Fbioinspire%2Ffiles%2FBioInspire.21-10.26.04.pdf&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018.

İnternet: URL-15, Abdala, A.A., Milius, D.L., Adamson, D.H., Aksay, I.A. and Prud'homme, R.K. (2004). Inspired Abalone Shell: Strengthening of Porous Ceramics with Polymers. *Science & Engineering*, 384-385, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F7388%2F35303116535d2bb05b34a940774772ec69f5.pdf&date=2018-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2018

İnternet: URL-16, Pıtrak bitkisi ve Velcro bant, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.biomimicrytr.org%2Fbiyomimikrionekleri%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-17, Fotovoltaik güneş gözeleri, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbilimgenc.tubitak.gov.tr%2Fmakale%2Fgunes-gozeleri-nasil-calisir&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-18, Yaprak, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.tech-worm.com%2Ffotosentez-nedir-fotosentez-nasil-gerceklesir%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-19, Warka Su Toplama Kulesi, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arkitera.com%2Fprojeler%2F7188%2Fwarka-su-toplama-kulesi&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-20, Stenocara (Namib Çölü Böceği), URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbionique.artbite.fr%2FUn-scarabee-capteur-de-brouillard.html%3Flang%3Dfr&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-21, Milwaukee Sanat Müzesi (Quadracci Pavyonu), Milwaukee, ABD, 2001 URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mimdap.org%2F%3Fp%3D116054&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-22, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F66828%2Fad-classics-twa-terminal-eero-saarinen&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-23, TWA Terminal, John F. Kennedy Airport, New York, 1962, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Farchitecturalvisits.com%2Fen%2F2016%2F01%2F21%2Ftwa-flight-center-jfk-airport%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-24, Uçan Kuş, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.flickrriver.com%2Fphotos%2Fjatli%2Fsets%2F72157620621129825%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-25, Johnson Wax Binasının Mantar Kolonları, Wisconsin, 1939, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.dezeen.com%2F2017%2F06%2F14%2Ffrank-lloyd-wright-johnson-wax-administration-building-headquarters-racine-wisconsin-open-plan-office%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-26, Mantar Bitkisi, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fyumurtaliekmek.com%2Fmantar-nedir-cesitleri-nelerdir%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-27, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Faltugeti.com%2Fdogadan-ornek-almanin-tarihi%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-28, Berkebile, B. and McLenan, J. (2003). The Living Building-Biomimicry in Architecture, Integrating Technology with Nature, *BioInspire*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiomimicry.typepad.com%2Fbioinspire%2Ffiles%2FBioInspire.18-07.17.04.pdf&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-29, Amazon Nilüferinin (*Victoria Amazonica*) kaburgayı andıran taşıyıcı damarları, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.co.uk%2Fpin%2F320670435937762364%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-30, Crystal Palace, Londra, 1851, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.co.uk%2Fpin%2F369224869427123558%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-31, Eiffel Kulesi, Paris, 1889 (*Eiffel Tower*) ve ilham kaynağı uyluk kemiği, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.wired.com%2F2015%2F03%2Fempzeal-eiffel-tower%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018

İnternet: URL-32, Uyluk kemiğinin strüktürel detayı, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiomimicryarch.blogspot.com.tr&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-33, Casa Mila 'nın (La Pedrera) doğadaki formlardan oluşan yapısı, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mimdap.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F11730.jpg&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-34, Sagrada Famillia, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F438992%2Fad-classics-la-sagrada-familia-antoni-gaudi%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-35, La Sagrada Familia, Barselona, İspanya, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F438992%2Fad-classics-la-sagrada-familia-antoni+gaudi%2F52544190e8e44eff020006cf-ad-classics-la-sagrada-familia-antoni-gaudi-photo&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-36, Fuller'in tasarladığı Biyosfer Montreal (Jeodezik Kubbe), 1967, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arkitektuel.com%2Fbiyosfer-montreal%2F&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-37, Arı Gözü, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdusuneninsanlaricin.com%2Farilarin-insani-dumura-ugratacak-kadar-guzel-gorundugu+17-yakin-cekim-fotograf%2F&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-38, Frei otto'nun tasarladığı Münih Olimpiyat Stadyumu ve eğrisel yüzeyleri, 1967, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arkitektuel.com%2Fmunih-olimpiyat-stadyumu%2F%23jp-carousel&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-39, Eastgate Merkezi, Harare, Zimbabve, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mickpearce.com%2FEastgate.html&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-40, Termit kulesi, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.blog.nationalgeographic.org%2F2014%2F01%2F27%2F5-animals-that-are-awesome-architects%2F&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-41, Water Cube cephe yüzeyi ve ilham kaynağı sabun köpüğü kümeleri, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arup.com%2Fprojects%2Fchinese-national-aquatics-center&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-42, Güneş yolu diyagramı, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fnaturalfrequency.com%2Ffaq%2Fgraphics-and-visualisation%2Fwhat-are-red-and-blue-arcs-annual-sun-path&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-43, Bina kabuğunun güneş ışığını emme ve yansıtma davranışı, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.evininustasi.com%2Fblog%2Fdis-cephe-izolasyon-isi-yalitim-boyasi%2C257&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018

İnternet: URL-44, SmartWrap™ akıllı kompozit cephe malzemesi, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fkierantimberlake.com%2Fpages%2Fview%2F28&date=2018-08-06> , Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-45, Syddansk Üniversitesi İletişim ve Tasarım Binası, Danimarka, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Finhabitat.com%2Fclimate-responsive-university-building-meets-denmarks-strict-new-building-codes%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-46, Smart is Green binası, faz değişim malzemeli bina kabuğu, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.syncronia.com%2Fen%2Fmagazine%2Fmaterials%2Fsmart-green-pcm-phase-change-materials&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-47, Palazzo Italia, Milano, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Finhabitat.com%2Fstriking-palazzo-italia-at-the-milan-expo-is-a-smog-eating-machine%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-48, The BIQ House, biyolojik temelli cephe, Almanya, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Farchello.com%2Fproject%2Fbiq-house&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-49, Quai Branly Müzesi, bitkisel cephesi, Fransa, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.arkitera.com%2Fsoyl esi%2F625%2Fkendiligindenlik-mimarlik-pratigi-icin-neler-vaad- ediyor %2F2&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-50, Waterloo Uluslararası Terminali ve ilham kaynağı Pangolin, URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgrimshaw.global%2Fprojects%2Fgallery%2F%3Fi%3D227%26p%3D93001_N509_banrimland&date=2018-08-06, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-51, Cennet kuşu çiçeği (*Flectofin*) tünek hareketi, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.bionik-blog.de%2F2012%2F01%2F10%2Fder-trick-mit-dem-knick%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-52, One Ocean Thematic Pavilion, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftranssolar.com%2Fprojects%2Fone-ocean-pavillon-expo-2012&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-53, Hygroskin, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F424911%2Fhygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

İnternet: URL-54, Case Study Esplanade-Theatres on the Bay, Singapor, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Falwitra.de%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F10%2Falwitra_Case_Study_Singapore_Esplanade_Theatres_2016.pdf&date=2018-08-06, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018.

- Karagöz, G. (2007). *Doğaya Öykünme; Art Nouveau Mimarlığı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 65-70.
- Krieg, O. D., Christian, Z., Correa, D., Reichert, S., Rinderspacher, K. and Schwinn, T. (2014). *HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion*. Institute for Computational Design Conference, Stuttgart.
- Lathe, S. S., Gurav, A. B., Maruti, C. S. And Vhatkar, R. S. (2012). Recent Progress In Preparation of Superhydrophobic Surfaces: A Review, *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2, 76-94.
- Lopez, M., Rubio, R., Martin, S., Croxford, B. and Jackson, R. (2015). Active Materials For Adaptive Architectural Envelopes Based On Plant Adaptation Principles. *Journal of Facade Design and Engineering*, 3(1), 27-38.
- Lopez, M., Rubio, R., Martin, S. and Croxford, B. (2017). How Plants Inspire Façades. From Plants To Architecture: Biomimetic Principles For The Development Of Adaptive Architectural Envelopes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67(1), 692-703.
- Macnab, M. (2012). *Design by Nature*. Berkeley: New Riders, 210-213.
- Manlutac, R. (2016). *Biomimicry and Architecture*., S. K. Loschke (Ed.), *Materiality and Architecture*, London: Routledge, 1-8.
- Mazzoleni, I. (2010). Biomimetic Envelopes, *DisegnareCon*, 3(5), 99-112.
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture Follows Nature, Biomimetic Principles For Innovative Design*, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group, 47-124.
- Mclennan J. F. (2004). *The Philosophy Of Sustainable Design*. Kansas: Ecotone Publishing, 10-320.
- Melvin, J. (2005). *İzmler Mimarlığı Anlamak*. (Çev. M. Şahin), İstanbul: YEM Yayıncılık, 10-140.
- Mendler, F. S., Odell W. and Lazarus, M. A. (2006). *The Hok Guide Book to Sustainable Design*. New York: John Wiley&Sons, 25-350.
- Minsolmaz Yeler, G. and Yeler, S. (2017). Models From Nature For Innovative Building Skins. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 3, 142-165.
- Mohamed, A. S. Y. (2018). Biomimetic Architecture: Creating A Passive Defense System In Building Skin To Solve Zero Carbon Construction Dilemma. *Environmental Quality*, 29(1), 1-28.
- Mutlu, B. (2007). *Mimarlık Tarihi Ders Notları 1*. İstanbul: Mimarlık Vakfı Yayınları, 9-10.

- Norgaard, T. and Dacke, M. (2010). Fog-Basking Behaviour and Water Collection Efficiency In Namib Desert Darkling Beetles, *Norgaard and Dacke Frontiers in Zoology*, 7(23), 1-8.
- Nkandu, M. I. and Alibaba, H. Z. (2018). Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability. *Architecture Research*, 8(1), 1-11.
- Otto, F. and Rash, B. (1995). *Towards an Architecture of the Minimal*. Berlin: Deutscher Werkbund Bayern, 2-106.
- Özgür H., Gemici Z. ve Bayındır M. (2007). Çöl Böceği ve Nilüfer Çiçeğinden Öğrendiklerimiz Akıllı Nanoyüzeyler. *Bilim ve Teknik*, 473, 52-56.
- Özmehmet, E. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki Sürdürülebilir Mimarlık Anlayışına Eleştirel Bir Bakış. *Journal of Yasar University*, 2(7), 809-826.
- Panchuk, N. (2006). *An Exploration Into Biomimicry And Its Application In Digital & Parametric (Architectural) Design*, Master Thesis, University of Waterloo, Kanada, 3-63.
- Parker, A. R. and Ingram, A. L. (2008). A review of the diversity and evolution of photonic structures in butterflies, incorporating the work of John Huxley (The Natural History Museum, London from 1961 to 1990), *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 363 (1502), 2465-2480.
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. London: Riba Publishing, 1-30.
- Portoghesi, P. (2000). *Nature and Architecture*, (Çev. E. G. Young). Milano: Sekira Editore S.p.A., 4-500.
- Radwan, G. A. N. and Osama, N. (2016). Biomimicry, An Approach For Energy Effecient Building Skin Design, *Procedia Environmental Sciences*, 34, 178-189.
- Sassi, P. (2006). *Strategies for Sustainable Architecture*. London: Taylor&Francis, 1-300.
- Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir Mimarlık*. İstanbul: YEM Yayınları, 1-220.
- Shimomura, M. (2010). The New Trends In Next Generation Biomimetics Material Technology: Learning From Biodiversity. *Quarterly Review*, 37, 53-75.
- Slessor, C. and Linden, J. (1997). *Sustainable Architecture and High Technology Eco-Tech*. New York: Thames & Hudson, 1-190.
- Tekin, Ç. ve Kurugöl, S. (2011). Üç Canlı ile Çevre Dostu Üç Bina, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi e-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (4), 943-952.
- Tokuç, A., Özkaban, F.F. and Çakır, Ö.A. (2018). Biomimetic Facade Applications for a More Sustainable Future, *Interdisciplinary Expansions in Engineering and Design With the Power of Biomimicry*, 10 (5772), 77-99.

- Turrin, M., Buelow, P., Kilian, A. and Stouffs, R. (2012). Performative Skins For Passive Climatic Comfort, A Parametric Design Process. *Automation in Construction*, 22, 36-50.
- Vincent, J.F.V. (2001). *Stealing Ideas From Nature*. S. Pellegrino (Ed.), *Deployable Structures*, Wien: Springer-Verlag Wien, 51-58.
- Vincent, J.F.V. (1996). Tricks of Nature, *New Scientist*, 151, 40-48,
- Vitruvius. (1990). *Mimarlık Üzerine On Kitap*. (Çev. S. Güven). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, 1-240.
- Yeang, K. (2012). *Ekolojik Tasarım Rehberi*. (Çev. S. Eryıldız ve D. Eryıldız). İstanbul: Yem Yayınları, 1-472.
- Yedekçi, G. (2015). *Doğayla Tasarlamak Biyomimikri ve Geleceğin Mimarlığı*. İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, 1-200.
- Yowell, J. (2011). *Biomimetic Building Skin: A Phenomenological Approach Using Tree Bark As Model*, Master Thesis, University Of Oklahoma, Norman, 4-35.
- Zari, P. M. (2007). *Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability*, Sustainable Building Conference, Victoria University, Auckland, New Zealand.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TÜRK, Zehra Betül
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.05.1989, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (539) 308 68 92
 e-mail : zehrago@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık Bölümü	2018
Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık Bölümü	2011
Lise	Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-2017	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü	Mimar
2013-2014	Detay Proje İnşaat A.Ş.	Mimar
2012-2013	Sevgi Proje Mühendislik Mimarlık A.Ş.	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Kitap okumak, seyahat etmek, müzik dinlemek.



GAZİ GELECEKTİR...