

## Yapı Kabuklarının Termoregülasyonu: Biyomimetik Bir Yaklaşım

Betül Aydın Yazıcıoğlu<sup>1\*</sup>, Semra Arslan Selçuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Gazi University, Ankara, Turkey

\*Corresponding author: betullaydinn@gmail.com

<sup>+</sup>Speaker: betullaydinn@gmail.com

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

**Özet** – Dünyadaki enerji tüketiminin %40'ının binalar tarafından gerçekleştiriliyor olması ve bu oranın büyük bir bölümünün ise kullanıcılara termal konfor sağlamak amacıyla ısıtma soğutma ve havalandırma amacıyla kullanılıyor olması nedeniyle yapıların enerji etkinliği mimarının çözmesi gereken en önemli problemlerden biri olmuştur. En etkin termoregülasyon çözümlerinin doğada bulunduğu bilgisi tasarımcılar için yeni araştırma alanları yaratmıştır. Doğadaki canlılar yaşadıkları ortamlara ve kendi fiziksel özelliklerine göre hayatta kalmak için bazı adaptasyonlar geliştirmişlerdir. Yapı kabuklarının termoregülasyonu üzerinde yapılan araştırmalar çözümlerin doğada aranması fikrinin yani biyomimikrinin bu problemi çözmek için de kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda bu çalışma ısı geçişinin en yüksek olduğu yapı bileşeni olan yapı kabuklarında termoregülasyonu sağlamak için doğadan yöntemler araştırmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle bir literatür araştırması yapılmış, ikinci olarak seçilen örnekler üzerinden biyomimetik çözümlerin nasıl uygulandığı ve bu yaklaşımın olası sonuçları tartışılmıştır. Çalışmanın sonucunda doğada bulunan stratejilerin mimariye aktarılması disiplinler arası bir sorun olması nedeniyle zorlukları barındırır da doğadaki termoregülasyon prensiplerinin mimarlar için potansiyel çözümlere sahip olduğu görülmektedir.

**Keywords** – Biyomimikri, Enerji, Termoregülasyon, Yapı kabuğu, Mimari tasarım

**Abstract** – Energy efficiency is one of key issues that architecture has to address, since buildings cover 40% of the overall energy consumption in the world and huge part of this consumption is consisted of cooling and heating costs to provide “thermal comfort” of the users. Not surprisingly, the most efficient thermoregulation solutions can be found in nature. All living things based on their environments and physical features perform thermoregulation as an adaptive response to the environmental conditions to survive. Researches on thermoregulation of building skins claim that the idea of learning the best solutions found in nature, so called biomimicry, can be used to solve this problem. From this context, this paper is searching for the solutions from nature to provide thermoregulation of building skins where heat loss occurs. For this purpose, first, a literature review is conducted. Secondly, the selected case studies are presented to see how biomimetic solutions can be applied to building envelopes and to discuss the possible results of this approach. As a result of the study, it is seen that although the transformation of strategies found in nature into architecture is a complicated interdisciplinary issue, the principles found in natural thermoregulation has potential solutions the architects.

**Keywords**– Biomimicry, Energy, Thermoregulation, Building skin, Architectural design

### I. GİRİŞ

Doğada bulunan canlılar hayatta kalma mücadelelerinde içgüdüsel olarak yüzyıllar boyu edindikleri deneyimler sayesinde “beceriler” geliştirmişlerdir. İnsanoğlu da karşılaştıkları sorunlara çözümler ararken doğadaki bu stratejileri gözlemlemiştir. Özellikle tasarımcıların uğraştığı en büyük sorunlardan olan en az malzeme ile en etkin sonuca ulaşma, en hafif ve en dayanıklıyı üretme problemlerinin çözüm yolları doğada bulunmaktadır. Tanımı doğru yapılmış (*well-defined*) bir problemin doğayı gözlemleyerek çözülebileceği fikri ile ortaya çıkan “Biyomimikri” bilimi birçok farklı disiplinde bilim alanından araştırmacılara yeni bir bakış açısı sunduğu gibi mimarlık disiplininde de sıklıkla konuşulan bir yaklaşım olmaya başlamıştır.

Yapılarda enerji sarfiyatının en yüksek olduğu mekanik iklimlendirme sistemleri kullanıcıların termal konfora ulaşmalarını sağlamak amacıyla çalışmaktadır. Bu nedenle yapı içinde sağlanacak termoregülasyon (ısı düzenleme)

yapının enerji tüketimini önemli ölçüde azaltacaktır. Yapının dış ortamla temas ettiği bir yüzey olarak “yapı kabuğu” iklimsel konfor koşullarının sağlanması ve bu amaçla mekanın güneşi kazanımı/korunumu ve havalandırma gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla termoregülatif özelliklere sahip olmak zorundadır.

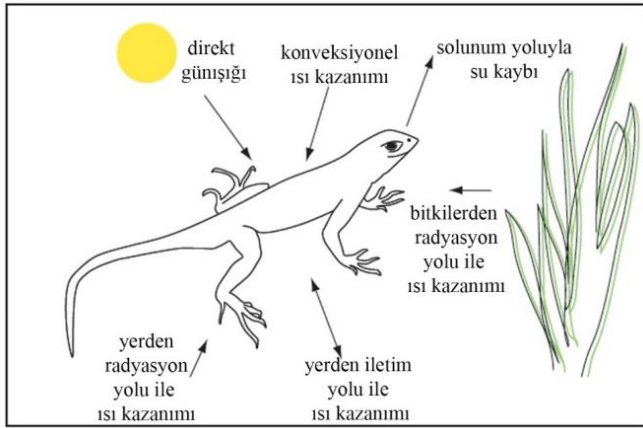
Çalışma bu iki önemli konunun birlikte ele alınabileceği savıyla yapılan bir araştırmanın sonuç ürünüdür. Bu amaçla “biyomimikri” ve “termoregülasyon” kavramlarının açıklanması, çalışma prensiplerinin aktarılması ve örneklenirilesi için literatür araştırması yapılmıştır. Tasarımcıların tasarım problemlerine yaklaşımlarını etkileyecek ve onlara yeni bakış açıları kazandıracak bu çalışmanın ilerletilerek bir rehber geliştirilmesi hedeflenmektedir.

### II. TERMOREGÜLASYON

#### A. Termoregülasyon Nedir ve Nasıl Çalışır?

Bir organizmanın dış ortam sıcaklığından bağımsız olarak vücut iç sıcaklığını belirli ve dar bir aralıkta tutması termoregülasyon olarak tanımlanmıştır[1]. Doğadaki canlılar termoregülasyon sağlamak amacıyla bazı morfolojik ve davranışsal sistemler geliştirmişlerdir[2]. Isıl düzenleme yani termoregülasyon bir enerji türü olan ısının geçişini kontrol etmek yani transferi hızlandırmak ya da engellemek yöntemiyle sağlanabilir[3]. Isı geçişini kontrol etmek ısı kazanmaya çalışmak, mevcut ısıyı korumak, fazla ısıyı dağıtmak ve fazla ısınmayı engellemek yöntemleriyle sağlanabilir.

Isı kazanmaya çalışan canlılar eğer sıcakkanlı ise yani dışardan bir ısı kaynağına ihtiyaç duymaksızın vücut iç sıcaklığını belirli aralıkta tutma yeteneğine sahiplerse metabolik faaliyetlerini artırarak ya da istemsizce kasların titreme hareketi ile ısı kazanabilirler. Vücut iç sıcaklığını yükseltmek için dışardan bir ısı kaynağına ihtiyaç duyan soğukkanlı canlılar ise radyasyon yöntemi ile ısı kazanabilirler (Şekil 1). Radyasyondan faydalanma düzeyi organizmanın ısı kaynağına uzaklığına, rengine, cilt yüzeyinin yansıtıcılığına, kaynağa yönelmesine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin bazı sürüngenler cilt yüzeyindeki açık ve koyu renkli alanları daraltıp genişleterek ihtiyaçlarına göre radyasyon miktarını ayarlayabilmektedir [4]. Radyasyonu etkileyen bir diğer unsur ise organizmanın yüzey alanı hacim oranıdır. Yüzey alanı arttıkça dış ortamla temas eden alanın artmasıyla radyasyonun etki ettiği alan da artmakta dolayısıyla ısı kazanımı da artmaktadır. Bu nedenle soğuk iklim bölgelerinde yaşayan canlıların, sıcak iklim bölgelerinde yaşayan canlılara göre daha büyük hacimli olduğu görülmektedir [5].



Şekil 1. Soğukkanlı bir canlının ısı kazanımı

Canlının mevcut ısını koruma davranışı ise ısı yalıtımını artırarak, metabolik faaliyetleri düşürerek ve vücut alan/hacim oranını azaltarak sağlanmaktadır. Örneğin soğuk iklim bölgelerinde yaşayan canlılar sıcak iklim bölgelerinde yaşayan canlılara göre daha fazla kürklenme eğilimindedir [5]. Metabolik faaliyetlerin düşürülerek ısı korunumu sağlanması diğer bir tanımla 'kış uykusu' besin kıtlığı ve zorlu çevresel koşullar gibi sebeplerle metabolik faaliyetlerini minimum seviyeye indirerek vücut iç sıcaklıklarını da düşürmekte ve böylece dış ortama aktarılacak ısıyı korumaktadırlar [6].

Canlı organizmaların organik yapıları fazla ısınma durumunda bozulmaya uğrayabileceğinden fazla ısının dağıtılması için konveksiyon, buharlaşma, radyasyon ve iletimi kontrol ederek bazı yöntemler geliştirmişlerdir. Isının

hareketi en etkin konveksiyon ile sağlanır. Isınan ve soğuyan hava yoğunluk farkından dolayı yer değiştirir ve bu hareket cilt yüzeyinde ısı kaybı sağlar [7]. Örneğin zebraların üzerindeki koyu ve açık renkli cilt yüzeyinde oluşan ısı farkıyla sağlanan hava hareketi bu olaya örnek verilebilir [8]. Ayrıca diğer bir ısı dağıtma yöntemi olan buharlaşma, memelilerde terleme, kuşlarda gırtlak titretme, birçok hayvanda ise soluma şeklinde görülür. Canlılar buharlaşma ile cilt yüzeyini nemlendirerek hava ile teması sırasında ısının dağıtılmasını sağlamaktadır [7].

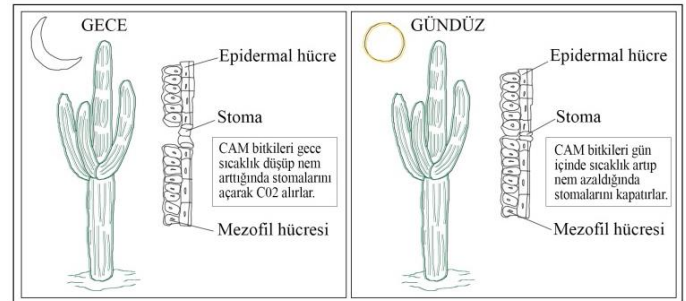
Vücut iç sıcaklığının olması gereken aralıktan daha yüksek olduğu durumda daha fazla ısınmayı önlemek gerekir. Fazla ısınmayı engellemenin bir yolu çölde yaşayan canlıların yaptığı gibi daha fazla ısı kazanımı engellemek için günün sıcak saatlerinde gölge alanlarda bekleyip, dış ortam sıcaklığının düştüğü saatlerde aktif olmaktır. Bazı canlılar ise gün içindeki ihtiyaçlarına göre kırışık deri yüzeyindeki kırışıkları artırıp azaltarak gölgeli alanları artırıp azaltabilirler [9]. Ayrıca canlının deri yüzeyinin renkleri ısı emilimini etkileyeceğinden cilt ya da kürk renginin açık olması daha fazla ısınmayı engellemiş olmaktadır [10].

### B. Hayvanlarda Termoregülasyon

Hayvanlarda termoregülasyon canlının ısı kaynağına göre değişmektedir. Bazı canlılar –ektoderm- vücut iç sıcaklıklarını düzenlerken dışardan bir ısı kaynağına ihtiyaç duyarlarken, bazı canlılar –endoderm- ise kendi geliştirdikleri sistemler ile dışardan bir ısı kaynağına ihtiyaç duymaksızın düzenleyebilirler [5, 11].

### C. Bitkilerde Termoregülasyon

Bitkilerde ısıl düzenlemeyi sağlamak hareket etme yeteneği bulunmadığından hayvanlara göre daha zorlayıcıdır, bu nedenle bünyelerinde bulunan şok proteinleri fazla ısınma söz konusu olduğunda organik yapıları kaplayarak fazla ısıdan bozulmayı önlemektedir [12]. Bitkiler kısıtlı olanaklarla geliştirdikleri gece-gündüz stoma etkinliği farklılıkları (Şekil 2.), iklim bölgelerine göre yaprak şekillerinin ve bünyelerinde tuttıkları su miktarlarının farklılaşması gibi termoregülasyon yöntemleriyle soğuk iklim bölgelerinde 40-50°C, sıcak iklim bölgelerinde 10-20°C tolerans sağlayabilmektedir [13].

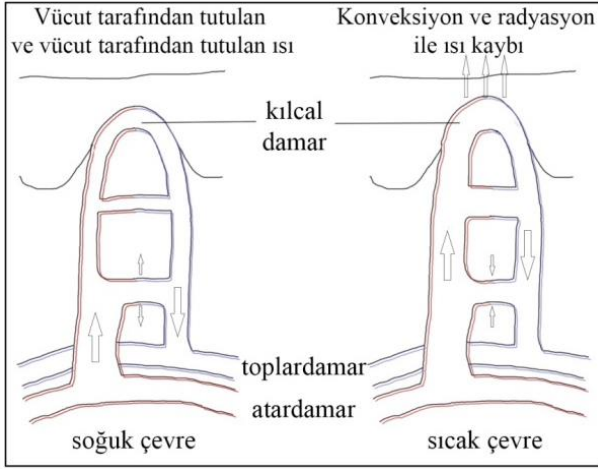


Şekil 2. Çöl bitkilerinin gece ve gündüz stoma hareketleri

### D. İnsanlarda Termoregülasyon

İnsanlar da diğer canlılarda olduğu gibi hayatta kalmak için vücut sıcaklığını belirli bir aralıkta tutmak zorundadır. Hayvanların geliştirdiği diğer termoregülasyon yöntemlerine ek olarak insanların hipotalamusta bulunan ısı reseptörleri düzenli olarak kan sıcaklığını ölçmektedir [14]. Ayrıca insanlar vazodilatasyon (Şekil 3.) adı verilen bir yöntem ile

damarların genişliğini artırıp azaltarak kılcal damarlara yani deri yüzeyine pompalanacak kan miktarını ayarlayarak cilt yüzeyinden ısı kaybını azaltıp artırabilmektedirler [15].



Şekil 3. İnsanlardaki vazodilatasyon sırasındaki damar hareketleri

### E. Mimaride Termoregülasyon

Mimaride termoregülasyon sağlamak içinde yaşayan canlıların minimum eforla termal konfora ulaşması için son derece önemlidir. Doğadaki canlıların geliştirdikleri termoregülasyon sistemleri olduğu gibi mimarlar da değişken dış ortam koşullarına uyum sağlayan mimari tasarımlar yapmak durumundadır [3]. Tıpkı canlılarda olduğu gibi mimaride de termoregülasyonu en fazla etkileyen yapı bileşeni dış ortamla temasın en yoğun olduğu yapı kabuklarıdır [16]. Yapı kabuğunun ısı yalıtımı, rengi, şeffaf alanların oranı, hava geçişleri termoregülasyonunu önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir [16].

Bu başlıkta doğadaki canlıların, hayvanların, bitkilerin insanların zorlu çevresel koşullarda termoregülasyon sağlama yöntemleri araştırılmıştır. Geliştirilen yöntemler farklılaşsa da temel prensibin, düşük sıcaklıklarda ısı kazanma ve mevcut ısıyı bünyede tutmaya, yüksek sıcaklıklarda ise daha fazla ısınmayı engellemeye ve bünyedeki ısıyı dağıtmaya çalışma şeklinde olduğu görülmüştür. Mimaride de benzer prensiplerin uygulanması için nasıl ısı kazanılır, nasıl kaybedilir, nasıl ısı kaybı engellenebilir ve nasıl ısı kaybedilir sorularının cevapları aranmalıdır.

## III. BIYOMİMİKRI

### A. Nedir? Nasıl Çalışır?

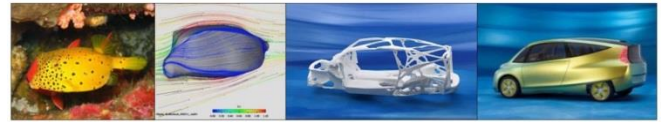
Biyomimikri kelime anlamı olarak yunanca "bios" (hayat) ve "mimesis" (taklit etme) kelimelerinin birleşiminden türemiştir ve doğadaki canlı ve cansız tüm varlıkların işlevi, yapısı, oluşumları ve sistemini araştıran bilim dalı olarak tanımlanmaktadır [17]. Benyus'a göre biyomimikri 'doğanın en iyi fikirlerini inceleyen ve insanların problemlerini çözmek için bu tasarımları ve süreçleri taklit eden yeni bir disiplindir [18]. Gruber'e göre ise biyoloji ve farklı disiplinlerin çakıştırılarak ortaya çıkarılan inovasyonlardır [19]. Pawlyn doğadaki organizmalardaki çeşitli özelliklerin yenilikçi inovasyonlar için örnek alınması şeklinde tanımlanmaktadır [20]. Marshall ise biyolojinin strüktürde, teknolojiye, malzemede veya formda kullanılmasını, doğanın insan yapımı olana aktarımını biyomimikri olarak açıklamıştır [21].

Benyus doğanın çalışma prensiplerini; gün ışığından faydalanması, yalnızca ihtiyaç duyduğu kadar enerji harcaması, formun işlevle şekillenmesi, her maddenin geri dönüşümünün olması, çeşitliliğin desteklenmesi, işbirliğinin ödüllendirilmesi, yerel ürünlerin değerlendirilmesi, farklılıkların elimine edilmesi, sınırların zorlanması olarak açıklamıştır [18]. Yeang ise benzer bir şekilde bu prensipleri geri dönüştürülebilir maddelerin kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, çeşitliliği fazla olması, türler arası işbirliği olması, sistem denetiminin olması ve formun işlevle uyumlu olması olarak tanımlamıştır [22].

Tasarımda biyomimikri kullanımı iki farklı yaklaşımla gerçekleştirilebilir. İlki tasarım problemiyle karşılaşılacak çözümünün doğadan arandığı problem odaklı yaklaşım, ikincisi ise biyolojik bir canlının bir özelliğinin keşfedilerek bir tasarım oluşturulduğu sonuç odaklı yaklaşımdır.

### B. Biyomimetik Tasarım Yaklaşımları

Problem odaklı tasarım yaklaşımı süreci bir tasarım problemi ile karşılaşılması ile başlamakta, daha sonra biyolojik analogilerden araştırmalar yapılmakta, incelenen örneklerden uygun prensipler belirlenmekte, uygun bulunan prensiplere sahip biyolojik örneklerden soyutlama yapılmakta, belirlenen yöntem test edilip analiz edilmekte ve böylece tasarım ürününe ulaşılmaktadır [23]. Bionic Car (Şekil 4.) isimli Daimler Chrysler'ın prototipinin tasarım süreci bu tasarım yaklaşımına örnek verilebilir. Tasarım sürecinde aracın minimum malzeme ile maksimum büyüklük ve aerodinamik tasarıma ulaşma istekleri tasarımcıları boxfish ve ağaçları incelemeye itmiştir. Bu sayede boxfish sayesinde aracın aerodinamik yapısı, ağaçların stres yükü yüksek noktaları tespit edilmesiyle de araç iskeleti ortaya çıkmıştır [24].



Şekil 4. Bionic Car ve Boxfish görselleri

Sonuç odaklı tasarım yaklaşımı sürecinde ise tasarımcılar sürecin başında geniş bir biyolojik bilgiye sahiptir. Bu tasarım yaklaşımında süreç öncelikle biyolojik araştırma ile başlamakta, daha sonra biyomekanik, morfolojik ve fonksiyonel araştırmalar yapılmakta, uygun prensipler seçilmekte, biyolojik örnekten soyutlamalar yapılmakta, teknik uygulama sonucunda tasarım ürünü elde edilmektedir [23]. Bu tasarım yaklaşımı sayesinde daha önce keşfedilmemiş özellikler keşfedilmekte ve yenilikçi inovasyonlar ortaya çıkmaktadır [24]. Lotus çiçeğinin kirli su içinde dahi temiz kalmasının inceleme altına alınıp, su ve kir tutmayan yapısının dış cephe boya teknolojisinde kullanılması ve bir çok tasarıma da imkan sağlaması bu tasarım yaklaşımına örnek verilebilir (Şekil 5.) [23]. Her iki tasarım yaklaşımı sürecinde de benzer adımlar farklı sıralarda uygulanmaktadır.

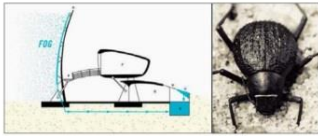


Şekil 5. Lotus çiçeğinin yapısı

### C. Biyomimikri Seviyeleri

Biyomimikri seviyeleri Benyus tarafından model olarak doğa, ölçü olarak doğa ve akıl hocası olarak doğa olarak tanımlanmıştır [18]. Zari ise bu seviyeleri organizma düzeyi, davranış düzeyi ve ekosistem düzeyi olarak belirtmiştir [25]. Pawlyn ise benzer olarak form, süreç ve fonksiyon olmak üzere üç seviye tanımlamıştır [20].

Organizma düzeyinde biyomimikriyi Pawlyn doğada bulunan bir formun, şeklin bileşenlerinin, malzemesinin yani aslında organizmanın tasarımının taklit edilmesi olarak açıklamıştır [20]. Organizma seviyesinde Biyomimikri için Namibya çöl böceğinden esinlenerek tasarlanan Namibya Hidroloji Merkezi ve pangolinden esinlenerek tasarlanan Waterloo Terminal Binası örnek verilebilir (Şekil 6.). Namibya çöl böceği yağış miktarının çok düşük olduğu çöl bölgesinde yaşadığı için su ihtiyacını karşılamak amacıyla sırt yüzeyinde tırtıklı bir yüzey geliştirerek sis içindeki suyu tutarak damlacıklar halinde su elde etmektedir ve Namibya Hidroloji Merkezi'nde de böceğin bu fiziksel yapısı kullanılarak su elde edilmekte ayrıca da sisin azaltılması sağlanmaktadır [25]. Waterloo Terminal binası ise trenlerin terminale girişinde ve çıkışında oluşan basınç farklılıklarını süspansen etme ihtiyacıyla pangolinin esnek yapısından ilham alınmıştır (Şekil 7.) [26].

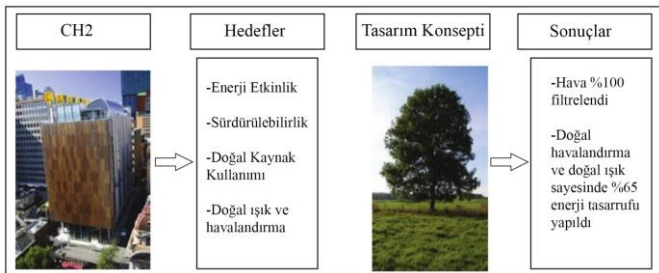


Şekil 6. Namibya çöl böceği  
Namibya Hidroloji Merkezi



Şekil 7. Pangolin ve Waterloo  
Terminal Binası

Davranış düzeyinde biyomimikri organizmanın salt morfolojik özelliklerini değil yaşantısındaki davranışlarını, süreçlerini de taklit etmek demektir [20]. Doğadaki organizmalar da tıpkı insanlar gibi karşılaştıkları sorunları malzeme ve enerji sınırlılıkları ile çözmek durumundadır ve bu da süreç içinde en iyi adaptasyonu ve davranışı edinmeyi gerektirir [27]. Örneğin tasarımı Mick Pearce'e ait olan CH2 Binası ağaçların kabuklarının arasından hava almasını yani davranışını taklit ederek tıpkı ağaçlarda bulunan broşlara benzer hava kanalları ile yapı içindeki havalandırma sağlanmıştır (Şekil 8.) [28].



Şekil 8. CH2 Binası ve ağaç yapısı

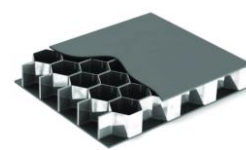
Ekosistemlerin taklit edilmesi biyomimikri kavramı ile ayrılmaz bir bütündür [18, 24]. Pawlyn ekosistem düzeyinde biyomimikrinin, organizma ya da davranış düzeyine göre çok daha karmaşık ve derinlemesine araştırmalar gerektirdiğini söylemiştir [20]. Ayrıca bu seviyede bir taklitte hem organizma düzeyi, hem de davranış düzeyinde taklitler birlikte kullanılabilir. Yapılı çevreler tasarlanırken ekosistemlerin taklit edilmesi tam bir ekosistem gibi çalışmasa da ekolojik performansının daha yüksek olacağı düşünülmektedir [29]. BIG tarafından sıfır enerji tüketimi

hedefi ile tasarlanan Zira Island Projesi ekosistem düzeyinde biyomimikriye örnek verilebilir. Tasarımda kullanılan fotovoltaik paneller, rüzgar tribünleri, su arıtma sistemleri ekosistemde bulunan özelliklerin taklidi için tasarlanmıştır (Şekil 9.) [30].



Şekil 9. Zira Island Projesi

Doğadaki organizmalardan ilham alma fikri birçok disiplini etkilemiş ve bu doğrultuda birçok inovasyon yapılmıştır. Örneğin arıların oluşturduğu bal peteklerinin formu araştırıldığında minimum malzeme ile maksimum dayanımda, maksimum depolama alanı oluşturduğu keşfedilmiş ve havacılık sektöründe yüksek dayanımlı panel üretiminde ilham kaynağı olmuştur (Şekil 10.) [31]. Galapagos köpekbalığının su içinde hareketi sırasında sürtünmeyi azaltarak hareketini kolaylaştıran yapısı incelendiğinde derisinin mikro ölçekteki yapısının suyun yanı sıra mikroorganizmaları da yüzeyinde tutmadığı görülmüş ve sterilizasyonun yüksek olması gereken yerlerde kullanılan tekstil ürünlerinin üretiminde ilham kaynağı olmuştur [32]. Örümceklerin salgı bezlerinde üretilen altı farklı lifin tek bir bütün haline getirdiği örümcek ağlarının mukavemetinden esinlenerek üretilen fiber ipler hava, askeri ve uzay sanayinde kullanılmaktadır [33].



Şekil 10. Bal peteği şeklinde panel



Şekil 11. Köpekbalığı cilt yüzeyi

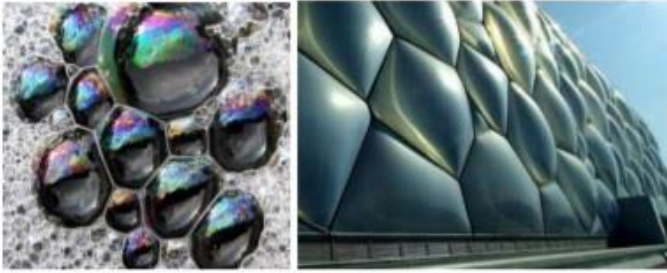
#### D. Biyomimikri ve Mimarlık

İnsanoğlu varoluşundan itibaren zorlu çevresel koşullara karşı çözümler geliştirirken doğayı gözlemledikleri için insan yapımı tasarımların doğadaki tasarımlara benzerlik gösterdiği görülmektedir [34]. Mimarların misyonlarından biri doğa ve insan ilişkisini korumak olduğu için mimarlar stiller, dönemler ya da eğilimlerin ötesinde farklı boyutlar ya da şekillerde hatta bir süsleme aracı şeklinde de olsa doğadan etkilenmişlerdir [17].



Şekil 12. Eiffel Kulesi ve uyluk kemiği yapısı

Karl Cullman uyluk kemiğinin yapısını inceleyerek gözenekli yapısına rağmen dayanımının yüksek olmasını keşfetmesiyle yükün stres noktalarında saplama kirişlerle yükün dağıtıldığını gözlemlemiştir. Cullman bu bilgilerle Gustave Eiffel tarafından tasarlanmış Eiffel Kulesinin daha az malzeme ile dayanımı ve esnekliği yüksek inşa edilmesini sağlamıştır (Şekil 12.) [35].



Şekil 13. Köpük balonu Water Cube Binası

Pekin Olimpiyatları için tasarlanan Water Cube Binası köpük balonlarından esinlenmiş, böylece işlev-görsel bağ kurulmuş ve şeffaf yüzeylerin de mukavemetinin olması sağlanmıştır (Şekil 13.) [36].



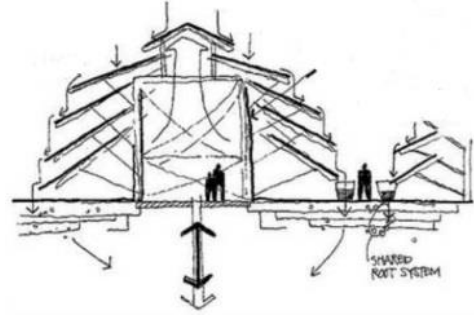
Şekil 14. Pekin Ulusak Stadı

Herzog de Meuron tasarımı Pekin Ulusal Stadı kuş yuvasının ince dallarla sağlanan yüksek mukavemetinden esinlenmiş ve ince çelik taşıyıcı elemanlarla inşa edilmiştir. Çelik elemanların ince ve sık oluşu hem çatı yükünün zemine birçok noktadan iletilmesini hem de oluşturulabilecek şeffaf yüzey potansiyelini artırmıştır (Şekil 14.) [37].



Şekil 15. Termir kulesi ve Eastgate Binası

Mick Pearce tasarımı olan Eastgate Binası ise termit kulelerinin dış sıcaklıktan etkilenmeksizin iç sıcaklığı sabit tutma özelliğinden esinlenilmiştir. Eastgate Binası benzer binaların tükettiği enerjinin yaklaşık %10'unu tüketmektedir (Şekil 15.) [38].



Şekil 16. Lavasa Şehri ve Lavasa'da bulunan bir yapı örneği

Hindistan'da yer alan Lavasa şehri ekosistem düzeyinde biyomimikriye örnek verilebilir. Projede kayalıklardan, çalılara taklit edilen birçok doğa unsuru bulunmaktadır. Şehirdeki yapılar ağaçlardan esinlenmiş ve temellerinde su depolama sistemleri tasarlanmıştır (Şekil 16.) [38].

#### IV. SONUÇ

Doğa milyarlarca yıllık bilgi birikimi ile karşılaştığı sorunlara en etkin çözümleri üreterek insanoğluna da benzer problemlerle karşılaştığında gözlemleyebileceği bir bilgi havuzu oluşturmaktadır. Doğadaki organizmalar çeşitli iklim koşullarına, yapıları ve ihtiyaçları doğrultusunda farklı sistemler geliştirerek uyum sağlamaktadır. Mimarlığın da çözmek zorunda olduğu en büyük problemlerden biri farklı iklim koşullarında sabit bir iç ortam sıcaklığı sunmaktır. İç ortam sıcaklığının belirli ve dar bir aralıkta tutulmasının tıpkı canlılardaki gibi dış ortam ile temas sırasında meydana gelen ısı transferini kontrol etmek sayesinde çözülebileceği saptanmıştır. Dış ortamla temasın organizmalarda cilt yüzeyinde mimari öğelerde ise yapı kabuklarında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapı kabuklarındaki termoregülasyon önem kazanmakta ve organizmalarla benzer prensiplerin yapılarda uygulanması fikri güçlenmektedir. Bu bağlamda yapı kabuklarındaki termoregülasyonun sağlanması için çözümlerin doğadaki örneklerin araştırılmasıyla bulunması tasarımcılar için izlenebilecek en etkin yöntemlerden biri olmaya adaydır.

V. KAYNAKLAR

1. Farchi Nachman, Y., *Learning from nature: Thermoregulation envelope*, in *Department of Building Technology*. 2009, Delft University of Technology: Façade Design.
2. Kipervaser, D., *Behavioral thermoregulation in terrestrial arthropods*. 2003.
3. Abdullah, A., I. Said, and D.R. Ossen, *Applications of Thermoregulation Adaptive Technique of form in Nature into Architecture: A Review*. International Journal of Engineering & Technology, 2018. 7(2.29): p. 719-724.
4. Camargo, C.R., M. Visconti, and A. Castrucci, *Physiological color change in the bullfrog , Rana catesbeiana*. Journal of Experimental Zoology, 1999. 199 283(2): p. 160-169.
5. Mazzoleni, I., *Architecture Follows Nature, Biomimetic, Principles For Innovative Design*. 2013, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
6. Tattersall, G.J. and W.K. Milsom, *Transient peripheral warming accompanies the hypoxic metabolic response in the golden-mantled ground squirrel*. J Exp Biol, 2003. 206(Pt 1): p. 33-42.
7. Badarnah, L., *A biophysical framework of heat regulation strategies for the design of biomimetic building envelopes*. Procedia engineering, 2015. 118: p. 1225-1235.
8. Cloudsley-Thompson, J., *Multiple factors in the evolution of animal coloration*. Naturwissenschaften., 1999. 86(3): p. 123-132.
9. Lillywhite, H.B. and B.R. Stein, *Surface sculpturing and water retention of elephant skin*. Journal of Zoology, 1987. 211(4): p. 727-734.
10. Simonis, P., et al., *Radiative contribution to thermal conductance in animal furs and other woolly insulators*. Optics express, 2014. 22(2): p. 1940-1951.
11. Merck, J.W. *Physiology and Metabolism in the Fossil Record*. 2014.
12. Sanmiya, K., et al., *Mitochondrial small heat-shock protein enhances thermotolerance in tobacco plants*. FEBS letters, 2004. 557(1-3): p. 265-268.
13. Osmond, C., et al., *Stress physiology and the distribution of plants*. Bioscience, 1987. 37(1): p. 38-48.
14. *URL-1: Thermoregulation: A\* understanding for iGCSE Biology 2.78 2.79*, URL: <https://pmgbiology.com/tag/thermoregulation/>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2018.
15. Badarnah, L., Y. Farchi Nachman, and U. Knaack, *Solutions from nature for building envelope thermoregulation*. Design & Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering, 2010. 5: p. 251.
16. Al-Rubaih, M.S., *Energy-Efficient Envelope Design For Schools in Saudi Arabia*. 2008: ProQuest.
17. Arslan Selçuk, S., *A Proposal For A Non-Dimensional Parametric Interface Design In Architecture: A Biomimetic Approach*. 2009, Middle East Technical University: Ankara.
18. Benyus, J.M., *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. 1997, New York: Harper Collins Publishers.
19. Bar-Cohen, Y., *Biomimetics: Mimicking and being Inspired by Biology*. Vol. 505. 2005: CRC Press.
20. Pawlyn, M., *Biomimicry in Architecture*. 2011, UK: RIBA Publishing.
21. Gamage, A. and R. Hyde, *Can Biomimicry, as an approach, enhance Ecologically Sustainable Design (ESD)*, in *NSW 2006*, D.a.P. Faculty of Architecture, Editor. 2006: University of Sydney, Australia.
22. Yeang, K., *Ekolojik Tasarım Rehberi*. 2012: İstanbul: Yem Yayınları.
23. El Ahmar, S.A.S., *Biomimicry as a Tool for Sustainable Architectural Design*. 2011, Alexandria University: Alexandria.
24. Vincent, J.F., et al., *Biomimetics-Its Practice & Theory*. Journal of the Royal Science Interface, 2006.
25. Zari, M.P. *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability*. in *The SB07 NZ Sustainable Building Conference*. 2007.
26. Aldersey-Williams, H., *Zoomorphic - New Animal Architecture*. 2003, London: Laurence King Publishing.
27. Reap, J., D. Baumeister, and B. Bras, *Holism, Biomimicry and Sustainable Engineering*, in *ASME International Mechanical Engineering Conference and Exposition*. 2005: Orlando, FL, USA.
28. Yowell, J., *Biomimetic Building Skin: A Phenomenological Approach Using Tree Bark As Model*. 2011, University Of Oklahoma: Norman.
29. Korhonen, J., *Four Ecosystem Principles for an Industrial Ecosystem*. Journal of Cleaner Production, 2001. 9(253259).
30. Abaician, H., R. Madani, and A. Bahramian, *Ecosystem Biomimicry: A way to achieve thermal comfort in architecture*. International Journal of Human Capital in Urban Management, 2016. 1(4): p. 267-278.
31. Bekem, A., et al., *Uçak Sanayiinde Kullanılan Balpeteği Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi*, in *6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*. 2011: Elazığ.
32. Smirnov, D., *Skin influences biofouling*. 2018.
33. Singh, A. and N. Nayyar, *Biomimicry-an alternative solution to sustainable buildings*. J Civ Eng Environ Technol, 2015. 14(2): p. 96-101.
34. Arslan Selçuk, S. and A. Gönenç Sorguç, *Similarities in Structures in Nature and Man-Made Structures: Biomimesis in Architecture*, in *Conference Comparing Design in Nature with Science and Engineering*. 2004, Wessex Press: England.
35. Ramzy, N., *Sustainable spaces with psychological values: Historical architecture as reference book for biomimetic models with biophilic qualities*. International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR, 2015. 9(2): p. 248-267.
36. Zou, P.X. and R. Leslie Carter, *Lessons learned from managing the design of the 'Water Cube' National Swimming Centre for the Beijing 2008 Olympic Games*. Architectural Engineering and Design Management, 2010. 6(3): p. 175-188.
37. Rogers, A., B. Yoon, and C. Malek, *Beijing Olympic Stadium 2008 as Biomimicry of a Bird's Nest*. Available at < <http://www.cinearc.com>, 2008.
38. Cuce, E., et al., *Strategies for ideal indoor environments towards low/zero carbon buildings through a biomimetic approach*. International Journal of Ambient Energy, 2017: p. 1-10.