
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

# YAPI KABUKLARININ TERMOREGÜLASYONU: BİYOMİMETİK BİR YAKLAŞIM

**Betül AYDIN YAZICIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2020**

Betül AYDIN YAZICIOĞLU tarafından hazırlanan "YAPI KABUKLARININ TERMOREGÜLASYONU: BİYOMİMETİK BİR YAKLAŞIM" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:**Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

**Başkan:**Prof. Dr. Aysu AKALIN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

**Üye:**Doç. Dr. Aslı ER AKAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 14/01/2020

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 çalışmasında;

- 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 çalışmasında 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.

Betül AYDIN YAZICIOĞLU

14/01/2020

# YAPI KABUKLARININ TERMOREGÜLASYONU: BİYOMİMETİK BİR YAKLAŞIM

(Yüksek Lisans Tezi)

Betül AYDIN YAZICIOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

## ÖZET

Enerji tüketiminde büyük bir orana sahip olan yapı sektörü, enerjiyi çoğunlukla yapıları ısıtmak ve soğutmak için kullanmaktadır. Bu nedenle enerjinin etkin kullanımı mimarlık disiplininde çözülmesi gereken başlıca sorunlardan biridir. Değişken dış ortam sıcaklığından etkilenmeksizin iç ortamı belirli bir sıcaklık aralığında tutma eylemi olarak açıklanabilecek yapı kabuklarının termoregülasyonu, pasif iklimlendirme yöntemleri ile kurgulandığında yapının harcayacağı enerji miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Mimarların, kullanıcılar için konforlu bir iç ortam sunma isteği termal konforu sağlama gerekliliğini de doğurmaktadır Mimarlıkta geleneksel tasarım yöntemlerinin termoregülasyonu sağlamada yetersiz kaldığı durumlarda araştırmacıların dikkatini, yüzyıllardır çözüm ve bilgi biriktiren doğayı "taklit etme" yoluyla geliştirilen araştırmalar çekmiştir. Öyle ki, biyolojik bilgi hazinesi, organizmaların yüzyıllardır geliştirdiği fizyolojik, morfolojik ve davranışsal adaptasyonlar ile doğanın zorlu koşullarında hayatta kalma yöntemlerini barındırmaktadır. Etkili termoregülasyon yöntemlerinin doğada araştırılması mimarlık disiplini için de akılcı çözümleri beraberinde getirebilir mi sorusu ile başlayan bu tez çalışmasının temel amacı ısı transferlerinin en yoğun olduğu yapı bileşeni olan yapı kabuklarında termoregülasyonu sağlamak için doğadaki örnekleri ve canlılar tarafından geliştirilen termoregülasyon yöntemlerinin mimariye uygulanabilirliğini araştırmaktır. Bu doğrultuda ısı transfer yöntemleri, doğadaki canlıların termoregülasyon yöntemleri ve doğayı taklit etme bilimi olan biyomimikri kavramıyla ilgili alan yazın taraması yapılmıştır. Örnekleme çalışması için seçilen canlıların doğadaki termoregülasyon yöntemleri ve bu yöntemlerden ilham alınarak tasarlanan cephe kesitleri yazın taraması ile elde edilen veriler doğrultusunda analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, doğadaki canlıların geliştirdiği stratejilerin, mimari tasarıma yön vermesinin ancak disiplinler arası bir çalışma ile olanaklı olduğunu, yapı kabuklarında termoregülasyonu sağlamak amacıyla yapılan çalışmalarda "biyomimetik bir yaklaşımı" uygulamanın tasarımcılar için potansiyel çözümler barındırdığını ortaya koymaktadır.

BilimKodu : 80103
AnahtarKelimeler : Biyomimikri, Enerji, Termoregülasyon, Yapı kabuğu, Mimari tasarım
SayfaAdedi : 105
Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

# THERMOREGULATION OF BUILDING SKINS: A BIOMIMETIC APPROACH

(M. Sc. Thesis)

Betül AYDIN YAZICIOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

## ABSTRACT

The construction sector, which has a large share in energy consumption, uses energy to heat and cool buildings. Therefore, the effective use of energy is one of the main problems to be solved in the discipline of architecture. Thermoregulation of building skins, which can be explained as the action of keeping the indoor environment within a certain temperature range without being affected by the variable outdoor temperature, affect the amount of energy the structure will spend when it is constructed by passive air conditioning methods. The desire of the architects to provide a comfortable interior for its users also necessitates thermal comfort. In the cases where traditional design methods in architecture fail to provide thermoregulation, researchers' attention has been drawn to the research developed by "imitating" the nature that has accumulated solutions and knowledge for centuries. In fact, the wealth of biological information includes physiological, morphological and behavioral adaptations developed by organisms for centuries and methods of survival in the harsh conditions of nature. The main purpose of this thesis study, which starts with the question of whether effective investigation of thermoregulation methods in nature can bring rational solutions with the discipline of architecture, is to investigate the applicability of thermoregulation methods developed by living beings and the nature developed by living things to provide thermoregulation in building skins which are the most intense of heat transfers. In this direction, the literature on the concepts of heat transfer methods, thermoregulation of living things in nature and concept of biomimicry, which is science of imitation of nature, has been searched. The thermoregulation methods of the living organisms selected for the sampling study and the façade sections designed with inspiration from these methods were analyzed in line with the data obtained by literature survey. The data obtained show that the strategies developed by living things in nature can only possible to lead the architectural design through an interdisciplinary study. And in the studies carried out in order to provide thermoregulation in building skins, it shows that applying "a biomimetic approach" contains potential solutions for designers.

ScienceCode : 80103
KeyWords : Biomimicry, Energy, Thermoregulation, Building skin, Architectural design
PageNumber : 105
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

# TEŞEKKÜR

Öncelikle yalnızca tez sürecinde değil her konuda bana destek olan, bilgisi, tecrübeleri ve sabrıyla beni destekleyip yüreklendiren, tez sürecinde karşılaştığım problemlere çözüm ararken her zaman yanımda olan, akademik gelişimime katkı sağlayan çok kıymetli danışmanım Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Hayatımın her anında maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen ve sevgiyle büyüten canım annem ve babam Fatma ve Ahmet AYDIN'a, kardeşlerim Bedirhan ve Kamil AYDIN'a, sabrı, sevgisi ve desteğiyle beni yalnız bırakmayan sevgili eşim Burak YAZICIOĞLU'na ve bu süreçte bana destek olan tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

ÖZET ..... iv

ABSTRACT ..... v

TEŞEKKÜR ..... vi

İÇİNDEKİLER ..... vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ..... ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ..... x

RESİMLERİN LİSTESİ ..... xii

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... xiv

1. GİRİŞ ..... 1

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE ..... 5

2.1. Termoregülasyon ..... 5

2.1.1. Nedir ve nasıl çalışır? ..... 5

2.1.2. Doğadaki termoregülasyon örnekleri ..... 13

2.1.3. Mimaride termoregülasyon ..... 17

2.2. Doğa Esinli Tasarımlar ve Biyomimikri Kavramı ..... 21

2.2.1. Biyomimikri nedir? ..... 24

2.2.2. Biyomimetik tasarım yaklaşımları ..... 26

2.2.3. Biyomimikri seviyeleri ..... 32

2.2.4. Biyomimetik yenilikler ..... 39

2.2.5. Biyomimikri ve mimarlık ..... 42

3. BİNA KABUĞUNUN TERMOREGÜLASYONUNDA KULLANILABİLECEK BİYOMİMETİK YAKLAŞIMLARIN ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ ..... 51

3.1. Yan Lekeli Kertenkele ve S.C.A.L.E.S Projesi (Akıllı, Sürdürülebilir, Aktif, Katmanlı, Çevre Dostu Sistem) *(Smart, Continuous, Active, Layered, Environmental, System)* ..... 53

**Sayfa**

3.2. Termit Kuleleri, CH2 Binası *(Council House 2)* ve Ofis Binaları İçin Gözenekli Katlanmış Bir Cephe *(A Porous Folded Facade For Office Buildings)* ..... 56

3.3. Kar Leoparı (*Snow Leopard*) ve Kar Leoparının Cilt Yapısından Esinlenerek Tasarlanan Çok Katmanlı Yapı Kabuğu Tasarımı ..... 62

3.4. Kuşlar ve Kuşların Tüy ve Kanat Yapılarından ve Kan Akış Kontrolünden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu Tasarımları ..... 64

3.5. Kutup Ayısı ve Kutup Ayılarının Kürklerinden Esinlenerek Tasarlanan Proje ..... 67

3.6. Kamış Kurbağası ve Herkül Böceği ve Geliştirdiği Termoregülsyon Yöntemlerinden Esinlenerek Tasarlanan Bir Ofis Binası Cephesi Tasarımı ..... 70

3.7. Stoma ve Stoma Hareketlerinden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu Tasarımı ..... 73

3.8. Su Aygırı ve Su Aygırının Cildinden Esinlenerek Tasarlanan Çok Katmanlı Yapı Kabuğu Tasarımı ..... 76

3.9. Boynuzlu Çıngıraklı Yılan ve Yılanın Isınmayı Engelleme Yönteminden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu Tasarımı ..... 78

3.10. Kas ve Homeostatik Sistem ve Kasların Kasılma Gevşeme Hareketinden Esinlenerek Tasarlanan Homeostatik Cephe *(Homeostatic Building Facade)* Projesi ..... 80

4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 83

4.1. İklim Bölgesine Göre Değerlendirme ..... 83

4.2. Isı Transfer Yöntemlerine Göre Değerlendirme ..... 83

4.3. Termoregülasyon Sağlamak için Geliştirdikleri Özelliklere Göre Değerlendirme ..... 84

4.4. Adaptasyon Şekillerine Göre Değerlendirme ..... 85

5. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 91

KAYNAKLAR ..... 93

ÖZGEÇMİŞ ..... 105

# ÇİZELGELERİN LİSTESİ

**Çizelge** **Sayfa**

Çizelge 2.1. Canlılardaki ısıl düzenleme yöntemleri ve örnekleri ..... 12

Çizelge 2.2. Biyomimetik tasarımların tarihsel süreci ..... 23

Çizelge 2.3. Termit örneği ile biyomimikrinin uygulanışı ..... 33

Çizelge 2.4. Mimari örneklerin biyomimetik özellikleri ..... 48

Çizelge 3.1. Yan lekeli kertenkelenin yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 54

Çizelge 3.2. Termitlerin yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 57

Çizelge 3.3. Kar leoparlarının yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 63

Çizelge 3.4. Kuşların yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 65

Çizelge 3.5. Kutup ayılarının yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 69

Çizelge 3.6. Kamış kurbağalarının yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 70

Çizelge 3.7. Herkül böceklerinin yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 72

Çizelge 3.8. Stomaların bulunduğu iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 74

Çizelge 3.9. Stomaların bulunduğu iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 77

Çizelge 3.10. Boynuzlu çıngıraklı yılanların yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 79

Çizelge 3.11. Homeostastatik sisteme sahip olan canlıların termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler ..... 81

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 2.1. Bir kertenkelenin ısı kazanım yöntemleri ..... 7

Şekil 2.2. (a) İnsan derisi kesiti, (b) Ter bezi kesiti ..... 10

Şekil 2.3. Çöl bitkilerinin stomalarının gece ve gündüz hareketleri ..... 15

Şekil 2.4. Soğuk ve sıcak çevrede damar hareketleri ..... 16

Şekil 2.5. Problem odaklı tasarım yaklaşımı aşamaları ..... 27

Şekil 2.6. Tasarımdan biyolojiye tasarım spirali ..... 29

Şekil 2.7. Sonuç odaklı tasarım yaklaşımı aşamaları ..... 30

Şekil 2.8. Biyolojiden tasarıma tasarım spirali ..... 31

Şekil 2.9. Solda problem odaklı, sağda sonuç odaklı tasarım yaklaşımı ..... 32

Şekil 2.10. CH2 Binası tasarım hedef ve sonuçları ..... 36

Şekil 2.11. (a) Lavasa şehri master planı, (b) Lavasa şehrindeki bir yapı kesiti eskizi ..... 47

Şekil 3.1. Kertenkelenin ısı kazanım ve ısınmayı önleme yöntemleri ..... 54

Şekil 3.2. Kertenkele deri kesiti ..... 55

Şekil 3.3. Kertenkeleden esinlenerek tasarlanan cephe sisteminin sıcak ve soğukta değişimi ..... 55

Şekil 3.4. Kertenkeleden esinlenerek tasarlanan cephe sisteminin sıcak ve soğukta değişimi ..... 56

Şekil 3.5. CH2 Binası yapı içi hava sirkülasyon şeması ..... 59

Şekil 3.6. CH2 Binası çatıdan indirilen borularla havanın nemlendirilmesiyle ile soğuma sağlanması ..... 59

Şekil 3.7. CH2 Binası beton döşemeler ile soğuma sağlanması ..... 60

Şekil 3.8. Ofis binaları için gözenekli katlanmış bir cephe modeli ..... 61

Şekil 3.9. Ofis binaları için gözenekli katlanmış bir cephe kesiti ..... 62

Şekil 3.10. Kar leoparınından esinlenilerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 64

Şekil 3.11. Kuşlardan ilham alınarak tasarlanan yapı kabuğu ..... 66

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 3.12. Kuşların termoregülasyon sağlamak için kan akış kontrolü şeması ..... 66

Şekil 3.13. Kuşların kan akışı ile termoregülasyon sağlamasından esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 67

Şekil 3.14. Kutup ayısı cilt yapısı ..... 68

Şekil 3.15. Kutup ayısının kürkünden esinlenerek tasarlanan membran ..... 69

Şekil 3.16. Kutup Ayısı Pavyonu ..... 70

Şekil 3.17. Kamış kurbağasının renginin mevsimlere göre değişimi ..... 71

Şekil 3.18. Herkül böceğinin renginin mevsimlere göre değişimi ..... 72

Şekil 3.19. Kamış kurbağası ve herkül böceğinden esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 73

Şekil 3.20. Stomaların açılma ve kapanma şeması ..... 74

Şekil 3.21. Stomalardan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğunun ısındıkça açılmasını gösteren modelleme ..... 75

Şekil 3.22. Farchi Nachman (2009) tarafından stomalardan esinlenerek tasarlanan cephe ve yapı kabuğu kesiti ..... 76

Şekil 3.23. Su aygırılardan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 78

Şekil 3.24. Yılanların hareketlerinin izlenmesiyle ortaya çıkan diyagramlar ..... 79

Şekil 3.25. Yılan hareketlerinden çıkarılan diyagramların modele aktarılması ..... 79

Şekil 3.26. Boynuzlu çıngıraklı yılandan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 80

Şekil 3.27. Kasların homeostatik sisteminden esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 81

# RESİMLERİN LİSTESİ

**Resim** **Sayfa**

Resim 2.1. Leonardo da Vinci'nin uçan makine eskizleri ..... 22

Resim 2.2. Boxfish ve Bionic Car görselleri ..... 28

Resim 2.3. Lotus çiçeğinden esinlenilerek yapılan boya ..... 30

Resim 2.4. Namibya çöl böceği ve Namibya Hidroloji Merkezi ..... 34

Resim 2.5. Pangolin ve Waterloo Uluslararası Terminal Binası ..... 34

Resim 2.6. Kuzey Amerika Kunduzu ..... 36

Resim 2.7. Zira Island projesi ..... 38

Resim 2.8. (a) Bal peteği sandviç panel (b) Bal peteği sandviç panel ve I profil karşılaştırılması ..... 40

Resim 2.9. Galapagos köpekbalığı ve ondan esinlenilen doku ..... 40

Resim 2.10. (a) Morpho kelebeği, (b) Örümceklerin ağ üreten bezleri ..... 41

Resim 2.11. (a) Geko kertenkelesi parmak ucu cilt dokusu (b) GeckoTape ..... 41

Resim 2.12. (a) Eiffel Kulesi ve uyluk kemiği, (b) Uyluk kemiği yapısı ..... 45

Resim 2.13. (a) Köpük baloncukları ve Watercube cephesi (b) Watercube üç boyutlu görseli ..... 45

Resim 2.14. (a) Pekin Ulusal Stadyumu modellemesi, (b) Pekin Ulusal Stadyumu fotoğrafı ..... 46

Resim 2.15. Termit kulesi ve Eastgate Binası ..... 46

Resim 3.1. (a) Yan lekeli kertenkele (b) Kertenkeleden esinlenilerek yapılmış tasarım ..... 54

Resim 3.2. (a) Termit kulesi (b) CH2 Binası ..... 58

Resim 3.3. Kar leoparı ..... 62

Resim 3.4. Kuşların tüy yapıları ..... 65

Resim 3.5. Kutup ayısı ..... 68

Resim 3.6. Herkül böceğinin renk değişimi ..... 71

Resim 3.7. Farchi Nachman (2009) tarafından stomalardan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu ..... 75

**Resim** **Sayfa**

Resim 3.8. Su aygırı ..... 77

Resim 3.9. Boynuzlu çıngıraklı yılan ..... 78

Resim 3.10. Kaslardan ilham alarak tasarlanan yapı kabuğunun termoregülasyon sağlamak için kasılıp gevşemesi ..... 82

# SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| **Simgeler** | **Açıklamalar** |
|---|---|
| **º** | Derece |
| **ºC** | Santigrat Derece |
| **%** | Yüzde |
| **$CO_2$** | Karbondioksit |

| **Kısaltmalar** | **Açıklamalar** |
|---|---|
| **Ar-Ge** | Araştırma ve Geliştirme |
| **ASHRAE** | American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers |
| **CAM** | Crassulacean Asid Metabolism |
| **CFD** | Computational Fluid Dynamics |
| **HVAC** | Heating Ventilating and Air Conditioning |
| **ISO** | International Organization for Standardization |
| **S.C.A.L.E.S** | Smart, Continuous, Active, Layered, Environmental, System |
| **Visual DOE** | Visual Design of Experiments |
| **yy** | Yüzyıl |

# 1. GİRİŞ

Canlılar doğada var oldukları andan itibaren -içgüdüleri ile hayatta kalmak için- sahip oldukları becerilerini, yüz yıllarca biriktirdikleri deneyimleri ile kazanmışlardır. İnsanoğlu ise doğada var olma mücadelesinde karşılaştığı sorunların çözümlerini ararken çevresini ve doğayı gözlemlemiştir. İnsanlığın çözmek zorunda olduğu problemlerin başında olan en az malzeme ve enerji ile en etkin çözümü bulma, daha hafif ve daha dayanıklı olanı tasarlayıp üretme, ürettiğinin sürdürülebilirliği sağlama gibi konulara doğa en etkin çözümleri üretmiştir. Dolayısı ile doğru tanımlanmış bir problemin çözümlerinin doğada aranabileceği düşüncesi ile şekillenen biyomimikri bilimi pek çok tasarım alanında olduğu gibi mimarlık alanında da potansiyeller barındırmaktadır.

Mimarlık çok kapsamlı ve disiplinler arası bilgilerle beslenen bir bilim alanıdır. En temel anlatımla insanlara doğada yaşadıkları ortamın daha konforlu ve güvenilir bir biçiminin sunulmasını amaçlamaktadır. Mimarlık çalışmalarının son ürünü olarak nitelendirilebilecek "binanın" enerji etkinlik ve sürdürülebilirlik konusunda çözüm üretmiş olması beklenmektedir.

Yapı kabukları, yapıların çevre ile olan ısı alışverişini ve enerji etkinliğini, birinci derecede etkileyen, enerji kayıplarının azaltılması konusunda şeffaf yüzey, havalandırma ihtiyaçları gibi zorlayıcı birçok kriteri birlikte barındıran yapı bileşenidir. Pasif iklimlendirme sistemlerinin yeterli olmadığı durumlarda yapı içindeki koşulları optimize etmek için kullanılan mekanik ısıtma ve soğutma sistemleri yapılarda harcanan enerjinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Mekanik ısıtma soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaksızın yapı içinde istenen ısı aralığını çevre koşullarından bağımsız sabit bir aralıkta tutmak bir başka ifadeile "termoregülasyonu" sağlamak yapının enerji sarfiyatını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle tıpkı doğadaki canlıların deri ya da kabuklarında olduğu gibi dış ortamla bir koruyucu bariyer olarak tasarlanan yapı kabuklarının tasarımı ve üretimi için yoğun Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır.

Gelişen teknolojiyle birlikte doğadan öğrenme biçimleri artmış ve tasarıma ilham kaynağı olabilecek çözümlerin tasarımla bütünleştirilebilmesi, salt morfolojik özelliklerin değil, malzeme, işleyiş, kaynak ve enerji kullanımı gibi konuların da doğadan esinlenerek tasarlanabileceği düşüncesi yaygınlaşmıştır. Doğanın en iyi fikirlerinin "yapı kabuğu

tasarımı" sürecinde de öğretici olması mekanların mekanik ısıtma-soğutma sistemlerine olan ihtiyacını azaltarak kabuğun "termoregülasyonunu" sağlama potansiyellerinin araştırılması bu tezin konusunu oluştumaktadır.

Bu bağlamda, ısı kayıplarının en yüksek olduğu yapı kabuğunun termoregülasyonunu sağlamak amacıyla alınabilecek önlemlerin doğadan araştırılmasını sağlamak ve tasarımcılara karşılaştıkları problemlere çözüm ararken yeni bakış açıları kazandırmak amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında termoregülasyon ve biyomimikri tanımları yapılmış ve her iki kavramın çalışma prensipleri incelenmiştir. Çalışma, biyomimetik tasarım prensipleriyle termoregülasyonun sağlanmasının "yapı kabuklarında" incelenmesiyle sınırlandırılmıştır. Çalışmanın nihai hedefi, yapı kabuklarında ısıl düzenlemeleri etkileyen sorunların tespit edilerek doğada bulunan çözümlerin aranması ve tasarımcılara kılavuz niteliğinde bir sonuç sunulması olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen veriler, daha sonra benzer konularda çalışacak araştırmacılar için de bir altlık oluşturacaktır.

## Materyal ve metot

Bu çalışmada ilk olarak doğada farklı çevresel koşullarda yer alan ve farklı termoregülasyon yöntemleri geliştirmiş canlıların araştırılması amaçlanmıştır. Vücut iç sıcaklığını belirli bir aralıkta tutma ihtiyacı tüm canlılar için ortakken, yaşadıkları çevresel koşullar birbirinden farklıdır. Yüksek sıcaklık, kuraklık, nem veya düşük sıcaklık bu ortam koşullarından bazılarıdır. Bazı canlılar ise mevsimsel ya da gün içinde değişen çevre sıcaklıklarına uyum sağlamak zorundadır. Canlıların yaşadığı çevresel koşullara göre geliştirdikleri stratejiler de farklılık göstermektedir. Aşırı sıcak çöl iklimine de, aşırı soğuk kutup bölgelerine de, değişken çevresel sıcaklıklarına da uyum sağlayan canlılar incelenmiş ve geliştirdikleri stretejiler analiz edilmiştir.

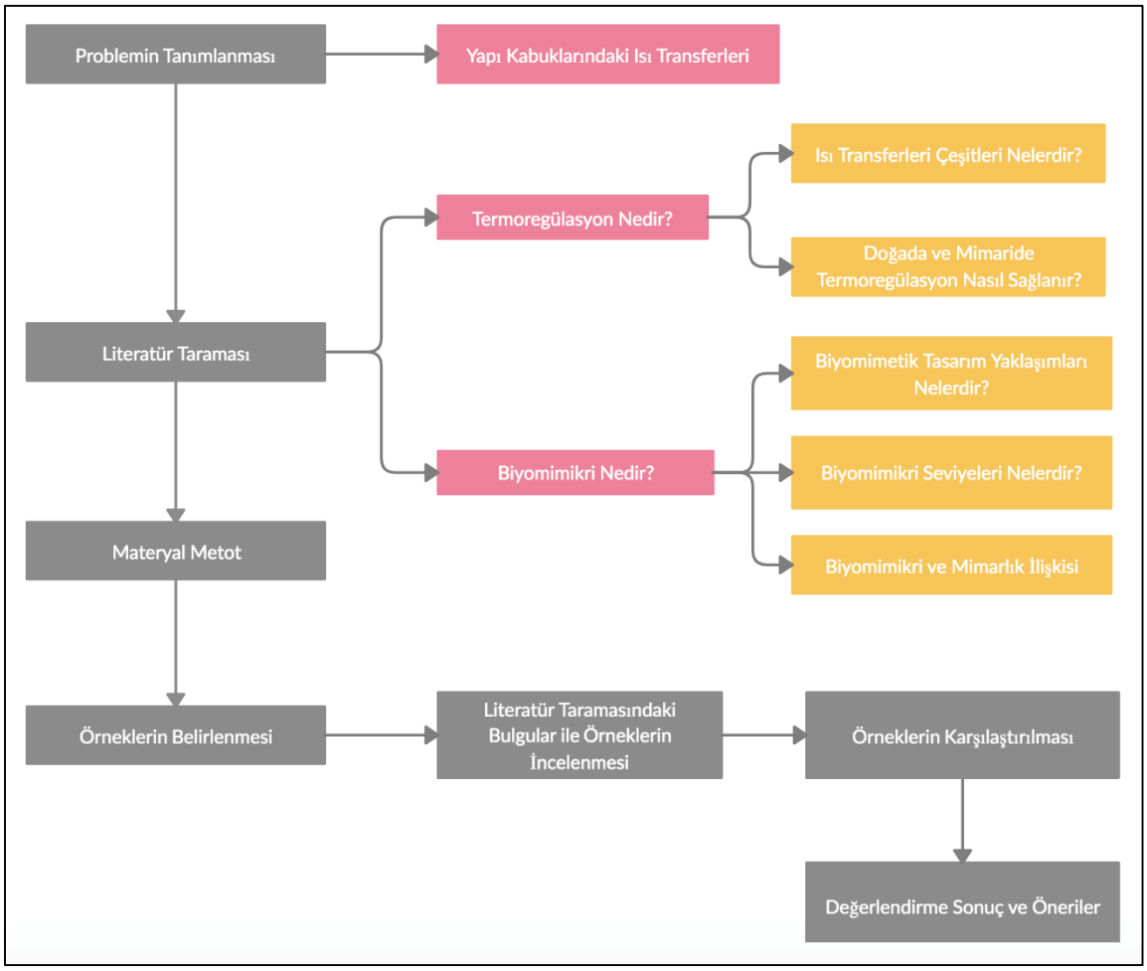
Alan çalışması için seçilen organizmaların ısıl düzenleme sağlamak için morfolojik, fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar geliştirdikleri tespit edilmiştir. Daha sonra bu canlıların mimarlıkta çözüm araştırmaları için kullanılıp kullanılmadıkları araştırılmış ve bu özelliklerinden ilham alarak tasarlanan cephe kesitleri incelenmiştir. Doğadaki termoregülasyon yöntemlerinin mimari kabuğun hangi problemine çözüm üretmek için,

nasıl aktarıldığı, ne tür çözümler getirdiği soruları üzerinden yola çıkılarak örnekler analiz edilmiştir.

Alan çalışması için sert ısıl şartlara ve değişken ısıl şartlara uyum sağlayan canlılar seçilmiştir. Canlıların bu çevresel koşullara nasıl uyum sağladığı, geliştirdikleri morfolojik, fizyolojik ve davranışsal stratejiler araştırılmıştır. Araştırılacak canlıların farklı çevresel koşullardan seçilmesi, geliştirdikleri termoregülasyon stratejilerinin farklılaşmasını gözlemlemeye olanak sağlamıştır. Daha sonrasında araştırılan canlıların termoregülasyon stratejilerinin mimarlıkta benzer problemlerin çözümü için kullanılıp kullanılmadığı araştırılmıştır. Belirlenen canlıların araştırılan özelliklerinden ilham alınarak tasarlanan yapı kabukları incelenmiştir. Doğadaki termoregülasyon yöntemlerinin mimariye hangi problemlere çözüm üretmek için nasıl aktarıldığı, ne tür çözümler getirdiği soruları üzerinden yola çıkarak örnekler analiz edilmiştir. Farklı çevresel koşullar için geliştirilen termoregülasyon yöntemlerinin uygulanmış ya da deneysel yapı kabuklarını etkilediği görülmüş, bu tür bir yaklaşımın termoregülasyon sağlamak için harcanan enerji miktarlarında azalma sağlayıp sağlamadığı analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, canlıların yaşadıkları iklim bölgesinin, geliştirdikleri ısı transfer yöntemlerinin, ısı transferi sağlamak için geliştirdikleri özelliklerin ve adaptasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasıyla analiz edilmiştir. Daha sonra canlının geliştirdiği özellik ve cephede uygulamasının karşılaştırılmasıyla bir çizelge oluşturulmuştur.

Çalışma temel olarak toplamda beş bölümden oluşmaktadır (Şekil 1.1). Birinci bölümde; problemin tanımı, hipotez, çalışmanın amacı, kapsamı, sınırlılıkları ve materyal metot açıklanmıştır. İkinci bölümde ise çalışmanın ana omurgasını oluşturan “termoregülasyon” ve “biyomimikri” kavramları literatür kaynaklarından edinilen bilgilerle açıklanarak kavramsal bir çerçeve oluşturulmuştur. Bu bölümde elde edilen veriler yapılacak alan çalışmasının değerlendirilebilmesi için bir altyapı niteliğindedir. Üçüncü bölümde; çalışmanın omurgasını oluşturan termoregülasyon ve biyomimikri kavramları yapı kabuklarında özelleşerek derinleştirilmiş ve örnekler ışığında tartışılmıştır. Dördüncü bölümde bulgular değerlendirilendirilmiş, beşinci bölümde ise sonuç ve öneriler yapılarak çalışma sonlandırılmıştır.




Şekil 1.1. Tez akış şeması

# 2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yapı tasarımında karşılaşılan ısıl düzenleme sorunlarının çözümlerinin doğada aranması amacıyla başlatılan bu çalışmanın ilk aşaması olarak bu bölümde, çalışmanın ana omurgasını oluşturan "termoregülasyon" ve "biyomimetik" kavramları irdelenmiştir. Bu kavramlar literatürde taranmış ve yapılan araştırmalartezin alan çalışması için bir temel oluşturmuştur.

Bu bölümde öncelikle "termoregülasyon" kavramı ve çalışma şekli, doğadaki ve mimaride termoregülasyon, "biyomimikri" kavramı ve biyomimetik tasarım yaklaşımları, biyomimikri seviyeleri, biyomimetik inovasyonlar ve biyomimikri ve mimarlık ilişkisi incelenmiştir.

## 2.1. Termoregülasyon

Termoregülasyon, canlı bir organizmanın ya da yapılı bir çevrenin iç sıcaklığının, dış ortam sıcaklığından etkilenmeksizin belirli bir aralıkta tutulması olarak tanımlanabilir. Çevre koşullarının değişmesi halinde canlıda ısı kaybı ya da aşırı ısınma görülebilmekte bu nedenle de canlılar hayatta kalmak için ısı kazanımını ya da kaybını sağlamaya yönelik bazı çözümler üretmişlerdir. Bu bölümde termoregülasyon teriminin tanımı ve çalışma prensipleri açıklanmıştır.

### 2.1.1. Nedir ve nasıl çalışır?

Termoregülasyon, bir organizmanın çevre sıcaklıkları ne olursa olsun, kendi vücut sıcaklığını belirli bir aralıkta tutmasıdır (Farchi Nachman, 2009). Bu nedenle organizmalar termoregülasyonu sağlamak amacıyla morfolojik, fizyolojik veya davranışsal metotlar benimsemişlerdir (Kipervaser, 2003). Havanın sıcaklığı, güneşten gelen radyasyon, diğer maddelerin radyasyonu, organizmanın ısıyı emme kuvveti, bulunan ortamın rüzgar hızı ve konveksiyon vücut sıcaklığını etkilemektedir (Stevenson, 1985; Tracy, 1986).

Isıl düzenlemeyi sağlamanın temelde ısı akışını hızlandırmak ve ısının geçişini engellemek olmak üzere iki yolu bulunmaktadır. Isı bir enerjidir ve ısısı yüksek olandan düşük olana doğru bir transfer gerçekleşmektedir (Abdullah, Said ve Ossen, 2018).

Her canlının sağlıklı bir yaşam koşulu oluşturmak için vücut sıcaklığını belirli bir aralıkta tutması gerekmektedir. Yapılarda ısıl düzenleme sağlamanın sebebi içinde yaşayan canlıları termal konfora ulaştırma amacıdır. Termal konfor canlının hayatta kalmak için gerekli vücut sıcaklığına ulaşmayı sağlamak için minimum çaba gösterdiği, ortam sıcaklığının konforunu etkilemediği ortamlar için kullanılabilecek bir tabirdir. ASHRAE Standard 55 ve ISO Standard 7730 ise insanlar için termal konforu; ortamın termal durumundan memnuniyeti anlatan ortam koşulları olarak tanımlamıştır (Al-Rubaih, 2008). Bu tanım, ortamda bulunan insanların psikolojik durumlarının alışkanlıklarına göre değişebileceğini, burada temel alınanın kişinin ortamda sıcak ya da soğuk hissetmesinin olduğu anlaşılmaktadır. Fanger (1972) ise termal konforun tanımını insanların daha serin ya da daha sıcak olmasını tercih etmeyecekleri ortam koşulu olarak tanımlamıştır.

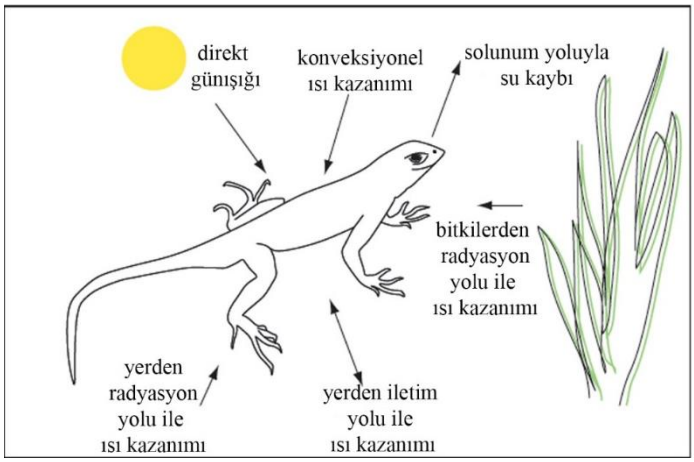
Doğadaki canlılar aslında bir fizik kuralı olan ısı geçişlerini kontrol ederek istedikleri vücut sıcaklığına ulaşmak ve yaşamlarını sürdürebilmek için; ısı kazanımı, ısı korunumu, ısı dağıtılması ve ısınmayı önleme gibi yöntemler geliştirmişlerdir.

Isı kazanımı

Organizmalar ısı kazanımını çoğunlukla ya güneşten gelen radyasyonu emmeleri sayesinde ya da metabolik faaliyetler sırasında ortaya çıkan ısı ile sağlarlar. Güneşten gelen radyasyonu emmek böcek ya da sürüngenler gibi soğukkanlı hayvanlar için bir ısı kazanımı yöntemdir. Radyasyonu emme etkinliği, canlıların renklerine, ısı kaynağına uzaklıklarına, yönlenmelerine ve iletkenliklerine bağlıdır. Koyu renkler daha fazla ısı emerken, açık renkler bir kısmını yansıttıkları için daha az emmektedir. Birçok sürüngen ise bu dengeyi sağlamak için derilerini genişletip daraltarak açık ve koyu bölgeleri artırıp azaltabilirler (Camargo, Visconti ve Castrucci, 1999).

Bir hayvanın yüzey alanının hacmine oranı, ısı kazanımı ve kaybında önemli bir rol oynar. Çünkü ısı yüzeyden kazanılır ve kaybedilir, dolayısıyla soğuk iklimlerde daha büyük boyutlu, sıcak iklimlerde ise daha küçük boyutlu canlıların görülme oranı daha yüksektir (Mazzoleni, 2013:98). Aşırı ısınma ise deri rengini, vücut postürünü değiştirmek ya da gölge olan bir alana giderek ortamı değiştirmek suretiyle giderilebilir (Schmidt-Nielsen, 1997). Radyasyon doğrudan ısı kaynağı olarak kullanılabildiği gibi dolaylı olarak da

kullanılabilir. Örneğin, ısı kazanmak amacıyla bir hayvan güneş tarafından ısıtılan bir kaya sayesinde ısı kazanabilir (Şekil 2.1.) (Mazzoleni, 2013:109).




Şekil 2.1. Bir kertenkelenin ısı kazanım yöntemleri (Mazzoleni, 2013:109)

Isı kazanımının bir diğer yolu ise metabolik etkinliğin artırılmasıdır. Metabolik faaliyetler arttıkça ortaya çıkan ısı da doğru orantılı artmaktadır. Isınma kasların çalışması yani egzersizle, kasların istemsizce kasılması yani titremesi ya da titreme olmaksızın kasların istemsiz çalışmasıyla sağlanabilir (Schmidt-Nielsen, 1997). Kas etkinliği sayesinde kazanılan ısı canlıdan canlıya ve davranışsal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Isı kazanımı için titreme ise düşük ve yüksek şiddette titreme olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük şiddetli titreme aslında yılın soğuk dönemlerinde hayvanların vücut sıcaklıklarını korumak için başvurduğu bir yöntemdir. Yüksek şiddetli titreme ise yüksek ısı ihtiyacından dolayı titremenin ani yükselmesidir. Titreme ısı kazanımı konusunda kasların çalışmasından, egzersizden daha etkili bir yöntemdir (Badarnah, 2015).

Kısaca özetlemek gerekirse endoterm canlılar ısıl dış kaynağa ihtiyaç duymaksızın metabolik faliyetlerini artırarak ısı kazanırlarken, ektoderm canlılar dış ortamdaki ısı kaynağından iletim, konveksiyon ve radyasyon yöntemi ile ısı kazanımı yaparlar.

Isı korunumu

Vücut sıcaklığının korunması soğuk ortamlarda yalıtım, metabolizma hızının azaltılmasına, sıcaklık değerlerinin fark aralığının azaltılmasına ve dış ortamla temas edilen alan ile vücut hacmi arasındaki oranın düşürülmesiyle sağlanabilir. Bu yöntemler ise morfolojik, davranışsal ya da fizyolojik olabilir (Badarnah, 2015). Yüzey alanı hacim

oranının değiştirilmesine ek olarak sıcak ortamlarda yaşayan büyük hacimli canlılar ısı kaybını artırmak için evrim sürecinde daha az kürklenme eğilimine gitmişlerdir (Mazzoleni, 2013:98).

Katı bir madde çevreye "iletim" yoluyla ısı yayarken, akışkanlarda ısı aktarımı "konveksiyon yolu" ile olur. Yalıtım çevreye yayılan ısı miktarını azaltır. Canlılarda bulunan ısı yalıtımı katmanı yılın dönemlerine yani mevsimlere göre değişiklik gösterebilir. Örneğin ayılar yaz mevsiminde kışın sahip oldukları postun yaklaşık %52'sini kaybederler. Ayrıca kuşlar da soğuk ortamlarda tüylerini kabartıp başlarını tüylerinin arasına çekerek ısılarını korumaya çalışırlar (Schmidt-Nielsen, 1997).

Kutuplarda çok soğuk sularda yaşamak zorunda olan fok balıkları ve balinalar kürk ya da postları sıvı ortamda yalıtım özelliğini kaybettiği için derileri altında bulunan kalın yağ tabakası sayesinde vücut sıcaklıklarını korurlar (Scholander, 1950).

Dış ortamdaki sıcaklık değerlerine göre vücut sıcaklığının değiştirilmesi de bir diğer ısı koruma yöntemidir. Organizmalar vücut sıcaklıklarını değiştirerek dışarıya aktarılacak ısı miktarını düşürürler ve vücut sıcaklığı dar bir aralıkta tutulmuş olur (Heyning ve Mead, 1997).

Bazı organizmalar ise metabolizma hızlarını düşürerek vücut ısılarını düşürürler ve böylece ısı korunumu sağlarlar. Örneğin bazı hayvanlar besin bulma dolayısıyla da metabolik faaliyetlerini sürdürme konusunda kış aylarında sıkıntı yaşarlar. Bu nedenle kış boyu metabolizma hızlarını minimuma indirerek kış uykusuna yatarlar. Kış uykusu sırasında kalp atışı ve solunum hızı yavaşlar, vücut sıcaklığı ise neredeyse ortam sıcaklığıyla aynı seviyeye gelir, böylece dışarıya ısı aktarılmamış olur. (Tattersall ve Milsom, 2003)

Isı dağıtılması

Vücut sıcaklığının ortam sıcaklığına göre aşırı yükseldiği durumlarda vücut dışarı konveksiyon, iletim, radyasyon ve buharlaşma yoluyla ısı aktarmaktadır.

Isının yayılması en fazla konveksiyon yolu ile olur. Konveksiyon akışkanlardan sıcaklığı yüksek olanın sıcaklığı düşük olana sıcaklık aktarımı olarak tanımlanabilir ve "doğal

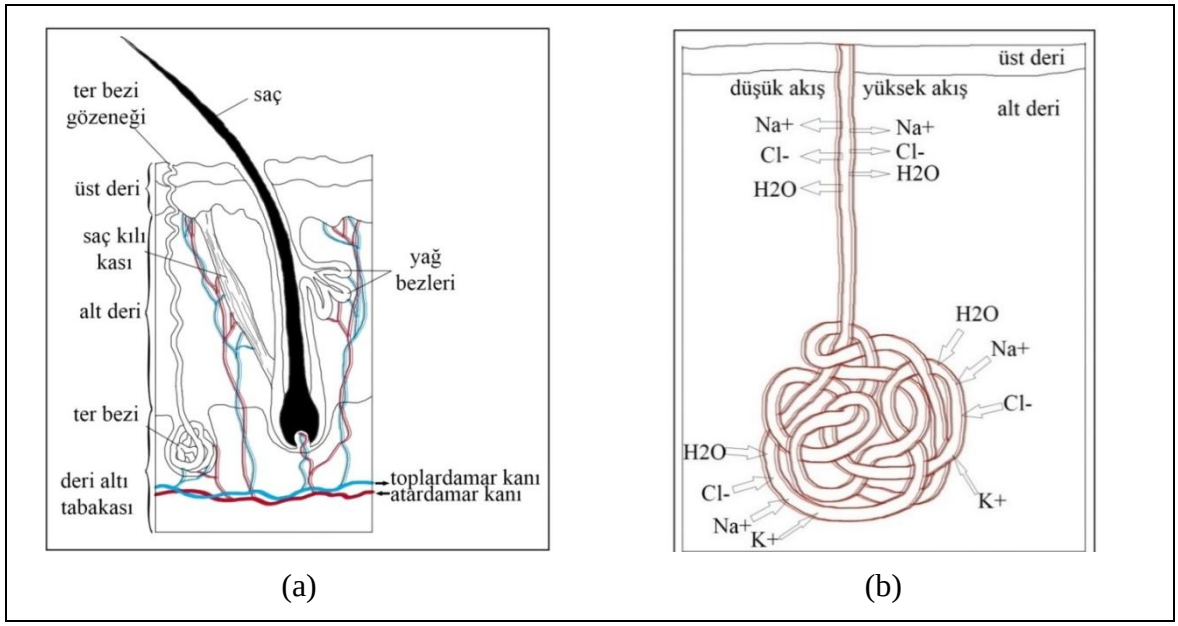
yollarla" olan ve "mekanik" yapılan olarak ikiye ayrılabilir. Doğal konveksiyona örnek olarak ısınan havanın yükselmesi verilebilir. Isınan hava hacmi genişleyerek yoğunluğu azaldığı için yukarı çıkmakta yukarıda ise soğuyarak hacmi daralmakta ve yoğunluğu artarak aşağı çökmektedir. Bu hareket doğal yollarla bir hava sirkülasyonu oluşturmaktadır. Yapay konveksiyonda ise ısınan akışkanların hareket etmesi için pompa benzeri yapılardan mekanik destek alınması gerekir. Örneğin yapılan çalışmalar zebralardaki siyah beyaz desenlerin deriyi soğutma etkisinin olabileceğini göstermiştir (Cloudsley-Thompson, 1999; Jackson, 2012). Araştırmalara göre zebranın koyu renkli ve açık renkli derisi üzerindeki sıcaklık farkından dolayı cilt yüzeyinde bir hava akımı oluşmakta bu da soğumayı sağlamaktadır (Morris, 1990:16).

İletim yolu ile ısı transferinde farklı sıcaklıktaki iki objenin birbiriyle temas etmesi gerekmektedir. İletim yolu ile ısı transferi katılarda ve akışkanlarda olabilir ancak akışkanlarda bunun payı biraz daha düşüktür. Çünkü yoğunluk azaldıkça iletkenlik de azalır. Maddeler katı halden gaz hale geçtikçe moleküller arasındaki mesafeler azalacak dolayısıyla doğrudan temas etme olasılıkları da düşecektir. Malzemelerin kalınlığı arttıkça iletkenlikleri düşer, yoğunlukları ve yüzey alanları arttıkça iletkenlikleri artar (Kern, 1997:2-3).

Radyasyonun azaltılmasını sağlamak da ısının dağıtılması için bir yöntemdir. Birçok çöl hayvanı sadece geceleri ya da şafak vaktinde aktiftirler ve gün batana kadar gölgeli, korumalı alanlarda kalırlar. Çölde yaşayan küçük boyutlu hayvanlar genellikle günün en sıcak saatlerinde yeraltındaki yuvalarında sıcaktan korunmaya çalışırlar. Hatta bazı kemirgenler yazın en sıcak aylarında "uyku *(estivation)*" adı verilen metabolizma hızının minimuma düştüğü bir davranış sergileyerek sıcaklıktan korunmaktadırlar (Walsberg, 2000).

Isının dağıtılması için bir yöntem ise buharlaşmanın sağlanmasıdır. Nemli yüzeyleri yalayarak geçen hava yüzeyden ısıyı da alarak buharlaşma sağlar. Doğadaki canlılar ise buharlaşmayı, terleme, soluma ve gırtlaklarını titretme hareketi adaptasyonları ile sağlamaktadır (Hill, Wyse, Anderson ve Anderson, 2004:227; Schmidt-Nielsen, 1997:235). Üst deriyi nemlendirerek ısının dağılmasını sağlayan terleme Şekil 2.2.'de detaylı kesiti verilen ter bezleri sayesinde insanlar da dahil olmak üzere birçok memeli hayvanda görülmektedir. Gırtlak titretme hareketi ise kuşların ağızları açık bir şekilde

gırtlaklarını titreterek içeri hava akışını sağlaması böylece serinlemeleridir (Hill ve diğerleri, 2004:255). Soluma ise hem memeliler hem kuşlar tarafından ısının dağıtılması için kullanılır, mesela köpeklerdeki gibi artan ısının solunum hızının artırılarak dışarı atılmasını sağlar (Schmidt-Nielsen, 1997:261).




Şekil 2.2. (a) İnsan derisi kesiti (Britannica, 2018a), (b) Ter bezi kesiti (s.hswstatic.com)

Isınmayı önleme

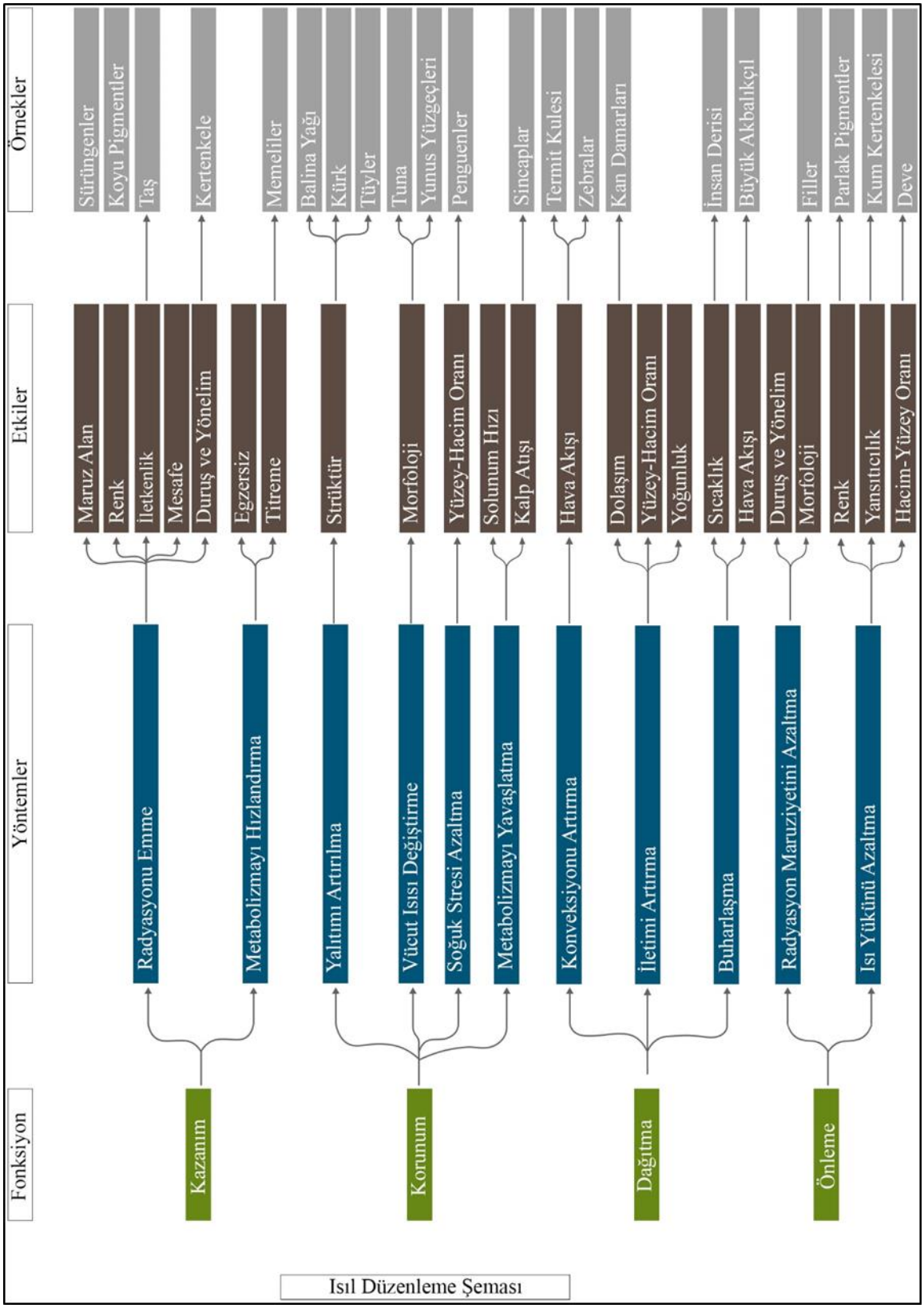
Isınmayı önleme özellikle de sıcaklığı yüksek dış ortamlarda canlıların organik yapıların bozulmaması, herhangi bir zarar görmemesi için önemlidir. Organizmalar dokularına zarar verecek boyutlara gelmeden ısınmayı engellemek amacıyla radyasyonu azaltma, ısı emilimini azaltma gibi bazı stratejiler geliştirmiştir (Hill ve diğerleri, 2004:233).

Güneş radyasyonu ile ısınmayı engellemek için sıcak iklimde yaşayan organizmaların çoğu geceleri aktif olup gündüz etkinliklerini azaltırlar. Vücudun dış ortamla temas eden alanının hacmine oranı ne kadar fazla olursa buharlaşma o kadar fazla olur ancak, aynı zamanda radyasyondan etkilenme oranı da artar. Bu nedenle organizmaların bazı morfolojik özellikleri ihtiyaçlarına göre sivrilir. Mesela kırışık deri yüzeyinde oluşan gölgeli alanlar sayesinde hem radyasyona uğrayacak alanlar gölgelendirilerek azaltılmış hem de terleme gerçekleşecek yüzey alanı artırılmış olur (Lillywhite ve Stein, 1987).

Isı emilimini azaltmak da ısınmayı engellemenin bir diğer yoludur. Simonis, Rattal, Oualim, Mouhse ve Vigneron (2014)'un siyah ve açık renkli yüzeylerin ısı emilimi üzerine yaptığı çalışmada siyah yüzeylerin ısı emiciliği yüksek olmasına rağmen yalıtım sayesinde ısı transferinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Isı yalıtımında ise yüksek yoğunluklu kıl kaplı kürklerin düşük yoğunluklu olanlara göre daha etkili olduğu, düşük yoğunluklu kürklerin genellikle yalıtımdan ziyade farklı işlevlerden ötürü bulunduğu gözlemlenmiştir. (Simonis ve diğerleri, 2014)

Açıklanan termoregülasyon yöntemleri olan; ısı kazanımı, ısı korunumu, ısı dağıtılması ve ısınmayı önleme ve bu yöntemleri uygulamak için kullanılan prensipler, sağlanan fonksiyonlar ve doğadaki örnekler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Canlılardaki ısıl düzenleme yöntemleri ve örnekleri (Badarnah, 2015)



### 2.1.2. Doğadaki termoregülasyon örnekleri

Bu bölümde doğadaki canlıların kendi bireysel özelliklerine görevücut sıcaklıklarını benzer dar aralıklarda tuttukları yöntemler incelenmiştir. Hayvanlarda, bitkilerde ve insanlarda görülen yapısal farklılıklar ısıl düzenlemeyi sağlamak için de farklı özelliklerin gelişimine olanak sağlamıştır. Fiziksel olarak temeli ısı geçişi olan termoregülasyon karmaşık biyolojik yapılarda örneğin hayvanlarda damarlardaki kan hareketi, bitkilerde stoma hareketleriyle sağlanabilmektedir.

Hayvanlarda termoregülasyon

Hayvanlar vücut sıcaklıklarını düzenleme özelliklerine göre sıcakkanlı ve soğukkanlı olmak üzere ikiye ayrılır. Soğukkanlı canlılar; ektoderm, poikiloterm, bradimetabolik canlılar olarak, sıcakkanlı canlılar; endoterm, homeoterm, taşimetabolik canlılar olarak sıralanabilir.

- Bu canlılar, ısıyı tutma özelliklerine göre;

1. Poikiloterm: vücut sıcaklıkları değişebilen, çoğunlukla dış ortamla sıcaklığı aynı olan canlılar,
2. Homeoterm: dış ortam sıcaklığından etkilenmeksizin sabit bir vücut sıcaklığını koruyan canlılar olarak,

- Isı kaynaklarına göre;

1. Ektoterm: vücut sıcaklığını güneş, su ya da hava gibi dış ortamdaki maddeler sayesinde kontrol eden canlılar,
2. Endoterm: vücut sıcaklıklarını titreme, yağ yakma, nefes alma gibi metabolik faaliyetler sonucu ısı açığa çıkararak kontrol eden canlılar olarak,

- Vücut aktivite seviyelerine göre ise;

1. Bradimetabolizma: yüksek aktif metabolizmaya, yavaş bir dinlenme metabolizma hızına sahip, besin bulma koşullarına ya da ortam koşullarının yaşama elverişliliğine göre metabolizma hızlarını düşürme, ortam sıcaklığı aşırı sıcak ve aşırı soğuk bölgelerde yaşama uygun koşullara gelene kadar metabolik faaliyetlerini kapatma özelliğine sahip canlılar,
2. Taşimetabolizma: termoregülasyonu sağlamak için yüksek istirahat metabolizmasını sürdüren canlılar olarak sınıflandırılabilir. (Merck, 2014)

Doğadaki canlıların birkaçı yukarıdaki özelliklerin hepsini taşımaktadır. Ancak çoğu hayvan bu özelliklerin muadillerinin farklı kombinasyonlarını vücutlarındaki termoregülasyonu sağlamak için kullanmaktadır. (Farchi Nachman, 2009)

Soğukkanlı canlılara sürüngenler, omurgasızlar ve balıklar örnek verilebilecekken, sıcakkanlı canlılara memeliler ve kuşlar örnek teşkil etmektedir.

Soğukkanlı ya da sıcakkanlı canlı türlerinin her ikisi de vücut sıcaklıklarını belirli bir aralıkta tutmak zorundadır. Ortam sıcaklığındaki aşırı değişim, canlı organizmalara büyük zorluk getirmekte dolayısıyla canlılar, vücut ısılarını düzenlemek için çeşitli mekanizmalar geliştirmek zorunda kalmışlardır. Endoterm canlılar sahip oldukları vücut ısısını koruyabilmekte, ektoderm canlılar ise yalnızca dışarıdan etkilerle vücut sıcaklıkların düzenleyebilmektedir. Her iki canlı türü de geliştirdikleri davranışsal ve fizyolojik farklı mekanizmalarla termoregülasyonunu sağlamaktadır (Hill ve diğerleri, 2004:225-226; Schmidt-Nielsen, 1997:206). Hayvanların geliştirdikleri termoregülasyon sistemleri, ısıl düzenlemelerin yanı sıra enerji harcamalarının sınırlandırılması konusunda da birçok ilham kaynağı barındırmaktadır.

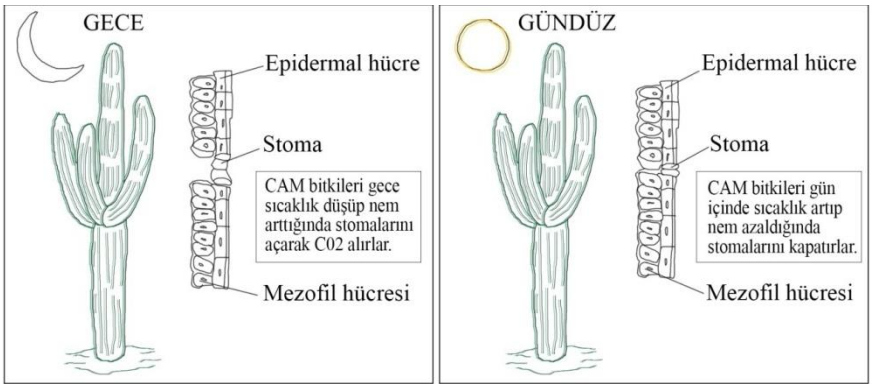
Bitkilerde termoregülasyon

Bitkiler çeşitlerine göre -60°C'den +60°C'ye kadar olan sıcaklık stresine dayanabilmektedir. Bitkilerin mevsimlerdeki sıcaklık farklılıklarına gösterdikleri tolerans metabolik etkinliklerinin artırılıp azaltılmasıyla değiştirilebilir. Örneğin, soğuk ilkimde yaşayan bir bitki donma toleransını 40-50°C azaltırken, çöl bitkileri sıcaklık toleranslarını 10-20°C artırabilmektedir. Çöl bitkilerinin küçük yüzey alanı/ hacim oranına sahip olması, düşük stoma etkinlikleri ve büyük kütleleri bünyelerinde sıvı tutmaya ve sıcaklıklarını düşürmeye yardımcı olmaktadır. (Osmond ve diğerleri, 1987)

Çevresel streslere karşı mekanizmalar geliştiren canlılardan bitkilerin hareket etme yeteneği bulunmadığından termoregülasyon sağlamaları büyük önem taşımaktadır. Şiddetli ısı stresi tolerans seviyesini aşmazsa bitki eski etkinliğini devam ettirebilmekteyken, toleransı aşan ısı stresi dönüşü olmayan doku hasarlarına neden olabilmektedir. Bunu engellemek için ısı şoku proteinleri protein ve enzim gibi organiklerin etrafını sararak yapılarının bozulmasını engellemektedir. (Sanmiya, Suzuki, Egawa ve Shono, 2004)

Bitkilerin geliştirdiği diğer yöntemler;

1. Isı depolamak için çiçeklenme sağlanır,
2. Güneşten maksimum radyasyon emmek için yüzey alanını genişletmek amacıyla yapraklar incelir,
3. Yapraklarda sıvı kaybını engellemek için epidermisi mumsu bir katman ile kaplanır,
4. Yapraklardaki stomalar sayesinde hem atılan su hem de $CO_2$ girişi kontrol edilir,
5. Yapraklardaki bölgesel farklılıklar oluşmaması amacıyla bünyesinde bulunan hava boşlukları sayesinde $CO_2$ dolaşımı sağlanır,
6. Öğlen güneşinin direk temasından ziyade yatay güneşlenme sağlamak amacıyla yapraklar dikey olarak yönlendirilir,
7. Yapraklara yakın havanın alınıp daha serin ve nemli tutulması amacıyla yapraklar ya da üzerinde bulunan tüyler diken şeklini alır,
8. Yapraklar üzerindeki tüylerin renkleri sayesinde ışığın bir kısmını yansıtarak radyasyonun tamamını emmekten kurtulur,
9. Çöl bitkileri (CAM-Crassulacean Asit Metabolizması bitkileri) stomalarını gece açıp gündüz kapatır(Şekil 2.3). (Farchi Nachman, 2009)



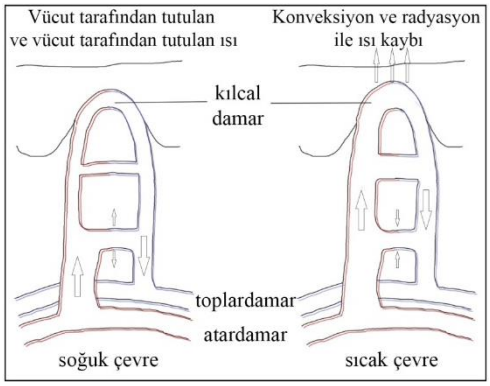

Şekil 2.3. Çöl bitkilerinin stomalarının gece ve gündüz hareketleri (Farchi Nachman, 2009)

<u>İnsanlarda termoregülasyon</u>

Diğer canlılarda olduğu gibi insanların da yaşamını sürdürmek için vücut sıcaklıklarını belirli aralıkta tutmaları gerekmektedir. Vücut sıcaklıklarının belirli bir aralıkta kalması istenirken çevre koşulları yani ortam sıcaklığı her zaman aynı kalmamaktadır. Bu değişimden olumsuz etkilenmemek amacıyla insanların da biyolojik olarak geliştirdikleri bazı yöntemler vardır.

İnsanların termoregülasyon sağlamak için deri tabakası ve beyinde hipotalamusta bulunan iki ısı sensörü bulunmaktadır. Deri çok sıcak ya da çok soğuk ortamlarda insanın tepki vermesini sağlayacağı reseptörler barındırmaktadır. Hipotalamusta bulunan ısı reseptörü ise devamlı olarak kandaki sıcaklığı ölçmektedir. (pmgbiology.com)

Ortam ile yapılan ısı alışverişinde vücut sıcaklığının sabit tutulması için fazla sıcak ya da fazla soğuk ortamlarda farklı tepkiler vererek dengede kalınmasını sağlar. Örneğin aşırı yükselmiş vücut sıcaklığı terleme ve vazodilatasyon (Şekil 2.4) yöntemi ile düşürülmeye çalışılır. (Terrien, Perret ve Aujard, 2011).




Şekil 2.4. Soğuk ve sıcak çevrede damar hareketleri (Farchi Nachman, 2009)

*Yüksek sıcaklıklarda termoregülasyon*

- Yüksek sıcaklıklarda alt epidermiste bulunan ter bezleri üst epidermisten dışarı açılan kanallar sayesinde deriyi nemlendirmektedir. Nemlenme sayesinde deri yüzeyinde buharlaşma dolayısıyla da ısının dağıtılmasını sağlamaktadır. (Hill ve diğerleri, 2004:227; Schmidt-Nielsen, 1997:211)
- Cildin yüksek sıcaklık ile başa çıkmasının bir diğer yöntemi ise cildin yüzeyinde bulunan kılların bünyesinde var olan kaslar sayesinde düzleştirilerek kıllar arasındaki hava tabakasının ısınmasını engellemektir. Bu yatıştırılmış kıllar sayesinde ciltten ortama konveksiyonla ısı geçişi sağlanarak ısı kaybı artırılmaktadır. (Terrien ve diğerleri, 2011)
- Vazodilatasyon yani damar genişlemesi, arteriyel kan damarlarının etrafında var olan düz kasların gevşemesiyle damarların genişlemesi manasına gelmektedir. Damarın genişlemesi nedeniyle damarlardan geçen kan akış miktarı artmakta ancak damarların iç çapı genişlediği için kan basıncı düşmektedir. Vazodilatasyon ile artan kan akışıyla

birlikte yüzeyde bulunan kılcal damarlara daha fazla kan gönderilir ve zaten ısı kaybının yüksek olduğu yüzeysel kılcal damarlarda ısı kaybedilmesi sağlanır. Ancak çoğu hayvanda terleme yeteneği insanlardaki gibi gelişmiş değildir. Bunun yerine soluma ile vücutlarını soğutmaya çalışırlar. Dışarıdan solunan hava geniş yüzey alanına ve yoğun damar yapısına sahip akciğerlere dolarak burayı soğutur ve dolayısıyla vücut ısısı da düşürülmüş olur. (Fu, Weng, Chen ve Luo, 2016)

*Düşük sıcaklıklarda termoregülasyon*

- Isı üretimi artırılır: kasların etkinliğinin titreme yoluyla artırılması sayesinde ısı kazanımı sağlanır. Bu titreme hareketi ile birlikte egzersizden de etkili ısı üretimi sağlanır. Çünkü terleme ya da çevreye konveksiyon ile ısı kaybı minimumumda iken ısı üretimi sağlanmış olur.
- Yalıtım tabakası artırılır: Ciltteki kılları yöneten kaslar, cilt yüzeyindeki kılların dikilerek havaya kalkmasını sağlar ve böylece kıllar ısıyı yakalar ya da postür değiştirilerek ısı yalıtım tabakasını büyütülür.
- Vazodilatasyonun tam tersi olarak arteriyel damarlar büzülerek kılcal damarlardaki kan miktarı azaltılır ve vücuttaki kanın çoğunluğunun vücudun sıcak olan merkezinde kalması sağlanır. Böylece ısı kaybının yüksek olduğu cilt yüzeyinde kandan çevreye ısı aktarımı engellenmiş olur. Bu olaya ise vazokonstriksiyon denir. (Badarnah, Farchi Nachman ve Knaack, 2010)

### 2.1.3. Mimaride termoregülasyon

Mimarlığın çözmesi gereken en büyük zorluklardan biri, içinde yaşayacak canlılar için, canlıların zorlu çevresel koşullara uyum sağlayamadığı durumlarda, onlar için termal konforu sağlamaktır (Mazzoleni, 2013:19). Binalar dünyadaki genel enerji tüketiminin %40'ındansorumludurlar ve bunun da neredeyse yarısı iklimlendirme yani ısıtma ve soğutma giderlerine harcanmaktadır (Perez-Lombard, Ortiz ve Pout, 2008). Tasarımcılar binalardaki enerji tüketimini azaltmak için yeni teknolojiler geliştirmelidir (Badarnah, 2012). Doğadaki canlılar aşırı değişken çevresel ilkim koşullarına fizyolojik, morfolojik ve davranışsal adaptasyon sayesinde uyum sağlarlar, benzer şekilde mimarlar da değişken çevresel şartlara karşı kullanıcılara termal olarak konforlu bir iç ortam sunmak durumundadırlar (Abdullah ve diğerleri, 2018).

Isıl konfor ilk kez 1966'da ASHRAE Standard 55'te ortamın termal koşulundan memnuniyeti anlatan akıl koşulu olarak tanımlanmıştır. Fanger (1972) ısıl konforun insanların daha sıcak ya da daha soğuk olmasını tercih etmeyeceği ortamlar olarak açıklamıştır. Givoni (1998) ise termal konforu insanların çoğunluğunun fazla sıcak ya da fazla soğuk olmasından rahatsızlık duymayacağı sıcaklık aralığı olarak tanımlamıştır.

Termal konfor hem enerji verimliliği hem de içinde yaşayan canlıların sağlığı için son derece önemlidir. İnsanlar için termal konfor iki koşulun yerine getirilmesiyle sağlanabilir;

- Cilt sıcaklığı ile vücut iç sıcaklığı dengesinin sağlanması, termal nötrlük hissinin sağlanması,
- Vücuttaki ısı dengesinin sağlanması, yani metabolik faliyetlerle üretilen ısının, vücuttan ortama kaybedilen ısı miktarına eşit olması. (Rahman, 2014:21)

Termal konfor kişilerin yapı içindeki konumu, fiziksel aktivite seviyesi, ruh hali, alışkanlıkları, giyinme seviyeleri, pencerelerin konumu gibi birçok faktöre bağlıdır. İçinde bulunan insanların yaşına, cinsiyetine metabolizma hızına göre termal konfor tanımı değişmektedir. Dolayısıyla ortamın tam anlamıyla termal konfora ulaşması son derece karmaşıktır ve nem kontrolü ya da havalandırma sistemlerinin kullanımından daha fazla parametre kullanılmasına ihtiyaç duymaktadır. (Mujan, Anđelković, Munćan, Kljajić, ve Ružić, 2019)

Binalarda enerji tüketiminin büyük çoğunluğunu oluşturan iklimlendirme giderleri, termal konfor gereksinimlerini karşılamak amacıyla harcanmaktadır. Bu durum binalardaki termal konfor performansının yapının enerji verimliliğini doğrudan etkilediğini göstermektedir. (Basarir, Diri ve Diri, 2012)

Binaların yapı kabuğu yapıyı dış ortamdan ayıran bileşenlerin toplamı olarak adlandırılabilir. Yapı kabuğu tasarlanırken teknolojik imkanlar, çevresel koşullar, sosyo-kültürel, işlevsel ve estetik faktörler tasarımı etkileyen özelliklerdir. Yapılarda enerji tasarrufu sağlamak, kullanıcıların sağlıklarını olumsuz etkilememek için yapı kabuğu ile termal konforu sağlamak büyük öneme sahiptir (Al-Rubaih, 2008).

Dünya'nın ana ısıl kaynağı olan güneş ısısı cam, duvar, çatı ve yapı kabuğu içinden yapıya aktarılır. Bu nedenle bu bölgelerde kullanılan malzemelerin ısıl özellikleri dış ortamdan yapı içine geçecek ısı miktarını belirler. Böylece yapının ısıl karakterini belirlerken malzeme seçiminin ve yapı montajındaki organizasyonun tasarımdaki yerini önemli kılar. Tüm bunların dışında yapı insanların ısısı, aydınlatmaların ısısı, iklimlendirme cihazlarının etkisi sayesinde iç mekanlarından da ısı kazanabilir (Fecheyr-Lippens ve Bhiwapurkar, 2017).

Yapı kabuğunun rengi, yalıtım yapılıp yapılmaması, cephedeki pencere alanlarının oranı, kabuğun hava geçişine izin verip vermemesi gibi özellikleri yapının iç ve dış sıcaklık dengesini, dolayısıyla da termoregülasyonunu etkileyen faktörlerdir.

*Renk etkisi*

ABD'de yapılan çalışmalara göre sıcak ve nemli iklim bölgelerinde beyaz ile siyah çatı performansları arasında karşılaştırma yapılmış ve beyaz kiremit çatının siyah kiremitli çatıya göre ısı tutma özelliğinin %75 daha az olduğu ortaya konmuştur (Parker, R. ve K., 1998). "RESHEAT" isimli modeli kullanarak yapılan bir simülasyon çalışmasında ise dış duvarlara ve çatıya uygulanan yansıtıcı boyanın Las Vegas ve Nevada'nın kurak ve sıcak bölgesinde etkisi incelenmiş ve yansıtıcılık düzeyi yüksek boya ile boyandığında enerji tüketiminin %33.3 azaldığı görülmüştür (Moujaes ve Brickma, 2003). Yalnızca duvarlar boyandığında soğutma yükü %41 azalırken yalnızca çatı boyandığında %17 azalmıştır (Moujaes ve Brickma, 2003).

*Yalıtım etkisi*

Isı yalıtımı enerji tasarrufunda en etkili yöntemlerden biridir. Isı yalıtımı sayesinde yapı kabuğunda dış ortam ile iç mekan arasındaki ısı geçişi yavaşlatılır. Suudi Arabistan'ın nemli ve sıcak iklim koşullarında çeşitli ısı yalıtım tiplerinin çeşitli yüzeylere uygulanmasıyla yapılan bir araştırmada 10 çatı ve 14 duvar incelenmiştir. Çalışma sonunda çatıda kullanılan 75mm ısı yalıtım malzemesi kullanılmasının ısı yalıtımına %80'den fazla etkisinin olduğu, duvarda kullanılan 50mm ısı yalıtımının %64 ve %84 aralığında etkisi olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemesinin en iyi performans göstermesi için ısı akışının geçiş noktasına yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu kışın ısıtma yükünün baskın olduğu

iklimlerde iç kısma, yazın soğutma yükünün baskı olduğu iklimlerde dış kısma yerleştirilmesi gerektiği manasına gelmektedir. Ancak pratik olması nedeniyle duvar boşlukları arasında yalıtım yapılması oldukça yaygındır. (Al-Rubaih, 2008).

*Pencere alanlarının etkisi*

Pencerelerin düşünülerek ve üzerine çalışılarak tasarlanması enerji tüketimi açısından büyük öneme sahiptir. Cephedeki açıklıklar yapının termal konforunu ve aydınlatmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bunlara ek olarak cephe estetiği açısından da son derece önemlidir. Estetik sağlarken iklimlendirme yükünün artmaması için güneş kontrollü camlar, yalıtım camları, düşük emisyonlu kaplamalar, aorojeller ve gaz boşluklu camlar gibi teknolojik gelişmeler olmuştur. Estetik, aydınlatma ve ısı kazanç-kazanımları konusunda hesaplamalar yapılıp bir optimizasyon yapılması gerekmektedir (Sadineni, Madala ve Boehm, 2011).

Ghisi ve Tinker (2005), Visual DOE programını kullanarak bulduğu "İdeal Pencere Alanı" incelemesi yaptığı çalışmada, farklı iklim koşullarındaki İngiltere'nin Leeds ve Brezilya'nın Florianopolis şehirlerinde daha büyük odalarda daha dar olması durumunda dahi daha büyük pencere olması gerektiğini ortaya koymuştur (Ghisi ve Tinker, 2005). Leeds şehrinde yapılan incelemede kentin Kuzey Yarım Küre'de olması nedeniyle güneşin binaya yükleyeceği ısıl yükün daha ihmal edilebilir boyuttadır ve Kuzey yönünde daha büyük olması gerektiği bulunmuştur. Florianopolis şehrinde ise pencere alanı ideali Doğu ve Güney yönünde büyük olma, en şiddetli güneş alan cephe olan Batı yönünde ise daha küçük olma eğilimindedir (Ghisi ve Tinker, 2005).

*Hava sızıntılarının etkisi*

Dış mekandan hava sızıntısına izin vermenin yapı için hem avantajları hem de dezavantajları vardır. Sıcak iklimlerde termal konforu sağlarken dış hava kullanılır böylece enerji tasarrufu da sağlanmış olur. Dış ortamdan havanın içeri alınması aynı zamanda iç mekandaki hava kalitesini artırmaya da fayda sağlamaktadır. Fakat hava sızıntılarının kontrolsüz olmasının yapı için enerji tasarrufu açısından olumsuz etkileri vardır (Al-Rubaih, 2008).

Bu bölümde hayvanlar, bitkiler ve insanlar gibi doğadaki canlıların yaşadıkları çevrenin kendileri için ideal sıcaklık aralığı değiştiğinde termoregülasyonu sağlamak amacıyla geliştirdikleri biyolojik özellikler anlatılmıştır. Canlılar tarafından kullanılan yöntemler biyolojik yapıları gereği değişiklik gösterse de temelde ısı kaybettiklerinde ısı kazanmaya çalışmaları ya da sahip oldukları ısıyı kaybetmemeye çalışmaları, sıcak ortamlarda ise bünyelerindeki ısıyı dağıtmak ve yeni fazla ısı oluşumunu engellemek prensiplerine dayanmaktadır. Mimarilerde ise benzer prensiplerin farklı yöntemlerde kullanılması için öncelikle ısı kayıpları ve kazanımları nasıl yaşanır sorusunun cevabı aranmalı ve problemlerin belirlenmesiyle doğadaki örneklerin çözümleri analiz edilip uygulanmalıdır.

## 2.2. Doğa Esinli Tasarımlar ve Biyomimikri Kavramı

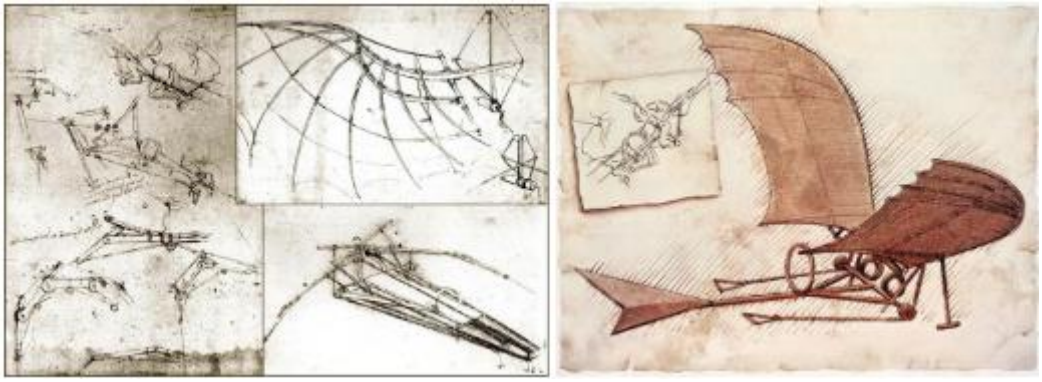
Toprak, hayvanlar, bitkiler, toprak altında ve üstünde bulunan tüm varlıklar doğayı oluşturan organizmalar, sistemler ya da ekosistemlerdir. Doğada var olan yapıların fiziksel özellikleri bilim ve teknoloji dünyasını her dönemde etkilemiş ve ilham kaynağı olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte bilim maddeyi mikroskobik ortamda da inceleme fırsatı bulmuş, doğadakibu tasarımlar pek çok disipline ilham kaynağı olmuştur (Al Hussaini, 2005).

Tasarımda karşılaşılan sorunlara çözüm aranırken doğadan kopuk olunmamalıdır zira insanlar doğanın bir parçasıdır. Doğa, içinde sorunlar barındırdığı kadar bu sorunların çözümlerini de barındırır. Aristotales, felsefe ve bilimin doğayı gözlemleyerek ve üzerine düşünerek başladığını insanoğlunun her yaptığında ilk başvurduğu kaynağın doğa olduğunu savunmuştur (Güler, 2000).

Mutlu Avinç ve Arslan Selçuk (2018)'a göre "…milyarlarca yıldır varlığını sürdüren doğa etkileşimli, uyarlanabilir, duyarlı, performatif, akıllı, sürdürülebilir çözümlerin kaynağıdır." Bu nedenle doğa ile istenen bütünleşme tasarım sürecine doğadan alınan girdilerin entegre edilmesiyle sağlanabilir. Doğa insanların karşılaştıkları problemlere en uygun yanıtları vermeye dair büyük potansiyele sahiptir.

Doğanın içerisinde barındırdığı potansiyellerden yola çıkarak tasarlama durumu geçmiş zamanlara kadar uzanmaktadır. Örneğin Leonardo da Vinci 16. yy'da gemi tasarımında balıkların fiziksel özelliklerinden, uçan makine tasarımında ise kuş ve yarasaların

kanatlarından ilham almıştır. Da Vinci'nin yaptığı bu çizimler (Resim 2.1) Wright Kardeşler için bir ilham kaynağı olmuş ve bu çizimleri güvercinlerle yaptıkları araştırmalar sayesinde geliştirerek ilk uçak yapımını 1903'te tamamlamışlardır (Mazzoleni, 2013:7).



Resim 2.1. Leonardo da Vinci'nin uçan makine eskizleri (www.thinglink.com)

19. yy'da ise doğa esinli tasarımların gerek mühendislik gerekse diğer bilimlerde daha fazla görülmeye başlanmıştır. Jean—Marie Le Bris 1857'de çıktığı bir yelken gezisinde albatros kuşunun uçuşunu gözlemlemiş ve böylece ilk biyo-esinli uçan makineyi "yapay albatros" u tasarlamış ve inşa etmiştir. 1950'lerde ise doğa esinli tasarımlar daha çok yükselişe geçmiştir. Bu robotik çağda bilim adamları yeni bir biyo-esinli mühendislik alanı oluşturmuştur ve gelişen bu alan ile birlikte robotik tasarımlar ile organizmaların benzerlikleri daha çok artmaya başlamıştır (Mazzoleni, 2013:11).

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren esinlenme kaynağı olan doğanın mimari ve diğer disiplinlere etkileri, tarih süresince gelişimi ve değişimi örneklerle Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Biyomimetik tasarımların tarihsel süreci (Arslan Selçuk, 2009)



### 2.2.1. Biyomimikri nedir?

Biyomimikri, Yunanca hayat anlamına gelen "*bios*" ve taklit etme anlamına gelen "*mimic*" kelimelerinden türetilmiş bir kavramdır ve doğanın canlı/cansız varlıkların oluşumu, işlevi, yapısının ve mekanizmalarının araştırıldığı bir bilim alanı olarak tanımlanabilir (Arslan Selçuk, 2009). Doğadan ilham alınarak yapılan tasarımlar kullanıldıkları disiplinlerce "biyofizik *(biophysics)*", "biyomimetic *(biomimetics)*", "biyomimesis *(biomimesis)*", "biyognosis *(biognosis)*" ya da "biyonik *(bionic)*" gibi kelimelerle tanımlansa da temelde her biri doğadan fikir alma eylemiyle ortaya çıkan sonuçtur ve aynı anlama gelmektedir (Vincent, 2001). Biyofizik terimi ilk kez Otto Schmitt tarafından biyolojik bilimlerde problemleri çözmek için fizik bilimlerini kullanmak, fizik bilimlerindeki problemleri çözmek için de biyolojik bilimleri kullanmak olarak tanımlanmıştır (Harkness, 2002). Biyonik terimi, biyoloji ve teknoloji kelimelerinin birleşimiyle oluşturulmuş ve ilk kez Jack Steele tarafından 1960'ta kullanılmıştır. Biyonik terimi çoğunlukla canlı organik maddelerin, dokuların mekanik varsiyonlarıyla değiştirilmesi ya da desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Gruber, 2011:14). Daha sonra Schmitt tarafından kullanılan biyomimetik terimi "biyolojik olarak üretilen maddelerin ve biyolojik sistem ve oluşumların, yapısı ya da işlevlerini taklit ederek benzer ürünlerin üretilmesi" olarak tanımlanmıştır (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer ve Pahl, 2006).

Benyus "doğanın en iyi fikirlerini inceleyen ve insanların problemlerini çözmek için bu tasarımları ve süreçleri taklit eden yeni bir disiplin" olarak adlandırdığı biyomimikri ile ilgili yazdığı kitapla konunun geniş kitlelere ulaşmasını sağlamış ve kurduğu "*Biomimicry Institute*" ile bu kavramın bir bilim alanı olarak tanınmasında önemli çalışmalar yapmıştır (Benyus, 1997).

Zari (2007) tasarımcıların karşılaştıkları bir probleme karşı uygulayabilecekleri çeşitli çözümlerin net bir tanımı olmadığını ve bu bağlamda avantajları/öğretileri tam anlamıyla yakalayabilmek amacıyla doğru biyomimitetik yaklaşımı analiz edip incelemenin önemli olduğunu belirtmiştir. Gruber (2011:7) ise biyomimikri için "biyoloji ve mimarlık gibi disiplinlerin üst üste bindirilmesinin mimari problemler için yenilikçi bir innovasyon" olduğunu söylemiştir. Biyomimikri Pawlyn'e göre; doğadaki organizmalarda bulunan farklı özellikleri tasarımda yenilikçi çözümler için örnek edinmektir. Örnek edinme sadece fiziksel özelliklerini değil aynı zamanda nasıl davrandıklarını, çalıştıklarını anlamaya

yöneliktir, bu bakış açısı doğadaki kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır (Pawlyn, 2011:47). Dr. Alan Marshall Biyomimikri için; "Biyolojinin teknoloji, strüktür, materyal ve formda kullanımıdır. Fikir, konsept, stratejilerin ilham alınarak insan yapımı dünyaya transferidir. İnsan eliyle yapılan uygulamalar için sürdürülebilir bir gelişimdir. Doğadan modele aktarımdır." söyleminde bulunmuştur (Gamage ve Hyde, 2006).

Benyus (1997) doğadaki prensiplerin biyomimikri ile tasarıma entegre edilmesi sürecinde, doğadaki benzer özellikleri incelemiş ve doğanın 9 temel prensibini şu şekilde ifade etmiştir;

- Doğa gün ışığından faydalanır.
- Doğa gerektiği kadar enerji harcar.
- Doğada form işleve göre oluşur.
- Doğada her şeyin geri dönüşümü sağlanır.
- Doğa işbirliğinin ödüllendirilmesini sağlar.
- Doğa çeşitliliği destekler.
- Doğa yerel unsurları değerlendirir.
- Doğa fazlalıkları elimine eder.
- Doğa sınırları zorlar.

Yeang (2008) ise bu prensipler gibi doğadaki ekosistemlerin ve yaşamsal döngülerin ana prensiplerini şu başlıklar altında tanımlamıştır;

- Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma,
- Geri dönüşebilir malzemeler kullanma,
- Yapısal çeşitliliğin fazla olması,
- Türler arasında örgütlenme ve bilgi ağının bulunması,
- Sistem denetimi olması,
- Biçimlenmenin işleve uygun olması. (Yeang, 2012:57-58)

Yeang (2012)'e göre canlılar ekosistemdeki varlıklarını ve yaşamlarını bu sıralanan prensipleri sağladıkları için sürdürebilmişlerdir. Bu nedenle insanlar doğadan alacakları öğretileri öncelikle bu sıralanan prensipleri göz önünde bulundurarak almalıdır.

Biyomimikrinin kullanımı gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar nedeniyle uygulama alanlarında da değişim yaşanmıştır. Doğadan ilham alma düzeylerini 3'e ayıran Benyus (1997) bu düzeyleri şu şekilde sıralamıştır:

1. Model olarak doğa (*nature as model*); Biyomimikri insanların problemlerini çözmek için benzer modelleri doğadan inceleyen ve bu problemlerin çözümünde doğadaki tasarımları ve süreçleri kendine ilham edinen bir bilimdir.
2. Ölçü olarak doğa (*nature as measure*); Doğanın 3,8 milyar yıllık bilgi birikimi hangi çözümlerin işlediğini, hangi çözümlerin hangi alanlar için daha uygun olduğunu içermektedir. Bu nedenle Biyomimikri geliştirilen ya da bulunan yeniliklerin doğruluğunu ekolojik standartlara göre değerlendirir.
3. Akıl hocası olarak doğa (*nature as mentor*); Biyomimikribir doğayı izleme ve ona değer verme yoludur. Doğanın insanlara ne aktaracağı değil insanların doğadan ne öğreneceğine dayanır. (Benyus, 1997)

Tasarımda biyomimikri kullanımı doğanın bir parçası olan insanın doğadan kopmadan bir yaşam alanı oluşturulmasını sağlar. Doğadaki tasarımların milyarlarca yıllık serüveni eliminasyon yöntemi ile en iyi seçeneği zaten bulmuştur. İnsan yapımı ürünlerde doğanın bir akıl hocası olarak kullanılması en iyi yöntemi bulmak konusunda kestirme bir yol olarak düşünülebilir.

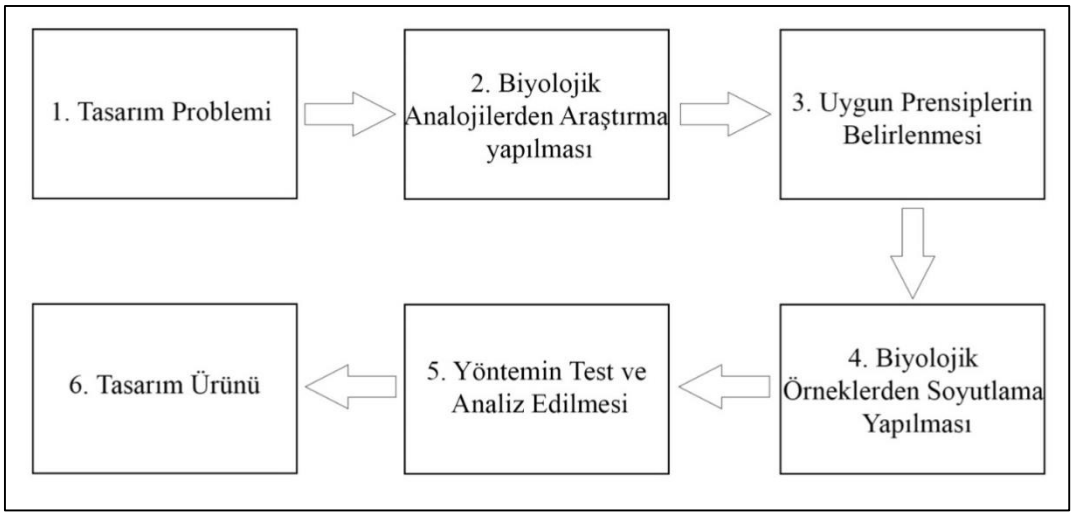
### 2.2.2. Biyomimetik tasarım yaklaşımları

Doğanın öğretileri doğrultusunda bir probleme çözüm yolları arayan tasarımcının önünde iki temel tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlardan ilki Panchuk (2006) tarafından "doğrudan yaklaşım *(direct approach)*" olarak tanımlanan ve Zari (2007)'nin "biyolojiye bakan tasarım (*design looking to biology)*" şeklinde tanımlanan, karşılaşılan tasarım probleminin doğada aranması yaklaşımıdır. Diğer yaklaşım ise Panchuk (2006) tarafından "dolaylı yaklaşım *(indirect approach)*" olarak tanımlanan ve Zari (2007)'nin "tasarımı etkileyen biyoloji *(biology influencing design)*" tabiriyle tanımladığı doğada bulunan bir organizmanın fizyolojik, morfolojik ve davranışsal özelliklerinin tasarımı etkilemesi yaklaşımıdır.

Problem odaklı yaklaşım

Problem odaklı yaklaşımı, birçok araştırmacı farklı tanımlamıştır. Örneğin; Zari (2007), *"*biyolojiden arayan tasarım *(design looking to biology)"*; *Knippers (2009), "*yukardan aşağı doğru yaklaşım *(top-down approach)"; Helms, Swaroop ve Goel (2009), "*problem odaklı tasarım *(problem driven inspired design)"*gibi aslında aynı anlama gelen tanımlarda bulunmuşlardır.

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi problem odaklı tasarım yaklaşımında, tasarım aşamasında karşılaşılan problemlerin çözümleri doğada aranmaktadır. Benzer sorunları çözmüş biyolojik organizmalar araştırılır ve karşılaşılan sorunlarla eşleştirilerek tasarıma da yön verecek çözümler çıkarılır.

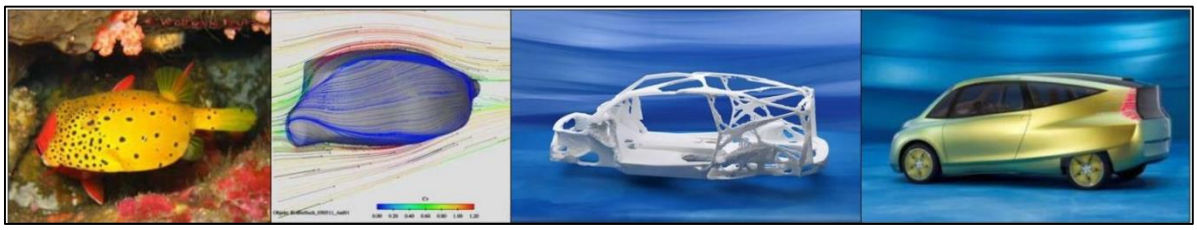



Şekil 2.5. Problem odaklı tasarım yaklaşımı aşamaları (El Ahmar, 2011)

Problem odaklı tasarım yaklaşımı, doğadan esinlenerek çözdüğü sorunlar daha sonrasındaki aşamalarda çıkan sonuçlar nedeniyle geri beslemeli bir süreç olduğu için sürekli değişen ve gelişen bir dinamizme sahiptir. (Helms ve diğerleri, 2009)

Daimler Chrysler'ın prototipi olan Bionic Car aslında bu tasarım yaklaşımın bir örneğidir. Bu tasarımın hem büyük hacimli hem de aerodinamik olma isteği tasarımcıları *boxfish (ostractionmeleagris)*'ten ilham almaya yöneltmiştir (Resim 2.2). Aynı zamanda aracın şasi ve yapısal tasarımı da biyomimiktir ve ağaçların stres konsantrasyonlarını en aza indirgeyerek nasıl büyüdüklerinin bilgisayar üzerinde bir simülasyon sayesinde incelenmesiyle tasarlanmıştır. Bu incelemeler sonucunda elde edilen verilerle tasarlanan

şasi ve aracın gövdesinin taşıyıcıları, stres yüklü yerlere konulduğu için tasarım sonucunda iskelete benzer bir yapı ortaya çıkmıştır. (Vincent, Bogatyrev, Bogatyrev, Bowyer ve Pahl, 2006)

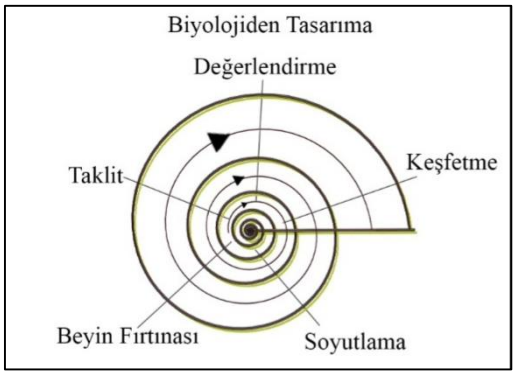


Resim 2.2. Boxfish ve Bionic Car görselleri (Zari, 2007)

Biyonik arabanın kutu balığını (*boxfish*) taklit ederek tasarlanması, daha aerodinamik yapıya sahip bir tasarıma ulaşmasını sağlamış dolayısıyla da yakıt tasarrufu yüksek bir tasarım ortaya çıkmıştır. Ağaçların büyüme stratejilerini taklit etmesi sayesinde ise kritik stres noktalarında malzemelerin kullanılması, minimum malzeme ihtiyacı ile malzemenin maksimum etkinlikte kullanılmasına olanak sağlamıştır. Fakat bu tasarımda biyomimikri yaklaşımı taşımacılık için bir yenilik değil, mevcut icada iyileştirmeler yapmaktır. (Zari, 2007)

Tasarımcı tarafından belirlenen tasarım problemleri ile biyolojik analojilerin eşleştirilerek çözüm arandığı tasarım yaklaşımında olası sorun, karşılaşılan problem için yapıların birbiriyle ilişkisinin ve parçası olukları ekosistemin incelenmemesi bireysel düşünülmesidir. Bu nedenle yapılı çevre ile ilgili sorunlar bu tür bir yaklaşımla ele alınması önemlidir. (El Ahmar, 2011)

Bu tasarım yaklaşımında tasarımcılar, organizmaları, ekosistemleri gözlemlediklerinde ya da hali hazırda var olan biyolojik çalışmaları incelediklerinde, bir biyolog ya da ekolojist ile işbirliği yapmaksızın karşılaştıkları soruna biyomimetik çözümler bulabilirler. Ancak, bu çözümler derinlemesine bilimsel bilgi olmadan, çok sığ bir noktada kalabilir. Çünkü organizmaların morfolojik ya da mekanik özelliklerini gözlemle anlamak ve tasarıma uygulamak daha kolay iken, kimyasal, davranışsal tepkilerini diğer bilimsel disiplinlerle işbirliği olmaksızın uygulamak zordur. (Zari, 2007)



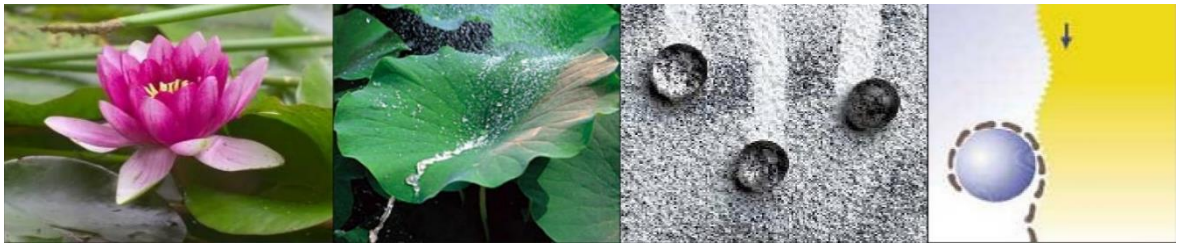

Şekil 2.6. Tasarımdan biyolojiye tasarım spirali (URL-4)

Benyus'un kurduğu Biomimicry Institute problem odaklı tasarım yaklaşımını şekilde gösterilen "Biyolojik Tasarım Spirali (Şekil 2.6) ile 6 adımda açıklamıştır. Helms, Swaroop, Vattam ve Ashok'un Georgia Teknoloji Enstitüsü, 2006 yılında *Design Intelligence* Laboratuvarı'nda yaptıkları araştırma sonucunda bu tasarım spiraline çok benzer 6 adım tanımlamışlardır;

1. Problemin tanımlanması,
2. Sorunun yeniden değerlendirilmesi,
3. Probleme biyolojik bir çözüm araştırılması,
4. Tespit edilen biyolojik çözümün tanımlanıp açıklanması,
5. Prensiplerin tanımlanması,
6. Tanımlanan prensiplerin tasarıma adapte edilmesi. (Helms ve diğerleri, 2009)

Sonuç odaklı yaklaşım

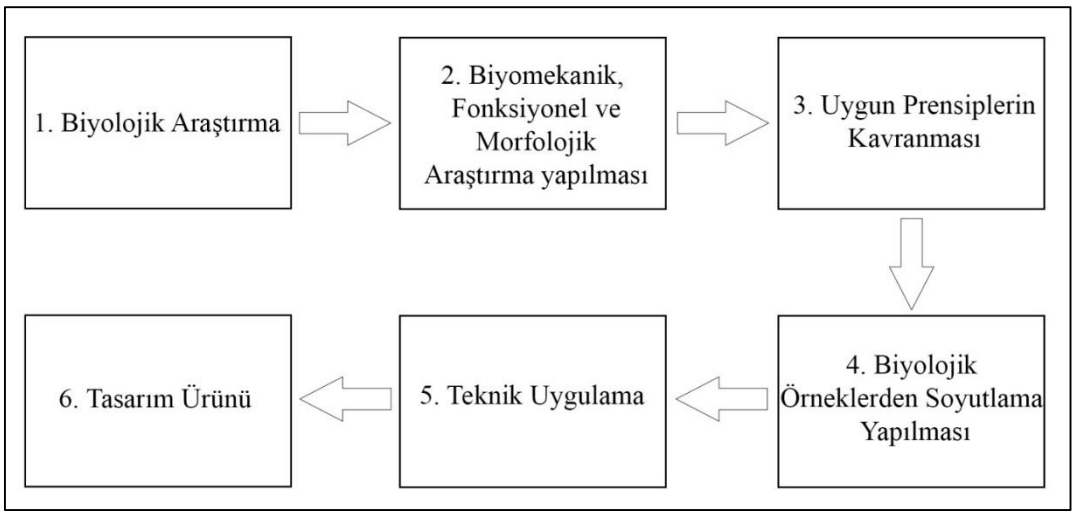
Sonuç odaklı tasarım yaklaşımında tasarım, tasarımcılardan ziyade, biyolojik ve ekolojik araştırma bilgisine sahip araştırmacıların elindedir. Bu nedenle sonuç odaklı tasarım yaklaşımda diğer disiplinlerle işbirliği yapılması zorunludur. Buna verilecek en popüler örnek ise bataklık gibi kirli su içinde bulunmasına rağmen temiz kalan nilüfer çiçeğinin bilimsel olarak araştırılması verilebilir (Resim 2.3). Nilüfer çiçeğinin bu özelliği yapıların kendi kendine temizleme özelliği olan ve Sto's Lotus adı verilen dış cephe boyası da dahil, Baumeister (2007) tarafından geliştirilen bir çok tasarıma ve yeniliğe imkan sağlamıştır. (El Ahmar, 2011)



Resim 2.3. Lotus çiçeğinden esinlenilerek yapılan boya (Zari, 2007)

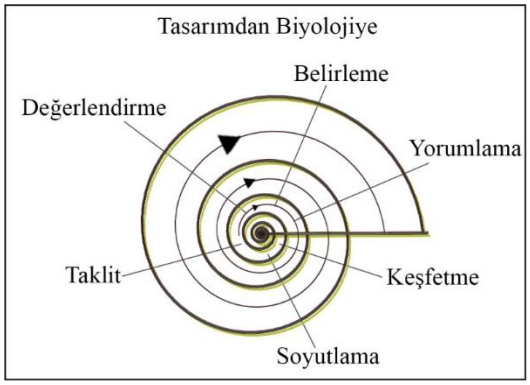
Bu tasarım yaklaşımının avantajı, daha önce karşılaşılmış problem ve çözümlerinin dışında kalınmasıdır. Çünkü bu sayede keşfedilen özellikler daha önce düşünülmemiş innovasyonlara, teknolojilere ve tasarım çözümlerine potansiyel sağlamasıdır. (Vincent, Bogatyrev ve diğerleri, 2006)

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi sonuç odaklı tasarım yaklaşımında, önce biyolojik araştırma yapılarak biyolojik örneğin biyomekanik, fonksiyonel ve morfolojik analizi yapılarak uygun prensipler belirlenir. Belirlenen prensipler soyutlanarak tasarıma nasıl adapte edileceğinin teknik analizi yapılarak tasarım ürünü oluşturulur.




Şekil 2.7. Sonuç odaklı tasarım yaklaşımı aşamaları (El Ahmar, 2011)

Sonuç odaklı tasarım yaklaşımının dezavantajı ise, tasarıma başlanmadan önce biyolojik bilimsel araştırmanın yapılmış ve tasarıma uygun şekilde tanımlanmış olması gerektiğidir. Bu nedenle ekolojistlerin ve biyologların yaptıkları araştırmalarda, bulgularının potansiyellerini fark etmeleri gerekmektedir. (El Ahmar, 2011)

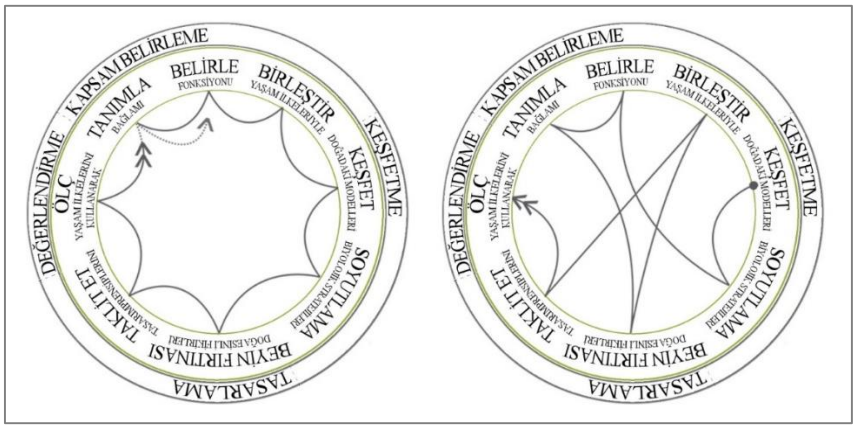



Şekil 2.8. Biyolojiden tasarıma tasarım spirali (biologytodesign.files.wordpress.com)

Biyomimikri enstitüsünün tasarım spiralinde (Şekil 2.8) bu tasarım yaklaşımın aşamaları görülürken Helms, Swaroop, Vattam ve Ashok (2009) bu yaklaşımı da 7 ana adımda tanımlamışlardır.

1. Potansiyeli olan biyolojik çözümün belirlenmesi,
2. Bulunan çözümün tanımlanması,
3. Prensiplerin tanımlanması,
4. Çözümün tasarımda uygulanması (Bu adım tasarımcıları, araştırmacıların elde ettiği biyolojik verilerin yararlılığını ve tasarıma nasıl entegre edileceği konusunda zorlar.),
5. Problemin araştırılması (Bu adım daha önce belirlenen biyolojik çözümlerin hangi alanlarda kullanılabileceği ile ilgili olmakla birlikte bazen tamamen farklı problemlerin tanımlanmasıyla da bitebilir. Bu adım sorunu belli olan süreçteki tasarım yaklaşımından çok farklıdır.),
6. Problemin tanımlanması,
7. Tanımlanan prensiplerin uygulanması. (Helms ve diğerleri, 2009)

Her iki tasarım yaklaşımında da benzer aşamalar farklı sıralarda uygulanmaktadır. Şekil 2.9'da aynı aşamaların uygulanış sırasındaki farklılıklar gösterilmiştir.




Şekil 2.9. Solda problem odaklı, sağda sonuç odaklı tasarım yaklaşımı (depreciated.biomimicry.net)

### 2.2.3. Biyomimikri seviyeleri

Zari (2007)'ye göre problem odaklı tasarım yaklaşımında da sonuç odaklı tasarım yaklaşımında da organizma, davranış ve ekosistem düzeyinde olmak üzere 3 farklı biyomimikri seviyesi uygulanabilir. Bir organizma ya da ekosistem taklit edilirken, form davranışsal olarak ya da ekosistem olarak taklit edilebilir. İlk düzey olan organizma düzeyinde biyomimikri, spesifik bir hayvan ya da bitki gibi bir organizmanın tamamını ya da sadece bir kısmını ilham alabilir. İkinci düzey olan organizma düzeyinde organizmanın nasıl tepki verdiği nasıl davrandığı gibi daha geniş ve kapsamlı bir ilham alma düzeyini kapsamaktadır. Ekosistem düzeyi ise, ekosistemin taklit edilmesi ve başarılı bir şekilde işlemesini sağlamayı hedef alan bir seviyedir.

Biomimicry Guild (2007) de form, süreç ve ekosistem seviyeleri olmak üzere benzer üç biyomimikri seviyesi tanımlamıştır. Bir organizmanın ya da ekosistemin taklit edilmesinde formu, süreci ya da taklit edecek yeni özellikler keşfedebilmek için üzerinde çalışılması gereken ekosistem taklit edilebilir.

Van der Ryn (2005) organizma düzeyinde biyomimikrinin yeni mimari tasarımlar üretme potansiyelleri için tasarımcılara ilham kaynağı olduğunu ancak sistemin daha büyük bir parçası olarak doğal süreçleri taklit edebilen ve tasarımı, kullanımı ve yaşamının sona ermesi ekosistemlerdeki gibi işleyen bir tasarımın, çevreye sürdürülebilirliğin ötesinde rejeneratif bir katkısının olacağını savunmuştur. Mazzoleni (2013) biyomimikri seviyelerini organizma, davranış ve ekosistem seviyelerine benzer olarak analoji,

performans ve fonksiyon düzeyi olarak tanımlamıştır. Pawlyn (2011) ise benzer şekilde form, süreç ve ekosistem düzeyinde olmak üzere biyomimikri seviyelerini üçe ayırmıştır.

Organizma, davranış ve ekosistem düzeylerinin her birinde beş farklı olasılık bulunmaktadır. Tasarımın, neye benzediği (biçim), neyle yapıldığı (malzeme), nasıl yapıldığı (inşaat), nasıl işlediği (işlem) ya da ne yapabildiği (fonksiyon) ile biyomimetik olabilir. Aşağıdaki Çizelgede (Çizelge 2.3.) termitin farklı yönlerinin tasarıma nasıl ve ne düzeyde etki edilebileceği gösterilmiştir.

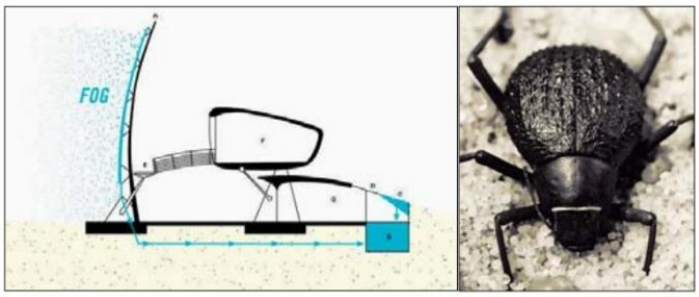
Çizelge 2.3. Termit örneği ile biyomimikrinin uygulanışı (Zari, 2007)'den uyarlanmıştır

| BİYOMİMİKRİ SEVİYESİ | | TERMİTİ TAKLİT EDEN BİNA ÖRNEKLERİ |
|---|---|---|
| ORGANİZMA DÜZEYİ (Spesifik Bir Organizmanın Taklidi) | *form* | Termit kulesine benzeyen bir bina |
| | *malzeme* | Termitin dış iskeleti ya da derisindeki malzemeyi taklit eden malzemelerin kullanıldığı bir bina |
| | *yapım* | Termitin büyüme döngülerinden geçmesi gibi, termit ile aynı şekilde yapılan bir bina |
| | *süreç* | Termitin meta-genomik yoluyla hidrojen üretmesi gibi belirli bir termite benzer çalışan bir bina |
| | *işlev* | Termitin selüloz atıklarını geri dönüştürmesi gibi bir işleve sahip bina |
| DAVRANIŞ DÜZEYİ (Bir Organizmanın Davranışının Taklidi) | *form* | Termit tarafından yapılan termit kulesine görünüş olarak benzer bir bina |
| | *malzeme* | Termitin, termit kulesini yaparken kullandığı sindirilmiş ince toprak gibi malzemin kullanıldığı bir bina |
| | *yapım* | Termitin yuvasını benzer zamanlarda ve benzer yerlerde toprak yığarak yapma şekli ile yapılan bir bina |
| | *süreç* | Termit kulesi ile malzeme seçimi, doğal havalandırma gibi benzer şekilde çalışan bir bina |
| | *işlev* | Termit kulesine optimal termal konforu koruma gibi daha geniş kapsamda benzer davranan bir bina |
| EKOSİSTEM DÜZEYİ (Bir Ekosistemin Taklidi) | *form* | Termitin içinde yaşayabileceği bir ekosisteme benzer bir bina |
| | *malzeme* | Termitin yaşadığı ekosistemde bulunan benzer malzemelerden, ortak bileşiklerden, benzer kimyasal malzemelerden yapılan bir bina |
| | *yapım* | Termitin yaşadığı ekosistemdeki gibi, ardıllık prensipleri gibi benzer prensiplere sahip bir bina |
| | *süreç* | Termitin yaşadağı ekosisteme, enerjiyi güneşten alma ve dönüştürme, suyu depolama gibi benzer davranışlar gösteren bir bina |
| | *işlev* | Termitin yaşadığı ekosistemdeki, hidrojen, karbon ve nitrojen döngüleri gibi, süreçlerin ve sistemlerin karmaşık ilişkileri kullanabilen bir bina |

Organizma düzeyi

Canlı organizmalar milyonlarca yıldır gelişmektedir. Milyonlarca yıllık bu gelişim sürecinde hayatta kalmak için değişikliklere dayanan ve adapte olan sistemlere sahiptir. Bu nedenle de insanlar, yaşadıkları sorunları çözümlemek için çok çeşitli ve kapsamlı bir örnekler havuzuna sahiptir. Bu havuz sayesinde insanlar değişen iklim koşullarına, kaynak değişikliklerine ve mevcut ekosistemlerin karşılaştığı olumsuz koşullarda etkilerin sonuçları ile ilgili bilgi sahibi olurlar (Alberti ve diğerleri, 2003).

Pawlyn (2011) biyomimikrinin ilk seviyesinin, doğal bir formun taklit edilmesi olarak tanımlamaktadır. Doğayı taklidin bu seviyesi organizmanın şekil, bileşen, malzeme ya da görünüşü gibi morfolojik özelliklerini yani organizmanın tasarımını taklit etmektir (Pawlyn, 2011).




Resim 2.4. Namibya çöl böceği ve Namibya Hidroloji Merkezi (Zari, 2007)



Resim 2.5. Pangolin ve Waterloo Uluslararası Terminal Binası (Aldersey-Williams, 2003)

Organizma düzeyinde biyomimikriye bir örnek Stenocara'nın Namibya çöl böceğini taklit etmesidir. Bu çöl böceği neredeyse hiç yağış almayan bir bölgede yaşamaktadır. Fakat bunu vücudunu rüzgar geçişi yönüne doğru yatırarak rüzgar içinde bulunan sisten nemi yakalar. Böceklerin sırt ve kanat yüzeyindeki pürüzlü yüzey sayesinde buğu geçişi

sırasında su damlacıkları oluşur ve damlalar ağzına doğru hareket eder. Ravilious (2007) ve Knight (2001), Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi için, organizma düzeyinde biyomimikri araştırmaları yapmışlardır. Böceğin yüzeyinin özelliklerinin taklit edilerek bu projeye uygulanmasıyla havalimanı pistlerindeki sisin temizlemesini ve nem toplama kapasitesini artırması hedeflenmiştir (Resim 2.4) (Zari, 2007).

Waterloo Uluslararası Terminal binası için Nicholas Grimshaw & Partners'in tasarladığı proje de organizma düzeyinde biyomimikriye verilebilecek bir diğer örnektir. Trenlerin terminale girişi ve çıkışı sırasında oluşan basınç değişimini absorbe edecek bir tasarıma ihtiyaç duyulmuştur. Tasarımın üst örtüsü olan cam panellerin birleşim detayları pangolinin (karıncayiyen, canlı çam kozalağı), esnekliğinden ilham alınmış ve böylece değişen hava basıncı kuvvetine göre hareket etme kabiliyeti kazanmıştır (Resim 2.5) (Aldersey-Williams, 2003).

Bir organizmanın tek başına, içinde bulunduğu ekosistemin bir parçası olması ve bu ekosisteme nasıl katkıda bulunduğu göz ardı edilerek taklit edilmesi, çevresel etkisi ortalama ya da ortalamanın altında kalan tasarımlar ortaya çıkmasına sebep olabilir (Reap, Baumeister ve Bras, 2005). Tasarımcıların bir biyolog ya da ekolojist ile işbirliği olmadan tasarım yapması, sınırlı biyolojik bilgiye sahip olmaları nedeniyle sistemin bütünü yerine belirli bir özelliği taklit etmelerine sebep olur, bu da biyomimikrinin potansiyelinin sınırlı bir seviyede kalması anlamına gelir.

Davranış düzeyi

Biyomimikrinin ikinci seviyesi doğal süreçlerin taklit edilmesidir. Bu düzeydeki bir taklit biyolojik varlığın yaşadığı ortamdaki eylemlerini ve süreçlerinin taklit edilmesini gerektirir (Pawlyn, 2011). Doğadaki organizmalar da insanların karşılaştığı ve çözmek zorunda kaldığı benzer çevresel koşullarla karşılaşır. Bu organizmalar da yaşamlarını, çevrenin sahip olduğu enerji ve malzeme kapasitesinin belirlediği sınırlar dahilinde sürdürürler. Sınırlar nedeniyle ekosistemde daha iyi ekolojik adaptasyon sağlamak için organizmalar gelişimlerine devam etmektedir (Reap ve diğerleri, 2005).

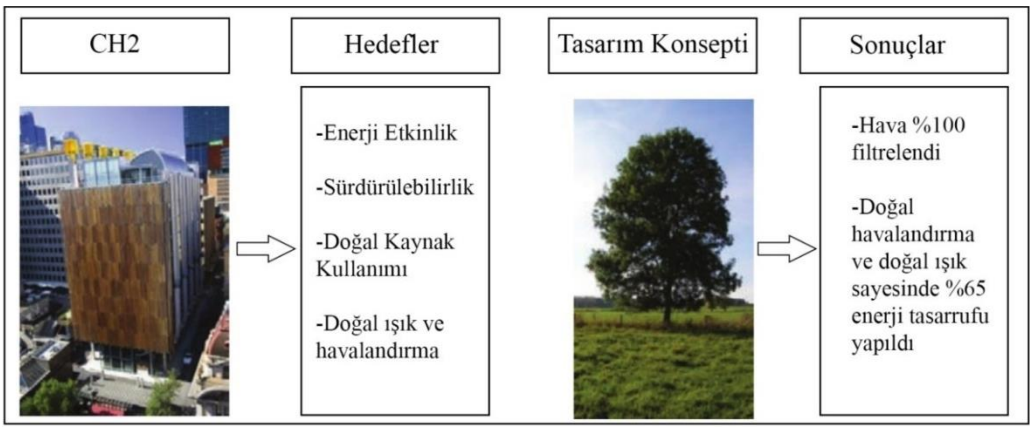
Davranış düzeyinde biyomimikriye Kuzey Amerika Kunduzundan *(castorcanadensis)* (Resim 2.6) ilham alınması, sulak alanların oluşturulmasına, bitki ve hayvan

organizmaların çeşitliliğinin artırılmasına, besin tutucu özelliğinin artırılmasına ekosistemdeki rahatsızlıklara karşı direncin gelişmesine biyomimikrinin nasıl yardımcı olduğuna bir örnektir (Zari, 2007).



Resim 2.6. Kuzey Amerika Kunduzu (www.thecanadianencyclopedia.ca)

Organizmanın kendisinin yerine davranışlarının taklit edilmesi davranış düzeyinde biyomimikridir. Tasarımlarda organizmaların davranışlarını ve organizmalar arasındaki ilişkileri taklit edilebilir. Davranış düzeyinde biyomimikriye Mick Pearce tarafından Melbourne, Avustralya'da tasarlanan CH2 Binası örnek verilebilir (Şekil 2.10). Yapı tasarımı bir ağaç kabuğuna benzetilmiş hatta batı cephesinde gerçek ağaç epidermisi kullanılarak iç ortam sıcaklığının ılımlı hale getirilmesi hedeflenmiştir. Kuzey ve güney cepheleri ise ağaç kabuklarındaki broşlardan esinlenerek hava kanalları tasarlanmıştır. Kabuk arkasındaki havalandırılmış nemli alan sayesinde ışık ve havanın filtrelenmesi sağlanmıştır (Yowell, 2011).




Şekil 2.10. CH2 Binası tasarım hedef ve sonuçları (Radwan ve Osama, 2016)'den uyarlanmıştır

Organizmaların davranış düzeyinde taklit edilmesi, hangi davranışın hangi alanda taklit edileceği noktasında etik kararlar almayı gerektirmektedir. Bunun nedeni organizmaların yaşayış biçimlerinin bazı alanlarda insan davranışına uyum göstermemesidir. Buna örnek olarak termitlerin yaşam alanlarındaki ısıl düzenleme ve iklimlendirme davranışını taklit etmenin pasif iklimlendirme sistemlerine sahip binalar üretmek için uygun olması ancak termitlerin sosyal davranışlarının taklit edilmesinin uygun olmaması verilebilir. Sosyal ve ekonomik alanda yapılacak yanlış taklitlerden ziyade, organizmaların yaşam alanı ya da hayatta kalma davranışlarının taklit edilmesi daha uygun olabilir. Ancak bazı durumlarda spesifik olarak bir alanda taklit etmek yerine tüm sistemin incelenip ilham alınması daha uygun olacaktır (Zari, 2007).

Ekosistem düzeyi

Benyus (1997) ile Vincent ve diğerleri (2006)'e göre ekosistemlerin taklidi biyomimikri kavramından ayrılamaz. Ekosistemlerin tasarımlarda taklit edilmesi "*ekomimikri*" olarak da tanımlanmıştır (Russell, 2004). Marshall (2007) ise bu terimin güç, prestij ya da kazanç yerine insanların ve ekosistemin refahının ve sürdürülebilirliğin amaçlandığı bir biyomimikri çeşidi olduğunu savunmaktadır. Pawlyn (2011) ekosistem düzeyinde taklidin organizma ve davranış düzeyindeki taklitten çok daha karmaşık olduğunu ve derin araştırma gerektiğini belirtmiştir.

Ekosistem düzeyinde biyomimikri ile ilgili kapsamlı mimari bilgilere sahip olmayan araştırmacıların bu yaklaşımın özelliklerini gösteren projeler önermişlerdir. Bjarke Architecture Group (BIG) tarafından tasarlanan Zira Island Projesi (Resim 2.7) buna örnek olarak verilebilir. Bu proje tıpkı doğal ekosistemlerdeki gibi sıfır enerji tüketimi olan bir şehir olması hedeflenmiştir. Bu amaçla rüzgârdan enerji üretmek için rüzgâr türbinleri, denizin tuzlu suyunu taze suya dönüştürüp kullanmak için su arıtma sistemleri tasarlanmıştır. Kullanılan suların ısıtma soğutma sistemleri için ya da bitkilerin su ihtiyacını gidermek için kullanılmaktadır. Ayrıca güneş enerjisinden enerji üretmek amacıyla yapıların çatı ve cephelerinde fotovoltaik paneller tasarlanmıştır. Bu özelliklerin tümü bu ada şehrinin ekosistem gibi çalışmasını sağlamıştır (Abaeian, Madani ve Bahramian, 2016).



Resim 2.7. Zira Island projesi (BIG, 2010)

Ekosistem düzeyinde biyomimikrinin tasarıma entegre olmasının bir avantajı da, organizma ve veya davranış düzeyinde biyomimikri ile kullanılabilmesidir. Tasarımda hem insanların hem de organizmaların yararına kurulan sistematik ilişki sayesinde zaten doğada var olan sürdürülebilir sistemler taklit edilmiş olur. Todd (2004)'un mevcut ekosistemlerde suyun arıtılıp tekrar kullanılma sistemini gerçek bitkilerin kullanımıyla taklit eden "Yaşayan ya da Eko" adı verilen makineleri örnek verilebilir. Bu sistemde gri ya da siyah su adı verilen pis su toprak, solucan hatta toprak mikroorganizmalarını da bünyesinde barındırır ve gerçek bir ekosistemi taklit ederek ayrıştırılır.

Ekosistem düzeyinde biyomimikrinin bir diğer avantajı ise tasarımın farklı zamansal ve mekânsal ölçeklere uyum sağlayabilmesi tasarımın belirli bir yerde sürdürülebilir ve rejeneretif bir ölçüt ya da amaç belirleme doğrultusunda hizmet vermesidir (Zari, 2007). Biyomimikrinin ekosistem düzeyinde kullanılmasının en önemli avantajı ise ekosistem düzeyinde biyomimikrinin metaforik ya da pratik işlevde kullanıldığı tasarımın çevre üzerindeki potansiyel olumlu etkileridir ve bu kullanım tasarımcının kısıtlı ekolojik bilgisiyle dahi sağlanabilir. Ekosistemlerin nasıl ilişkilendirildiği ile ilgili araştırmalar yapılarak bir takım ilkeler belirlenmiş ve Zari ve Storey (2007) tarafından detaylandırılmıştır. Korhonen (2001) ise eğer yapılı çevreler bir ekosistem gibi tasarlanırsa yalnızca prensipler doğrultusunda benzerlik gösterse dahi, yapılı çevrenin ekolojik performansının artabileceğini savunmuştur.

Bir tasarımın biyomimikri seviyesinin ne olduğunu ve bu seviyede bir taklidin neden tasarıma uygulandığını anlamak biyomimikribilimini anlamaya yardımcı olmaktadır.

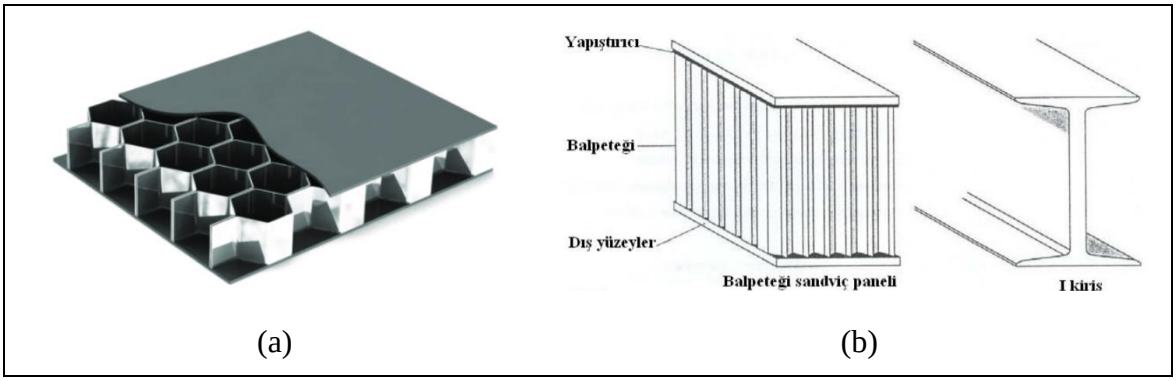
Biyomimetik bir tasarım yalnızca biyolojik formların, dokuların, renklerin taklidi değil doğrudan biyolojiye sahip olması demektir. (Othmani, Yunos, Ismail ve Rahman, 2018)

Doğanın taklidi organizma, davranış ya da ekosistem düzeylerinden hangisinde olursa olsun taklit edilecek organizmanın dikkatli gözlemi gerekmektedir. Düzeyleri birbirinden ayıran özellik ise Çizelge 2.3'teki gibi organizmanın hangi kısmının hangi derinlikte taklit edildiğidir. Taklit edilen organizma aynı dahi olsa, morfolojik özellikleri taklit ediliyorsa organizma düzeyi, davranışları ve nasıl çalıştığı taklit ediliyorsa davranış düzeyi, yaşadığı ekosistemdeki gibi doğanın bir parçası gibi davranan sıfır atık ya da minimum enerji ihtiyacı ile çalışan bir tasarım ise ekosistem düzeyinde biyomimikri olduğu söylenebilir.

### 2.2.4. Biyomimetik yenilikler

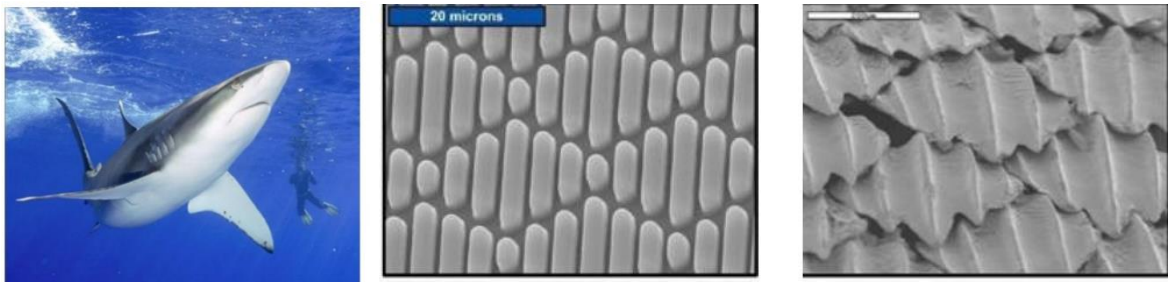
Doğadaki örneklerin nasıl tasarlandığını incelemek, doğadan öğrenmek ve onu akıl hocası edinmek, benzer sorunlara doğanın milyarlarca yıllık bilgi birikimi ile bulduğu çözümleri kullanmak tasarım için seçilebilecek en akılcı yöntemdir. Doğanın nasıl tasarladığına bakmak yalnızca mimari tasarım için değil mühendislikten kimyaya, tıptan teknolojiye bilimin her dalında uygulanabilecek bir yöntemdir. Doğadan alınacak ilham kimi zaman bir tasarıma yön verirken kimi zaman ise yepyeni bir innovasyonun ortaya çıkmasını sağlayabilir.

Örneğin arılar yuvalarını yaparken genetiklerinde bulunan altıgen şeklini kullanmaktadırlar (Resim 2.8). Arıların bal doldurdukları peteklerinin bu formunun araştırmalar sonucunda en az miktarda yapı malzemesiyle oluşturulabilecek maksimum kapasiteli depoyu oluşturduğu ve iki boyutlu şekiller arasında altıgenin en kompakt şekil olduğu ortaya çıkmıştır. Petek şeklinde tasarlanan bir sandviç panelin normal bir I profile göre burulma ve eğilme dayancının çok daha yüksek olduğu görülmüştür (Resim 2.8). Bal peteğinin bu yüksek strüktürel dayanımı havacılık alanında da yüksek dayanımlı panel ihtiyacı için kullanılmaktadır. (Bekem, Ercan, Doğu ve Ünal, 2011)




Resim 2.8. (a) Bal peteği sandviç panel (Kamalieva ve Charkviani, 2017) (b) Bal peteği sandviç panel ve I profil karşılaştırılması(CIBA, 1995)

Doğadaki canlılardan ilham alınarak yapılan bir diğer innovasyon ise Galapagos köpekbalığının derisindeki mikro ölçekte görülen üçgen dokusudur (Resim 2.9). Daha önceki çalışmalar cilt yüzeyindeki su akışını hızlandıran yapının sürtünmeyi azalttığını göstermişken, yeni araştırmalar ciltte mikroorganizmaların da tutunamadığını ve kirliliği engellediğini ortaya koymuştur. Köpekbalığının bu eşsiz özelliği sayesinde steril olması beklenen hastanelerde yüzeylerde benzer örtü yapısı kullanılmaktadır. (Smirnoff, 2018)




Resim 2.9. Galapagos köpekbalığı ve ondan esinlenilen doku (Singh ve Nayyar, 2015)

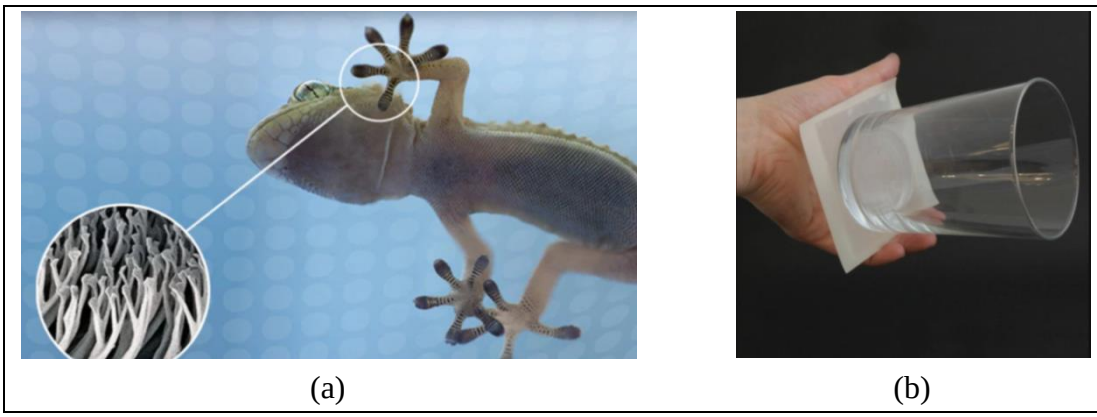
Morpho kelebeği (Resim 2.10) incelendiğinde kanatlarındaki kitin maddesi sayesinde nano ölçekte sahip olduğu parlak ve yanardöner özelliği keşfedilmiştir. Sahip olduğu bu yapı sayesinde ışığı yansıtarak termal enerjiye dönüştürmektedir. Morpho kelebeğinin kanatlarındaki yapı led ekran üreticileri için ilham kaynağı olmuştur. (www.asknature.org)



Resim 2.10. (a) Morpho kelebeği (www.asknature.org) (b) Örümceklerin ağ üreten bezleri (www.angelfire.com)

İnsanlara ilham olan bir diğer canlı türü ise örümceklerdir. Örümcekler altı farklı ipek üretip bunları tek bir lif haline getirerek karınlarında bulunan salgı bezlerinden (Şekil 2.10) dışarı atmaktadırlar. Bu lif şimdiye kadar yapılan tüm insan yapımı fiber liften daha sağlamdır. Bu sağlamlığa en yaklaşmış olan lif "aramid" elyaftır ve uzay, hava ve askeri sanayi uygulamalarında kullanılır. Aramid elyaf üretimi sırasında fazlaca enerji tüketilerek kirlilik meydana gelmektedir, fakat ilham alınan örümcek bunu doğaya zarar vermeden, uyum içinde bunu üretmeyi başarmaktadır. (Singh ve Nayyar, 2015)

Bir kertenkele türü olan geko parmak uçlarındaki cilt dokusu sayesinde her hangi bir yapıştırıcı salgı olmaksızın duvarlarda hatta tavanda dolaşabilmektedir. Gekonun parmaklarındaki dokudaki çatlaklar ve içindeki kıllı yapı sayesinde yüzeylere tutunma özelliği gelişmiştir. Gekonun bu özelliği sayesinde araştırmacılar yapışkan madde içermeyen doku geliştirerek "*Gecko Tape*" isimli yapıştırıcıyı üretmeyi başarmışlardır (Shimomura, 2010).




Resim 2.11. (a) Geko kertenkelesi parmak ucu cilt dokusu (Lavars, 2015) (b) GeckoTape (www.instituteofmaking.org.uk)

Ateşböcekleri yaklaşık 80 kilometre uzaklıktaki bir yangını algılayabilmektedir. Bu böceklerin algısı, günümüzde kullanılan orman yangını dedektörlerinin yaklaşık 10.000 katı hassasiyetinde manasına gelmektedir. Ateşböcekleri yapılarında ortaya çıkan ısının görünmez kızılötesi radyasyonlarını algılayan reseptörlere sahiptir. Ateş böceklerinin bu yeteneği yangın afetlerinin erken tespitinde devrim niteliğinde innovasyonlara olanak sağlayabilir. (Singh ve Nayyar, 2015)

Doğa, gelişen teknolojilerle daha detaylı olarak incelendikçe ve Biyomimetik bilimi yaygınlaştıkça bu yeniliklerin sayısı ve niteliğinin artacağı kuşkusuzdur.

### 2.2.5. Biyomimikri ve mimarlık

İnsanoğlu yıllar boyu süren hayatta kalma mücadelesinde doğayı gözlemlemiştir ve doğadaki süreçleri taklit ederek, durumuna göre yorumlayarak ve yaptığı tespitleri sentezleyerek karşılaştığı zorlayıcı koşullara çözümler geliştirmiştir (Arslan Selçuk ve Gönenç Sorguç, 2004). Bu nedenle de insan yapımı ürünler, doğadaki yapılaşmalara büyük ölçüde benzemektedir.

Mimarlar, insanlar ile doğa arasındaki uyumlu ilişkiyi sağlamak ve sürdürmek için doğada gördükleri örneklerden içinde bulundukları dönem, stil ya da eğilimler göz ardı edilerek farklı düzeylerde, biçimlerde ya da yalnızca bir süsleme aracı olarak etkilenmişlerdir.

Milattan önce yaşamış olan Vitruvius “Mimarlık Üzerine On Kitap” isimli eseriyle mimara tavsiyeler niteliğinde bilgiler vermekte, doğa ve mimari arasındaki ilişkiyi betimleyen metinleri de bulunmaktadır. Bu kitaba göre eski insanlar yabani hayvanların yaptığı gibi mağara ya da ormanda yaşarlarken ateşin keşfi ile oluşan konforlu ortamda toplanmaya dolayısıyla ise sosyalleşmeye başlamışlardır. Yeteneklerini fark ederek el becerileri gelişen insanoğlu kırlangıç gibi canlıları taklit ederek, ince dalları ve çamuru birleştirerek kendilerine daha konforlu yuvalar yapmaya başlamış ve gün geçtikçe yeni ayrıntı ve çözümlerle yaşam alanlarını geliştirmişlerdir. Vitruvius (1990 (M.Ö. 25))’un insan vücudunu daire ve kare gibi saf geometrik şekiller ile analiz edip gözlemlediği “*Vitruvius Adamı (homo-quadratus)*” adı verilen çizimlerini, erken doğa bilimcilerden sayılan Leonardo da Vinci detaylandırmıştır. Bu çizimler doğadaki her unsurun birbiriyle

ilişkilendirilebileceğini, yaratıcılık ve tasarımın biçimsel kurallarının çıkarabileceğini ortaya koymuştur. (Vitruvius, 1990 (M.Ö. 25))

Ortaçağ döneminde Avrupa'da Batı Roma İmparatorluğunun yıkılmasıyla kavimler göçü başlamış, toplumları derinden etkileyen bu olay mimari ve sanatı da etkilemiş, hayvan figürlerinden esinlenen sanat eserleri yapılmıştır. Böylece Gotik mimarisi ile birlikte sanat eserleri geometrik formlardan organik formlara yönelmiş ve alışılmadık dinamik formlar meydana gelmiştir. 15. ve 16. yüzyıllarda Rönesans akımından etkilenen Orta ve Batı Avrupa, insanı amaç ve merkez edinen antik anlayışa karşı çıkıp formların mantığa uygun şekilde oluşturulduğu mimari bir anlayış benimsemişlerdir. 17. ve 18. yüzyıllarda hakim olan Barok ve Rokoko akımlarının tarzları da keskin hatlardan ziyade "C" ve "S" kıvrımları, düz yerine eğri çizgiler, istiridye kabuğuna benzer şekiller gibi doğadan esinlenen etkiler barındırmaktadır. (Gertik, 2012)

19. yüzyılda ortaya çıkan Art Nouveau akımının öne çıkan özelliği dalgalı çizgilerdir. Doğadaki hayvan ve bitkilerdeki biçimler uzatılıp inceltilerek sanatçılar tarafından kullanılan formlar ortaya çıkmıştır. Formlardaki çeşitlilik demir, cam, seramik, tuğla gibi farklı malzemelerin kullanımı ile malzeme ve renk zenginliği kazanmıştır. Art Nouveau akımı ile özdeşleşen İspanyol mimar ve heykeltıraş Antonio Gaudi tasarımlarında ağaç gövdesindeki dokuları plan düzlemine aktararak, demir korkuluklarında deniz yosunu kıvrımlarından ilham alarak, strüktürde hayvan iskeletine benzer formlar arayarak doğadan ilham almıştır. (Britannica, 2018b)

Mimarlık tarihinde 20. yüzyıla gelindiğinde, mimari tasarımlar doğadan ziyade makineleri ve teknolojileri taklit etmeye başlamışlardır. Makinelerin insanlığa yaptığı iklime bakılmaksızın termal konfor sağlaması, uzun mesafelere gayret sarf etmeden kısa sürede ulaşılması, gıda ve tekstil üretiminde kolaylıklar sunması gibi pozitif etkileri devrim niteliğinde değişim sağlamıştır. Bu nedenle tasarımlarda metafor unsuru olarak kullanılması da şaşırtıcı değildir. 20. yüzyılın en önemli mimarlarından biri olan Le Corbusier de evleri yaşayan makinelere benzetmiştir. (Berkebile ve McLennan, 2003)

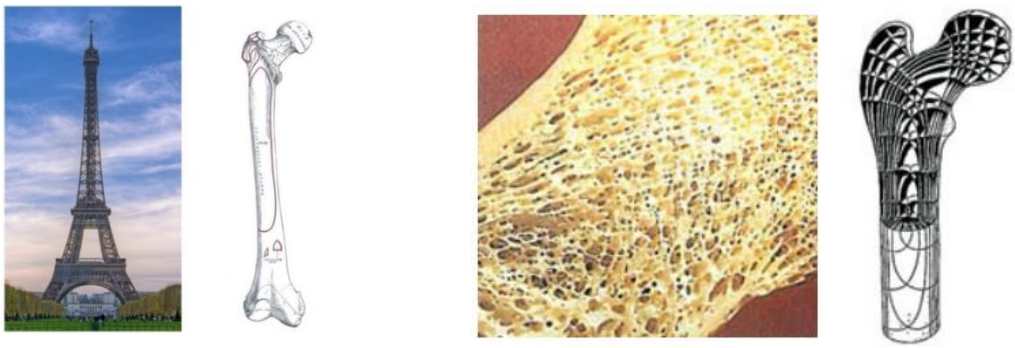
20. yüzyılda yapılan mimari eserlerde de doğadan esinler görülebilir. Dönemin ünlü mimarlarından Frank Lloyd Wright (1867-1924) kariyerinde doğa ile ilişkisini önemsemiş ve organik mimarlığın başlangıcını yapan mimar olarak litaratüregirmiştir. Wright

binaların yalnızca yapılı çevre içinde doğal bir tasarımla yükselmesini değil, tasarımın ekosistemlerdeki gibi çevresiyle de ilişkilenmesi gereken bir organizma olarak düşündüğünü "Bir Organik Mimarlık" (1939) isimli kitabında belirtmiştir. Alvar Alto (1898-1976)'nun tasarımı olan Villa Mairea ise doğa esinli tasarımlara verilebilecek en uygun örneklerden biridir. Düzensiz sütun şeması ile kullanıcılara merak uyandıran tasarım malzeme ve formların çeşitliliği ile doğadaki çeşitliliğe gönderme yapmaktadır. (Mazzoleni, 2013:11)

21. yüzyılda da tasarımlarda doğaya olan ihtiyaç devam etmekte ve tasarımların farklı noktalarında teknolojinin de gelişmesiyle daha sık kullanılmaktadır. Mclennan (2004), binalar için çiçeklerin müthiş bir ilham kaynağı olduğunu çünkü binaların da çiçekler gibi toprağa bağlı olduklarını, enerji için güneşe, su ihtiyacı için gökyüzüne ihtiyaç duyduklarını belirterek 21. yüzyılda da doğadan esinlenmenin devam ettiğini göstermektedir.

Biyomimetik mimari örnekler

1850'lerde yaptığı çalışmalarla tanınan anotomist Hermann von Meyer, iç kısmı sıralı kafes örgülerden oluşan uyluk kemiğinin (Resim 2.12) dikey pozisyonda iken bir tona kadar ağırlığa dayanımı olduğunu keşfetmiştir. 1866 yılında ise mühendis Karl Cullman kemik yapısını incelediğinde yükün iletim noktalarının saplama destek parçaları ile iletildiğini gözlemlemiştir. Hem matematikçi hem de mühendis olan Cullman bu bulguları Gustave Eiffel tarafından tasarlanan Eiffel Kulesi'nin (Resim 2.12) tasarımına uygulanabilir hale getirmiştir. Bu bulguların tasarıma uygulanmasıyla daha az malzeme gereksinimiyle inşa edilen kule, hem sağlam hem de rüzgar yüklerine karşı esnek olan ve biyomimikrinin ilk örneklerinden olan bir tasarımın ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. (Ramzy, 2015).



(a) (b)

Resim 2.12. (a) Eiffel Kulesi ve uyluk kemiği (depreciated.biomimicry.net) (b) Uyluk kemiği yapısı (biomimicryarch.blogspot.com)

2008 yılında düzenlenen Pekin Olimpiyat Oyunları için tasarlanan WaterCube projesi (Resim 2.13) düzenlenen bir yarışma sayesinde tasarlanan ve yeni teknolojilerin, malzemelerin kullanıldığı biyomimetik bir tasarımdır. Doğada bulunan bir form olan köpük baloncukların (Resim 2.13) biçimini yapı kabuğunda kullanmışlar, böylece su oyunlarının yapıldığı yapıyla cephe arasında işlevsel ve görsel bir bağ kurulurken oluşturulan şeffaf yüzeyler sayesinde yapının ışık alma oranı da artırılmıştır. (Zou ve Leslie Carter, 2010)



(a) (b)

Resim 2.13. (a) Köpük baloncukları ve Watercube cephesi (Zou ve Leslie Carter, 2010) (b) Watercube üç boyutlu görseli (www.ptw.com.au)

Herzog ve de Meuron tarafından tasarlanan Pekin Ulusal Stadyumu (Resim 2.14) kuş yuvasından esinlenmiş, görünüş itibari ile de kuş yuvasına benzetilen yapı “Bird Nest” ismiyle anılmaktadır. Yapının tıpkı kuş yuvasındaki ince dallar gibi prefabrik ince çelik elemanlarla tasarlanan kendine özgü cephesi sayesinde çatı yükünün aktarıldığı alan artırılmış ve büyük çelik kirişlerin gizlenmesi sağlanmıştır. Yapının geometrisi zeminden

çatıya kadar uzanan sürekli çizgiler ve bu çizgilerin 24 noktada zeminde birleşmesiyle oluşturulmuştur. Pekin Ulusal Stadyumu biyomimikrinin uygulandığı en güncel örneklerden biri olarak sayılabilir. (Rogers, Yoon ve Malek, 2008)



(b) (b)

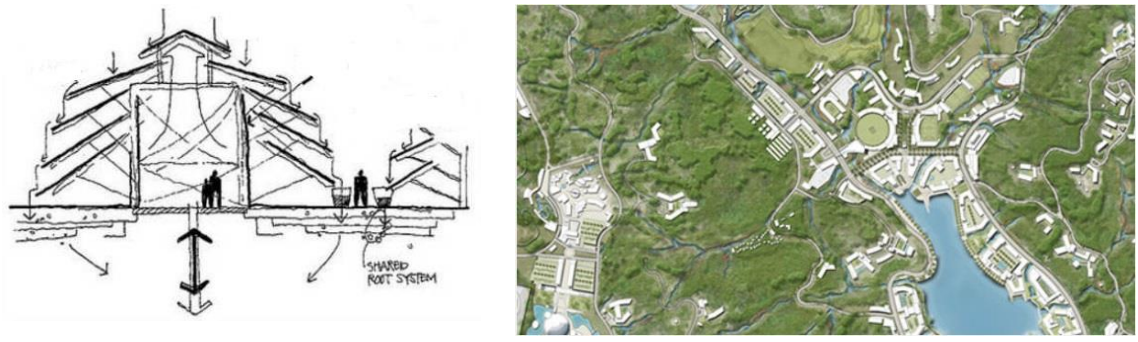
Resim 2.14. (a) Pekin Ulusal Stadyumu modellemesi (Stacey, 2004) (b) Pekin Ulusal Stadyumu fotoğrafı (www.ptw.com.au)

Davranış düzeyinde biyomimikriye örnek olarak verilebilecek Mick Pearce tarafından Zimbabwe'de tasarlanan Eastgate binası, termit kulelerinin havalandırma sistemlerinden esinlenmiştir (Resim 2.15). Eastgate binası, yıl boyunca benzer büyüklükteki bir binanın yaklaşık %10'u kadar az enerji kullanarak iç mekan sıcaklığını optimize etmektedir. Termit kulelerinin dış sıcaklık gündüz 40°C'den gece 1.7°C'ye değişirken iç ortam sıcaklığını 30.6°C'ye sabitleme özelliği menfezler ve merkezdeki galeri boşluğu sayesinde sağlanan baca sistemiyle tasarıma entegre edilmiştir. (Cuce, Nachan, Cuce, Sher ve Neighbour, 2017)



Resim 2.15. Termit kulesi ve Eastgate Binası (inhabitat.com)

Hindistanda bulunan Lavasa şehri olarak adlandırılan ve biyolog Jenine Benyus işbirliği ile 12500 dönümlük alanda tasarlanan proje ekosistem düzeyinde biyomimikriye mimari bir örnek olarak verilebilir (Şekil 2.11). Kayalık arazilerden, dikenli çalılardan esinlenilen projenin etkilerinin 20 senede görülebileceği düşünülmektedir. Tıpkı ekosistemlerdeki gibi proje alanında bulunan ağaçların su depolaması örnek alınarak su depolayan yapı temel sistemleri tasarlanmıştır. (Cuce ve diğerleri, 2017)




(a) (b)

Şekil 2.11. (a) Lavasa şehri master planı (blog.worldarchitecturenews.com), (b) Lavasa şehrindeki bir yapı kesiti eskizi (www.being-here.net)

Çizelge 2.4. Mimari örneklerin biyomimetik özellikleri

| BİYOMİMETİK TASARIM ÖRNEĞİ | ESİNLENİLEN BİYOLOJİK ÖRNEK | BİYOMİMİKRİ DÜZEYİ | TASARIMA UYGULAMA | ÇÖZÜLEN PROBLEM |
|---|---|---|---|---|
| EIFFEL KULESİ, PARİS  | UYLUK KEMİĞİ  | ORGANİZMA DÜZEYİ | -Dışa doğru genişleme uyluk kemiğine benzemektedir.<br>-Kafes, çivi ve metal bağlardan üretilmiştir. | -Rüzgar kaynaklı bükülme ve kesme etkilerine karşı dayanım sağlanmıştır.<br>-Havalandırma sorunu çözülmüştür. |
| PEKİN ULUSAL SU SPORLARI MERKEZİ  | SU BALONCUĞU  | ORGANİZMA DÜZEYİ | -Yapı kabuğu, baloncuk etkisine izin veren ETFE isimli mavi mürekkepli pnömatik yastık kaplamadır. | -Baloncuklar havuzu için gerekli güneş enerjisini toplamaktadır.<br>-Isıl düzenleme sağlanmıştır. |
| PEKİN ULUSAL STADYUMU  | KUŞ YUVASI  | DAVRANIŞ DÜZEYİ | -Dallarda izolasyon sağlayan ETFE panelleri bulunmaktadır.<br>-Paneller güneş ışığı filtresi sağlamaktadır. | -Cephedeki açıklıklar doğal havalandırma sağlamaktadır.<br>-Panaller çatı yükünü azaltmıştır. |
| EASTGATE CENTER, HARARE  | TERMİT KULESİ  | DAVRANIŞ DÜZEYİ | -Merkezdeki kule mekandaki havayı çeker ve kanallardan dışarı atılmaktadır. | -Isıl düzenleme sağlanmıştır, yıl boyunca mekanik ısıtma, soğutma, havalandırma HVAC sistemine gerek kalmamıştır. |
| HOK, LAVASA, INDIA  | İNCİR YAPRAĞI  | EKOSİSTEM DÜZEYİ | -Tasarım su toplanmasını sağlamaktadır.<br>-Yüzeyi temizlemek için su damlama sistemi kullanılmaktadır. | -Mevsimsel sel sorunu çözülmüştür.<br>-Biriken aşırı su taşınmaktadır. |

Günümüzde dünyadaki enerji tüketiminin %40'lık gibi büyük oranını yapı sektörü oluşturmaktadır. Bu tüketimin büyük çoğunluğunun ısıtma ve soğutma giderleri olduğu düşünüldüğünde, mimari tasarımlarda enerjinin etkin kullanılması zorunluluk haline gelmiştir. Tasarlanacak yapılarda önceden alınacak önlemler ve doğru alınan tasarım kararlarıyla pasif iklimlendirme sistemlerinin kullanılmasıyla yapı sektörünün kullandığı enerji miktarının azaltılması mümkün olmaktadır.

Dış ortamla temasının yüksek olması nedeniyle istenmeyen ısı kazanç ve kayıplarının yoğun olduğu yapı bileşeni olan yapı kabukları, tasarım sürecinde alınacak önlemlerle enerji tüketimini önemli oranda etkilemektedir. Kullanıcıları için termal konfor şartlarını sağlamak dış ortamdan etkilenmeksizin iç ortam sıcaklığını belirli bir aralıkta tutmakla sağlanmaktadır. Değişen dış ortam koşullarına karşı iç ortamı koruyan bariyer ise yapı kabuklarıdır. Dolayısıyla iyi tasarlanmış bir yapı kabuğu ısıtma soğutma yükünü dolayısıyla da enerji tüketimini azaltacaktır.

Geleneksel tasarım yöntemlerinin enerji tüketimine sağladığı çözümlerin yetersiz gelmesiyle gelişen teknoloji ve artan disiplinler arası çalışmalar sonucunda, enerji kullanımına etkin çözümler üretmek amacıyla doğadan ilham alan ve biyomimikri yaklaşımı ile yapılan tasarımlar sayesinde çözümler üretilmeye başlanmıştır. Doğadaki canlıların, insanların karşılaştığı sorunlarla çok daha önce karşılaşıp, doğanın zorlu şartlarına geliştirdikleri morfolojik, fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlarla uyum sağladıkları düşünüldüğünde, doğadan fikir alma eylemi oldukça akılcıdır. Doğayı taklit etme, sistematik bir şekilde olmasa da insanlığın varoluşundan itibaren farklı derinliklerde ve biçimlerde var olan bir eylemdir. Doğadaki tüm tasarımların bir amacı vardır ve tüm tasarımlar sürdürülebilir, enerji etkin, performatif, dayanıklı ve hafiftir.

Doğadaki canlılar hayatta kalmak için vücut iç sıcaklıklarını belirli ve dar bir aralıkta tutmak zorundadır. Dış ortam sıcaklığının değişkenlik göstermesine rağmen iç sıcaklığın sabit tutulmasına termoregülasyon denir. Zorlu çevre koşullarına karşı canlıları koruyan ve termoregülasyon sağlamalarına yardımcı olan birincil eleman ciltleridir. Çoğu canlının yaşadığı iklim bölgesine göre değişen cilt yapıları cildin termoregülasyon sağlarken oynadığı rolün önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle yapıların termoregülasyonunu sağlarken tasarlanacak yapı kabuklarında, doğa ilham alınabilecek sayısızstratejiler içeren bir kaynak potansiyeli taşımaktadır.

Canlı ve iklim çeşitliliği oldukça yüksek olan doğada, farklı iklim koşullarına göre canlıların geliştirdiği termoregülasyon yeteneği ve özelliklerinin de farklılaştığı görülmüştür. Canlıların hayatta kalma mücadelesinde vücut sıcaklıklarını belirli bir aralıkta tutma zorunluluklarıyla geliştirdikleri özellikleri ya da davranışları, mimari örneklere gelişen teknoloji ile malzeme, işleyiş ya da enerji tüketimi gibi noktalarda entegre edilebilmektedir. Bu bağlamda yapı kabuklarının termoregülasyonunu sağlamak

amacıyla doğadaki örneklerin araştırılarak, benzer prensiplerin tasarıma uygulanması sorunun çözümünde tasarımcıya yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada termoregülasyonun nasıl çalıştığı doğadaki örnekler üzerinden incelenmiş, mimaride termoregülasyon açıklanmış, biyomimikri kavramı, tasarım yaklaşımları, biyomimikri seviyeleri, biyomimetik yenilikler, biyomimikri ve mimarlık ilişkisi bağlamında literatür taraması yapılmış ve örnekler incelenmiştir. Tezin alan çalışmasının yapı kabuklarında özelleşerek, literatür taraması ve kavramsal çerçeve olarak adlandırılan bu çalışmanın, alan çalışması için temel bilgileri içeren bir altlık niteliğinde kullanılması planlanmıştır.

# 3. BİNA KABUĞUNUN TERMOREGÜLASYONUNDA KULLANILABİLECEK BİYOMİMETİK YAKLAŞIMLARIN ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Yapılı çevrelerin enerji tüketimini azaltmak için enerji etkin tasarımlar ve teknolojiler geliştirmek şarttır. Binaların genel enerji tüketiminde %40'lık, iklimlendirme hizmetlerinin ise bina toplam enerji tüketiminde %50-70 oranlarına sahip olması bu ihtiyacın önemini ortaya koymaktadır (Badarnah, 2015). Enerji tüketimi, özellikle enerji düzenlenmesinde en büyük rol oynayan yapı kabuklarının rolünün pasif bir koruyucu bariyerden, yapının enerji dengesinde aktif rol oynayan bir yapı bileşenine dönüşmesiyle düzenlenebilir (Gosztonyi, Gruber, Judex, Brychta ve Richter, 2013).

Yapı kabukları tıpkı canlı organizmaların cildi gibi dış ortamla iç ortam arasındaki bağlantı elemanıdır, dengeyi kurar, geçirgen bir engeldir, iç ortamı zararlı maddelerden korur ihtiyacı olan maddelerin geçişine izin verir (Mazzoleni, 2013:53).

Canlı organizmaların ciltleri, vücutlarının içini dış ortamdan koruma amacıyla var olan ilk savunma hattıdır. Canlıların ciltleri koruma işlevinin yanı sıra, sıcaklık ve nem düzenleyicidir, gerektiğinde suya ve ısıya karşı yalıtıcıdır, kendi kendini onarır, estetik olarak güzeldir ve tüm bu işlevleriyle birlikte çevre dostudur. (Yowell, 2011)

Yapı kabuklarının işlevlerinden birisi kullanıcıları için termal konforun sağlanmasıdır. Yapı kabuğu ihtiyaç doğrultusunda zaman zaman ısı kaybını önlemek, zaman zaman ise fazla ısının dağıtılmasını sağlamak amacıyla, yapıyı dış ortamdan yalıtan bir bariyer görevindedir. Yapı kabuğu bu işleviyle tıpkı bir canlı organizma gibi davranmakta ve doğadaki potansiyel çözümlerin uygulanmasına olanak sağlamaktadır. (Badarnah, 2015)

Sert çevresel iklim koşulları, doğada yaşayan canlılar için zorlu koşullar oluşturmaktadır. Canlı organizmalar değişkenlik gösteren iç ve dış koşullara uyum sağlamak zorunda olduklarından statik olmayan, aktif sistemlere sahiptir (Dinur, 2004). Mevsimsel değişikliklerle değişiklik gösteren ortam sıcaklıkları canlıların konfor ihtiyaçlarını sağlamak için gereksinimlerini de değiştirmektedir. Bu nedenle pasif bir kapı kabuğu ile tasarlanmış bir yapı kullanıcılarının termal gereksinimlerine cevap veremez (Wigginton ve Harris, 2013). Yapı kabuğu; etkin enerji kullanan, uygun malzemeden oluşan ve bilgi alışverişi yapabilen bir zardır ve bu donanımlara sahip bir yapı kabuğu tasarlayabilmek

için doğanın tasarımlarını geliştirme stratejilerinden ilham almak başarıyı sağlayabilir (Wigginton ve Harris, 2013). Doğadaki canlı organizmaların geliştirdikleri bu stratejiler, canlıların geliştirdikleri adaptasyonlar ve doğal seçilim sayesinde canlı türlerinin daha sağlıklı ve üretken olmasını sağlayan uzun bir evrimsel sürecin ürünüdür (Wiebe, 2009).

Vücut sıcaklığının belirli bir aralıkta tutulması, aktif olarak ısı kazanımı ve kaybı oluşturularak sağlanmaktadır. Canlıların ısı kazanımı ya da kaybı, termal yalıtım sağlayan ciltleri, vücut yapıları veya geliştirdikleri davranışsal özellikleriyle sağlanmaktadır. Yaşadıkları iklimler ve koşullar çeşitlendikçe canlılar tarafından uygulanan stratejiler de çeşitlenmektedir. Termoregülasyon iç sıcaklık seviyesini koruma eylemidir ve doğadaki organizmalar bunu minimum enerji sarfiyatı ile sağlamaktadır (Kipervaser, 2003).

Doğada gerçekleşen bu etkin ısı transfer yöntemleri, araştırmacıları ısı transferi yöntemlerinin doğadan araştırılmasına teşvik etmiştir (Huang, Hwang ve Radermacher, 2017). Hayvan derisinin çeşitliliği doğa esinli tasarımlar için çok sayıda öneri sunmaktadır.

Canlı organizmaların endoterm ya da ektoderm olması farketmeksizin vücut sıcaklığının belirli sınırlar arasında tutulması vücudun fizyolojik fonksiyonlarının devamı için kritik öneme sahiptir. Omurgasızlar, balıklar ve sürüngenler gibi soğukkanlı canlılar termal dengeye bir ısıl kaynağa ihtiyaç duyararak ulaşırken, memeliler ve kuşlar gibi sıcakkanlı canlılar metabolik faliyetler sayesinde ulaşabilmektedir. (Hill ve diğerleri, 2004:226)

Sıcak ve kurak iklimlerde yaşayan canlılar ısınmayı önlemek ve fazla ısıyı dağıtmak amacıyla ısıyı yansıtıcı açık renkli deriye sahiptir, radyasyonu azaltıcı fizyolojik yapıya sahiptir, terleme yapabilir, terleme yapamayan canlılar tükürük ya da idrarla cilt yüzeyini nemlendirebilir. Bazı canlılarda ise cilt yüzeyine yakın kan damarlarının genişletilip daraltılması sayesinde fazla ısı dağıtılarak termoregülasyonu sağlarken, bazı canlılar gün boyu vücudunun ısınmasına izin vererek gece boyu ısıyı dağıtmaktadır. Özellikle çöllerde yaşayan canlılar geceleri aktifleşip, gündüzleri güneş ve sıcaklığa korunaklı yuvalarında kalarak fazla ısınmayı engellemektedir. (Schmidt-Nielsen, 1997:255-263)

Sıcak iklimlerin tersine çok soğuk bölgelerde yaşayan canlılar ise ısı kazanımı ve mevcut ısıyı korumaya yönelik stratejiler geliştirmişlerdir. Deri altı kalın yağ tabakası ya da cilt yüzeyinde kürklenme sayesinde izolasyon sağlanmaktadır. Yağ tabakası kalınlığı

mevsimsel değişikliklere göre farklılık göstermekte veya kürkler tüylerin dikleştirilip yatıştırılmasıyla kalınlaştırılıp inceltilebilmektedir. Memeliler ve bazı kuşlar ise kalpten gelen sıcak kan ile soğuk kanın karşılaşıp ısıtılmasını sağlayan karmaşık bir sisteme sahiptir. Ayrıca topluca hareket ederek rüzgar ve soğuktan minimum etkilenmeyi sağlayabilirler. Ektodermler ise aşırı soğuk çevresel koşullarda donmayı önleyici proteinler üreterek canlı organizma yapısının bozulmasını engellerler. Ayrıca mevsimin en soğuk döneminde kış uykusuyla metabolik faliyetlerini minimum seviyeye indiren canlılar dış ortam ile sıcaklık farkını azaltarak ısı kaybını engellemiş olurlar. (Schmidt-Nielsen, 1997:242-255)

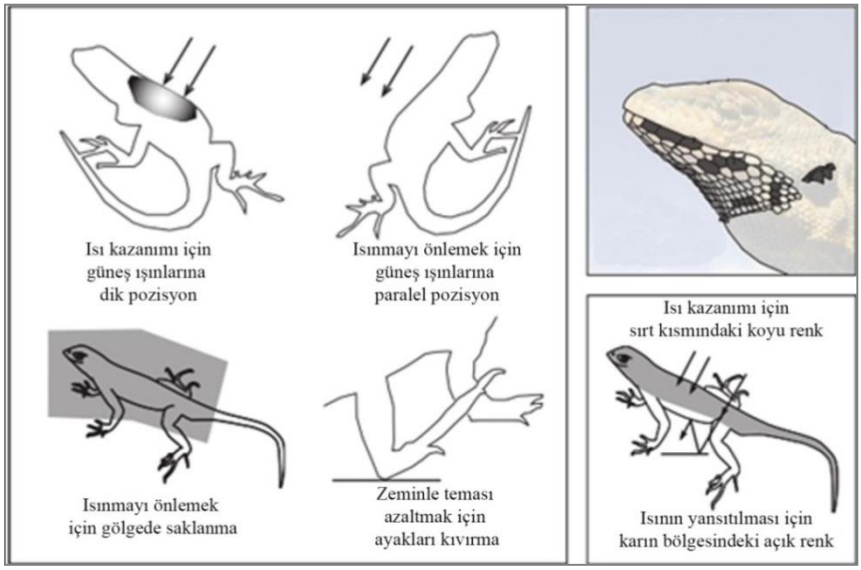
Yukarıda açıklanan problemler ve doğanın çözümleri göz önünde bulundurulduğunda tasarımcıların hedefi statik yapı kabuklarının yerine aktif, iklime ve mevsimsel değişikliklere uyumlu, sürdürülebilir ve enerji etkin, birden fazla işlevi olan, iletişimsel, modüler ve akıllı cepheler oluşturmak olmalıdır. Doğa çeşitliliği ve benzer fizyolojik zorluklara geliştirdiği stratejiler sayesinde çözümlerin aranmasında en bilge kaynaktır.

## 3.1. Yan Lekeli Kertenkele ve S.C.A.L.E.S Projesi (Akıllı, Sürdürülebilir, Aktif, Katmanlı, Çevre Dostu Sistem) *(Smart, Continuous, Active, Layered, Environmental, System)*

Amerika'nın kurak bölgelerinde yaşayan yan lekeli kertenkele olarak adlandırılan *Uta stansburiana* (Resim 3.1) çevre sıcaklığının yaz aylarında 50°C'ye kış aylarında ise -18°C'ye ulaştığı Büyük Havza Çölü'nde yaşamaktadır. Ektoderm bir canlı olan kertenkele kritik ısı değişimlerine sahip yaşam alanına uyum sağlamak için dış ortamdan bir ısı kaynağı kullanmaktadır. Vücudunun üst kısımları koyu renkli olması güneş ışığının emilmesini artırırken, karnındaki açık renkli deri yerden ısının yansıtılmasını sağlamaktadır (Şekil 3.1). Vücudunun konumlandırılmasını ihtiyacına göre değiştirerek ısı kazanımını sağlama ve önlemeyi kontrol edebilmektedir. (McGinnis, 1970)



Resim 3.1. (a) Yan lekeli kertenkele (Goller, Goller ve French, 2014) (b) Kertenkeleden esinlenilerek yapılmış tasarım (Mazzoleni, 2010)

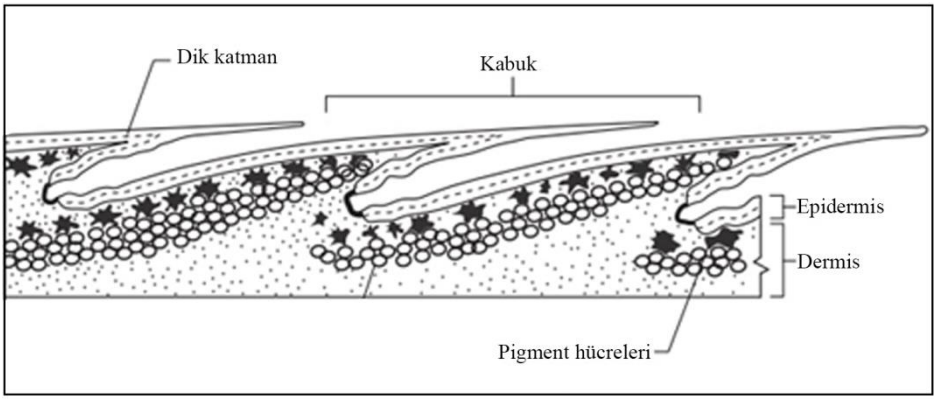



Şekil 3.1. Kertenkelenin ısı kazanım ve ısınmayı önleme yöntemleri (Mazzoleni, 2013:107)

Çizelge 3.1. Yan lekeli kertenkelenin yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi veısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

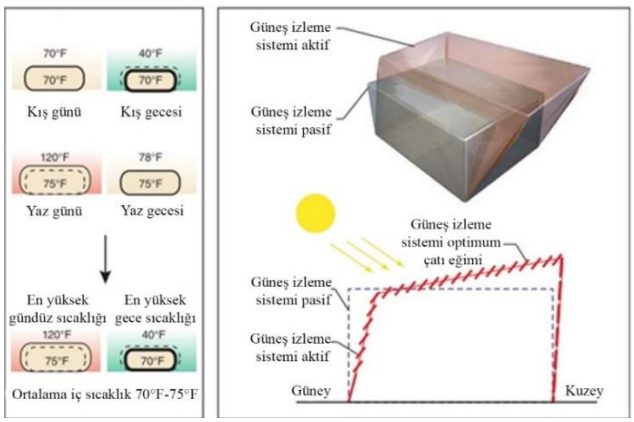
| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Konumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | |
| Yan Lekeli Kertenkele | | | | | | | | | | | | | -Cilt renginin bölgesel olarak değişmesi.<br>-Cildin yapısal gölgelendirme özelliği. |

Kertenkelenin epidermis, dış katman ve dermis ve iç katmandan oluşan derisinin (Şekil 3.2), kamuflaj, cilt yüzeyini nemlendirme ve kayalık ve yapraklara karşı koruma işlevi vardır. Cildin en dış kısmı periyodik olarak kaplanmakta içte kalan kısımlar ise yenilenmektedir. Cilt kabuklarının vücudun bölümlerine göre kalın ve ince olması kertenkelenin hareket yeteneğine ve termoregülasyonuna büyük katkı sağlamaktadır (Goller ve diğerleri, 2014).



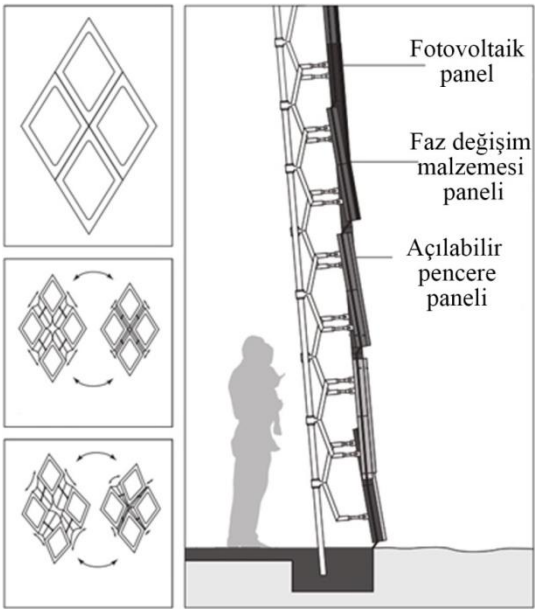

Şekil 3.2. Kertenkele deri kesiti (Mazzoleni, 2013:108)

Kertenkelenin termoregülasyon yeteneğinden ilham alınarak tasarlanan projenin tasarım sürecinde, yapının iç sıcaklığının kullanıcılarının termal konfor sınırlarında tutulması sırasında çöldeki aşırı ısı değişimlerine yapı kabuğunun nasıl uyum sağlayacağı araştırılmıştır. Tasarımın temel amacı hem sıcak ve kurak günlerde, hem de soğuk gecelerde aynı iç ortam koşullarını kullanıcılarına sağlamasıdır. Bu noktada kertenkelenin fizyolojik özellikleri yapı malzemelerini etkilerken, davranışsal özellikleri hidrolik akıllı sistemler sayesinde projeye entegre edilmiştir (Şekil 3.3). (Mazzoleni, 2013:110-111)




Şekil 3.3. Kertenkeleden esinlenerek tasarlanan cephe sisteminin sıcak ve soğukta değişimi (Mazzoleni, 2013:110)

Tıpkı kertenkelenin kabukları gibi panellerden oluşturulan yapı cephesi güneyde opak yalıtkan, fotovoltaik panel ve açılabilir saydam bileşen olmak üzere üç farklı türden oluşmaktadır. Yalıtım paneli faz değişim malzemesi ile doludur ve gün boyu emdiği ısıyı gece boyunca eve bırakır ve ısınmasını sağlar. Fotovoltaik paneller güneş ışınları sayesinde yapının elektrik ihtiyacını karşılarken açılabilir pencereler havalandırma sağlamaktadır. Tüm bu paneller sensörler tarafından kontrol edilir ve panellerin tutturulduğu çelik ızgara panellerin yerlerini ihtiyaca göre değiştirebilme imkanı sunmaktadır (Şekil 3.4). Projenin çatısı ve güney kısımları koyu renkli olan fotovoltaik panellerden oluşurken, batı ve doğu kısımları açık renkli panellerden oluşmaktadır. Bu sayede yapı güney ve çatı kısımlarından ısı ve ışık emmekte doğu ve batı kısımlarında yansıtıcı özelliklerle fazla ısıma önlenmiş olmaktadır. (Mazzoleni, 2013:111)




Şekil 3.4. Kertenkeleden esinlenerek tasarlanan cephe sisteminin sıcak ve soğukta değişimi (Mazzoleni, 2013:112)

### 3.2. Termit Kuleleri, CH2 Binası *(Council House 2)* ve Ofis Binaları İçin Gözenekli Katlanmış Bir Cephe *(A Porous Folded Facade For Office Buildings)*

Termit yuvalarının mimarisi iklimlendirilmenin sağlamasında büyük rol oynar. Yuvanın yönlendirilmesi sayesinde termit höyüğüne ulaşan güneş ışığı miktarı kontrol edilir. Höyükler plan düzleminde uzun ve kısa iki eksenden oluşmaktadır ve kuzey-güney yönünde uzun eksen konumlandırılarak sabah güneş doğarken ve akşam güneş batarken daha uzun süre güneş ışığı alınması, öğle saatlerinde ise güneş ışığının daha az etkili

olması sağlanmaktadır. Sıcak iklim bölgelerinde yer alan termit kulelerinde daha fazla girinti çıkıntı (daha fazla yüzey alanı) ve ince duvarlar bulunurken, soğuk iklim bölgelerinde yer alan termit kulelerinde girinti çıkıntıların daha az, duvar kalınlıklarının ise daha kalın olduğu gözlemlenmiştir. Termit kulelerindeki bu farklılık sıcak iklim bölgelerinde ısının dağıtılmasını sağlarken, soğuk iklim bölgelerinde ısının daha fazla tutulmasını sağlamaktadır (Jones ve Oldroyd, 2006).

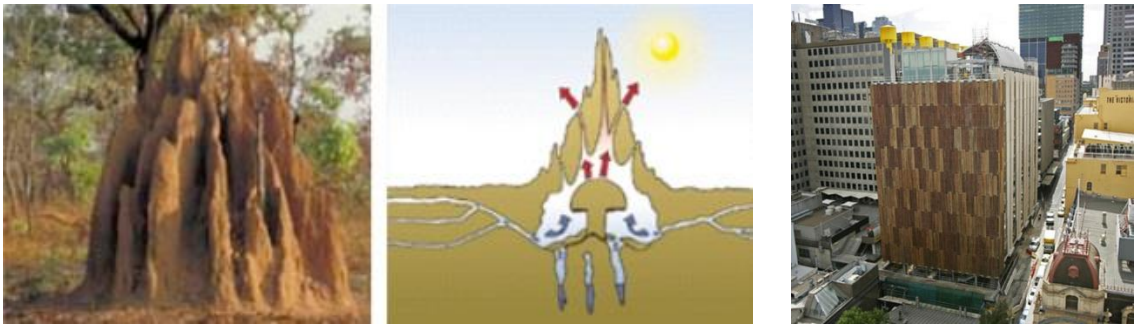
Çizelge 3.2. Termitlerin yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termitler | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | -Yuvalarının ihtiyaca göre pasif havalandırma ile soğutulup ihtiyaca göre hava geçişinin önlenmesi.<br>-Yapı Kabuğu üzerindeki girinti çıkıntılarla cephe üzerinde gölgelendirme sağlanması. |

Termit kulelerinin yüzeylere yakın hava geçişleri ve tepesinde bulunan bacaları termoregülasyonun yanı sıra havalandırma da sağlamaktadır. Bu nedenle hava geçişleri ve sıcaklık arasındaki denge kurulmak zorundadır. Örneğin soğuk iklim bölgelerindeki termit höyüklerinde havalandırma genellikle yalnızca tepesinden gerçekleşirken, sıcak iklim bölgelerindeki termit höyüklerinde yüzeylerden de hava geçişine izin verilmektedir. Termitler yuva içi sıcaklık dengesini kurarken kendi metabolik faaliyetlerini de ısı kaynağı olarak kullanmaktadırlar. (Korb ve Linsenmair, 2000)

CH2 binası (*Council House 2*)

CH2 Binası Mick Pearce tarafından yapı termit kulelerinin havalandırma ve termoregülasyon sistemlerinden ilham alınarak tasarlanmıştır (Resim 3.2). Fotovoltaik paneller, siyah su geri dönüşüm sistemleri ve soğutulmuş tavanlar gibi yenilikçi sistemlere sahiptir. Su damlacıklarını serbest bırakıp buharlaşarak ortamın serinlemesini sağlayan sistemler, binanın gece boyu da serin kalmasını sağlayan rüzgar tribünleri yapının termoregülasyonun sağlayan sistemlerden birkaçıdır. (Chapa, 2007)

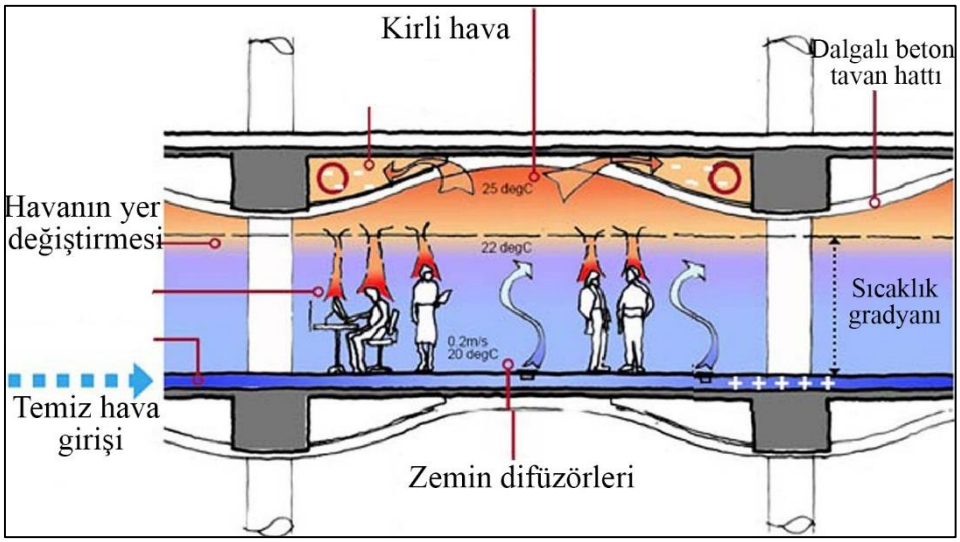


(a) (b)

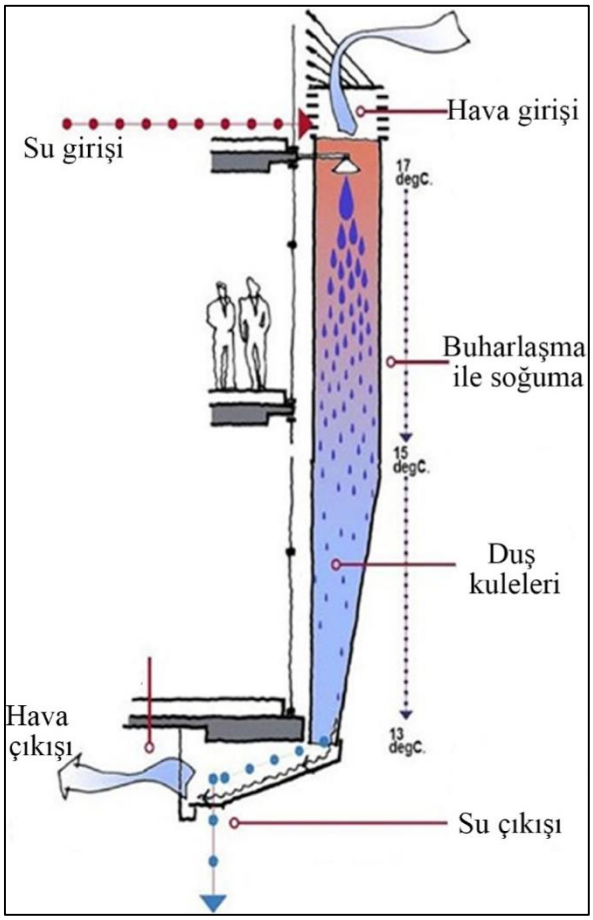
Resim 3.2. (a) Termit kulesi (www.melbourne.vic.gov.au) (b) CH2 Binası (inhabitat.com)

CH2 Binası insan ve elektronik faaliyetlerin yüksek olduğu bir yapı olduğu için soğutma ihtiyacı daha yüksek bir yapıdır. Isınmayı sağlayan sistemler mevcutta var olan bu ısı kaynaklarını da göz önünde bulundurarak tasarlanmıştır. Kış mevsimi boyunca dondurulmuş su her katın tavanına yerleştirilmiş kanallarda tutulur, tasarlanan sistemle bir akış sağlanır ve 18°C'lik hafif bir soğutma sağlanır. Her katta sıcaklaşıp yukarı çıkan hava soğuk su kanallarıyla buluşup ısı kaybederek aşağı iner. (Aye ve Fuller, 2005; Paevere, Brown, Leaman, Luther ve Adams, 2008).

Temiz hava gölgelendirilmiş güney cepheden yükseltilmiş döşeme altındaki hava kanallarından içeri girip havalandırma deliklerinden geçerek kuzey cephede bulunan dikey hava kanallarına ulaşmaktadır. Hava kanallarında oluşan güçlü hava akımı, tepedeki rüzgar türbinlerini harekete geçirerek enerji üretmektedir (Abaeian ve diğerleri, 2016). Bu kanalların çalışma prensibi tıpkı termit kulelerindeki hava sirkülasyonsistemine benzemektedir (Şekil 3.5). Termit kulelerinde de soğuğu depolayan topraktan serinleme sağlanır ve ısınan hava höyükteki deliklerden ve bacadan dışarı verilir. (Mohamed, Bakr ve Hasan, 2019)




Şekil 3.5. CH2 Binası yapı içi hava sirkülasyon şeması (Tan, 2007)

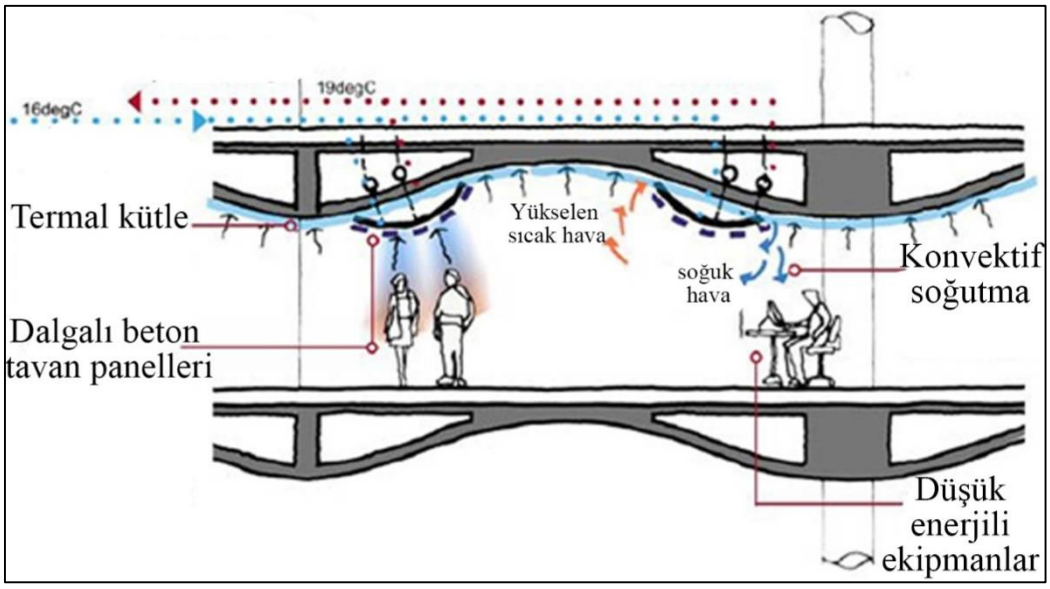



Şekil 3.6. CH2 Binası çatıdan indirilen borularla havanın nemlendirilmesiyle ile soğuma sağlanması (www.mickpearce.com)

Binadaki yeşil çatı için geri dönüştürülmüş su zemin kattaki ticari alanın tavan hizasına kadar kanallarla indirilip bu noktadan püskürtülerek buharlaşma ile serinleme sağlanır

(Şekil 3.6). Aynı zamanda batı cephesinde kullanılan geri dönüştürülmüş ahşap güneş kırıcılar güneş ışığından fazla ısınmayı önlemektedir. Yapı çevresinde ve çatısında yapılan bitkilendirme çalışması da serin ve nemli bir çevre oluşturulmasına yardımcı olmaktadır (Abaeian ve diğerleri, 2016).

Yapıda bulunan yağmur, rüzgar ve sıcaklığa duyarlı sensörlerle kontrol edilen pencereler gece boyunca da havalandırma ve soğuma sağlamaktadır. Geceleri açılan pencereler sayesinde soğutulan yapı içindeki kalın prefabrik beton kütleler (termit kulelerindeki toprak), yüksek termal kapasiteleri sayesinde depolanan serinliğin gün boyunca yapı içine salınmasını sağlamaktadır. Termal kütle olarak kullanılan prefabrik beton döşemeler yüzey alanını genişletmek amacıyla dalgalı şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.7). Tasarlanan bu sistem sayesinde soğutma maliyetlerinde %14 oranında bir düşüş sağlanmaktadır. Yılın soğuk zamanlarında ise ahşap panjurlar gün ışığının içeri girerek ısıtmasına izin verecek şekilde açılmaktadır. (Aye ve Fuller, 2005; Mohamed ve diğerleri, 2019; Paevere ve diğerleri, 2008)

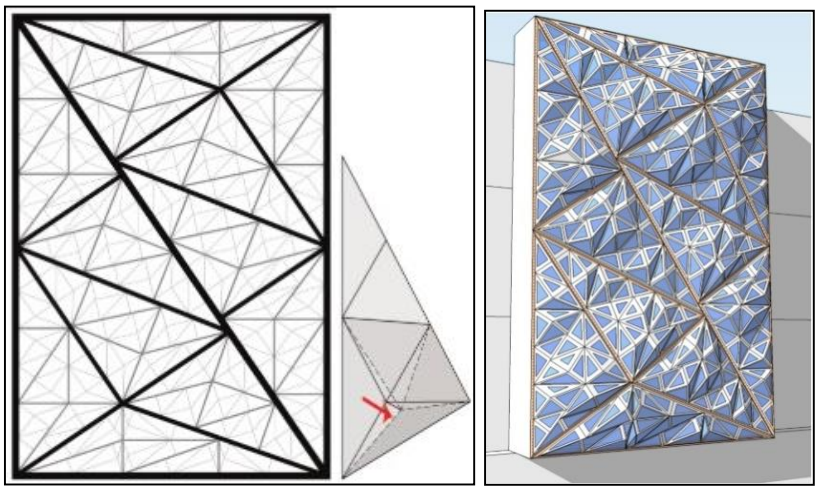



Şekil 3.7. CH2 Binası beton döşemeler ile soğuma sağlanması (Tan, 2007)

Yapı kullanım sürecinde benzer bir yapıdan elektrik enerjisinde %82, su kullanımında %72 tasarruf ve kullanıcıların performansında %4.2 artış gözlemlenmiştir. Bu da yapı tasarımında insan yaşamı ve kullanımı için uygun bir ortam sağlarken doğadan faydalanmanın ve bu stratejilerin teknolojiyle desteklenmesinin doğru bir tercih olduğunu kanıtlamaktadır. (Abaeian ve diğerleri, 2016)

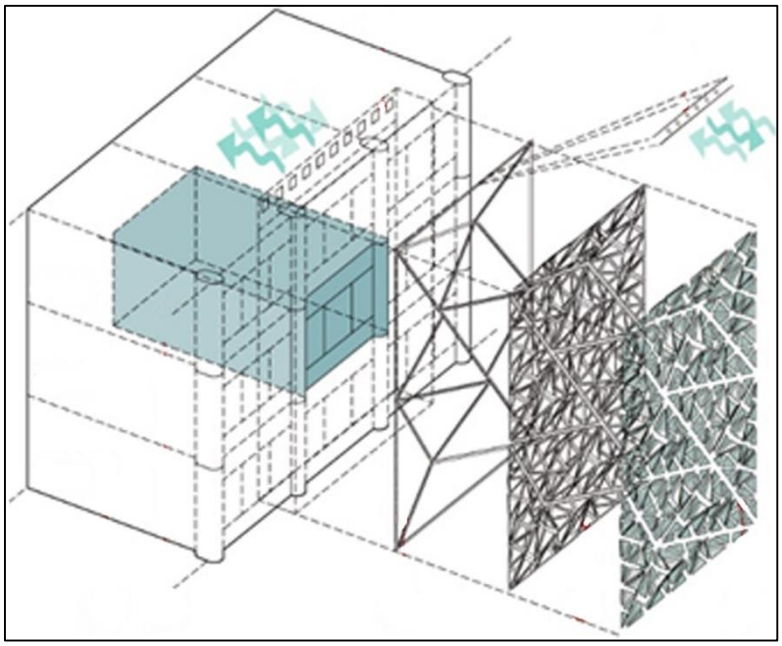
Ofis binaları için gözenekli katlanmış bir cephe *(A porous folded facade for office buildings)*

Ofis binaları için tasarlanan bu cephe sistemi termit höyüklerindeki havalandırma sistemleri ilham alınarak ve soyutlanarak oluşturulan deneysel ve uygulanmamış bir tasarımdır. Termit kulelerinde bulunan gözenekli cephe, merkezi boşlukta basınç farklı ile oluşturulan hava akımı, cephe yüzeyindeki girinti çıkıntılar ile gölgelendirilmiş cephe tasarımı etkileyen özelliklerdir (Şekil 3.8). Yukarıdaki diğer örneklerin termit kulesinin çalışma prensibini tüm yapıda uygulamasının aksine bu tasarımda prensipler yalnızca cephelerde uygulanmıştır. Katlanmış cephe modeli birçok farklı şekilde oluşturulabileceği için seçim yapılırken estetik kaygılar ön plana çıkmıştır. Üçgen panellerle katlanmış bir cephe oluşturulmuş böylece inşa etmek daha kolay hale gelmiştir. (El Ahmar ve Fioravanti, 2015)



Şekil 3.8. Ofis binaları için gözenekli katlanmış bir cephe modeli (El Ahmar ve Fioravanti, 2015)

Çalışmada tasarlanan çift cephe sayesinde ilk katmanda kendiliğinden gölgelenen bir cephe ile güneşten radyasyonla kazanılan ısı azaltılmış ve yüzeydeki boşluklarla katmanlar arası sürekli hava akımı oluşturulmuştur. Tasarımın soğutma yüklerini azaltıp azaltmadığı bir CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği - *Computational Fluid Dynamics*) isimli programla test edilerek iyileştirmeler yapılmıştır. Projelerin tasarım değişkenleri cephenin performans kriterlerini de etkilemiş ve optimizasyon sürecinde denge kurulması için hesaplamalı tasarım fayda sağlamıştır. (El Ahmar ve Fioravanti, 2015)



Şekil 3.9. Ofis binaları için gözenekli katlanmış bir cephe kesiti (El Ahmar ve Fioravanti, 2015)

### 3.3. Kar Leoparı (*Snow Leopard*) ve Kar Leoparının Cilt Yapısından Esinlenerek Tasarlanan Çok Katmanlı Yapı Kabuğu Tasarımı

Ortam sıcaklığının -30°C ve +15°C arasında değiştiği Orta ve Güney Asya'da yaşayan kar leoparının vücudu familyasındaki diğer türlere göre dış ortamla temas eden yüzey alanını azaltmak amacıyla daha büyük ve yuvarlaktır (Resim 3.3). Isı kaybını engellemek için vücudu ve vücudundaki kulak gibi küçük çıkıntılar kürkle kaplıdır. Soğuk ve kuru olan havayı solurken, vücut sıcaklığının azalmaması için ısı ve nem toplayan hassas dokular alınan havayı ısıtıp nemlendirmektedir. (Fox, 1989)



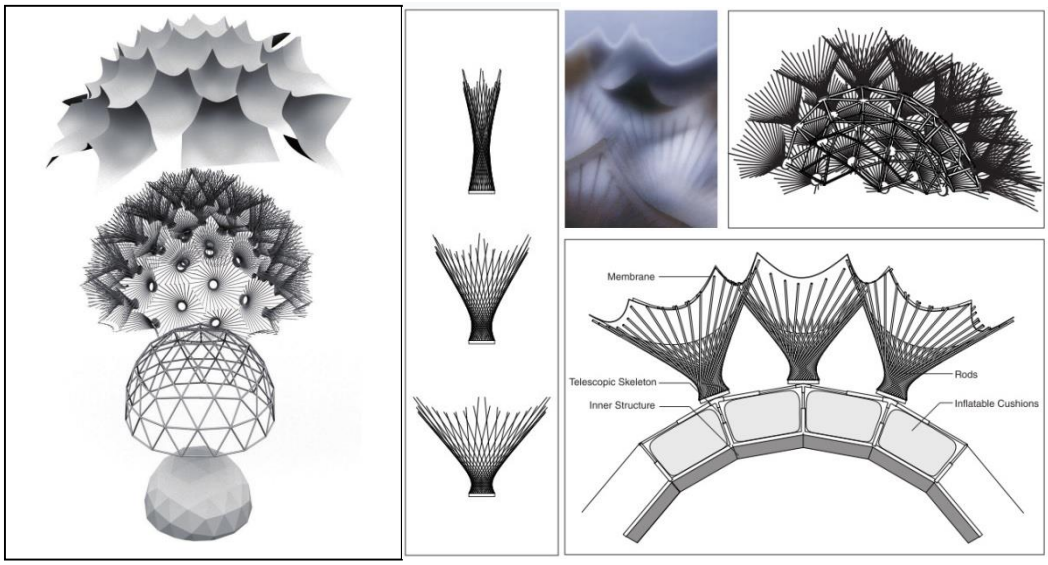
Resim 3.3. Kar leoparı (www.snowleopard.org)

Kar leoparı kış aylarında daha koyu olup yaz aylarında daha açık renge dönüşen, yoğun yalıtım sağlayan kürk ile kaplıdır. Deride bulunan tüylerin bir kısmı daha kalın, uzun ve düzken bir kısmı daha ince, yumuşak ve hafif kavislidir. Kar leoparları terleme yoluyla termoregülasyon sağlayamaz, yani kürk yalnızca yalıtıcı görevdedir. Vücut kürk ile yalıtılırken, nefes alırken vücuda giren soğuk hava vücut iç sıcaklığını düşürebilir. Bu nedenle burun içindeki türbin kemikleri, nemli ve yoğun damarlarla kaplı solunum epiteli katmanıyla kaplıdır. Solunum epiteli vücuda giren soğuk havayı ısıtıp nemlendirerek vücuda girmeye hazır hale getirmektedir. Burundaki damarlar soğuk hava ile buluştuğunda soğusa da zengin damarlar sayesinde hızlıca tekrar ısıtılır. (Bhushan, 2009).

Çizelge 3.3. Kar leoparlarının yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kar Leoparı | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | -Yoğun kürk sayesinde yalıtım sağlanması.<br>-Kışın koyulaşan kürk rengi ile güneşten daha fazla ısınma sağlanması.<br>-Yazın kürk renginin açılması ile fazla ısınmanın önlenmesi. |

Mazzoleni tarafından kar leoparından esinlenerek tasarlanan yapının, kar leoparının da yaşam alanı olan dağlık bölgelere konumlandırılabilecek, belki de kar leoparlarını yakından gözlemlemek isteyecek araştırmacılar için bir barınak olması amaçlanmıştır. Tasarımın ana amaçlarından biri -30°C ve +14°C arasında değişen çevre sıcaklarına karşı termoregülasyon sağlamaktır. Proje statik katman, yalıtım katmanı, çerçevenin hareketlerine göre genişleyip daralabilen katman olmak üzere çok katmanlı bir kabuk tasarımına sahiptir. Pnömatik bir sistemle genişletilip daraltılan katman kubbeler şeklindedir ve iç gövdeye tutturulmuştur. Bu kubbeler genişlediğinde ucuna yerleştirilen su geçirmez koyu renklendirilmiş membran, daha fazla güneş ışığına maruz kalarak ısınma sağlamaktadır. Bu kubbelerin değişen iklim koşullarına göre açılıp kapatılmasıyla termoregülasyon sağlanmaktadır (Şekil 3.10). (Mazzoleni, 2013:121)

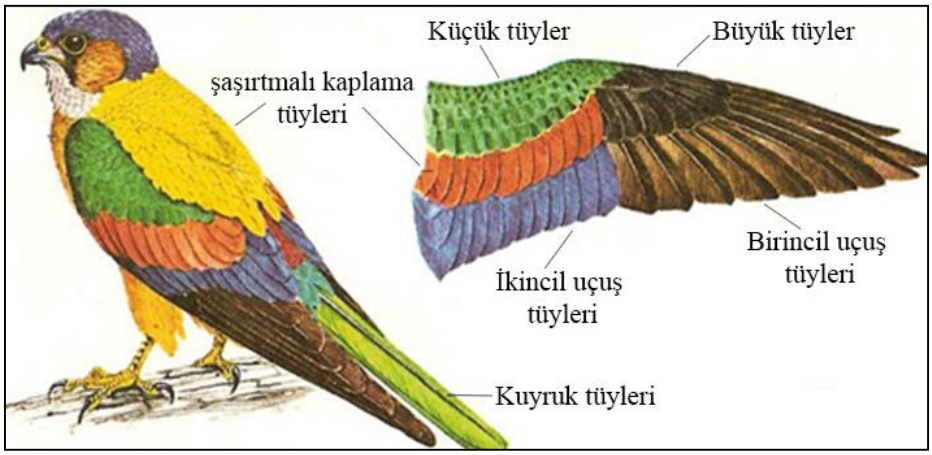



Şekil 3.10. Kar leoparınından esinlenilerek tasarlanan yapı kabuğu (Mazzoleni, 2013:121)

### 3.4. Kuşlar ve Kuşların Tüy ve Kanat Yapılarından ve Kan Akış Kontrolünden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu Tasarımları

Bazı kuşların gırtlak titretme hareketi buharlaşmayı dolayısıyla da soğumayı sağlamaktadır. Gırtlak titretilirken nemli ağız bölgesi üzerindeki hava akışı hızlandırılmakta, bu da buharlaşmayı dolayısıyla ısının dağıtılmasını sağlamaktadır. Kuşlar vücut ısıları yükseldiğinde bu hareketi yaparak soğuma sağlamaktadır. (Bartholomew, Lasiewski ve Crawford, 1968)

Ayrıca kuşların yaşadıkları bölgeye göre değişen tüy yapıları ve kanatlarını açıp kapatmaları da termoregülasyona yardımcı olmaktadır. Kanatlar açıldığında dış ortamla temas eden yüzey alanı büyür, kanatlar kapandığında ise küçülür. Kalatha bu prensiple tasarlanacak yüzey alanı kontrol edilip değiştirilen bir cephe sisteminin yapının termoregülasyonuna katkı sağlayacağını düşünmüştür. Kuşları kaplayan tüyler genellikle yılan derisindeki pullar gibi şaşırtmalı olarak konumlanarak gövdesini kaplayan tüyler, yalıtım sağlayan tüyler, aşağı tüyleri, uçuş ve kuyruk tüyleri olmak üzere beş farklı türden oluşmaktadır (Resim 3.4). Kuşların vücutlarında ve kanatlarında daha uzun tüyler bulunurken bacaklarında ise daha kısa tüyler bulunmaktadır. Çünkü dış ortamla teması yüksek olan kanatlar kısa tüylerle kaplanması halinde ısıyı çabukça dağıtacaktır. (Kalatha, 2016)

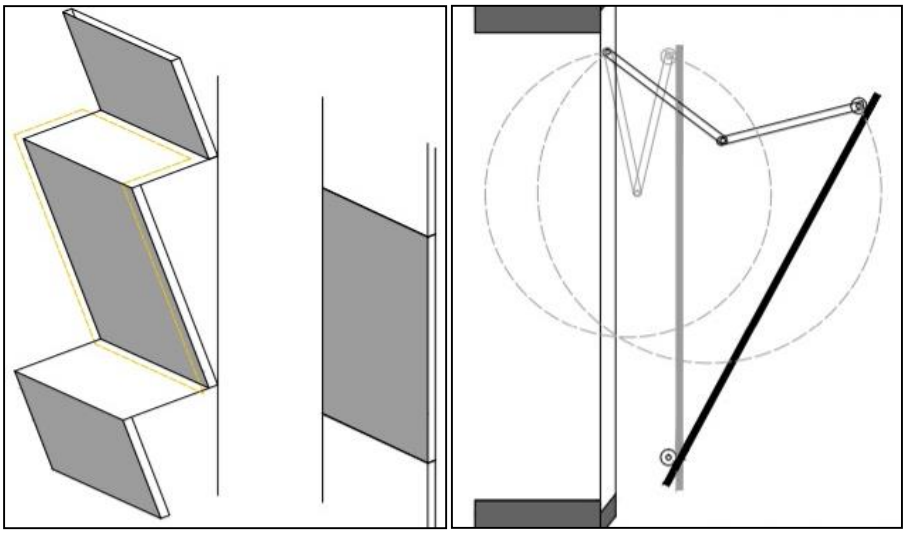



Resim 3.4. Kuşların tüy yapıları (www.daviddarling.info)

Çizelge 3.4. Kuşların yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

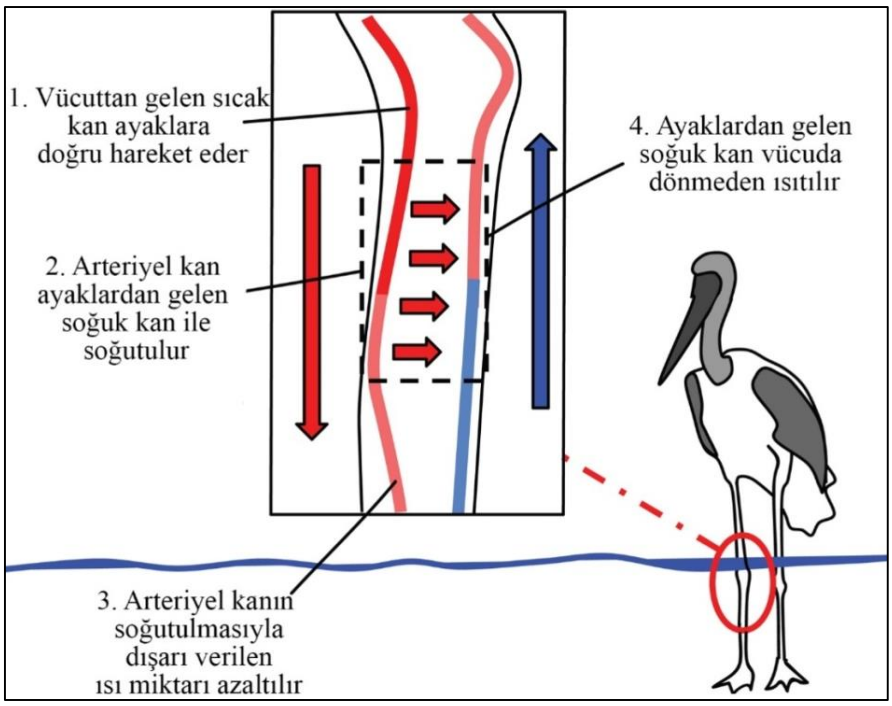
| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | Adaptasyon | Sistem | Yöntem | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|
| Kuşlar | Tropikal<br>Çöl<br>Kutuplar | Morfolojik<br>Fizyolojik<br>Davranışsal | Aktif<br>Pasif | Isı Korunumu<br>Isı Kazanımı<br>Isının Dağıtılması<br>Isınmanın Önlenmesi | -Gırtlak titretme hareketi ile havayı hızlandırıp soğutma sağlanması.<br>-Bölgesel olarak değişen tüy yoğunluğu ve uzunluğu ile yalıtım sağlanması.<br>-Kanatların açılıp büzüştürülmesiyle dış ortamla temas eden yüzey alanının kontrol edilmesi.<br>-Kan dolaşımının kontrolü ile vücut ısısını düzenleme. |

Kuş tüylerinden ilham alınarak tasarlanan cephede en önemli unsur malzeme seçimidir. Ayrıca cephenin yüzey alanının ayarlanabilir olması dışa ve içe katlanabilen elemanlarla sağlanabilir. Böylece düz görünen cephe mekanizmalar sayesinde ısı kaybını artıracak şekilde genişleyip daralabilir. Katlanma mekanizması ise kuşların kanatlarını açıp kapatma hareketinden ilham almaktadır (Şekil 3.11). Kuşlardaki tüy uzunluklarının iletimi artırma ve azaltma ihtiyacına göre vücudun çeşitli bölgelerinde değiştiği göz önünde bulundurularak, yapının dış cephesinde iletimin artırılması istenen bölgelerde daha iletken malzemeler kullanılmıştır. (Kalatha, 2016)



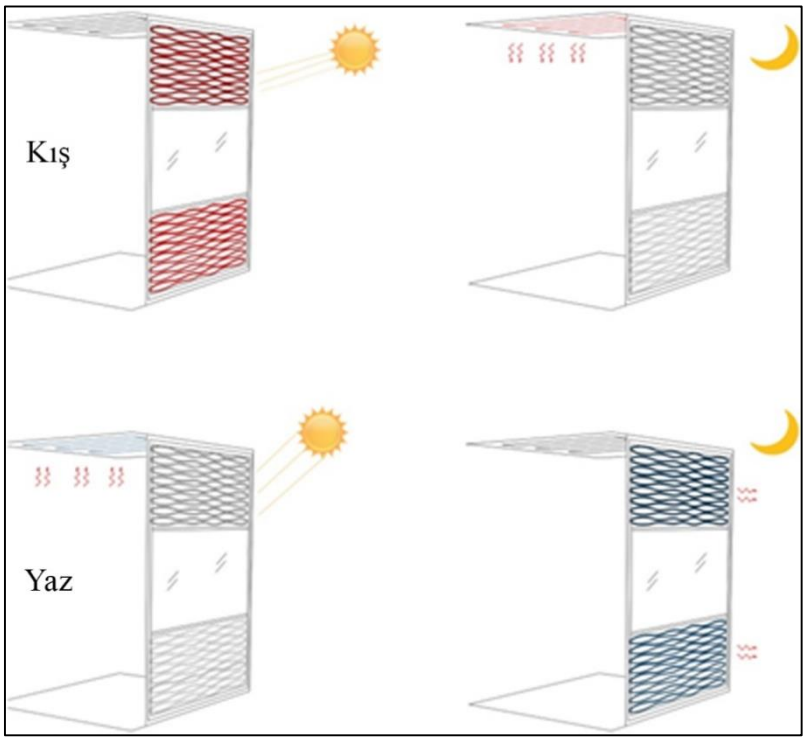
Şekil 3.11. Kuşlardan ilham alınarak tasarlanan yapı kabuğu (Kalatha, 2016)

Bir kuş türü olan pelikanların termoregülasyon sağlama stratejilerinden biri de gelişmiş damar sistemlerinde kan akışını kullanmalarıdır. Vücuttaki soğuk kan taşıyan damarlar kalpten gelen ılık kanı taşıyan damarları çevreler ve arter damardan gelen ısı kan damarlarına aktarılır. Ayrıca birçok tür kumda sırt üstü hareket ederek ısı kaybını artırırlar ve serinlerler (Şekil 3.12). (Johansen ve Bech, 1983)




Şekil 3.12. Kuşların termoregülasyon sağlamak için kan akış kontrolü şeması (www.khanacademy.org)

Kuşların bu özelliğinden faydalanarak Kalatha tarafından tasarlanan cephe sisteminde, cephede bulunan kanallar soğuk ortamda ısıtma, sıcak ortamda soğutma sağlamaktadır. Kanallardan geçirilen su, cephe boyunca dış çevre tarafından soğutulur ya da güneş ışınlarıyla ısıtılır. Kanallardaki su yapının ısınma ya da soğuma ihtiyacına göre içten dışa ya da dıştan içe yönlendirilir. Örneğin yaz mevsiminde su iç ortamda ısınır ve dışarı çıkarıldığında dışarı yayılır, kış mevsiminde ise güneş ışığı tarafından ısıtılan su iç ortama getirilerek ısınma sağlanır (Şekil 3.13). (Kalatha, 2016)




Şekil 3.13. Kuşların kan akışı ile termoregülasyon sağlamasından esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu (Kalatha, 2016)

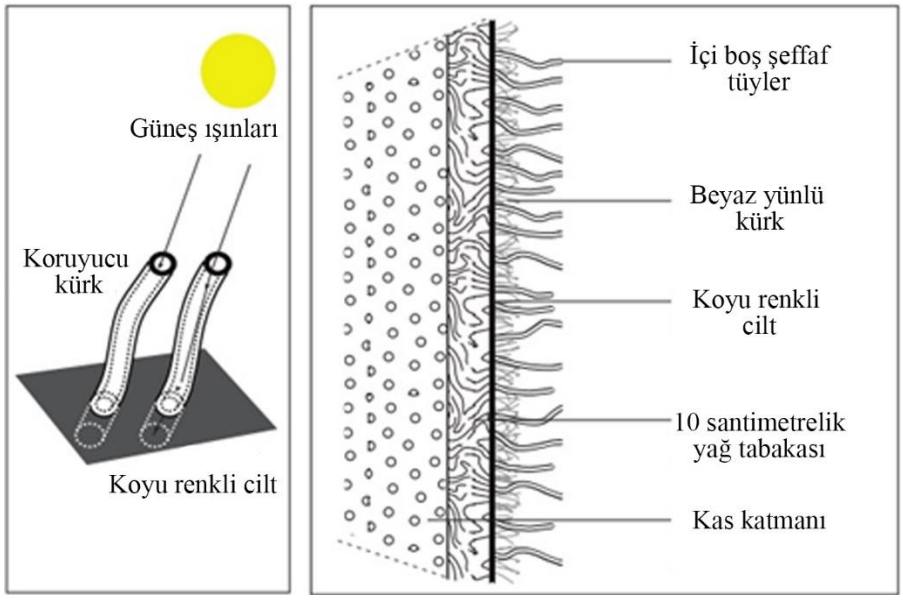
### 3.5. Kutup Ayısı ve Kutup Ayılarının Kürklerinden Esinlenerek Tasarlanan Proje

Avrupa, Asya, Kuzey Amerika'da Kuzey Kutup Dairesi'nde yaşayan kutup ayıları +10°C ve -23.5°C arasında değişen çevre sıcaklıklarına büyük vücut kütlesi (yüzey alanının azaltılması), kalın kürk ve yağ tabakası sayesinde uyum sağlamaktadır (Resim 3.5). Vücudunu kaplayan yoğun kürk tabakası sayesinde ısı kaybı yalnızca göz ve ağız çevresinde gerçekleşmektedir. Kış mevsiminde kış uykusuna yatarak metabolik faliyetlerin minimuma indirilmesi de ısı kaybını engellemek için geliştirdikleri yöntemlerden biridir. Ayrıca endoterm bir canlı olan kutup ayısı metabolik faliyetler sayesinde de ısı üretir. (Heschong, 1979:26-27)



Resim 3.5. Kutup ayısı (ecobubamarica.wordpress.com)

Kutup ayılarını çevre koşullarına karşı birincil koruma sistemi cildidir. Cildinde bulunan kürk cilt yüzeyindeki ılık havayı hapseden yoğun katman ve kamuflaj sağlayan uzun tüylerin bulunduğu katman olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Yoğun katman beyaz renkli dış katman ise şeffaf renkli ve içi boştur. Cilt yüzeyi ise güneş enerjisinden daha fazla faydalanmak için koyu renklidir (Şekil 3.14). (Feldhamer, Thompson ve Chapman, 2003; Stegmaier, Linke ve Planck, 2009)

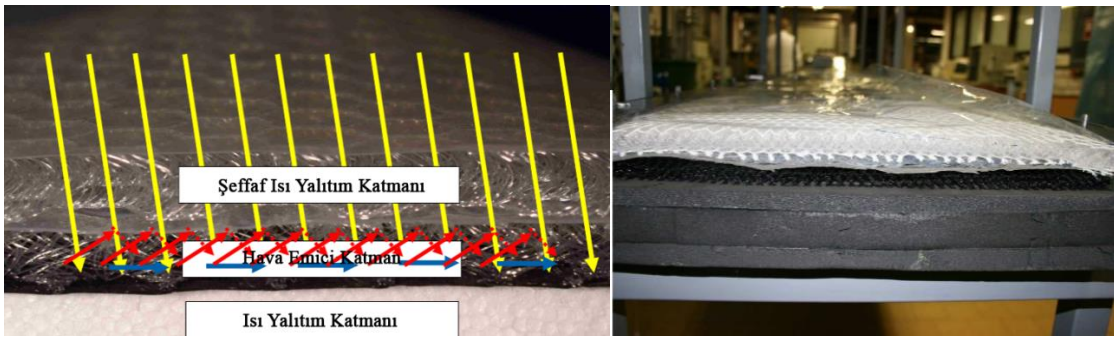



Şekil 3.14. Kutup ayısı cilt yapısı (ecobubamarica.wordpress.com)

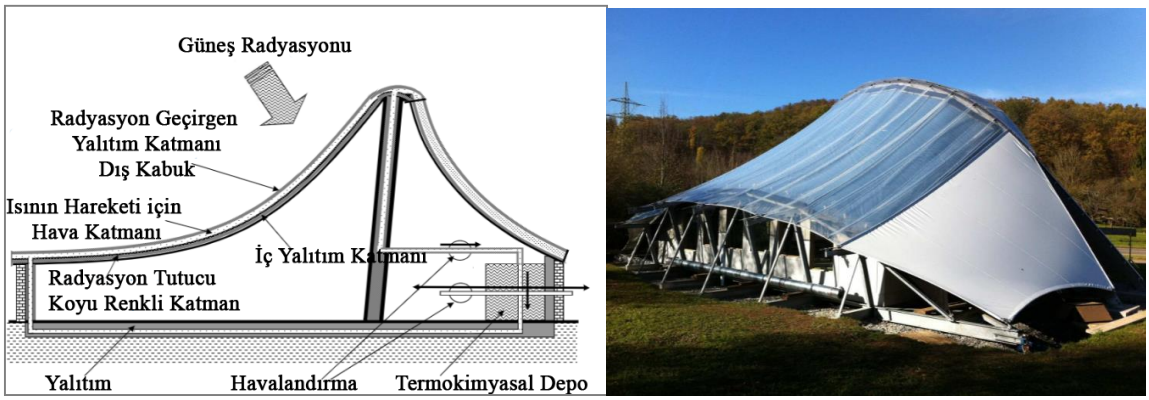
Çizelge 3.5. Kutup ayılarının yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | |
| Kutup Ayısı | | | | | | | | | | | | | -Kalın deri tabakası ve iki farklı yapıdaki tüy tabakası ile etkin yalıtım sayesinde ısı korunumu sağlanması.<br><br>-Kış uykusu sayesinde vücut sıcaklığını düşürerek dışarı ısı salınmasının engellenmesi. |

Kutup ayılarının zorlu çevresel şartlarda hayatta kalmak için geliştirdiği stratejiler Denkendorf Tekstil Teknolojisi ve Süreç Mühendisliği Enstitüsü'nün (ITV) geliştirdiği memran tasarımında ısıl düzenleme sağlamak için ilham kaynağı olmuştur. Geliştirilen membran ile inşa edilen Kutup Ayısı Pavyonu *(Polar Bear Pavilion)* ayıların termal özelliklerinden ve yalıtım kapasitesinden esinlenerek tasarlanmış, ayıların radyasyonu emip termal enerjiyi depolayan siyah cilt tabakası tasarıma yön vermiştir. Kutup ayılarının içi boş şeffaf tüylerin içindeki ılık havayı hapsederek yalıtım sağlaması projenin şeffaf katmanını ve bu katmanın altındaki hava tutan katmana ilham olmuştur. Bu katmanın altındaki koyu renkli katman ise radyasyonun emilmesini sağlamakta, şeffaf katman ve hava tamponu sayesinde kazanılan ısının korunumu sağlanmaktadır. Havanın bulunduğu katmanda ısınan hava Şekil 3.16'da gösterildiği gibi termokimyasal enerji deposuna ulaşarak burada depolanmaktadır. (Stegmaier, Von Arnim, Linke, Milwich, Sarsour ve Scherrieble, 2008; Engelhardt ve Sarsour, 2015).




Şekil 3.15. Kutup ayısının kürkünden esinlenerek tasarlanan membran (docplayer.net)



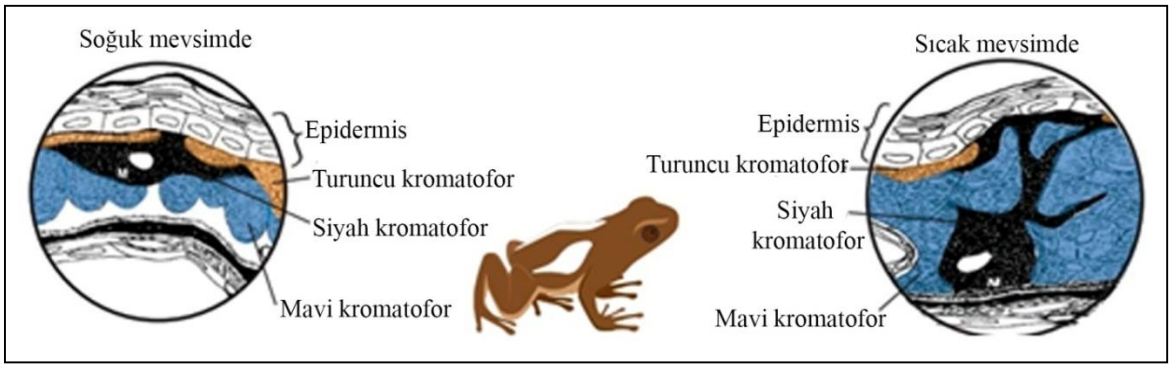

Şekil 3.16. Kutup Ayısı Pavyonu (docplayer.net)

## 3.6. Kamış Kurbağası ve Herkül Böceği ve Geliştirdiği Termoregülsyon Yöntemlerinden Esinlenerek Tasarlanan Bir Ofis Binası Cephesi Tasarımı

Hava sıcaklıklarının 36-38°C'ye ulaştığı çok sıcak ve kurak bir iklimde yaşayan kamış kurbağaları, aşırı ısınma söz konusu olduğunda vücutlarını şişirerek metabolik hızlarını azaltır ve cilt renkleri açıldığı için gün ışığından daha fazla ısınma önlenir. Aşırı ısınma sırasında kurbağa azotlu atıkları vücudunda tutarak dışarı vermez ve bu atıklar çeşitli tepkimelerle pürin kristallerine dönüşür ve cilt yüzeyinde bir katman oluşturur. Bu katman sıcak ve kurak dönemlerde cildi parlak hale getirip gün ışığının yansıtılmasını sağlamaktadır. (Kobelt ve Linsenmair, 1986)

Çizelge 3.6. Kamış kurbağalarının yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

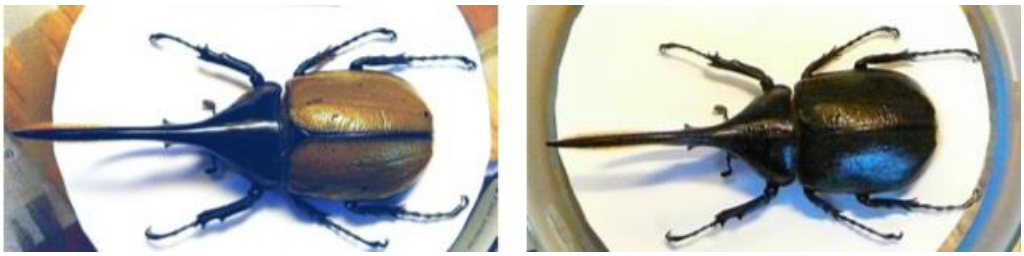
| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kamış Kurbağası | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | -Sıcak havalarda vücudun şişirilerek açık renk alması ve üretilen pürin kristallesi ile cildin parlaklaşıp, güneş ışınlarını yansıtarak ısınmanın önlenmesi.<br>-Diğer zamanlarda koyu renkli cilt ile ısı kazanımı. |



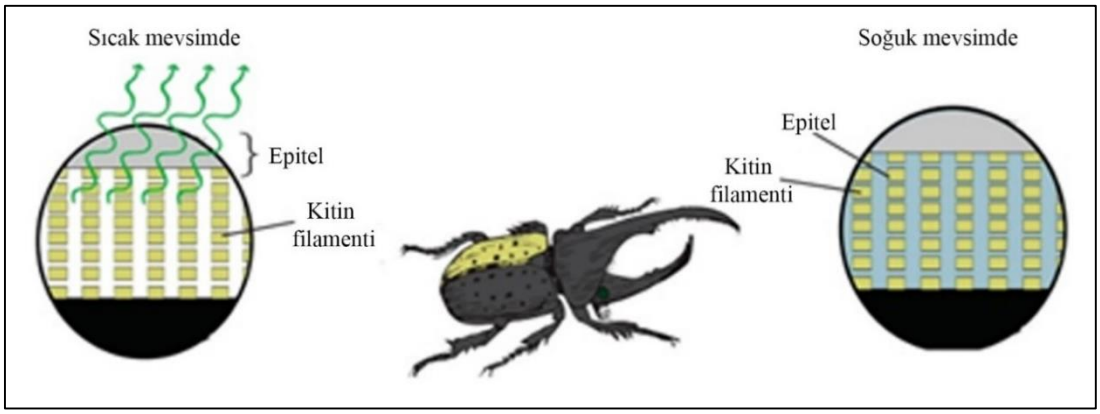

Şekil 3.17. Kamış kurbağasının renginin mevsimlere göre değişimi (Fecheyr-Lippens ve Bhiwapurkar, 2017)

Şekil 3.17'de gösterildiği gibi sıcak ve kurak mevsimde mavi kromatofor artmakta turuncu ve siyah kromatofor azalmaktadır. Soğuk ve nemli mevsimde ise ısı emilimini artırmaya yönelik sarımsı ve siyahımsı renkler artmaktadır. (Kobelt ve Linsenmair, 1986)

Herkül böcekleri (Resim 3.6) ise yağmur ormanlarında yaşayan en büyük boyutlu böcek türlerinden biridir. Hem kamuflaj hem de termoregülasyon sağlamak için renklerini dakikalar içinde siyah ve yeşil renge dönüştürebilmektedir. Karanlık, soğuk ve nemli ortamda siyahlaşan renk, güneşli ve sıcak bir günde zeytin yeşili renge dönmekte ve bu dönüşüm için enerji harcamamaktadırlar. (Rassart, Colomer, Tabarrant ve Vigneron, 2008)



Resim 3.6. Herkül böceğinin renk değişimi (Rassart ve diğerleri, 2008)



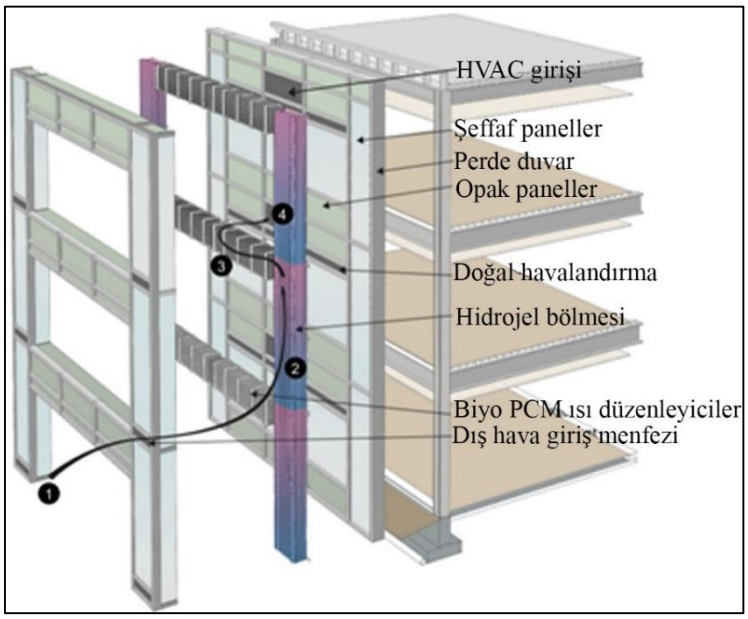

Şekil 3.18. Herkül böceğinin renginin mevsimlere göre değişimi (Fecheyr-Lippens ve Bhiwapurkar, 2017)

Çizelge 3.7. Herkül böceklerinin yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | |
| Herkül Böceği | | | | | | | | | | | | | -Sıcakta vücut renginin açık zeytin yeşili renk alarak güneş ışınlarını yansıtması, soğukta ise rengin siyahi bir renk alarak ısı emiliminin artırılması. |

Kamış kurbağası ve herkül böceğinin termoregülasyon stratejileri benimsenerek yapılan çalışmada, bir ofis binası referans alınmış, tasarım parametreleri değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Yapı iç sıcaklığı 21.1°C ile 23.8°C arasında tutulmak amaçlanmıştır ve güneş ışığının yapıyı cephelerden ısıtmasına izin verilmiştir. Cephelerde kullanılan malzemelerin termal özellikleri ısı akışlarını belirlemektedir. Ofis binasının özellikle ara katı üzerinde çalışılması yalnızca cepheler üzerine odaklanmaya olanak sağlamıştır. Kamış kurbağasının vücut sıcaklığı arttığında cilt yüzeyini parlaklaştırması, güneş ışınını yansıtacak bir malzeme kullanılması gerektiğini göstermiştir. Yapı içindeki fazla ısı oluşumunu engellemek amacıyla cepheye faz değişim malzemesi (PCM) yerleştirilmiştir. Faz değişim malzemeleri belirli sıcaklıkta erir ve katılaşır, bu da malzemenin enerji depolayıp serbest bırakmasını sağlamaktadır. Sıcak aylarda herkül böceğindeki termoregülasyon prensibi olan, buharlaşarak nemlendirmeyi dolayısıyla serinlemeyi sağlamak amacıyla, cepheye süper emici polimerler (hidrojeller) yerleştirilmiştir. Araştırmalar ve denemeler sonunda oluşturulan tasarım, sıcak ve nemli bir bölgede iklimlendirme için enerji tüketimini en aza

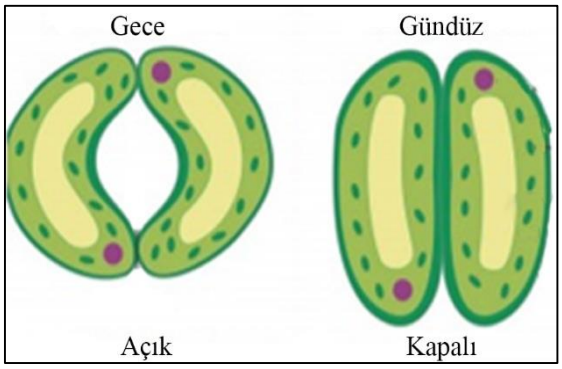
indirmiştir. Hem kamış kurbağası hem de herkül böceğinin ısıl düzenleme için geliştirdikleri adaptasyonlardan faydalanılmış ve iklimlendirme için kullanılan enerjide %66 azalma sağlanmıştır. (Fecheyr-Lippens ve Bhiwapurkar, 2017)




Şekil 3.19. Kamış kurbağası ve herkül böceğinden esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu (Fecheyr-Lippens ve Bhiwapurkar, 2017)

### 3.7. Stoma ve Stoma Hareketlerinden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu Tasarımı

İletim ve radyasyona dayalı ısıl düzenleme, düşük emisyonlu malzemeden olan stomaların hareketleri ile düzenlenmektedir (Şekil 3.20). Stomalar bitkilerin gaz alışverişini yapmayı sağlayan gözeneklerdir ve açık olduklarında ısı kaybı artmakta, kapandıklarında ise radyasyonla ısı kaybı azalmaktadır. Bitkideki kimyasal denge (osmoz) stomaların açılıp kapanmasını kontrol etmektedir. Osmoz su moleküllerinin yoğun olan bölgeden yoğun olmayan bölgeye doğru hareket etmesidir. (Koch, Bhushan ve Barthlott, 2008) aktaran (Bhushan, 2009)

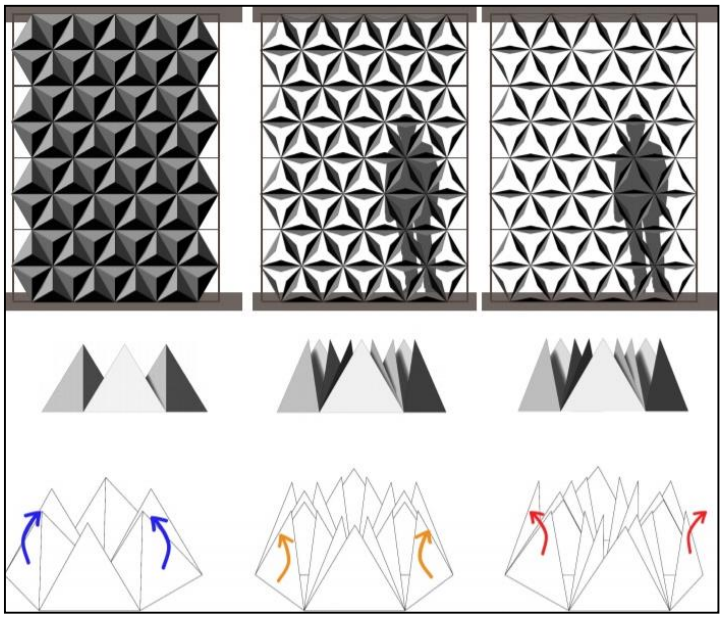



Şekil 3.20. Stomaların açılma ve kapanma şeması (www.quora.com)

Çizelge 3.8. Stomaların bulunduğu iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

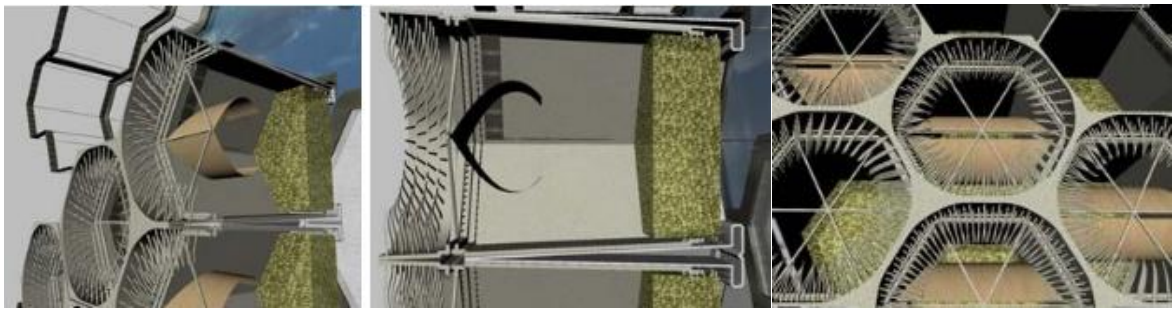
| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stoma | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | -Osmatik basınç sayesinde gündüz stomaların kapalı tutularak su kaybı ve ısınmanın önlenmesi.<br>-Geceleri stomaların açılarak hava girişine izin verilmesi. |

Kalatha tarafından stomaların ısıl düzenleme stratejisinden ilham alınarak tasarlanan cephe, dış uyaranlarla girdiği kimyasal tepkimeler sonucu açılıp kapanan paneller sayesinde iletim ve radyasyonla ısı kazanım ve kayıplarını kontrol edebilmektedir (Şekil 3.21). Tıpkı stomalardaki gibi paneller kapandığında ısı iletimi azalmakta, paneller açıldığında ise ısı iletimi artmakta ve ısı kaybı olmaktadır. İç ve dış sıcaklık dengesi bozulduğunda yapı kabuğundaki paneller otomatik olarak açılmakta ya da kapanmakta bu hareket aynı zamanda havalandırma da sağlamaktadır. Tasarımda malzeme seçiminde neme, ısıya ve elektriğe duyarlı olmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle farklı genleşme katsayısına sahip iki metalin laminasyonu kullanılmıştır. Böylece ısıma ya da soğuma durumunda bükülme meydana gelmektedir. (Kalatha, 2016)



Şekil 3.21. Stomalardan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğunun ısındıkça açılmasını gösteren modelleme (Kalatha, 2016)

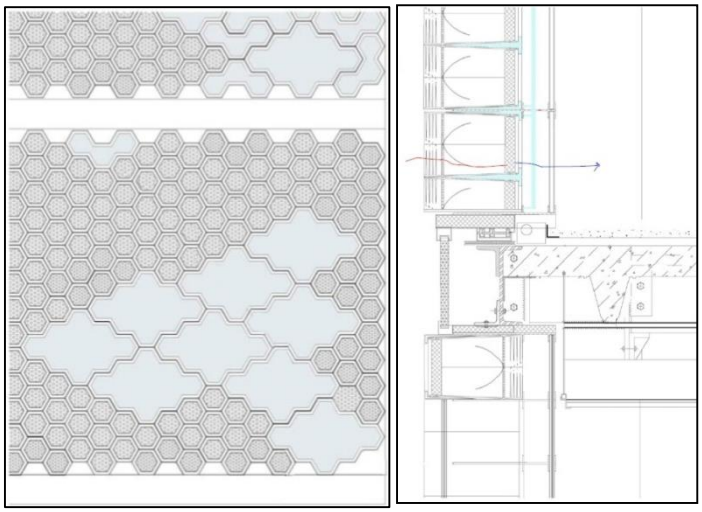
Badarnah, Farchi, Knaack (2010) tarafından stomadan ilham alınarak tasarlanan yapı kabuğu ise çam kozalakları, kirpikler ve insan derisi de taklit edilmiştir (Resim 3.7). Gözenekli bir malzemeden oluşan stoma tuğlası, yapı kabuğundan içeri giren havanın filtrelenmesini sağlayan kıllı katman, açma kapama kontrolünü yapan ve buharlaşma sağlamak için nem tutan süngerimsi iç katman olmak üzere dört katmandan oluşmaktadır. (Badarnah ve diğerleri, 2010; Farchi Nachman, 2009)



Resim 3.7. Farchi Nachman (2009) tarafından stomalardan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu

Tasarlanan cephe sisteminde en dıştaki kaplama nem ile deforme olarak içeri hava girmesi sağlanmaktadır. Dolayısıyla sıcak-nemli havalarda dış ortamdaki hava doğrudan içeri girerken, sıcak-kuru havalarda sulama sistemi ile kaplama deforme edilerek hava kabuk içine girer, sonuç olarak iki seçenekte de içeri giren hava nemlidir. Soğuk-kuru havalarda

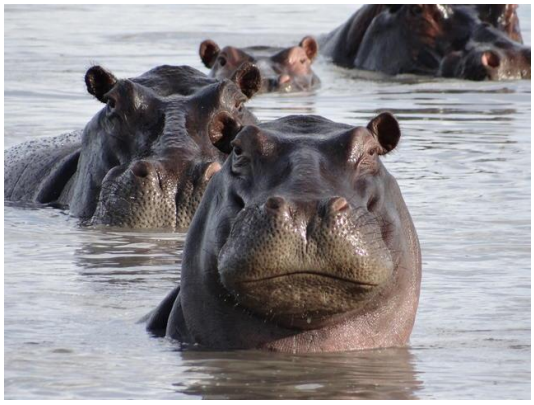
ise nem tutan süngerimsi katman sayesinde yalıtım sağlanmaktadır (Şekil 3.22). (Badarnah ve diğerleri, 2010)



Şekil 3.22. Farchi Nachman (2009) tarafından stomalardan esinlenerek tasarlanan cephe ve yapı kabuğu kesiti

## 3.8. Su Aygırı ve Su Aygırının Cildinden Esinlenerek Tasarlanan Çok Katmanlı Yapı Kabuğu Tasarımı

Su aygırılar sıcaklığı +40°C'ye, nemi %50-80'e ulaşan Afrika'nın otlak bölgelerinde gündüzleri genellikle suda, geceleri ise otlak bölgelerde yaşamaktadır (Resim 3.8). Su aygırılar, kalın derileri sayesinde güneş yanıklarından korunmakta ve suyu emerek cilt yüzeyini nemli tutmaktadır. Terleme yeteneği olmayan su aygırılar deriden UV ışınlarına karşı koruyan kırmızı bir sıvı salmaktadır. Fazla ısınmayı engellemek için günün sıcak saatlerinde vücudunu su altında tutmaktadır. Su seviyesinin azaldığı sıcak ve kurak dönemde ciltte bulunan termal pencereler sayesinde dışarı ısı salarak ısıl düzenleme sağlamaktadır. (Wright, 1987)



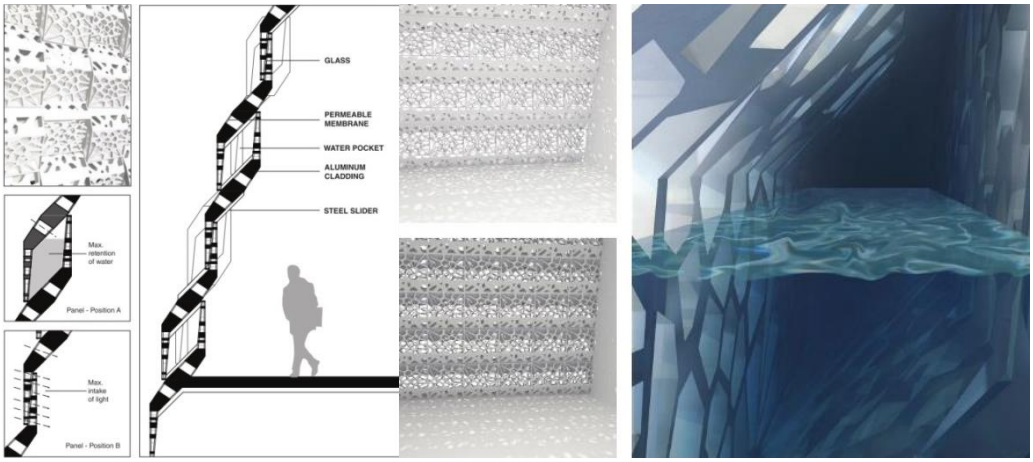
Resim 3.8. Su aygırı (www.worldwildlife.org)

Çizelge 3.9. Stomaların bulunduğu iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Su Aygırı | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | -Kalın cilt tabakası sayesinde yalıtım sağlanması ve deri içine su emilerek tutulması.<br>-Vücuttan salgılanan sıvı ile serinleme ve UV ışınlarından korunma sağlanması.<br>-Gözenekli cilt ile havalandırma sağlanması. |

Sıcak iklim bölgesinde konforlu bir iç ortam sağlamak için su aygırından ilham alınarak bir yapı kabuğu tasarlanmıştır. Yapı kabuğu sürgülü panellerle çift cidar haline getirilebilir. Yapı kabuğu paneller kaydırılarak su aygırının bölgesel olarak kalınlaşıp incelen derisi gibi inceltilip kalınlaştırılmakta, gün ışığının içeri geçişine izin vererek ya da engel olarak termoregülasyon sağlamaktadır. Su aygırının salgıladığı kırmızı sıvıdan esinlenilerek sıcak aylarda paneller arasında boşluk oluşturulup içi su doldurulur vesu yapı kabuğu yüzeyine akıtılarak yapının soğutulması sağlanır. Yılın soğuk zamanlarında ise paneller üst üste bindirilerek cephenin daha fazla gün ışığı alarak ısınması sağlanmaktadır. Yapı kabuğunun tasarım hedefi hem kış hem de yaz ayları için kullanıcılarına konforlu bir iç ortam sağlamaktır. Zeminde bulunan plakalara vuran ışık miktarıyla sensörler harekete geçmekte ve panelleri uygun pozisyona sokmaktadır (Şekil 3.23). Çok katmanlı cephe, hem işlevsel hem de estetiktir. Yapı kabuğunun gözenekli biçimi, değişen çevre koşullarına karşı aktif

olması yapının ısıl düzenleme sağlamasında önemli rol oynamaktadır. (Mazzoleni, 2010; 2013:202-203).




Şekil 3.23. Su aygırılardan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu (Mazzoleni, 2010; 2013:202-204)

### 3.9. Boynuzlu Çıngıraklı Yılan ve Yılanın Isınmayı Engelleme Yönteminden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu Tasarımı

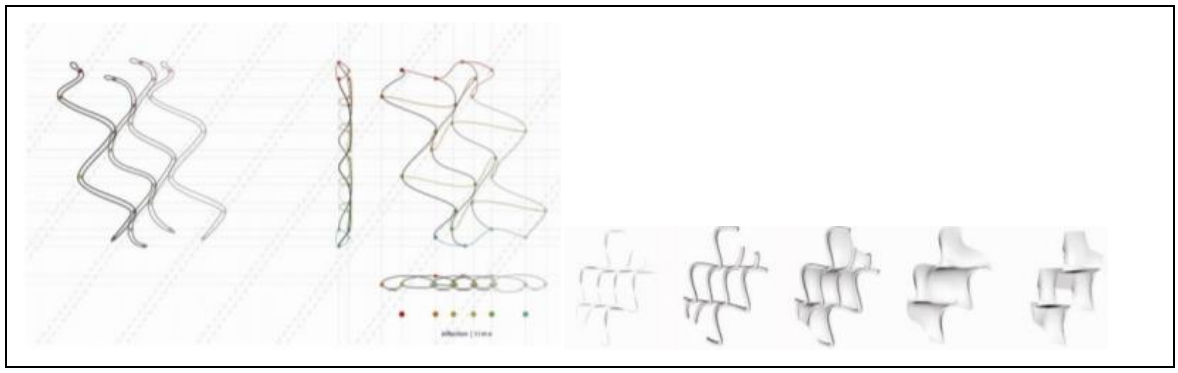
Bir grup öğrenci yılanların hareketi ile diyagramlar çizmişlerdir. Yılanın yüzey üzerinde ilerlerken için vücudunu kaldırırken üç noktada zemine sabitlediği böylece sıcak zeminle temas eden yüzey alanını azalttığını gözlemlemişlerdir. Hareket sırasında gösterilen esneklik ekibi yılanın kaslarını incelemeye yöneltmiş ve Şekil 3.24'teki kas diyagramları çıkarılmıştır. Çıkarılan hareket ve kas diyagramları, yılanın hareketlerinden görsel bir veri almalarını sağlamıştır. Bu denli esnek bir organizmanın hareketlerine olanak sağlayan iskelet yapısı da ekip için ilham kaynağı olmuştur. (Clerc, 2011)



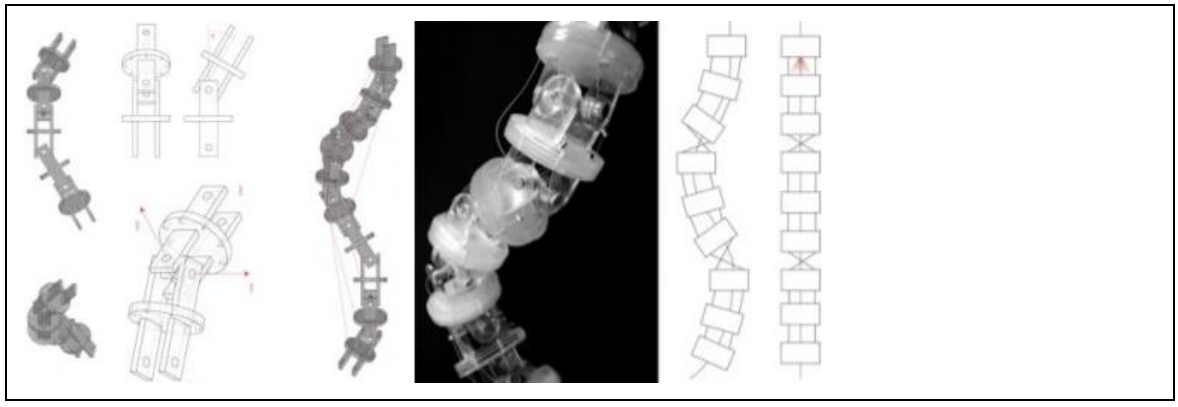
Resim 3.9. Boynuzlu çıngıraklı yılan (www.nationalgeographic.com)

Çizelge 3.10. Boynuzlu çıngıraklı yılanların yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Yöntem | | | | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Çıngıraklı Yılan | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | -Sıcak zeminde vücudunda tamamı yerine üç noktadan temas ederek hareket sağlaması, böylece iletimle ısınmanın azaltılması. |



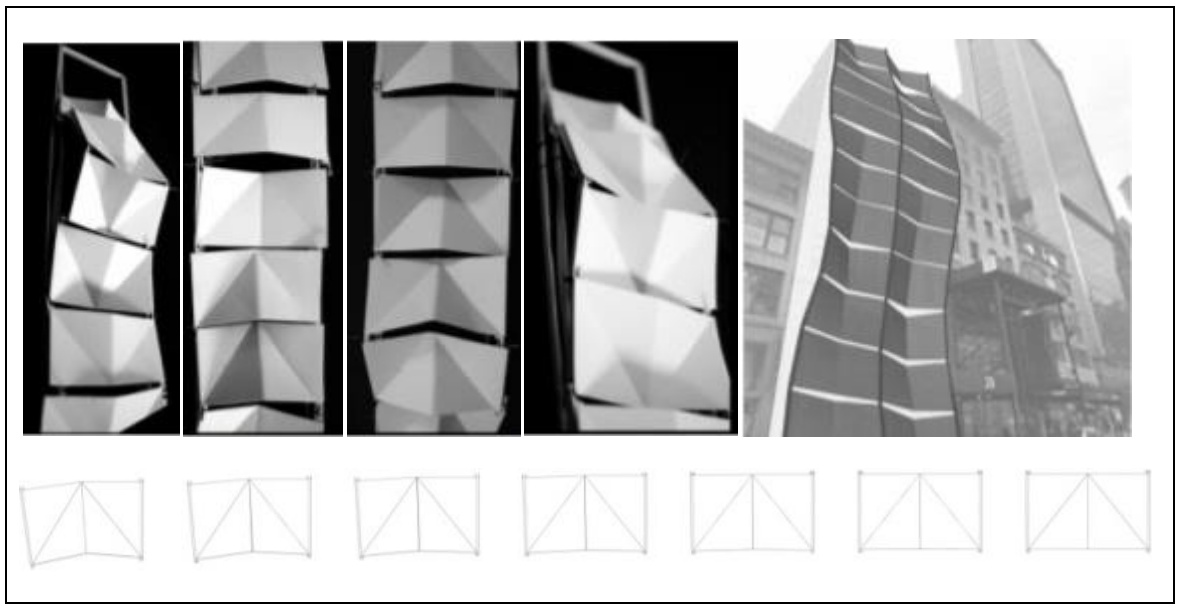
Şekil 3.24. Yılanların hareketlerinin izlenmesiyle ortaya çıkan diyagramlar (Clerc, 2011)



Şekil 3.25. Yılan hareketlerinden çıkarılan diyagramların modele aktarılması (Clerc, 2011)

Yapılan gözlemler sonucu tasarlanan cephe öncelikle bir tel ile modellenmiştir. Daha sonra panellerle yapıya dönüşümlü olarak üç noktada temas eden, çerçeveler arasındaki eğriliklerin değişken olduğu kinetik bir cephe tasarlanmıştır. Cephe elemanlarının yapı ile teması azaltılarak ısı transferinin de azaltılması sağlanmıştır. Panellerin açılır kapanır olması güneş kontrolünü ve havalandırma sağlamaya yardımcı olmuştur. Cephenin değişen ısı seviyesine tepki vermesi için sensörler kullanılmış, değişime olanak sağlaması için

paneller ayarlanabilir mıknatıs tutucularla cepheye üç noktadan tutturulmuştur. Sonuç olarak ısı iletimini en aza indirmek için vücudunu üç noktada sıcak zemine temas ettiren çıngıraklı yılan, cephe tasarımına ilham olmuş ve aktif, ritmik hareketler yapan ve termoregülasyon sağlayan bir cephe oluşmasına olanak sağlamıştır (Şekil 3.26). (Clerc, 2011)



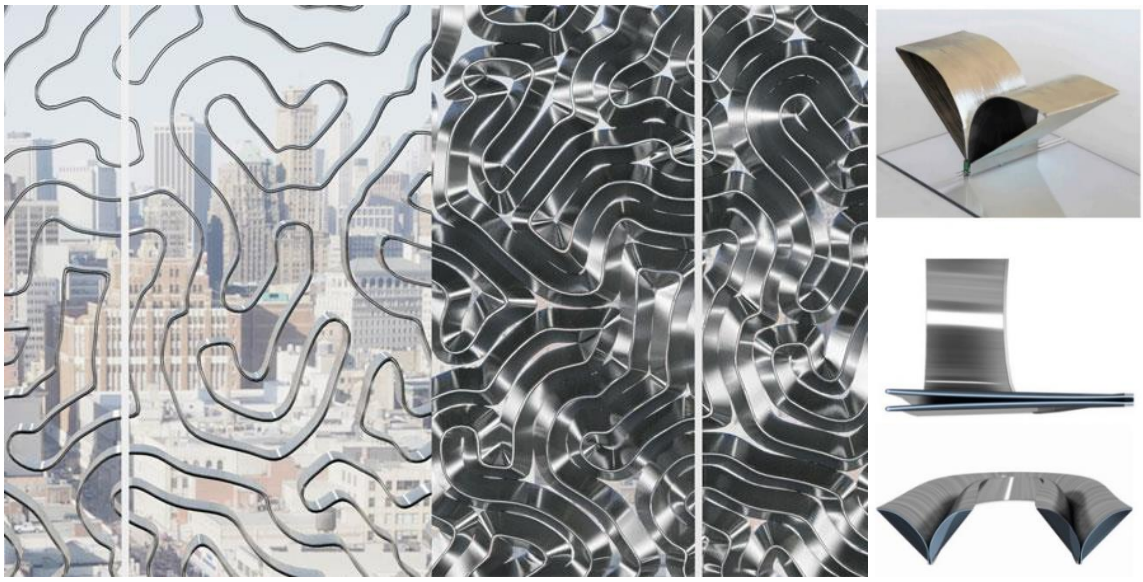
Şekil 3.26. Boynuzlu çıngıraklı yılandan esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu (Clerc, 2011)

### 3.10. Kas ve Homeostatik Sistem ve Kasların Kasılma Gevşeme Hareketinden Esinlenerek Tasarlanan Homeostatik Cephe *(Homeostatic Building Facade)* Projesi

Canlılarda bulunan homeostatik sistem, her hangi bir uyarana karşı vücut tepki verdiğinde solunumda, sıcaklıkta, kalp atışındameydana gelen artış veya azalışı denge noktasına ulaştırmaktadır. Bu sistemden ilham alınarak tasarlanan çift cidarlı cephe, ekolojik koşullara tepki verip yapı içi dengeyi kurmayı amaçlamaktadır (www.conservationmagazine.org).

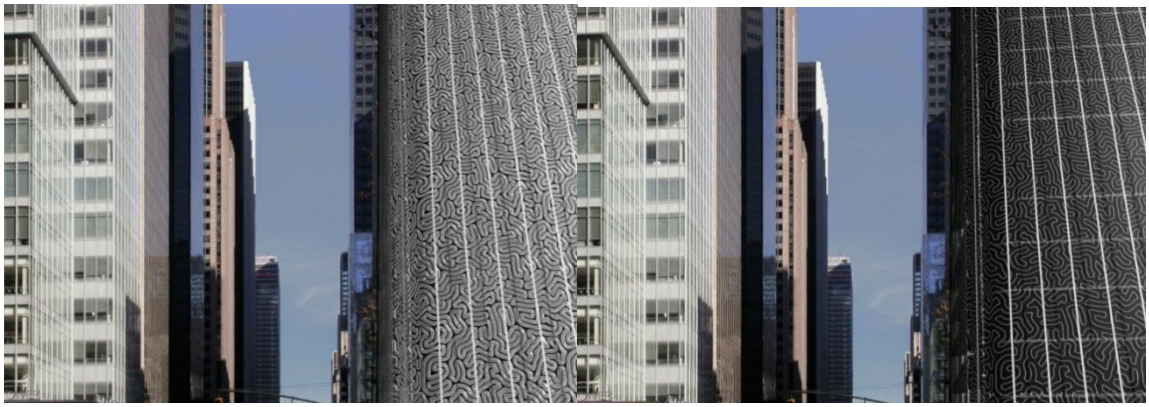
Çizelge 3.11. Homeostastatik sisteme sahip olan canlıların termoregülasyon yöntemi ve ısıl düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler

| Biyolojik Fenomen | Çevresel Bağlam (İklim) | Adaptasyon | Sistem | Yöntem | Diğer Özellikler |
|---|---|---|---|---|---|
| Kas (Homeostasis) | Tropikal<br>Çöl<br>Kutuplar | Morfolojik<br>Fizyolojik<br>Davranışsal | Aktif<br>Pasif | Isı Korunumu<br>Isı Kazanımı<br>Isının Dağıtılması<br>Isınmanın Önlenmesi | -Uyarana karşı tepki verdikten sonra kasılıp gevşeyerek yükselen ya da düşen değerlerin normalize edilmesi. |



Şekil 3.27. Kasların homeostatik sisteminden esinlenerek tasarlanan yapı kabuğu (internationalfacade.com)

Decker Yeadon tasarlanan cephe çift cidarlıdır ve yapı içi sıcaklığına duyarlı olarak cephedeki kauçuk benzeri bir polimerden labirent şeklindeki şeritler genişleyip daralmaktadır. Şeritler üzerindeki gümüş kaplama, kaslardaki elektrik iletimi gibi elektrik sinyalinin dağıtılarak kas gibi kasılıp serbest bırakılmasını sağlamaktadır. Yapı cephesi yoğun güneş ışığına maruz kaldığında şeritler genişleyip yapı içine gölgeleme sağlamaktadır. Yapı içi sıcaklık düştüğünde ise büzüşüp içeri daha fazla güneş ışığı girmesi sağlanmaktadır. (Kalatha, 2016)



Resim 3.10. Kaslardan ilham alarak tasarlanan yapı kabuğunun termoregülasyon sağlamak için kasılıp gevşemesi (Kalatha, 2016)

Yapı cephesinde kullanılan akıllı polimorfik malzeme, güneş kontrolü ile ısıl düzenleme sağlarken aynı zamanda güneş ışığından elektrik üretebilmektedir. Prototip olan Homeostatik Cephe, biyomimikrinin ve disiplinler arası çalışmanın geleneksel sistemlere kıyasla hem daha şeffaf tasarımlar yapıp hem de enerji tüketimini azalttığını ve termoregülasyon sağladığını göstermiştir. (Decker, 2013)

Bu bölümde doğada farklı ısıl şartlara ve değişken çevre koşullarına uyum sağlayan canlılar incelenmiştir. Canlıların yaşadığı sert çevresel şartlara geliştirdikleri stratejilerin yaşadıkları bölgelere göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Geliştirilen adaptasyonlar fizyolojik, morfolojik ve veya davranışsal olabilmektedir. İncelenen canlıların doğaya uyum sağlama sürecinde hayatta kalmak için geliştirdiği çözümlerin mimari tasarımda benzer sorunlar için kullanılıp kullanılmadığı araştırılarak, tespit edilen mimari örneklerin cephe kesitleri incelenmiştir. Doğadaki termoregülasyon çözümlerinin mimari tasarımı nasıl etkilediği ve bu çözümlerin mimari tasarıma sağladığı katkılar uygulanmış ve deneysel tasarımlar üzerinden araştırılmıştır. Elde edilen veriler canlıların yaşadığı iklim bölgesine göre ısı transfer yöntemlerinin kontrolü ile, farklı termoregülasyon yöntemleri geliştirdiği ve bu yöntemlerin mimari tasarımda kullanılmasının iklimlendirme için kullanılan enerjiyi önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

# 4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tezin bu bölümünde, alan çalışması için dördüncü bölümde incelenen canlıların özellikleri literatür taramasında elde edilen veriler doğrultusunda analiz edilip değerlendirilmiştir. Seçilen canlılar öncelikle yaşadıkları iklim bölgesine, termoregülasyon sağlamak için kullandıkları ısı transfer yöntemlerine, termoregülasyon sağlamak için hangi yöntemleri geliştirdiklerine ve adaptasyon şekillerine göre karşılaştırılmıştır.

## 4.1. İklim Bölgesine Göre Değerlendirme

Alan çalışmasında belirlenen canlıların yaşadıkları iklim bölgeleri sıcaklığı +50°C'ye ulaşan çöllerden, -30°C'ye ulaşan kutuplara kadar değişiklik göstermektedir. Aşırı sıcak ve kurak bölgelerde yaşayan canlılar da aşırı soğuk bölgeler de yaşayan canlılar da geliştirdikleri stratejilerle bu uç koşullara uyum sağlamışlardır.

Çizelge 4.1. İncelenen canlıların yaşadıkları iklimler

| Biyolojik Fenomen | | Yan Lekeli Kertenkele | Termitler | Kar Leoparı | Kuşlar | Kutup Ayısı | Kamış Kurbağası | Herkül Böceği | Stoma | Su Aygırı | Çıngıraklı Yılan | Kas (Homeostasis) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İklim | Çöl | X | | | | | X | X | | | X | |
| | Kutup | | | X | | X | | | | | | |
| | Tropikal | | X | | X | | | | X | X | | X |

## 4.2. Isı Transfer Yöntemlerine Göre Değerlendirme

Isı bir enerjidir ve enerji yüksek olandan düşük olana doğru hareket etmektedir. Isıl düzenleme mekanizması ile bu transfere izin vermek ya da engellemek üzerine kuruludur. Bu tamamen fiziksel bir olaydır ve canlı ya da cansız tüm varlıklarda bu şekilde çalışmaktadır. İncelenen canlıların ısıl düzenleme sağlarken kullandıkları ısı transfer yöntemlerine bakıldığında, sıcak bölgelerdeki canlıların ısının dağıtılması ve ısınmanın önlenmesine yönelik, soğuk bölgelerdeki canlıların ısı korunumu ve ısı kazanımına yönelik stratejiler geliştirdiği görülmüştür. Mevsimsel olarak sıcaklığın değiştiği ve sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerde yaşayan canlıların ise ihtiyaca göre ısı kazanımı ve

ısı korunumu ya da ısının dağıtılması ve ısınmanın önlenmesi yöntemlerini kullandıkları görülmüştür.

Çizelge 4.2. İncelenen canlıların kullandıkları ısı transfer yöntemleri

| Biyolojik Fenomen | | Yan Lekeli Kertenkele | Termitler | Kar Leoparı | Kuşlar | Kutup Ayısı | Kamış Kurbağası | Herkül Böceği | Stoma | Su Aygırı | Çıngıraklı Yılan | Kas (Homeostasis) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yöntemler | Isı Korunumu | | X | X | X | X | | | X | | | X |
| | Isı Kazanımı | | | | | | X | X | | | | X |
| | Isının Dağıtılması | X | X | | X | | | | X | X | | X |
| | Isınmanın Önlenmesi | X | X | X | | | X | X | | X | X | X |

## 4.3. Termoregülasyon Sağlamak için Geliştirdikleri Özelliklere Göre Değerlendirme

Isı transfer yöntemlerinin akıllıca kullanımı ısıl düzenlemenin sağlanmasına yardımcı olacaktır. Bunu sağlamak için canlılar; yalıtım, yapısal gölgeleme kasılıp gevşeme (stoma), yüzeyi nemlendirerek buharlaşma ve ısı kaybı sağlama, gırtlak titretme hareketiyle havanın ıslatılıp soğutulması, ısı transferi istenen ve istenmeyen bölgelere göre kalınlaşan veya incelen cilt ya da tüy yapısı gibi özellikler geliştirmişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda yaşayan canlılarda da düşük sıcaklıklarda yaşayan canlılarda da vücudu dış ortamdan ayıran bariyer olan cilt tabakasının yalıtım sağlamak için kalınlaşabildiği görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda yaşayan canlıların daha fazla ısınmayı önlemek amacıyla cilt ya da kabuk yüzeyindeki pürüzler sayesinde yüzeyde gölgeleme sağladıkları görülmüştür. Ortam sıcaklığının mevsimsel ya da gün içinde değiştiği bölgelerde yaşayan canlıların ise kasılıp gevşeme hareketiyle içeri alınan hava miktarını ya da sıcaklığa ve soğukluğa maruz bırakılan alanı değiştirerek ısıl düzenlemeyi kontrol ettikleri görülmüştür. Ortam sıcaklığının yükseldiği zamanlarda canlıların cilt yüzeyini nemlendirerek ya da kuşların gırtlak titretme hareketiyle buharlaşma ile ısı kaybı sağladıkları görülmüştür. Bazı canlılarda ise vücudunun sıcak ve soğuk bölgelerine ya da dış ortamla temas etmesine göre değişkenlik gösteren cilt kalınlığı veya tüy yapısı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3. İncelenen canlıların termoregülasyon sağlamak için geliştirdiği yöntemler

| Biyolojik Fenomen | | Yan Lekeli Kertenkele | Termitler | Kar Leoparı | Kuşlar | Kutup Ayısı | Kamış Kurbağası | Herkül Böceği | Stoma | Su Aygırı | Çıngıraklı Yılan | Kas (Homeostasis) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Özellikler | Yalıtım | | X | X | | X | | | | X | | |
| | Yapısal Gölgeleme | X | X | | | | | | | | | |
| | Renk Değişimi | | | X | | | X | X | | | | |
| | Kasılıp-Gevşeme / Homeostasis | | | | X | | | | X | | | X |
| | Yüzey Nemlendirme | | | | | | | | | X | | |
| | Gırtlak Titretme | | | | X | | | | | | | |
| | Tüy ve Ciltte Bölgesel Kalınlaşma | X | | | X | | | | | | | |

## 4.4. Adaptasyon Şekillerine Göre Değerlendirme

Doğadaki canlılar doğal seçilim ve evrimsel süreç ile karşılaştıkları zorluklara bazı adaptasyonlar geliştirmişlerdir. İncelenen canlıların termoregülasyon için geliştirdikleri adaptasyonların morfolojik, fizyolojik ve veya davranışsal olduğu Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. İncelenen canlıların adaptasyon şekilleri

| Biyolojik Fenomen | | Yan Lekeli Kertenkele | Termitler | Kar Leoparı | Kuşlar | Kutup Ayısı | Kamış Kurbağası | Herkül Böceği | Stoma | Su Aygırı | Çıngıraklı Yılan | Kas (Homeostasis) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Adaptasyon | Morfolojik | | | | X | X | | | | | | |
| | Fizyolojik | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | Davranışsal | X | | | X | | | | | | X | |

Çizelge 4.5. Değerlendirme kriterlerine göre incelenen canlıların karşılaştırılması

| Sınıflandırma | Çevresel Bağlam (İklim) | | | Adaptasyon | | | Sistem | | Isı Transfer Yöntemi | | | | Diğer Özellikler | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tropikal | Çöl | Kutuplar | Morfolojik | Fizyolojik | Davranışsal | Aktif | Pasif | Isı Korunumu | Isı Kazanımı | Isının Dağıtılması | Isınmanın Önlenmesi | Yalıtım | Yapısal Gölgeleme | Renk Değişim | Homeostasis | Yüzey Nemlendirme | Gırtlak Titretme | Tüy ve Ciltte Bölgesel Kalınlaşma |
| Biyolojik Fenomen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yan Lekeli Kertenkele | | X | | | X | X | X | X | | | X | X | | X | | | | | X |
| Termitler | X | | | | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | |
| Kar Leoparı | | | X | | X | | | X | X | | | X | X | | X | | | | |
| Kuşlar | X | | | | X | X | X | X | X | | X | | | | | X | | X | X |
| Kutup Ayısı | | | X | | X | | | X | X | | | | X | | | | | | |
| Kamış Kurbağası | | X | | | X | | | X | | X | | X | | | X | | | | |
| Herkül Böceği | | X | | | X | | | X | | X | | X | | | X | | | | |
| Stoma | X | | | | X | | X | X | X | | X | | | | | X | | | |
| Su Aygırı | X | | | | X | | | X | | | X | X | X | | | | X | | |
| Çıngıraklı Yılan | | X | | | X | X | X | X | | | | X | | | | | | | |
| Kas (Homeostasis) | X | X | X | | X | | X | X | X | X | X | X | | | | X | | | |

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde canlıların geliştirdiği termoregülasyon yöntemlerinden esinlenerek tasarlanan cephe tasarımı kesitlerinin de iklim bölgesine göre farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. İhtiyaca göre şekillenen adaptasyonlar cephe tasarımında tasarımcıya ilham olmuştur. İstenen verilere göre incelenen canlıların cilt yapıları, fizyolojik özellikleri ya da gösterdikleri davranışlar kabuk tasarımlarını etkilemiştir. Gelişen teknoloji ile doğanın taklit edilmesi mümkün olmuş, bilgisayar ortamında modellemelerle tasarımın hedefine ulaşıp ulaşmadığı analiz edilmiştir. Hesaplamalı tasarım programlarıyla deneysel olarak tasarlanan yapı kabuklarında yapılan analizler, enerji etkin tasarımların ortaya çıktığını, ısıtma ve soğutma maliyetlerinin düşeceğini göstermiştir.

Çizelge 4.6. Doğadaki canlıların geliştirdiği termoregülasyon stratejileri ve tasarımı etkileyen özellikleri

| | Organizma | Geliştirdiği Termoregülasyon Yöntemi | Tasarımdaki Uygulama | Tasarım |
|---|---|---|---|---|
| Yan Lekeli Kertenkele |  | Derisinin karın ve sırt bölgesinde renk değişiklikleri göstermesi sayesinde ısı emilimi pozisyon değiştirerek azaltılıp artırılabilir. Derideki kabuklar üst üste bindiği için gölgeleme sağlar. | Güneş ışınlarının gelme açısına göre koyu ve yansıtıcı paneller tasarlanmıştır. Paneller ihtiyaca göre yer değiştirebilir. Koyu renkli panellerden elektrik enerjisi üretilmektedir. |  |
| Termitler |  | Yuvaya zemine yakın bir noktadan hava girişi sağlanır ve baca benzeri yapı havayı çeker serinleme sağlanır. Gerektiğinde hava girişi engelenir ve ısı korunumu sağlanır. Cephedeki pürüzlü yüzey gölgeleme sağlamaktadır. | Katlanmış cephe modeli sayesinde cephede gölgeleme ile fazla ısınma engellenmiştir. Çift cidarlı tasarlanan cephede basınç farklılığıyla oluşturulan hava sirkülasyonu serinleme sağlamaktadır. |  |
| Kar Leoparı |  | İki farklı tüy yapısından oluşan kalın kürk tabakası ile yalıtım sağlamaktadır. Solunum için içeri alınan hava solunum epiteli ile ısıtılıp nemlendirilerek vücut sıcaklığının düşmesi engellenmektedir. | Cephe taşıyıcı, yalıtım ve pnömatik hareketli katmandan oluşmaktadır. Çevresel koşullara göre açılıp kapanan kubbeler içeri girecek güneş ışığını kontrol ederek termoregülasyon sağlamaktadır. |  |
| Kuşlar |  | Çeşitli tüy yapılarını ile yalıtım sağlanır. Kanatlarını açması ya da kapatmasıyla yüzey alanı değiştirilerek radyasyonla ısı kaybı-korunumu kontrol edilir. Kan akışı kontrolü ile de termoregülasyon sağlanır. | İletimle ısı kazanımı ya da kaybı ihtiyacına göre cephedeki paneller açılıp kapanmaktadır. Başka bir örnekte kuşlardaki dolaşım sistemi gibi cepheden geçirilen kanallardaki sıcak soğuk su kontrolü ile termoregülasyon sağlanır. |  |

Çizelge 4.6. (devam) Doğadaki canlıların geliştirdiği termoregülasyon stratejileri ve tasarımı etkileyen özellikleri

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Kutup Ayısı |  | Kalın deri altı yağ tabakası ve içi boş boru şeklindeki tüyleriyle yalıtım sağlar. Kürkün altındaki deri ısı emilimi için koyu renklidir. Kış uykusu ile ısının dağıtılması önlenir. | Kutup ayılarındaki tüy yapılarına benzer cam tüplerle bezenmiş yapı hem yalıtım sağlanmakta hem de güneş enerjisini toplayarak depolamaktadır. |  |
| Kamış Kurbağası Herkül Böceği |  | Kamış kurbağası ve herkül böceğinin ortak özeliği cilt rengini değiştirme yetenekleridir. Bu sayede güneş ışığından ısı emilimini kontrol ederek termoregülasyon sağlarlar. | Cephede kullanılan faz değişim malzemesi ile cephenin enerji depolaması ve enerjiyi salması kontrol edilmiştir. Cepheye yerleştirilen su tutucu polimer sayesinde de serinleme sağlanmaktadır. |  |
| Stoma |  | Gaz alışverişi sağlayan stomalar açıkken ısı ve su kaybı olur, kapalıyken ısı korunmaktadır. Geceleri osmotik basıncın artmasıyla açılıp gündüzleri kapalı kalması ile ısıl düzenleme sağlanmaktadır. | Cephede kullanılan sıcaklık seviyesine duyarlı malzemeler tepkimeye girerek panellerin açılıp kapanmasını kontrol etmektedir. İç ortam ve dış ortam arasındaki denge bozulduğunda paneller otomatik olarak harekete geçmektedir. |  |
| Su Aygırı |  | Yalıtım sağlayan ve içinde su tutan kalın derisi sayesinde güneş yanıklarından korunmaktadır. Ayrıca vücudundan salgılanan kırmızı sıvı sayesinde serinleme ve UV ışınlarından korunma sağlanmaktadır. | Cift cidarlı ve gözenekli tasarlanan cephe içinde bulundurduğu su ile cephe yüzeyini nemlendirerek soğuma sağlamaktadır. Soğuk havalarda ise paneller pozisyon değiştirerek güneş ışığından daha fazla ısınmayı sağlamaktadır. |  |

Çizelge 4.6. (devam) Doğadaki canlıların geliştirdiği termoregülasyon stratejileri ve tasarımı etkileyen özellikleri

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Çıngıraklı Yılan |  | Sıcak zeminde sürünerek hareket etmek için vücudun tamamı yerine yalnızca üç noktasının temas etmesi iletim yoluyla ısınmayı engellemektedir. | Cephe yapıya ısı iletimini azaltmak için yalnızca 3 noktadan mıknatıslarla monte edilmiştir. Bu da temas noktalarını değiştirme olanağı sunmaktadır. Panellerin diğer noktalarının serbest olması hava sirkülasyonu sağlamaktadır. |  |
| Kas (Homeostasis) |  | Canlılarda bulunan homeostatik sistem normalden uzaklaşan değerleri optimize ederek dengeye ulaşmasını sağlamaktadır. | Tasarlanan çift cidarlı cephe arasındaki kauçuk labirent günün sıcak saatlerinde kasılarak genişler ve gölgeleme sağlar. Dış ortam sıcaklığı düştüğünde ise büzüşerek güneş ışığı sayesinde ısınma sağlamaktadır. |  |

# 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde dünya genelinde tüketilen enerji miktarı giderek artmaktadır. Enerji tüketim yüzdesinde en büyük paya sahip olan yapı sektörü artan enerji ihtiyacına çözüm getirmek zorundadır. Doğal kaynakların hızlıca tüketilip tahrip edilmesi gelecek konusunda endişe verici olup, sürdürülebilir tasarımların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi artmaktadır.

Tasarım sürecinin iyi yönetilmesi, verilen doğru tasarım kararları ile yapının tüketeceği enerji miktarı önemli ölçüde azaltılabilir. Yapı içinde istenen sıcaklık düzeyine erişmek için sarf edilen ısıtma ve soğutma giderleri, yapının toplam enerji tüketiminin çoğunluğunu oluşturmaktadır. Değişen dış ortam sıcaklıklarına uyum sağlayan bir yapı tasarlanması, dış ortamla iç ortamı ayıran bir bariyer görevindeki yapı kabuğunun doğru tasarlanması ile sağlanacaktır. Dış ortam koşullarının yapı ile buluştuğu ilk bileşen yapı kabuklarıdır, dolayısıyla da iklimlendirme harcamalarını doğrudan etkilemektedir.

Dış ortam koşullarının değişken olmasına rağmen geleneksel tasarım yöntemleriyle pasif olarak tasarlanmış yapı kabukları, tasarımcıların enerji etkin tasarım hedeflerine erişmelerini engellemektedir. Gelişen teknoloji ve geleneksel tasarım yöntemlerinin yetersiz kalmasıyla, araştırmacılar farklı disiplinlere yönelmiş ve biyomimikri yani doğayı taklit etme bilimi ortaya çıkmıştır. Disiplinler arası çalışmaların artmasıyla, biyolojik araştırmalar mimari tasarımları sistematik olarak etkilemeye başlamıştır. Doğadaki canlıların en sıcak ve soğuk bölgelerde hayatta kalma mücadelesi sürecinde geliştirdikleri morfolojik, fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar, mimari tasarım sürecinde karşılaşılan problemler için açık ve uçsuz bir çözümler kaynağıdır. Doğanın yüzyıllardır biriktirdiği bilgi ve tecrübe, çözülmesi gereken sorunlar için ilham kaynağı olmaktadır.

Bu kapsamda, tez çalışması termoregülasyon ve biyomimikri kavramlarının literatürde araştırılmasıyla başlamış, alan çalışması için seçilen canlıların termoregülasyon yöntemleri ve bu yöntemlerden ilham edilerek tasarlanan yapı kabuklarının analiz edilmesiyle sonlandırılmıştır.

Yapı kabuklarında termoregülasyon sağlarken doğadan ilham alma fikri tasarımcılara, doğadaki çeşitli iklim koşullarına uyum sağlayan canlılar ile geniş bir seçenek

sunmaktadır. Yapılan araştırma sonucunda doğadaki canlıların hayatta kalmak için aşırı sıcak ya da soğuk koşullarda vücut iç sıcaklıklarını belirli ve dar bir aralıkta tutmak zorunda olduğu ve bunu sağlamak için geliştirdiği stratejilere erişilmiştir. Bu stratejiler tasarımcılara ilham kaynağı olmuş ve biyomimetik yapı kabukları tasarlanmıştır. Hesaplamalı tasarım araçları ile tasarlanan yapı kabukları bilgisayar ortamında test edilerek tasarım hedeflerine eriştiği test edilmiştir. Yapı kabuklarının termoregülasyonunda doğadan ilham almak, yapıların ısıtma soğutma giderlerinin önemli ölçüde azaltacağı görülmüştür.

Sonuç olarak "Etkili termoregülasyon yöntemlerinin doğada araştırılması mimarlık disiplini için de akılcı çözümleri beraberinde getirebilir mi?" sorusu ile başlayan tez çalışması yapı kabuklarının termoregülasyonunda biyomimikri kullanımının enerji etkin, performatif, sürdürülebilir, hafif ve sağlam tasarımların ortaya çıkmasına yardımcı olacağını ortaya koymuştur. Erken tasarım kararları ile iklimlendirme stratejilerinin belirlenmesiyle yapının enerji tüketiminin azaltılacağı, kullanıcıları için konforlu bir iç ortam sunmanın yapı kabuğunun geçirgen bir bariyer olarak tasarlanmasıyla mümkün olacağı görülmüştür. Yapı kabuğunun termoregülasyonunu sağlamak amacıyla alınabilecek önlemlerin doğadan araştırılmasının potansiyeller barındırdığı anlaşılmıştır. Tasarım sürecinde karılaşılan ısıl düzenleme problemlerine çözüm ararken benzer iklim koşullarında yaşayan canlıların termoregülasyon yöntemlerinin araştırılarak tasarıma yön vermesinin ısıl düzenlemeler için en enerji etkin yöntemlere erişilmesini sağlayacağı görülmüştür. Çalışma sonucunda yapı kabuklarında ısı geçişlerini etkileyen sorunlar ile benzer koşullarda yaşayan canlıların bu sorunlara geliştirdikleri stratejiler karşılaştırılarak tasarımcılara ilham olacak mimari örnekler incelenmiştir. Elde edilen veriler sayesinde "Yapı kabuklarının termoregülasyonunda doğadan ilham alma fikri, mimarlık disiplininde erken tasarım kararları ve disiplinlerarası çalışmalar sayesinde tasarımcılara yeni çözümler sunacak ve ısıtma soğutma giderlerini azaltacaktır." hipotezi doğrulanmıştır.

Erişilen verilerin tasarımcılar için ilham kaynağı olması hedeflenmiş, bu tezde incelenen örneklerle doğada araştırılmayı hak eden milyarlarca canlının var olduğu farkındalığı yaratmak amaçlanmıştır. Daha sonraki çalışmalarda doğanın sunduğu uçsuz örnek havuzu incelenerek tasarıma en akılcı çözümler doğanın akıl hocalığı eşliğinde bulunabilir.

# KAYNAKLAR


Abaeian, H., Madani, R. and Bahramian, A. (2016). Ecosystem biomimicry: A way to achieve thermal comfort in architecture. *International Journal of Human Capital in Urban Management, 1*(4), 267-278.

Abdullah, A., Said, I. and Ossen, D. R. (2018). Applications of thermoregulation adaptive technique of form in nature into architecture: A review. *International Journal of Engineering & Technology,* 7(2.29), 719-724.

Al Hussaini, K. (2005). *Design in nature and architecture.* Master of Science, Carleton University, Ontario, Canada, 1-3.

Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C. and Zumbrunnen, C. (2003). Integrating humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience,* 53, 1169-1179.

Aldersey-Williams, H. (2003). *Zoomorphic - New Animal Architecture*. London: Laurence King Publishing.

Al-Rubaih, M. S. (2008). *Energy-efficient envelope design for schools in Saudi Arabia*. Master of Science, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 25-30.

Arslan Selçuk, S. (2009). *A proposal for a non-dimensional parametric ınterface design in architecture: A biomimetic approach.* Doctor of Philosophy, Middle East Technical University, Ankara.

Arslan Selçuk, S. ve Gönenç Sorguç, A. (2004). Similarities in structures in nature and man-made structures: Biomimesis in architecture. *Design and Nature II,* 180, 45-54.

Aye, L. and Fuller, R. (2005). The proposed heating and cooling system in the CH2 building and its impact on occupant productivity. *Construction Economics and Building,* 5(2), 32-39.

Badarnah, L. (2012). *Towards the LIVING envelope: Biomimetics for building envelope adaptation.* Doctor of Philosophy, Delft University of Technology, Delft, Holland, 101-102.

Badarnah, L. (2015). A biophysical framework of heat regulation strategies for the design of biomimetic building envelopes. *Procedia Engineering,* 118, 1225-1235.

Badarnah, L., Farchi Nachman, Y. and Knaack, U. (2010). Solutions from nature for building envelope thermoregulation. *Design & Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering,* 5, 251.

Bartholomew, G. A., Lasiewski, R. C. and Crawford, E. C. (1968). Patterns of panting and gular flutter in cormorants, pelicans, owls, and doves. *The Condor,* 70(1), 31-34.

Bekem, A., Ercan, H., Doğu, M. ve Ünal, A. (2011). *Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi*. Paper presented at the 6. International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 475-480.

Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: Harper Collins Publishers.

Berkebile, B. ve McLennan, J. (2003). The Living Building - Biomimicry in Architecture. URL: http://biomimicry.typepad.com/bioinspire/files/BioInspire.18-07.17.04.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.12.2018.

Bhushan, B. (2009). *Biomimetics: lessons from nature–an overview*. London: The Royal Society, 367,1445-1486.

Britannica, A. (2018a). Encyclopedia Britannica, inc, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018

Camargo, C. R., Visconti, M. ve Castrucci, A. (1999). Physiological color change in the bullfrog, Rana catesbeiana. *Journal of Experimental Zoology*, 199 283(2), 160-169.

Cloudsley-Thompson, J. (1999). Multiple factors in the evolution of animal coloration. *Naturwissenschaften*, 86(3), 123-132.

Cuce, E., Nachan, Z., Cuce, P. M., Sher, F. and Neighbour, G. B. (2017). Strategies for ideal indoor environments towards low/zero carbon buildings through a biomimetic approach. *International Journal of Ambient Energy*, 1-10.

Decker, M. (2013). *Emergent Futures: Nanotechology and Emergent Materials in Architecture.* Conference of Tectonics of Teaching: Building Technology Educators Society (BTES)., Newport: Rhode Island.

Dinur, B. (2004). *Interweaving architecture and ecology–a theoretical perspective.* Proceedings of the 6th International Conference of the European Academy of Design, op. Cit, Bremen.

El Ahmar, S. (2011). *Biomimicry as a tool for sustainable architectural design.* Master of Science, Alexandria University, Alexandria, 9-12.

El Ahmar, S. ve Fioravanti, A. (2015). *Biomimetic-computational design for double facades in hot climates.* Proceedings of eCAADe 2015, Vienna.

Engelhardt, S. and Sarsour, J. (2015). Solar heat harvesting and transparent insulation in textile architecture inspired by polar bear fur. *Energy and Buildings*, 103, 96-106.

Farchi Nachman, Y. (2009). *Learning from nature: Thermoregulation envelope.* Master of Science, Delft University of Technology, Façade Design, Delft.

Fecheyr-Lippens, D. and Bhiwapurkar, P. (2017). Applying biomimicry to design building envelopes that lower energy consumption in a hot-humid climate. *Architectural Science Review*, 60(5), 360-370.

Feldhamer, G. A., Thompson, B. C. ve Chapman, J. A. (2003). *Wild mammals of North America: Biology, management, and conservation*. Baltimore: Johns Hopkins Universit Press, ISBN o-8018-1416-5.

Fox, J. L. (1989). A review of the status and ecology of the snow leopard. *Panthera uncia*, 40.

Fu, M., Weng, W., Chen, W. ve Luo, N. (2016). Review on modeling heat transfer and thermoregulatory responses in human body. *Journal of Thermal Biology*, 62, 189-200.

Gamage, A. ve Hyde, R. (2006). *Can Biomimicry, as an approach, enhance Ecologically Sustainable Design (ESD)*. New South Wales 2006, University of Sydney, Australia, 16-18.

Gertik, A. (2012). *Biyomimesis anlayışı ve bu bağlamda günümüz Kuzey Kıbrıs Mimarisi'ne eleştirel bir bakış.* Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, Lefkoşa, 10-11.

Ghisi, E. ve Tinker, J. A. (2005). An ideal window area concept for energy efficient ıntegration of daylight and artificial light in buildings. *Building and Environment,* 40(51-61), 40.

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. Van Nostrand Reinhold: John Wiley.

Goller, M., Goller, F. and French, S. S. (2014). A heterogeneous thermal environment enables remarkable behavioral thermoregulation in Uta stansburiana. *Ecology and Evolution,* 4(17), 3319-3329.

Gosztonyi, S., Gruber, P., Judex, F., Brychta, M. and Richter, S. (2013). *BioSkin - Research potentials for biologically inspired energy efficient façade components and systems*. Wessex Intitute of Technology Transactions on Ecology and the Environment, 138, 491-502.

Gruber, P. (2011). *Biomimetics in architecture: Architecture of life and buildings*. New York: Springer, 7-14.

Güler, B. (2000). *Doğa-mimarlık ilişkisi ve doğayla uyumlu mimari tasarım yaklaşımlarıüzerine bir inceleme.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Harkness, J. M. (2002). In appreciation a lifetime of connections: Otto herbert schmitt, 1913-1998. *Physics in Perspective*, 4(4), 456-490.

Helms, M., Swaroop, S. V. and Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: process and products. *Design Studies,* 30, 606-622.

Heschong, L. (1979). *Thermal delight in architecture*. Cambridge: Massahusetts Institute of Technology press, 26-27.

Heyning, J. E. ve Mead, J. G. (1997). Thermoregulation in the mouths of feeding gray whales. *Science*, 278(5340), 1138-1139.

Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M. and Anderson, M. (2004). *Animal physiology*(Vol. 2).Massachusetts: Sinauer Associates, 226-255.

Huang, Z., Hwang, Y. and Radermacher, R. (2017). Review of nature-inspired heat exchanger technology. *International Journal of Refrigeration*, 78, 1-17.

İnternet: Beaver URL: https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/beaver 12.12.2019

İnternet: Beaver URL: https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/beaver 12.12.2019.

İnternet: Biology to Design URL: https://biologytodesign.files.wordpress.com/2011/09/biology-to-design-spiral-sm.jpg?w=768&h=293, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018.

İnternet: Biomimetic Arcitecture URL:http://biomimicryarch.blogspot.com/, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: Biomimicry Guild. (2007). Innovation Inspired by Nature Work Book. *Biomimicry Guild*. URL: https://www.researchgate.net/publication/264721549_Nature_as_Measure_The_Biomimicry_Guild, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018

İnternet: Biomimicry Thinking URL: https://depreciated.biomimicry.net/about/biomimicry/biomimicry-designlens/biomimicry-thinking/, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018.

İnternet: Biomimicry used as a guiding force to design Lavasa Township URL:http://blog.worldarchitecturenews.com/?p=3556, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: Biomimicry URL: http://www.being-here.net/page/3599/biomimicry, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: Britannica, A. (2018b). Art Nouveau. Encyclopædia Britannica, inc. URL: https://www.britannica.com/art/Art-Nouveau,Son Erişim Tarihi: 18.12.2018.

İnternet:Ch2 Design snap shot 11 URL: Biomimicry https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/ch2-snapshot-11-biomimicry.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.12.2019.

İnternet: CH2: Australia’s greenest building, URL: https://inhabitat.com/ch2-australias-greenest-building/ch23, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: Chapa, J. (2007). Australia's Greenest Building. URL: http://inhabitat.com/ch2-australias-greenest-building/, Son Erişim Tarihi:14.12.2019.

İnternet: CIBA, C. (1995). Honeycomb Sandwich DesignTechnology. Publication No:AGU 223, Duxford, U.K. URL: https://fdocuments.in/document/4281-06-sandwich-structures.html, Son Erişim Tarihi:14.12.2019.

İnternet: Clerc, C. (2011). Biomimicry: Towards a sustain-able design. *Biomimicry in Higher Education Webinar*, 33. URL: https://www.researchgate.net/profile/Janet_Kuebler/publication/257874381_JE_Kubler_2011_Teaching_Biomimicry_in_Interdisciplinary_Bioscience_Courses_Proceedings_of_the_Biomimicry_Institute_Higher_Education_Conference_available_from_the_Biomimicry_Instituteorg/links/58ae304345851503be91eb1a/JE-Kuebler-2011-Teaching-Biomimicry-in-Interdisciplinary-Bioscience-Courses-Proceedings-of-the-Biomimicry-Institute-Higher-Education-Conference-available-from-the-Biomimicry-Instituteorg.pdf#page=37, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019

İnternet: Council House 2 Melbourne, URL: https://www.mickpearce.com/CH2.html, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: Design Inspiration from Nature – Biomimicry for a Better PlanetURL:https://inhabitat.com/finding-design-inspiration-in-nature-biomimicry-for-a-better-planet/, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: Feather, URL: https://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/feather.html, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: Gecko Tape URL: https://www.instituteofmaking.org.uk/images/sized/assets/_images/materials-library/gecko7-600x600.jpg, Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.

İnternet: Hippopotamus, URL: https://www.worldwildlife.org/species/hippopotamus, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: homeostatic-building-facade, URL: https://internationalfacade.com/news/general/homeostatic-building-facade/, Son Erişim Tarihi: 16.12.2019.

İnternet: homeostatic-building-facade, URL: https://www.conservationmagazine.org/2013/03/homeostatic-building-facade/, Son Erişim Tarihi: 16.12.2019.

İnternet: How Sweat Works, URL: https://s.hswstatic.com/gif/sweat.gif, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018.

İnternet: Jackson, T. (2012). The science of stripes. URL: http://www.safarikzn.com/africa-geographicarticles/page_africa_geographic_articles_science-of-stripes.html,Son Erişim Tarihi: 16.12.2019

İnternet: Kipervaser, D. (2003). Behavioral thermoregulation in terrestrial arthropods. Retrieved From: http://ibrarian.net/navon/paper/Behavioralthermoregulationinterrestrialarthto.pdf?paperid=5196238,Son Erişim Tarihi: 16.12.2019

İnternet: Lavars, N. (2015). Gecko-Inspired Adhesive Tape Finally Scales to Market. URL: https://newatlas.com/gecko-inspired-adhesive-tape-market/41047/, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019

İnternet: Marshall, A. (2007). The Ecomimicry Project. URL: http://www.geocities.ws/ecomimicryproject/, Son Erişim Tarihi: 17.12.2019

İnternet: Merck, J. W. (2014). Physiology and Metabolism in the Fossil Record. URL: from https://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol431/lectures/d11metabolism.html,Son Erişim Tarihi: 17.12.2019

İnternet: Ornithopter - Leonardo da Vinci URL: https://www.thinglink.com/scene/649387411842793474, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018.

İnternet: Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. UK: RIBA Publishing.URL: http://www.arkitera.com/haber/19038/mimaride-biyomimikri,Son Erişim Tarihi: 13.12.2019

İnternet: Polarbear Building: Solar thermal system with textile membranes in combination with an innovative heat storage system, URL: https://docplayer.net/19939909-Polarbear-building-solar-thermal-system-with-textile-membranes-in-combination-with-an-innovative-heat-storage-system.html, Son Erişim Tarihi: 14.12.2019.

İnternet: Rogers, A., Yoon, B. ve Malek, C. (2008). Beijing Olympic Stadium 2008 as Biomimicry of a Bird's Nest. URL: https://www.mcgill.ca/architecture/files/architecture/BiomimicrySSEFessay2007.pdf , Son Erişim Tarihi: 14.12.2019.

İnternet: Shimomura, M. (2010). *New Trends in Next* Generation Biomimetic Material Technology: Learning from Biodiversity (1349-3663). URL:https://pdfs.semanticscholar.org/aaa8/806dba024d223c91d880b9f9e78601748b0a.pdf, Son Erişim Tarihi: 14.12.2019

İnternet: Smirnoff, D. (2018). Skin influences biofouling. Retrieved from: https://asknature.org/strategy/skin-reduces-biofouling/., Son Erişim Tarihi: 14.12.2019

İnternet: Snake Robots Crack Mystery of How Reptiles Climb Dunes, URL: https://www.nationalgeographic.com/news/2014/10/snake-robot-reptiles-animals-weird-wild/, Son Erişim Tarihi: 16.12.2019.

İnternet: Snow Leopard Facts, URL: https://www.snowleopard.org/snow-leopard-facts/, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: Spinnerets and Silk Glands URL: http://www.angelfire.com/mo2/animals1/zoology/spigots.jpg, Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.

İnternet: Temperature regulation strategies, URL: https://www.khanacademy.org/science/biology/principles-of-physiology/metabolism-and-thermoregulation/a/animal-temperature-regulation-strategies, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: The most striking structure of the 2008 Beijing Olympic Games URL:https://www.arup.com/-/media/images/projects/c/chinese_national_stadium/new/headerimagecminiyusun.jpg?h=1125&la=en&w=2000&hash=BAC7FD2B81FE6D81E4E73D8DC78BC85E7B5B3CA6, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: Thermoregulation of Polar Bears, URL: https://ecobubamarica.wordpress.com/2010/10/25/thermoregulation-of-polar-bears/, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: Thermoregulation: A* understanding for iGCSE Biology 2.78 2.79, URL: https://pmgbiology.com/tag/thermoregulation/, Son Erişim Tarihi: 20.12.2018.

İnternet: Watercube-National Swimming Centre URL: http://www.ptw.com.au/ptw_project/watercube-national-swimming-centre/, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: What are stomata?, URL: https://www.quora.com/What-are-stomata-1?redirected_qid=16931152#!n=12, Son Erişim Tarihi: 13.12.2019.

İnternet: What Your Bones Have In Common Wıth The Eıffel Tower URL: https://depreciated.biomimicry.net/about/biomimicry/biomimicry-designlens/biomimicry-thinking/, Son Erişim Tarihi: 02.01.2019.

İnternet: Wing Scales Cause Light to Diffract and Interfere URL: http://www.asknature.org/strategy/1d00d97a206855365c038d57832ebafa, Son Erişim Tarihi: 19.12.2018.

Johansen, K. ve Bech, C. (1983). *Heat conservation during cold exposure in birds (vasomotor and respiratory implications). Polar Research,* 1(3), 259-268.

Jones, J. C. ve Oldroyd, B. P. (2006). Nest thermoregulation in social insects. *Advances in İnsect Physiology,* 33, 153-191.

Kalatha, A. (2016). *The water wall: A bio-inspired thermoregulative facade system.* Master of Science, Delft Technical University, Delft, Holland, 17-51.

Kamalieva, R. N. and Charkviani, R. V. (2017). Creation of ultra-light spacecraft constructions made of composite materials. *Procedia Engineering,* 185, 190-197.

Kern, D. Q. (1997). *Process heat transfer.* Japan: Tata McGraw-Hill Education, 2-3.

Knippers, J. (2009). *Building & Construction as a potential field for the application of modern biomimetic principles*. International Biona Symposium, Stuttgart.

Kobelt, F. and Linsenmair, K. (1986). Adaptations of the reed frog Hyperolius viridiflavus (Amphibia, Anura, Hyperoliidae) to its arid environment. *Oecologia*, 68(4), 533-541.

Koch, K., Bhushan, B. and Barthlott, W. (2008). Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces. *Soft Matter,* 4(10), 1943-1963.

Korb, J. and Linsenmair, K. E. (2000). Ventilation of termite mounds: new results require a new model. *Behavioral Ecology, 11*(5), 486-494.

Korhonen, J. (2001). Four ecosystem principles for an ındustrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production,* 9(3), 253-259.

Lillywhite, H. B. and Stein, B. R. (1987). Surface sculpturing and water retention of elephant skin. *Journal of Zoology,* 211(4), 727-734.

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, 7-121.

McGinnis, S. M. (1970). Flexibility of thermoregulatory behavior in the western fence lizard Sceloporus occidentalis. *Herpetologica*, 70-76.

Mclennan, F. (2004). *The philosophy of sustainable design.* Kansas: Ecotone Publishing.

Mohamed, N. A., Bakr, A. F. and Hasan, A. E. (2019). *Energy efficient buildings in smart cities: Biomimicry approach.* REAL CORP 2019–IS THIS THE REAL WORLD? Perfect Smart Cities vs. Real Emotional Cities. Proceedings of 24th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society, Karlsruhe.

Morris, D. (1990). *Animal watching: a field guide toanimal behaviour.* London, UK: Johnathan Cape, 16.

Moujaes, S. F. and Brickman, R. (2003). Thermal performance analysis of highly reflective coating on residences in hot and arid climates. *Journal of Energy Engineering*, 129(2), 56-68.

Mujan, I., Anđelković, A. S., Munćan, V., Kljajić, M. and Ružić, D. (2019). Influence of indoor environmental quality on human health and productivity-A review. J*ournal of Cleaner Production,* 217, 646-657.

Mutlu Avinç, G. ve Arslan Selçuk, S. (2018). Isıl düzenleme özelliğine sahip yapı kabuğu tasarımları için biyomimetik çözümler. *International Refereed & Indexed Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 2(3), 120-134.

Osmond, C., Austin, M., Berry, J., Billings, W., Boyer, J., Dacey, J. and Winner, W. (1987). Stress physiology and the distribution of plants. *Bioscience,* 37(1), 38-48.

Othmani, N. I., Yunos, M. Y. M., Ismail, N. A. and Rahman, K. A. A. A. (2018). Review on biomimicry levels. *American Journal of Humanities and Social Sciences Research*,2, 55-58.

Paevere, P., Brown, S., Leaman, A., Luther, M. ve Adams, R. (2008). *Indoor environment quality and occupant productivity in the CH2 building.* SB08: Proceedings of the 2008 International Scientific Committee World Sustainable Building Conference, Melbourne, 222-229.

Panchuk, N. (2006). *An exploration into biomimicry and its application in digital & parametric [architectural] design.* Master of Science, University of Waterloo, Waterloo, 6-8.

Parker, D. S., R., S. J. ve K., S. J. (1998). Measured performance of a reflective roofing system in a Florida commercial building. *ASHRAE Technical Data Bulletin,* 14, 7-12.

Perez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. (2008). *Areview on buildings energy consumption information*. *Energy and Building,* 40, 394-398.

Radwan, G. A. and Osama, N. (2016). Biomimicry, an approach, for energy effecient building skin design. *Procedia Environmental Sciences,* 34, 178-189.

Rahman, A. (2014). *Optimizing the performance of building envelope for energy efficiency considering adaptive thermal comfort: A case of tropical climate ın Dhaka.* Doctor of Philosophy, Illinois Institute of Technology, Chicago.

Ramzy, N. (2015). Sustainable spaces with psychological values: Historical architecture as reference book for biomimetic models with biophilic qualities. *International Journal of Architectural Research,* 9(2), 248-267.

Rassart, M., Colomer, J.-F., Tabarrant, T. and Vigneron, J.-P. (2008). Diffractive hygrochromic effect in the cuticle of the hercules beetle Dynastes hercules. *New Journal of Physics,* 10(3), 033014.

Reap, J., Baumeister, D. and Bras, B. (2005). *Holism, biomimicry and sustainable engineering*. The American Society of Mechanical Engineers (ASME) International Mechanical Engineering Conference and Exposition, Orlando, FL, USA.

Russell, J. A. (2004). *Evaluating the sustainability of an ecomimetic energy system: An energy flow assessment of South Carolina.* University of South Carolina, Carolina.

Sadineni, S. B., Madala, S. ve Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 15(8), 3617-3631.

Sanmiya, K., Suzuki, K., Egawa, Y. ve Shono, M. (2004). Mitochondrial small heat-shock protein enhances thermotolerance in tobacco plants. *Federation of European Biochemical Societies letters,* 557(1-3), 265-268.

Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal physiology: adaptation and environment.* New York: Cambridge University Press.

Scholander, P. F. (1950). Body Insulation of some arctic and tropical mammals and birds. *Biological Bulletin,* 99(2), 225-236.

Simonis, P., Rattal, M., Oualim, E. M., Mouhse, A. ve Vigneron, J. P. (2014). Radiative contribution to thermal conductance in animal furs and other woolly insulators. *Optics express,* 22(2),1940-1951.

Singh, A. ve Nayyar, N. (2015). Biomimicry-an alternative solution to sustainable buildings. *journal of Civil Engineering and Environmental Technology,*14(2), 96-101.

Stacey, M. (2004). *The national stadium, Beijing*: Waterloo University Press, 46-50.

Stegmaier T., Von Arnim V., Linke M., Milwich M., Sarsour J., Scherrieble A. (2008). Bionic developments based on textile materials for technical applications. In: A. Abbott, M. Ellison (Eds.). *Biologically inspired textiles*. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing, 193-211.

Stegmaier, T., Linke, M. and Planck, H. (2009). Bionics in textiles: flexible and translucent thermal insulations for solar thermal applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences,* 367(1894), 1749-1758.

Stevenson, R. D. (1985). The relative importance of behavioral and physiological adjustments controlling body temperature in terrestrial ectotherms. *The American Naturalist,* 126(3),362-386.

Tan, S. F. (2007). CH2 6 stars, but how does it work. *Architecture Australia*, 96(1), 101-104.

Tattersall, G. J. and Milsom, W. K. (2003). Transient peripheral warming accompanies the hypoxic metabolic response in the golden-mantled ground squirrel. *Journal of Experimental Biology,* 206(Pt 1), 33-42.

Terrien, J., Perret, M. and Aujard, F. (2011). Behavioral thermoregulation in mammals: a review. *Front Biosci,* 16(4), 1428-1444.

Todd, J. (2004). Restorer eco-machines for the culture of aquatic animals and the restoration of polluted aquatic environments. *BioInspire Magazine*, 19.

Tracy, C. R., Christian, K. A. (1986). Ecological relations among space, time, and thermal niche axes. *Ecology,* 67, 609-615.

Van der Ryn, S. (2005). *Design for life: the architecture of Sim Van der Ryn*. Layton Utah: Gibbs Smith.

Vincent, J. F. (2001). *Stealing ideas from nature*. S. Pellegrino (Ed.). Deployable structures. Vienna: Springer,51-58.

Vincent, J. F., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A. and Pahl, A. K. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482.

Vitruvius. (1990 (M.Ö. 25)). *Mimarlık üzerine on kitap* (Çev. Ç. S. Güven). Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, 3-230.

Walsberg, G. E. (2000). Small mammals in hot deserts: Some generalizations revisited. *Bioscience,* 50(2), 109-120.

Wiebe, K. R. (2009). *Biomimetic design of the building envelope: biological climate adaptations and thermal controls in the sonoran desert.* Master Thesis, University of Southern California, Los Angeles, 3-4.

Wigginton, M. ve Harris, J. (2013). *Intelligent skins.* Oxford: Routledge, 18-19.

Wright, P. (1987). Thermoregulation in the hippopotamus on land. *African Zoology*, 22(3), 237-242.

Yeang, K. (2012). *Ekolojik tasarım rehberi* (Çev. S. Eryıldız): İstanbul: Yem Yayınları.

Yowell, J. (2011). *Biomimetic building skin: A phenomenological approach using tree bark as model.* Master of Science, University Of Oklahoma, Norman, 45-60.

Zari, M. P. (2007). *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability.* The Sustainable Building Conference (SB07 NZ), New Zealand.

Zari, M. P. ve Storey, J. (2007). *An ecosystem based biomimetic theory for a regenerative built environment.* Paper presented at the Sustainable Building Conference, Lisbon.

Zou, P. X. ve Leslie Carter, R. (2010). Lessons learned from managing the design of the 'Water Cube'National Swimming Centre for the Beijing 2008 Olympic Games. *Architectural Engineering and Design Management*, 6(3), 175-188.

# ÖZGEÇMİŞ



**Kişisel Bilgiler**


Soyadı, Adı : AYDIN YAZICIOĞLU, Betül

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 03.08.1992, Ankara

Medeni hali : Evli

Telefon : 0554 233 9689

e-mail :mim.betulaydin@gmail.com


**Eğitim**

| **Derece** | **Eğitim Birimi** | **Mezuniyet Tarihi** |
|---|---|---|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi/ Mimarlık | Devam ediyor |
| Lisans | Yıldız Teknik Üniversitesi / Mimarlık | 2016 |
| Lise | Süleyman Demirel Anadolu Lisesi | 2010 |

**İş Deneyimi**

| **Yıl** | **Yer** | **Görev** |
|---|---|---|
| 2019-Halen | BY Tasarım Mimarlık | Mimar |
| 2016-2018 | RCİ-ARCHON Mimarlık | Mimar |

**YabancıDil**

İngilizce

**Yayınlar**

Aydın Yazıcıoğlu, B. ve Arslan Selçuk, S. (2019, 19-21 Nisan). *Yapı kabuklarının termoregülasyonu: Biyomimetik bir yaklaşım.* 3rd International Symposium on Innovative Approachesin Scientific Studies, Ankara.

**Hobiler**

Fotoğrafçılık, Seyahat, Suluboya



*GAZİ GELECEKTİR..*