

Öz

Yapılı çevrelerdeki enerji tüketiminin büyük bir oranını iklimlendirme sistemleri oluşturmaktadır. Bu nedenle yapı kabuğunun “enerji etkin tasarım” kararları ile elde edilmesi önemlidir. Yapıların kullandığı enerjinin çoğunluğunu oluşturan ısıtma ve soğutma giderleri, iç ortam sıcaklığının, dış ortam sıcaklığının değişmesinden etkilenmeden belirli ve dar bir aralıkta tutulması olarak tanımlanabilecek “termoregülasyon” ile azaltılabilir. Doğa pek çok konuda olduğu gibi termoregülasyon konusunda da mimarlara geniş bir “veri bankası” sunmaktadır. Doğadaki organizmaların milyarlarca yıl boyunca zorlu koşullarda hayatta kalmak için geliştirdikleri fizyolojik, morfolojik ve davranışsal adaptasyon fikirlerinin mimariye aktarılması fikri bu araştırmanın çıkış noktası olmuştur. Makalede doğadaki organizmaların geliştirdiği termoregülasyon yöntemlerinin yapı kabuklarının termoregülasyonunu sağlamak amacıyla uygulanabilirliği araştırılmış ve tasarımcılara geleneksel tasarım yöntemlerinin dışında yeni bakış açıları kazandırmak hedeflenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle doğadaki ısı transfer şekilleri ve organizmaların termoregülasyon sağlama yöntemleri araştırılmıştır. Daha sonra doğadaki canlıların termoregülasyon yöntemlerini taklit ederek tasarlanan mimari yapı kabukları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, doğadaki canlıların geliştirdiği termoregülasyon yöntemlerinin mimari tasarıma uygulanması ile başarılı sonuçlar alınabileceği, bu sonuçların ancak disiplinler arası çalışmalar ile mümkün olabileceği ve tasarımcıların karşılaştığı termoregülasyon sorunlarına doğanın yenilikçi çözümler önerilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapı kabuğu, enerji etkin tasarım, termoregülasyon, biyomimikri.

Yapı Kabuklarında Biyomimetik Termoregülasyon

Biomimetic Thermoregulation in Building Shells

^{IB} Betül Aydın Yazıoğlu

Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

^{IB} Semra Arslan Selçuk

Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

^{IB} Güneş Mutlu Avinç

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Muş, Türkiye

Başvuru tarihi/Received: 24.08.2021, Revize tarihi/ Revised: 05.10.2022, Kabul tarihi/Final Acceptance: 27.10.2022

Extended Abstract

The construction and use of buildings cover %40 of the overall energy consumption in the world. Cooling and heating costs (to provide thermal comfort to the users) are a massive part of this consumption. The energy-efficient design of the building envelopes, where the communication between the external environment and the interior environment is at its highest, will significantly reduce energy consumption. The best energy-efficient design ideas are hidden in nature that has accumulated knowledge for thousands of years.

Air conditioning systems constitute a large proportion of energy consumption in built environments. For this reason, it is essential to construct the building envelope with “energy efficient design” decisions. Heating and cooling costs, which constitute the majority of the energy used by the buildings, can be reduced by “thermoregulation,” which can be defined as keeping the indoor temperature within a particular and narrow range without being affected by the change in the outdoor temperature. Nature offers architects a significant “data bank” on thermoregulation as on many other subjects. The idea of transferring the physiological, morphological, and behavioral adaptation ideas developed by organisms in nature to survive in harsh conditions for billions of years to the field of architecture has been the starting point of this research.

This paper aims to answer the question: “Can thermoregulation solutions in nature be a source of inspiration for energy-efficient designs in building envelopes where heat gain and heat loss occur the most?” For this purpose, the applicability of thermoregulation methods developed by organisms in nature to provide thermoregulation for building envelopes was investigated. It aimed to provide designers with new perspectives apart from traditional design methods.

Firstly, a literature review on the concepts of thermoregulation and biomimicry was studied. Thermoregulation methods developed by living creatures in nature according to the ambient temperatures they live in were investigated. Afterwards, the concept of biomimicry was examined, and its intersection with architecture was investigated. Five samples designed inspired by living things that developed thermoregulation methods according to various environmental conditions were investigated for fieldwork. Some creatures, which have the same need to keep their internal body temperatures within a specific range, struggle with high temperatures, and some with low temperatures. It has been analyzed how the physiological, morphological, and behavioral adaptations were developed according to the needs of the living things in the examined samples affect the design. The selection of the examined organisms from different climatic regions allowed us to observe the changes in thermoregulation strategies. A table was created by comparing the data obtained, the climatic region in which the living things live, the heat transfer methods they developed, the features they developed to provide heat transfer, and the adaptation methods. It has been examined whether designs inspired by nature while providing thermoregulation in building envelopes reach the goal of energy-efficient design.

As a result of the evaluation, it has been seen that the idea of being inspired by nature, whose biological information pool contains countless solutions, has potential in the discipline of architecture, as in many disciplines. It has been seen that the application of thermoregulation methods of living things in nature in architectural designs with a biomimetic design approach can achieve the energy-efficient design goal of architects. It was concluded that successful results could be obtained by applying the thermoregulation methods developed by living things in nature to architectural design, that these results can only be possible with interdisciplinary studies, and that nature can offer innovative solutions to the thermoregulation problems faced by designers.

The environmental conditions of the architectural product to be designed and the users’ requirements should be well analyzed. Solutions of a correctly analyzed problem to similar problems by living things in nature should be investigated. Integrating solutions produced by nature in building envelope design should be tested using various simulation programs. Billions of living organisms in nature create an unlimited pool of examples with new features waiting to be discovered. This biological information data pool, which nature has accumulated for centuries, contains countless solutions to the problems that designers face or will encounter.

Keywords: Building shell, energy-efficient design, thermoregulation, biomimicry.

Cite this article as: Aydın Yazıoğlu B, Arslan Selçuk S, Mutlu Avinç G. Yapı Kabuklarında Biyomimetik Termoregülasyon. Tasarım Kuram 2022;18(37):96–110.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

1. Giriş

Yapıların kullandığı enerjinin büyük bir oranını pasif iklimlendirme sistemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda devreye giren mekanik iklimlendirme sistemleri oluşturmaktadır. Mekanik sistemlere ihtiyaç duymadan ve dış ortam sıcaklığının değişiminden etkilenmeden iç ortam sıcaklığını belirli ve dar bir aralıkta tutma, bir başka ifade ile “termoregülasyon” sağlama enerji tüketimini önemli ölçüde düşürmektedir. Mimarların termal konforlu bir iç ortam sunma görevi özellikle “yapı kabuklarında” gerçekleşen yoğun ısı transferi nedeniyle zorlaşmaktadır.

Bununla birlikte enerji tüketiminde en büyük orana sahip yapı kabuğunun enerji etkin olarak tasarımı günümüzde sıklıkla araştırılmaktadır. Bu konuda Karamanlioğlu (2011) çalışmasında bina cephelerini analiz ederek enerji etkinliği sağlamaya yönelik yaklaşımları tespit etmiştir. Loonen vd. (2013) yapmış oldukları makalede, iklim uyumlu bina kabuğu konusunda literatürde yer alan araştırma, tasarım ve geliştirme çalışmalarının kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Loonen (2015) yapmış olduğu çalışmada, bina kabuğu için biyo-esinli uyarlanabilir çözümlerle birlikte araştırma konseptlerinin ve tasarım uygulamalarının en son örneklerini bina fiziği ve enerji verimliliği kapsamında, iç mekân çevre kalitesini iyileştirmeye odaklı olarak gözden geçirmektedir. Gündoğdu ve Arslan (2020) ise doğadan edinilen bilgiler doğrultusunda tasarlanan enerji etkin cephe örneklerinde su, hava, ışık ve ısı düzenleme ilkelerini araştırmıştır. Literatürde bu konuda yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu araştırmada ise diğer araştırmalardan farklı olarak doğada görülen termoregülasyon stratejilerinin yapı kabuğuna çözüm olarak aktarıldığı örnekler incelenmiştir.

Canlılar varoluşlarından bu yana hayatta kalma mücadelesinde geliştirdikleri becerilerini, yüz yıllardır biriktirdikleri “biyolojik bilgi havuzu” sayesinde geliştirmişlerdir. Kutuplardan çöl iklimine kadar çeşitli habitatlarda yaşayan canlıların, çevresel koşulları her ne kadar birbirinden farklı olsa da hayatta kalma mücadeleleri

ortaktır. İnsanoğlunun karşılaşma ihtimali olan sorunlara çözümler barındıran bu biyolojik bilgi birikimi, mimarlık disiplininin de minimum enerji ve malzeme sarfiyatı ile maksimum verimli, enerji etkin ve sürdürülebilir tasarım yapma amacını gerçekleştirmede anahtar rol üstlenecek potansiyellere sahiptir.

Hem yüksek hem de düşük sıcaklıktaki iklim bölgelerinde yaşayan canlılar vücut iç sıcaklıklarını belirli bir aralıkta tutmak zorundadır. Tıpkı yapılarda olduğu gibi canlıların da ısı kazanç ve kayıpları dış ortamla temas eden cilt/deri ya da kabuk yüzeyidir. Bu nedenle canlıların geliştirdiği termoregülasyon yöntemleri benzer çevresel koşullarda, benzer amaçlar doğrultusunda tasarlanacak yapı kabukları için ilham kaynağı olabilir.

Doğada termoregülasyona bakıldığında doğadaki canlıların değişken sıcaklıklarda iç sıcaklıklarını korumak amacıyla fizyolojik, morfolojik ve davranışsal adaptasyonlar geliştirdikleri görülmektedir. Buradan hareketle “Doğada görülen termoregülasyon stratejilerinin canlıların kabuk ya da ciltleriyle benzer görevleri olan yapı kabuklarında da uygulanabilir mi?” sorusu bu çalışmanın çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bu doğrultuda ilk olarak termoregülasyon ve biyomimikri kavramları ele alınmıştır. Daha sonra geliştirilen yöntemlerin çeşitlilik göstermesi amacıyla farklı sert çevresel ve değişken çevresel koşullarda yaşayan beş canlının geliştirdiği termoregülasyon yöntemleri incelenmiştir. Farklı iklim bölgeleri ve farklı ihtiyaçlara sahip olan bu beş canlının seçilmesi, ihtiyaca göre çeşitlenen tasarım çözümlerinin incelenmesine olanak sağlamıştır. Bu doğrultuda yapı kabuklarının termoregülasyonu sağlanırken karşılaşılan sorunlar ile benzer sorunlara çözüm üretmiş canlılar araştırılmış, mimari tasarım sürecinde doğadaki bu canlıların termoregülasyonu kullanılarak üretilen tasarımlar ve bu canlıların geliştirdiği özellikler karşılaştırılarak ele alınmıştır. Yapı kabuklarının tasarımında karşılaşılan problemler, bu problemlere çözüm üretmek için araştırılan canlılar ve bu canlılardan yapı kabuklarına

aktarılan bilgiler analiz edilmiştir. Çalışma, incelenen canlıların yaşadığı iklim bölgesi, adaptasyon yöntemleri, kullandığı ısı transfer yöntemi ve ısı transferini sağlamak için geliştirdiği özelliklerin karşılaştırılmasıyla tamamlanmış, bu parametrelerin mimari tasarımı nasıl etkilediğine dair bir tartışma ile sonuçlandırılmıştır.

2. Literatür Taraması ve Kavramsal Çerçeve

2.1. Canlılarda Termoregülasyon

Bir canlının vücut iç sıcaklığının dış koşullardan etkilenmeden belirli ve dar bir aralıkta tutulmasına termoregülasyon olarak adlandırılmaktadır (Farchi Nachman, 2009, 23). Bir enerji olan ısı, yüksek olandan düşük olana transfer olmaktadır (Abdullah vd. 2018, 720). Isı akışının hızlandırılması ve engellenmesi ısı düzenleme sağlamanın iki yoludur. Doğadaki canlılar dış ortam koşulları değiştiğinde, ısı kazanımı ya da ısı kaybını yöneterek termoregülasyon sağlamak için metotlar geliştirmişlerdir (Kipervaser, 2003). “Soğukkanlı ve sıcakkanlı canlı türlerinin her ikisi de geliştirdikleri davranışsal ve fizyolojik farklı mekanizmalarla termoregülasyonunu sağlamaktadır” (Hill vd. 2004, 225-226; Schmidt-Nielsen, 1997, 206). Bu metotlar temelde ısı kazanımı, ısı korunumu, ısının dağıtılması ve ısınmayı önlemedir.

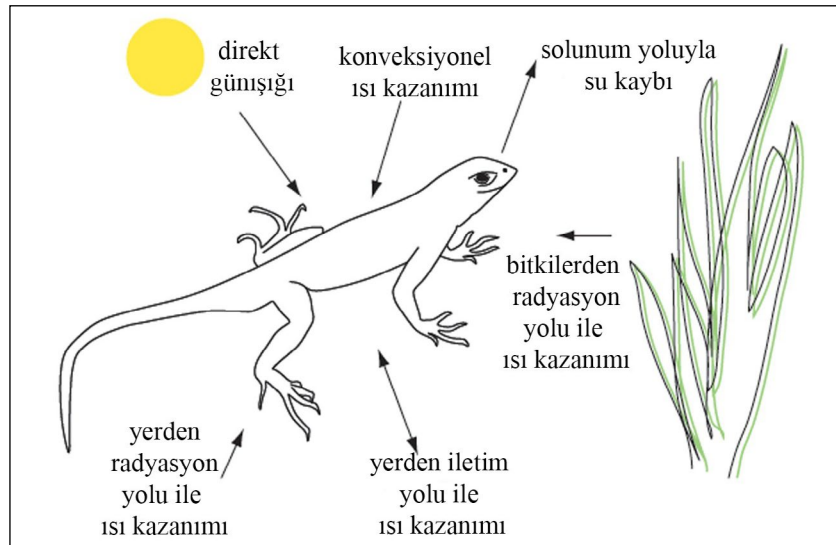
Isı kazanımı, metabolik faaliyetlerin artırılması ya da özellikle soğukkanlı canlılar için güneşten gelen radyasyon emilimi sağlanmaktadır. Isı emilimi miktarı, canlının renklerine, ısı kaynağına uzaklığına, yönelmelerine ve vücut alanı/hacmi oranına (Mazzoleni, 2013, 98) bağlı olarak değişmektedir. Vücudundaki açık ve koyu renkli cilt yapısının oranlarını kasılmalarla kontrol edebilen birçok sürüngen, ihtiyacına göre bu özelliğini ısı dengesi korumak için kullanmaktadır (Camargo vd. 1999, 160-169). Ayrıca canlılar ısı kaynağına olan yönelimlerini değiştirerek ya da buldukları ortamı değiştirerek ısı kazanım ve kayıplarını kontrol edebilmektedir (Schmidt-Nielsen, 1997, 56). Şekil 1’de bir kertenkelenin ısı kazanım yöntemleri gösterilmiştir. Sıcakkanlı canlılar (endoterm) ise ısı kazanımı amacıyla

la metabolik faaliyetleri artırmak üzere egzersiz ve egzersizden daha etkili bir ısı kazanım yöntemi olan kaslarını istemsiz ya da istemli titretme hareketi yapmaktadır (Badarnah, 2015, 5).

Vücut ısısının korunması, termoregülasyon sağlamanın bir başka yoludur. Vücut ısısından daha düşük sıcaklıktaki ortamlarda kürklenme eğiliminin artması (Mazzoleni, 2013, 108), ciltteki ısı yalıtım katmanının kalınlığının mevsimlere ve bulunduğu ortam sıcaklığına göre değişmesi (Schmidt-Nielsen, 1997, 234), kış uykusu gibi yöntemlerle metabolik faaliyetlerin azaltılarak vücut ısısının ortam sıcaklığına yakın seviyelere düşürülüp dışarı ısı aktarımının azaltılması (Tattersall ve Milsom, 2003) gibi yöntemler canlıların vücut ısısını korumaya yönelik geliştirdiği yöntemlerdir.

Canlıların vücut sıcaklıkları yaşayabilecekleri dar aralıktan yükseldiğinde termoregülasyon sağlamak için fazla ısının dağıtılması gerekmektedir. Bir ortamdaki ısı farklılığı ısınan havanın yükselmesi prensibinden dolayı hava akımı oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalara göre zebuların cildindeki koyu ve açık renkli yüzeylerin radyasyonla ısınma etkisi birbirinden farklı olduğundan cilt yüzeyinde bir hava akımı oluşmakta, dolayısıyla vücuttaki fazla ısı dağıtılarak soğuma sağlanmaktadır (Cloudsley-Thompson, 1999, 123-132; Jackson, 2012; Morris, 1990). Cilt yüzeyini ıslatarak buharlaşma sayesinde ısının dağıtılması;

Şekil 1
Kertenkelenin geliştirdiği ısı kazanım metotları (Mazzoleni, 2013, 107).



terleme, soluma ve kuşlarda gırtlak titretme hareketi ile sağlanmaktadır (Hill vd. 2004, 227; Schmidt-Nielsen, 1997, 235).

Canlıların yüksek sıcaklıkta organik yapıları bozulabilmekte bu nedenle canlılar vücut sıcaklıkları tehlikeli seviyeye gelmeden daha fazla ısınmayı önleme yöntemleri geliştirmişlerdir (Hill vd. 2004, 233). Vücut yüzey alanı oranının yanı sıra bazı canlıların kırışık yüzeyli cilt yapısı gölgeleme etkisinin artması ısınmayı azaltmakta ve cilt yüzey alanı fazlaştığı için terleme yüzeyi de artmaktadır (Lillywhite ve Stein, 1987). Tüm bunlara ek olarak ısınmayı önlemede renk etkisinin yanı sıra kürk yapısının işlevinin -salt yalıtımdan ziyade- canlıların yaşadığı ortam koşullarına göre değiştiğini ortaya konmuştur (Simonis vd. 2014, 1941-1951).

Bitkiler, hayvan türleri gibi hareket yeteneğine sahip olmadığından termoregülasyon sağlamak için ısı değişimlerine karşı daha pasif yöntemler olan, ısı şoku proteinlerini kullanma (Sanmiya vd. 2004), yüzey alanı/hacim oranının, gövde kalınlıklarının ve stoma etkinliklerinin yaşanan iklim bölgesine göre değişmesi (Osmond vd. 1987, 38-48) gibi yöntemler geliştirmişlerdir.

İnsanlar ise yüksek sıcaklıklarda, terleme (Hill vd. 2004, 227; Schmidt-Nielsen, 1997, 211; Terrien vd. 2011, 1430), vazodilatasyon (Fu vd. 2016, 190; Terrien vd. 2011, 1430) gibi yöntemlerle termoregülasyon sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda termoregülasyon sağlanmak için, kas etkinliği artırılarak ısı üretimi artırılmakta, tüyler dikleştirilerek ısı yalıtım tabakası kalınlaştırılmakta, vazodilatasyon tersi olan vazokonstriksiyon gerçekleştirilmektedir (Badarnah vd. 2010, 211).

Özet olarak hayvanlar, bitkiler ve insanlar çevresel koşullar değişse de vücut sıcaklıklarını yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli sıcaklık aralığında tutmak amacıyla birçok yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemler temelde düşük sıcaklıktaki ortamlarda ısı kazanmaya ve mevcut ısıyı korumaya, yüksek sıcaklıktaki ortamlarda daha fazla ısınmayı engelleme ve fazla ısıyı dağıtma prensiplerine dayanmaktadır. Benzer çevresel koşullarda yer alan yapılar da hayvanlar ve bitkiler gibi iç ortam

sıcaklıklarını değişken çevresel koşullardan etkilenmeksizin belirli aralıkta tutma ihtiyacına sahiptir. Mimaride termoregülasyon tıpkı hayatta kalma mücadelesi veren canlılar gibi mimarlık disiplininin üstesinden gelmesi gereken bir zorluktur.

2.2. Mimaride Termoregülasyon

Değişken ısı şartlarına uyum sağlamak zorunda olan canlılara termal konforu sağlayan bir iç ortam sunma isteği mimarların çözmek zorunda kaldığı en büyük zorluklardan biridir (Mazzoleni, 2013). Tıpkı doğadaki diğer canlıların değişken koşullar için geliştirdiği adaptasyonlar gibi mimarlar da kullanıcılarına termoregülasyonun sağladığı bir iç ortam sunmak durumundadır (Abdullah vd. 2018). “Termal konforlu ortam, kişilerin daha sıcak ya da daha soğuk olmasını tercih etmeyecekleri” (Fanger, 1972), ya da “sıcaklığın yüksekliğinden veya düşüklüğünden rahatsız olmayacakları” (Givoni, 1998, 15), “cilt ve vücut iç sıcaklığının dengede olduğu ve vücutta üretilen ısı miktarı ile dış ortama kaybedilen ısı miktarının eşit olduğu” (Rahman, 2014, 21) ortam olarak tanımlanabilir. Yapılardaki iklimlendirme giderlerinin enerji tüketiminin çoğunluğunu oluşturduğu düşünüldüğünde, enerji etkin tasarım ile termal konfor sağlanan iç ortamın birbirini doğrudan etkilediği söylenebilir (Başarır, vd. 2012, 3).

Yapılarda dış ortam ile iç ortamı ayıran bir bariyer görevindeki yapı kabuklarının tasarımı iç ortamdaki termal konforu doğrudan etkilemektedir (Al-Rubaih, 2008). Yapı kabuklarında tercih edilen malzemelerin ısı özellikleri güneşten gelen radyasyonun yapı içine ne kadar girmesine izin verileceğini belirlemektedir (Fecheyr-Lippens & Bhiwapurkar, 2017). Ayrıca yapı kabuklarında kullanılan renklerin (Moujaes ve Brickma, 2003; Parker vd. 1998), yalıtım malzeme kalınlığının (Al-Rubaih, 2008), cephedeki şeffaf alanların optimizasyonunun (Sadineni vd. 2011) ve hangi cephelere yerleştirildiğinin (Ghisi ve Tinker, 2005), dış ortam ile iç ortam arasındaki hava sızıntılarının kontrolünün (Al-Rubaih, 2008, 30) yapılarda sağlanacak termoregülasyona etkisi önemli ölçüde büyüktür.

Değişken çevresel koşullardan etkilenmeksizin kullanıcılara termal konforlu



Şekil: 2
Doğada ve mimaride termoregülasyon
Badarnah (2015)'dan yararlanılarak
düzenlenmiştir.

bir iç ortam sunma hedefi, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran yapı kabuklarının özelliklerinin mimaride termoregülasyonu önemli ölçüde etkilemesi gibi özellikler doğadaki canlılarla benzerlik göstermektedir (Şekil 2). Doğadaki canlıların milyarlarca yıllık adaptasyonları sonucu eriştikleri özellikleri, mimari tasarımlarda benzer sorunlara çözüm ararken kullanmak akılcı bir çözüm olacaktır.

2.3. Biyomimikri Kavramı

Doğada var olan canlı ya da cansız tüm oluşumların fiziksel özellikleri ya da davranışları bilimi ve teknolojiyi her dönemde etkilemiş, gelişen teknoloji ile doğa üzerindeki araştırmalar derinleşmiş bilimin birçok dalında ilham kaynağı olmuştur (Al Hussaini, 2005: 35). Mutlu Avinç ve Arslan Selçuk (2018, 121)'a göre "...milyarlarca yıldır varlığını sürdüren doğa etkileşimli, uyarlanabilir, duyarlı, performatif, akıllı, sürdürülebilir çözümlerin kaynağıdır." İnsanoğlunun doğa ile bütünleşmesi ancak tasarım sürecinde doğadan alınan verilerin tasarımla buluşmasıyla sağlanabilir.

"Yunanca hayat anlamına gelen bios ve taklit etme anlamına gelen mimic kelimelerinden türetilmiş olan biyomimikri kavramı, doğadaki canlı ve cansız varlıkların işlevi, yapısı ve mekanizmasının araştırıldığı bir bilimdir" (Arslan Selçuk, 2009, 41). "Doğadan ilham alınarak yapılan tasarımlar kullanıldıkları disiplinlerce biyofizik (biophysics), biyomimetik (biomimetics), biyomimesis (biomimesis), biyognosis (biognosis) ya da biyonik (bionic) gibi kelimelerle tanımlansa da temelde her biri doğadan fikir alma eylemiyle ortaya çıkan sonuçtur" (Vincent, 2001). Biyofizik terimini ilk kez Otto Schmitt, fizik bilimindeki problemlere biyolojik bilimler ile, biyoloji bilimindeki problemlere fizik bilimi ile çözüm bulmak olarak açıklamıştır (Harkness, 2002). Biyonik terimi ilk kez Jack Steele tarafından,

organik dokuların mekanik versiyonlarıyla desteklenmesi veya değiştirilmesi olarak tanımlanmıştır (Gruber, 2011, 14). Schmitt daha sonra, biyomimetik kavramını "biyolojik olarak üretilen maddelerin ve biyolojik sistem ve oluşumların, yapısı ya da işlevlerini taklit ederek benzer ürünlerin üretilmesi" olarak tanımlamıştır (Vincent vd., 2006, 471-482). Benyus (1997) biyomimikriyi "doğanın en iyi fikirlerini inceleyen ve insanların problemlerini çözmek için bu tasarımları ve süreçleri taklit eden yeni bir disiplin" olarak tanımlamıştır. Pawlyn'e göre biyomimikri, doğadaki organizmaların farklı fiziksel özelliklerini, davranışlarını ve nasıl çalıştıklarını anlayıp tasarımda yenilikçi çözümler üretmek için kullanmaktır (Pawlyn, 2011, 25). Dr. Alan Marshall ise biyomimikri kavramını "doğanın, biyolojinin teknoloji, materyal, strüktür ve formda kullanılması" olarak tanımlamıştır (Gamage ve Hyde, 2006, 16-18).

Başta biyomimikri olmak üzere farklı biyo-bilgili tasarım yaklaşımları pek çok tasarım disiplinde olduğu gibi mimarlık alanında da artan bir ilgi ile kullanılmaktadır. Sürdürülebilirlikten, yaratıcılığa, yapılar için en iyi duruma evrilmiş form/strüktür/malzeme tasarımına ve işletme için uygun teknolojilerinin geliştirilmesine kadar her türlü yenilikçi fikir için "doğanın bilgi birikimi" rehber olmaya devam etmektedir (Aydın Yazıcıoğlu, 2020). Buradan hareketle bina kabuğunun ısı düzenleme özelliğine sahip olması için doğa farklı yaklaşımlara sahip birçok bilgi sunmaktadır.

3. Bina Kabuğunun Termoregülasyonunda Kullanılabilecek Biyomimetik Yaklaşımlar

Yapıların genel enerji tüketimindeki payı ve yapıların bu enerjinin çoğunu iklimlendirme sistemleri için kullandığı düşünüldü-

ğünde; enerji tüketimi, yapı kabuklarının pasif koruyucu bariyer görevinden, aktif enerji dengeleyici bir yapı bileşeni haline gelmesi ile azaltılabilecektir (*Gosztonyi vd. 2013, 30*). Tıpkı canlı organizmaların cildi/derisi/kabuğu gibi çalışan yapı kabukları, zararına olanın geçişini engelleyen, yararına olanın geçişine izin veren, geçirgen bir engel bir bariyerdir (*Mazzoleni, 2013, 20*). Canlıların ciltleri vücudu koruma görevinin yanı sıra, estetik olarak güzeldir, sıcaklık ve nemi de düzenlemektedir (*Yowell, 2011*). Yapı içindeki sıcaklık ihtiyacına göre fazla ısının dağıtılması ve mevcut ısının korunması, canlı bir organizma gibi çalışan yapı kabuklarının işlevlerindedir (*Badarnah, 2015, 40*).

Canlıların içinde bulunduğu doğadaki sert çevresel iklim şartları değişken olduğundan, canlı organizmalar da hayatta kalma mücadelesinde statik olmayan aktif sistemlere sahiptir (*Dinur, 2004*). Çevresel koşullar değiştikçe iç ortam sıcaklığını sabit tutmak için gereksinimler değişeceğinden, pasif sistemlerle tasarlanmış bir yapı kabuğunun kullanıcılarına termal konfor sağlaması mümkün olmayacaktır (*Wigginton ve Harris, 2013*). Doğadaki canlıların zorlu çevresel koşullar için geliştirdikleri stratejiler, varoluşlarından bugüne kadar geçirdikleri adaptasyonlar ve doğal seleksiyonlarla gelişmiş ve canlı türlerinin daha dayanıklı, sağlıklı ve üretken olmasını sağlamıştır (*Wiebe, 2009*). “Yapı kabuklarının tasarım sürecinde doğanın tasarımlarını geliştirme sürecinden ilham almak istenen başarıyı sağlayabilir” (*Wigginton ve Harris, 2013, 35*).

Canlıların vücut sıcaklıklarını belirli ve dar bir aralıkta tutması, ısı kazanç ve kayıplarının kontrol edilmesiyle sağlanmaktadır. Yaşadıkları farklı çevresel koşullara göre çeşitlilik gösteren, yalıtım sağlayan cilt yapıları, vücut biçimleri, davranışsal özellikleri gibi geliştirilen yöntemler, doğadaki organizmaların minimum enerji sarfiyatı ile termoregülasyon sağlamasını mümkün kılmaktadır (*Kipervaser, 2003*). Ektodermiler termal dengeye harici bir ısı kaynağına ihtiyaç duyarak ulaşırken, endotermiler metabolik faaliyetler sırasında ortaya çıkan ısıyı

kontrol ederek ulaşmaktadır (*Hill vd. 2004, 226*). Örneğin sıcak ve kurak iklim bölgelerinde yaşayan canlılar ısı düzenlemeyi; ısıyı yansıtmak amacıyla açık renkli cilt yapısıyla, terleme ya da tükürük ve idrar ile benzer prensiple cilt yüzeyini ıslatma özelliğiyle, cilt yüzeyindeki damarların genişletilmesi ve daraltılması hareketiyle ve aktif olma saatlerinin günün sıcak ve serin saatlerine göre ayarlanmasıyla sağlamaktadır (*Schmidt-Nielsen, 1997*). Soğuk iklim bölgelerinde yaşayan canlılar ise ısı düzenlemeyi; deri altı yağ tabakası veya kürk içeren ciltlerindeki yalıtım katmanıyla, toplu hareket ederek ısının dağılmasının engellenmesiyle, donmayı engelleyen şok proteinlerinin üretilmesiyle ve kış uykusuyla sağlamaktadır (*Schmidt-Nielsen, 1997*).

Bu çalışmada araştırılan termoregülasyon problemleri ve doğanın çözümleri göz önünde bulundurulduğunda, tıpkı doğadaki sistemler gibi değişken çevresel koşullara uyum sağlayan, statik olmayan, iletişimsel, modüler, sürdürülebilir, enerji etkin ve akıllı yapı kabuğu tasarımları fikirleri tasarımcıların dikkatini çekmiştir. Bu bağlamda çalışmanın bu bölümünde farklı iklim bölgelerinde yaşayan ve yaşadığı çevreye uygun adaptasyonlar geçiren beş canlı ve bu canlıların özelliklerinden esinlenerek/öğrenerek tasarlanan mimari kabuklar incelenmiştir. İncelenen canlıların ortak amaca ulaşma sürecinde geliştirdikleri stratejilerin çeşitlilik göstermesi ve bu çeşitliliğin kıyaslanabilmesi adına çok sıcak, çok soğuk ve tropikal iklim tiplerinde yaşayan farklı canlılar seçilmiştir. Seçilen canlıların geliştirdiği stratejilerin morfolojik, fizyolojik ve davranışsal, aktif ya da pasif olma durumlarının da çeşitlilik göstermesi mimari tasarımlara etkilerinin çeşitlilik kazandırması amacıyla 5 örnek üzerinden inceleme ile kısıtlanan çalışmaya zenginlik kazandırmıştır.

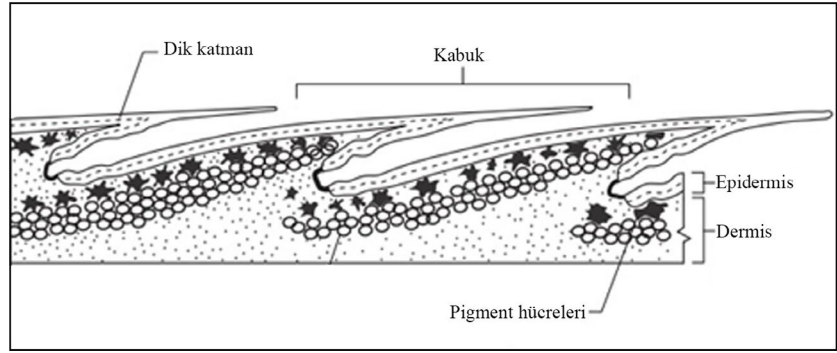
3.1. Yan Lekeli Kertenkele ve S.C.A.L.E.S¹ Tasarımı

Yan lekeli kertenkele (*Uta stansburiana*) Amerika'nın hava sıcaklığı +50°C ile -18°C arasında değişen, sıcak ve kurak Büyük Havza Çölü'nde yaşamaktadır. Kritik ısı değişimlerine karşı vücut ısısını dengele-

¹ Smart, Continuous, Active, Layered, Environmental System.

mek zorunda olan bu ektoderm canlı, termoregülasyon sağlamak için dışarıdan bir ısı kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Vücudunun üst kısmı ısı emilimini artırıcı koyu renk cilt yüzeyine sahipken, vücudunun alt kısmı ısının yansıtılmasını sağlayan açık renk cilt yüzeyine sahiptir. Kertenkelenin bu özelliği vücudunun yönelimini ve konumunu değiştirerek vücudunun ihtiyacı olan sıcaklık aralığında kalmasını sağlamaktadır (McGinnis, 1970). Kertenkelenin derisi (Şekil 3), “dış ortama karşı koruma, kamuflaj ve yüzeyin nemlenmesi işlevinin yanında ince ve kalın bölümlerden oluşan yapısal özelliği, kertenkelenin hareket kabiliyetine ve termoregülasyonuna katkı sağlamaktadır” (Goller vd. 2014).

Çöl ortamındaki aşırı ısı değişimlerine uyum sağlayacak ve kullanıcılarına aşırı sıcak ya da soğuk günlerde aynı iç ortam koşullarını sunacak bir yapı kabuğu tasarım sürecinde, kertenkelenin termoregülasyon yöntemlerinden ilham alınmıştır. Kertenkelenin fizyolojik özellikleri yapı kabuğunun malzeme seçimlerini, davranışsal özellikleri ise cephedeki akıllı sistem tasarımlarını etkilemiştir (Şekil 4). Kertenkelenin kabuk yapısına benzer şekilde, güney cephesinde opak ve yalıtkan, fotovoltaik panel ve açılabilir saydam bileşen olmak üzere 3 farklı panelden oluşan bir yapı kabuğu tasarlanmıştır. Bu kabuk, içindeki faz değişim maddesiyle gün boyu emdiği ısıyı gecenin soğuk saatlerinde yapı içine vermekte, fotovoltaik paneller elektrik üretimini sağlamakta ve açılabilir pencerelerle mekânı havalandırmaktadır. Tüm bu paneller cephelerin ısınma oranına ve ihtiyacına göre konumlandırılmış ve çelik ızgaralara oturtulmuştur, ihtiyaca göre ızgara üzerindeki konumu değiştirebilmektedir (Şekil 4) (Mazzoleni, 2013).

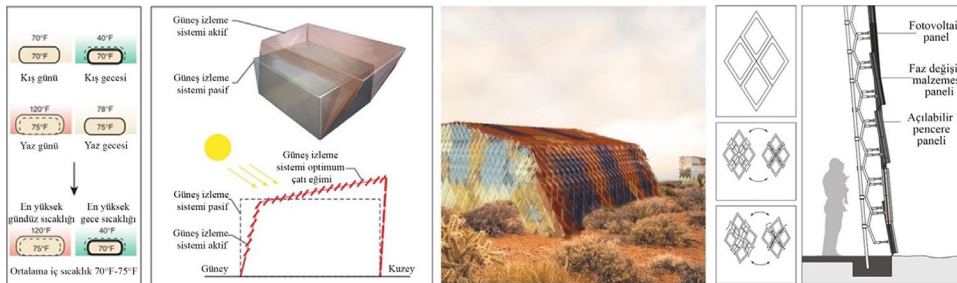


3.2. Kutup Ayısı ve Kutup Ayılarının Kürklerinden Esinlenerek Tasarlanan Yapı Kabuğu

Kutup ayıları, “+10°C ile -23.5°C arasında değişen çevre sıcaklıklarına büyük vücut yapısı, kalın kürk ve yağ tabakası ile uyum sağlamaktadır. Ayrıca endoterm olan kutup ayıları metabolik faaliyetlerini artırarak ısı kazanımı, kışın en soğuk dönemlerinde ise kış uykusuyla metabolik faaliyetlerini azaltarak ısı kaybının azaltılmasını sağlamaktadır” (Heschong, 1979). Kutup ayılarını çevresel koşullara karşı birincil koruma sistemi olan ciltleri, cilt yüzeyindeki ılık havayı hapsedmek üzere tasarlanan yoğun katman, kamuflaj sağlayan uzun tüylerin bulunduğu katman olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Cilt yüzeyi “ısının daha fazla absorbe edilmesi için koyu renklidir, yoğun katman beyaz renklidir ve dış katman ısının deri yüzeyine ulaşmasına olanak sağlamak için şeffaf ve içi boş yapıdadır” (Feldhamer vd. 2003; Stegmaier vd. 2009) (Şekil 5).

Denkendorf Tekstil Teknolojisi ve Süreç Mühendisliği Enstitüsü (ITV) kutup ayılarının zorlu çevresel şartlarda hayatta kalmak için geliştirdiği stratejilerden ilham alarak ısıl düzenleme sağlayan bir membran tasarlamıştır. Kutup Ayı-

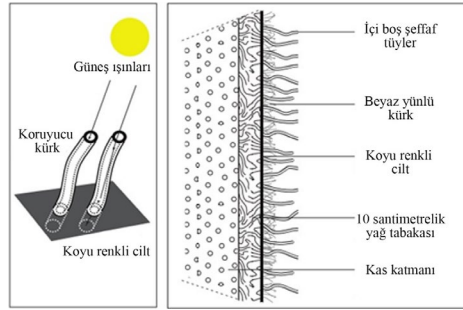
Şekil 3
Kertenkele derisinden bir kesit (Mazzoleni, 2013).



Şekil 4
Kertenkeleden esinlenerek tasarlanan bir cephe sistemi (Mazzoleni, 2013).

Şekil: 5

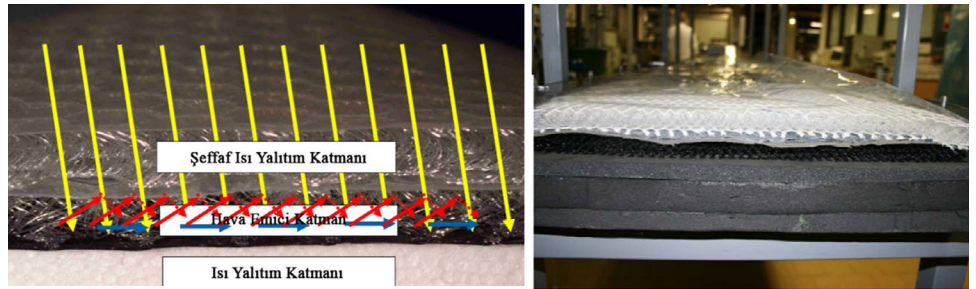
Kutup Ayılarının Termoregülasyonu (URL-1, 2022).



sı Pavyonu (*Polar Bear Pavilion*) ayıların termoregülasyon sağlayan cilt yapısından esinlenerek tasarlanan ve geliştirilen bu membran ile inşa edilmiştir. (Şekil 6). Kutup ayılarının şeffaf ve içi boş tüyleri projedeki şeffaf katmana, yoğun katman bu katmanın altındaki ılık havayı hapseden katmana, koyu renkli cilt yüzeyi ise radyasyonla ısının emilerek depolanmasına yön vermiştir. Hapsedilen ılık hava termo-kimyasal enerji deposuna ulaşarak burada depolanmaktadır (Şekil 7) (Stegmaier

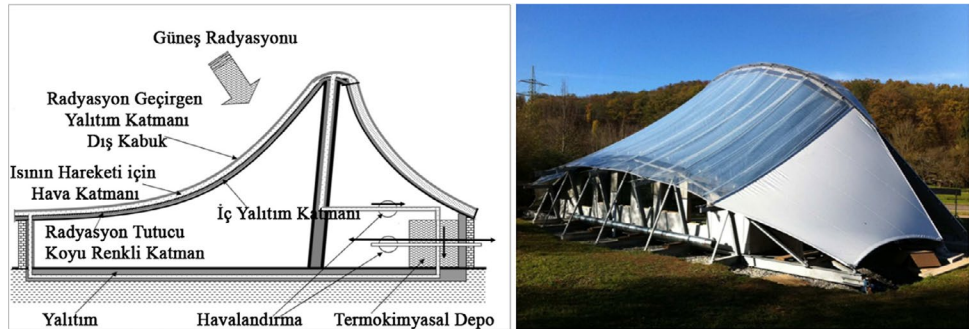
Şekil: 6

Kutup ayısının kürkünden esinlenerek tasarlanan membran (URL-2, 2022).



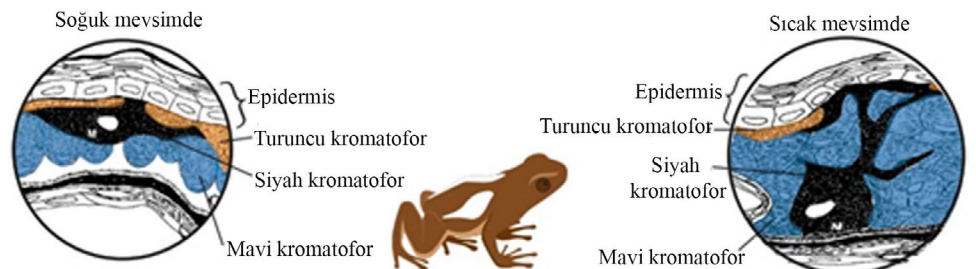
Şekil: 7

Kutup Ayısı Pavyonu (URL-2, 2022).



Şekil: 8

Kamış kurbağası derisinin sıcaklık farkına göre değişimi (Fecheyr-Lippens & Bhiwapurkar, 2017).

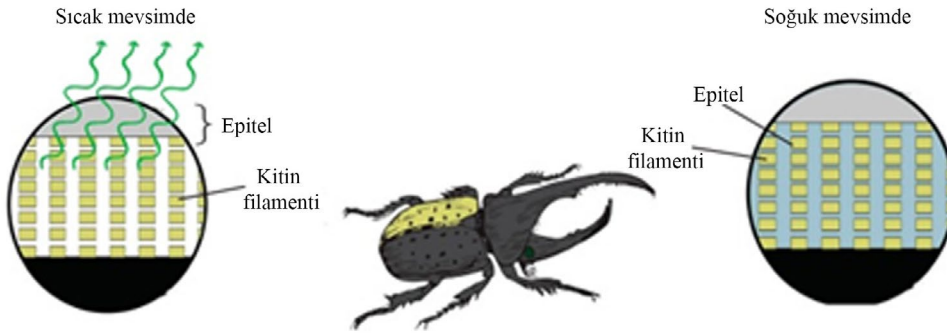


vd. 2008; Engelhardt ve Sarsour, 2015).

3.3. Kamış Kurbağası ve Herkül Böceği ve Geliştirdiği Termoregülasyondan Esinlenerek Tasarlanan Bir Ofis Cephesi

“Sıcaklıklarının 36-38°C’ye ulaştığı çok sıcak ve kurak bir iklim bölgesinde yaşayan kamış kurbağaları, aşırı ısınma söz konusu olduğunda vücutlarını şişirir, metabolik hızlarını azaltır ve cilt renklerini açarak radyasyonla ısınma engellenir. Aşırı ısınma söz konusu olduğunda azotlu atıklar vücutta tutularak pürin kristalleri halinde cilt yüzeyinde katmanlaşır ve bu parlak katman gün ışığını yansıtarak ısınma engellenir” (Kobelt & Linsenmaier, 1986).

Şekil 8.’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



Şekil: 9

Herkül böceğinin renginin sıcaklık farkına göre değişimi (Fechey-Lippens & Bhiwapurkar, 2017).

renkler artmaktadır” (Kobelt ve Linsenmair, 1986).

“Yağmur ormanlarında yaşayan herkül böcekleri ise hem kamuflaj hem de termoregülasyon sağlamak için renklerini, soğuk ve nemli ortamda siyah ve güneşli ve sıcak ortamda yeşil renge dönüştürebilmektedir ve bu dönüşüm için enerji harcamamaktadırlar” (Rassart vd. 2008) (Şekil 9).

Kamış kurbağası ve Herkül böceğinin termoregülasyon stratejilerinden ilham alınarak, referans alınan bir ofis binası üzerinde parametreler değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Dış ortam sıcaklığı ne olursa olsun iç ortam sıcaklığının 21.1°C ile 23.8°C arasında kalması amaçlanmış, güneş ışığının yapı içini ısıtmasına izin verilmiştir. Cephede kullanılan malzemenin termal özelliği, kamış kurbağasının ısı arttığında parlaklaşması özelliği tasarıma yön vermiştir. Yapı içinde fazla ısınma engellenmek için cephede yüksek sıcaklıkta katılaşarak yansıtıcı hale gelen faz değişim malzemesi (PCM) kullanılmıştır. Bu erime ve katılaşma sırasında malzeme enerji depolayıp, serbest bırakmaktadır. Herkül böceğinin buharlaşarak nemlendirme dolayısıyla serinleme sağlama prensibi ise, cephede kullanılan süper emici polimerler (hidrojeller) sayesinde sağlanmıştır (Şekil 10). Araştırmalar ve deneyler sonucunda Kamış kurbağası ve Herkül böceğinin termoregülasyon yeteneklerinden ilham alınarak ulaşılan nihai tasarım, “benzer bir yapıya göre iklimlendirme harcamalarında %66 daha az enerji tüketmektedir” (Fechey-Lippens & Bhiwapurkar, 2017).

3.4. Stomadan Esinlenerek Tasarlanan Cephe Tasarımı

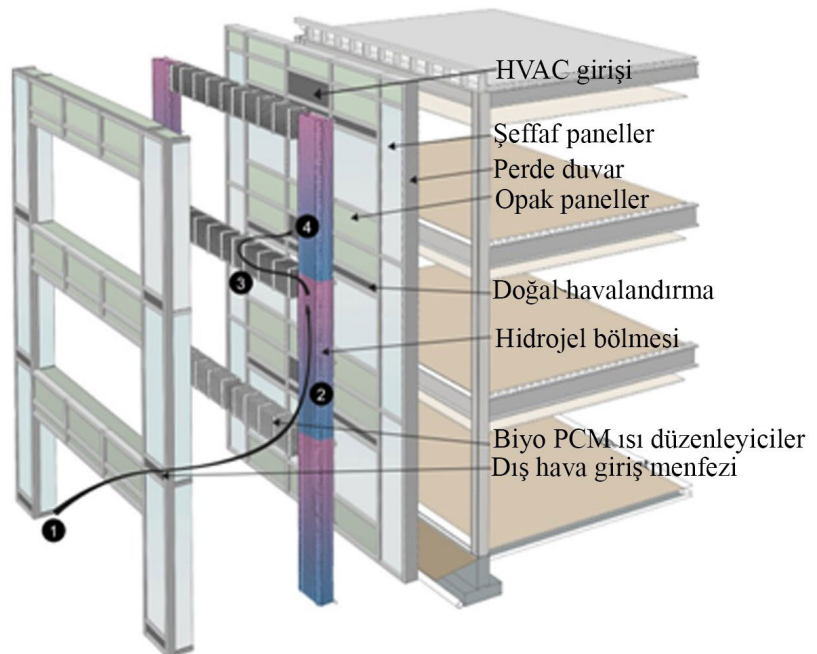
“Stomalar bitkilerin hava alışverişini yap-

tıkları gözeneklerdir ve açıldıklarında ısı kaybı artmakta, kapandıklarında ısı kaybı azalmaktadır. Bitkilerin kimyasal dengesi (osmoz) (suyun yoğun olan bölgeden yoğunluğu az bölgeye doğru hareketi) stoma hareketini kontrol etmektedir” (Bhushan, 2009; Koch vd. 2008).

Kalatha'nın stomaların ısı düzenleme prensibinden esinlenerek tasarladığı cephe, dış uyarıcılar ile girdiği kimyasal tepkimelerle açılıp kapanan paneller ile dış ortam ve iç ortam arasındaki ısı geçişini kontrol etmektedir. Isı alışverişi ihtiyacı olduğunda paneller stomalarda olduğu gibi açılmakta, ısının korunması ihtiyacı olduğunda ise paneller kapanmaktadır (Şekil 11). Panellerin açılıp kapanması ısı iletimini sağlamanın yanı sıra havalandırmayı da sağlamaktadır. Bu hareketin otomatikleşmesi, cephede iki farklı genleşme katsayısı olan metalin

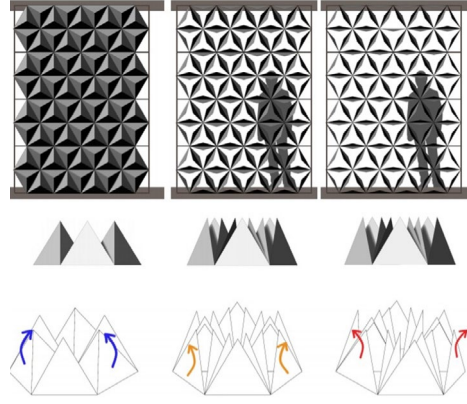
Şekil: 10

Kamış kurbağası ve Herkül böceğinden esinlenerek tasarlanan cephe (Fechey-Lippens ve Bhiwapurkar, 2017).



Şekil 11

Stomalardan esinlenerek tasarlanan cephenin ısı ile değişimini gösteren model (Kalatha, 2016).



laminasyonun kullanılması sayesinde, ısınma veya soğuma esnasında malzemenin bükülmesi neticesinde oluşturulmuştur (Kalatha, 2016).

3.5. Su Aygırılı Cildinden Esinlenerek Tasarlanan Bir Cephe

Su aygırlarının nemin %50-80, sıcaklığın +40°C'ye ulaştığı Afrika'da, geceleri otlak bölgelerde, gündüzleri ise suda yaşamaktadır. Su aygırlar bu yüksek sıcaklıktaki çevresel koşullarda, su içindeyken sıvıyı emerek nemli tutulan kalın yapılı ciltleri sayesinde güneş yanıklarından kurtulmaktadır. Ayrıca terleme yeteneği olmayan su aygırlar, cilt yüzeyini nemlendirmek amacıyla UV ışınlarından da koruyan kırmızı bir madde salgılamaktadır. Günün sıcak saatlerinde vücutlarını su altında tutmakta, su seviyesinin az olduğu dönemlerde ise, ciltlerindeki termal boşluklardan ısı salınımı ile termoregülasyon sağlamaktadır (Wright, 1987).

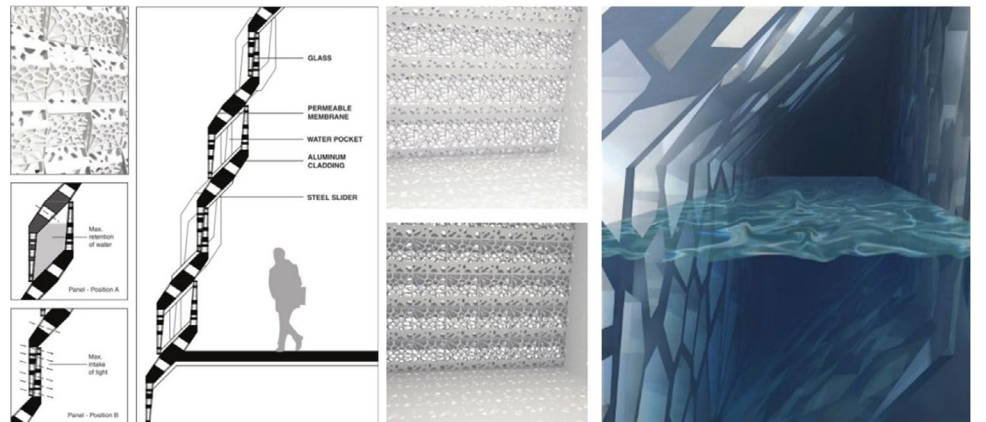
Sıcak iklim bölgelerinde termoregülasyon sağlamak için su aygırlarından esinlene-

rek tasarlanan cephe, sürgülü paneller ile çift cidar haline getirilebilmektedir. Su aygırının derisinin çalışma prensibindeki gibi ısı geçişine engel olan çift cidarlı kalın yapı kabuğu, ihtiyaç halinde gün ışığının içeri alınması amacıyla inceltilenmektedir. Su aygırının cildini nemlendirmek için salgıladığı kırmızı sıvı, çift cidar haline getirilen paneller arasındaki boşlukların su ile doldurularak, yapı kabuğunun üzerine akıtılmasına ve nemlenen yapı kabuğunun serinlemesine ilham kaynağı olmuştur. Yapı kabuğundaki paneller, zeminde bulunan sensörlere vuran ışık miktarı ile harekete geçmekte ve yapının ihtiyacı olan pozisyonu almaktadır (Şekil 12). Değişken çevresel koşullara göre aktif çalışan yapı kabuğu tasarımı, yapının termoregülasyon sağlamasına önemli katkı sağlamaktadır (Mazzoleni, 2010; 2013, 202-203).

Bu çalışmada bulunduğu çevresel koşullara göre ihtiyacı olan termoregülasyon çözümlerini doğadan arayarak bulan beş farklı mimari tasarım incelenmiştir. Seçilen mimari örneklerin ilham aldıkları canlıların termoregülasyon yöntemleri araştırılmış ve doğadaki değişken ısı koşullarına uyum sağlamak için bu canlıların geliştirdiği fizyolojik, morfolojik ve davranışsal adaptasyonlar analiz edilmiştir. Geliştirilen adaptasyonların canlıların ihtiyaçlarına, yeteneklerine ve yaşadığı çevresel koşullara göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Seçilen mimari örneklerin ve ilham aldıkları canlıların termoregülasyon yöntemleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Elde edilen veriler canlıların yaşadığı iklim bölgesine göre geliştirilen farklı termoregülasyon

Şekil 12

Su aygırlardan esinlenerek tasarlanan çok katmanlı cephe (Mazzoleni, 2010; 2013, 202-204).



yöntemlerinin mimari tasarımda kullanılmasının iklimlendirme için harcanan enerji miktarını önemli ölçüde azaltacağını göstermiştir.

4. Bulguların Değerlendirilmesi

Doğada hayatta kalma mücadelesinde termoregülasyon sağlama stratejileri incelenen canlıların geliştirdiği bu ısı stratejiler, literatür taramasında elde edilen veriler doğrultusunda analiz edilip değerlendirilmiştir. Seçilen canlılar öncelikle yaşadıkları iklim bölgesine, adaptasyon şekillerine, termoregülasyon sağlamak

için kullandıkları ısı transfer yöntemlerine ve termoregülasyon sağlamak için hangi yöntemleri geliştirdiklerine göre incelenip karşılaştırılmıştır (Çizelge 1).

Canlılar, enerji olan ısının canlı ya da cansız maddelerde fark etmeksizin çok olandan az olana hareketini kontrol ederek termoregülasyon sağlamaktadır. Soğuk iklim bölgelerindeki canlıların ısı korunumu ve ısı kazanımı ile sıcak iklim bölgelerindeki canlıların ise ısının dağıtılması ve ısınmanın önlenmesi ile termoregülasyon sağladığı görülmüştür. Mevsimsel sıcaklıkların değişiklik gösterdiği iklim bölgelerinde, canlıların

Çizelge 1
İncelenen canlıların yaşadığı iklim bölgesi, termoregülasyon yöntemi ve ısı düzenleme sağlamak için geliştirdiği özellikler.

Biyolojik Fenomen	Çevresel Bağlam (iklim)	Adaptasyon	Sistem	Yöntem	Diğer Özellikler
Yan Lekeli Kertenkele	Tropikal Çöl Kutuplar	Morfolojik Fizyolojik Davranışsal	Aktif Pasif	Isı Korunumu Isı Kazanımı Isının Dağıtılması Isınmanın Önlenmesi	-Cilt renginin bölgesel olarak değişmesi. -Cildin yapısal gölgelendirme özelliği.
Kutup Ayısı	Tropikal Çöl Kutuplar	Morfolojik Fizyolojik Davranışsal	Aktif Pasif	Isı Korunumu Isı Kazanımı Isının Dağıtılması Isınmanın Önlenmesi	-Kalın deri tabakası ve iki farklı yapıdaki tüy tabakası ile etkin yalıtım sayesinde ısı korunumu sağlanması. -Kış uykusu sayesinde vücut sıcaklığını düşürerek dışarı ısı salınmasının engellenmesi.
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 kristalleri ile cildin parlaklaşp, güneş ışınlarını yansıtarak ısınmanın önlenmesi. -Diğer zamanlarda koyu renkli cilt ile ısı kazanımı.
Herkül Böceği	Tropikal Çöl Kutuplar	Morfolojik Fizyolojik Davranışsal	Aktif Pasif	Isı Korunumu Isı Kazanımı Isının Dağıtılması Isınmanın Önlenmesi	-Sıcakta vücut renginin açık zeytin yeşili renk alarak güneş ışınlarını yansıtması, soğukta ise rengin siyahı bir renk alarak ısı emiliminin artırılması.
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. -Geceleri stomaların açılarak hava girişine izin verilmesi.
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. -Vücuttan salgılanan sıvı ile serinleme ve UV ışınlarından korunma sağlanması. -Gözenekli cilt ile havalandırma sağlanması.







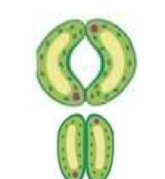
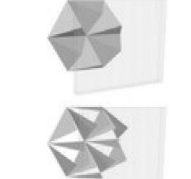


ihtiyacına göre bu yöntemlerin kombinasyonunu kullanabildiği gözlemlenmiştir.

Canlıların termoregülasyon sağlamasında, vücut ile çevre arasındaki ısı transferinin kontrol edilmesi büyük rol oynamaktadır. İncelenen canlıların yaşadıkları çevrenin ısı koşullarına göre, cilt tabasının kalınlaşması, cilt kabuğunun yapısal gölgeleme sağlaması, kasılıp gevşeme hareketi (*stoma*), cilt yüzeyinin nemlendirilerek serinletilmesi gibi özellikler geliştirdiği bilinmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde yaşayan canlıların da soğuk iklim bölgelerinde yaşayan canlıların da vücutlarını dış ortamdan ayıran bir bariyer görevindeki cilt yapısının yaşadıkları iklim bölgesine göre farklı özellikler

geliştirerek termoregülasyon sağladıkları görülmüştür. Mevsimsel sıcaklık değişimlerine göre canlıların geliştirdiği stratejilerin de mevsime ve sıcaklığa göre değişebildiği anlaşılmıştır. Ayrıca, canlıların vücut sıcaklıklarını belirli ve dar bir aralıkta tutmak için geliştirdiği yöntemler morfolojik, fizyolojik, davranışsal ya da bunlardan birkaçı olabilmektedir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, canlıların geliştirdiği ısı düzenleme stratejilerinin, benzer koşul ve ihtiyaçlardaki yapı kabuklarına ilham olabileceğini göstermiştir. Tıpkı canlıların yaşadığı farklı çevresel koşullarda cilt yapılarının ve davranışlarının değişiklik göstermesi gibi,

Çizelge: 2
Doğadaki canlıların geliştirdiği termoregülasyon stratejileri ve tasarımı etkileyen özellikleri.

	ORGANİZMA	GELİŞTİRDİĞİ TERMOREGÜLASYON YÖNTEMİ	TASARIMDAKİ UYGULAMA	TASARIM
YAN LEKELİ 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.	
KUTUP AYISI		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 aylarındaki tüy yapılarına benzer cam tüplerle bezenmiş yapı hem yalıtım sağlanmakta hem de güneş enerjisini toplayarak depolamaktadır.	
KAMIŞ KURBAĞASI HERKÜL BÖCEĞİ		Kamış kurbağası ve Herkülböceğinin ortak özelliği cilt rengini değiştirme yetenekleridir. Bu sayede güneş ışığından ısı emilimini kontrol ederek termoregülasyon sağlarlar.	Kutup aylarındaki tüy yapılarına benzer cam tüplerle bezenmiş yapı hem yalıtım sağlanmakta hem de güneş enerjisini toplayarak depolamaktadır.	
STOMA		Gaz alışverişi sağlayan stomalar açıkken ısı ve su kaybı olur, kapalıyken ısı korunmaktadır. Geceleri osmotik basıncın artmasıyla açılıp gündüzleri kapalı kalması ile ısı 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 AYGIRI		Yalıtım sağlayan ve içinde su tutan kalın derisi sayesinde güneş yanıklarından korunmaktadır. Ayrıca vücudundan salgılanan kırmızı sıvı sayesinde serinleme ve UV ışınlarından korunma sağlanmaktadır.	Çift cidarlı ve gözenekli tasarlanan cephe içinde bulunduğu su ile cephe yüzeyini nemlendirerek soğuma sağlamaktadır. Soğuk havalarda ise paneller pozisyon değiştirerek güneş ışığından daha fazla ısınmayı sağlamaktadır.	

yapı kabuklarının tasarımı da bulunduğu mevsimsel koşullara göre değişmelidir. Gelişen teknoloji ile birlikte doğanın analitik bir biçimde taklit edilmesi mümkün olabilmekte ve henüz inşa edilmeden bilgisayar ortamındaki hesaplamalı modellemelerle enerji etkin tasarım hedefine ulaşıp ulaşılmadığı test edilebilmektedir. İnşa edilen örneklerde de deneysel tasarlanıp test edilen tasarımlarda da doğayı taklit etme fikrinin, binanın ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşüreceği gözlemlenmiştir (Çizelge 2).

5. Sonuç

Dünya genelinde enerji ve doğal kaynakların tüketim miktarı giderek artmaktadır. Bu tüketimde en büyük paya sahip olan yapı sektörü, sürdürülebilir tasarımlar yaparak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak bu soruna çözüm bulmak zorundadır. Tasarım sürecinde verilecek kritik kararlar yapının kullanacağı enerji miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Yapı kullanıcılarına termal konforlu bir iç ortam sunma isteği ve bu koşullara ulaşmak için harcanan enerji yapının kullandığı enerji miktarının çoğunluğunu oluşturmaktadır. Değişken dış ortam sıcaklıklarının yapı ile ilk temas ettiği bileşen olan yapı kabukları, ısıtma ve soğutma giderlerini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla değişken dış ortam sıcaklıklarından minimum etkilenerek, ısı dengeli bir iç ortam sunmaya yardımcı olacak, doğru tasarlanmış bir yapı kabuğunun önemi ortaya çıkmaktadır.

Dış ortam koşulları değişkendir, dolayısıyla geleneksel tasarım yöntemleriyle tasarlanmış pasif bir kabuk tasarımının enerji etkin olması beklenemez. Geleneksel tasarım yöntemlerinin yetersiz kalması, artan disiplinler arası çalışmalar ve gelişen teknoloji ile birlikte, tasarımcılar doğayı sistematik bir şekilde taklit etme yani biyomimikri biliminden faydalanmaya başlamışlardır. Disiplinler arası çalışmaların artmasıyla birlikte, insanlığın varoluşundan bu yana süregelen doğayı taklit etme, biyolojik araştırmalar ve teknolojik imkânlar sayesinde sistematik hale gelmiştir. Doğadaki canlılar çok sıcak ve kurak bölgelerden çok soğuk bölgelere kadar

değişkenlik gösteren çevresel koşullara kendi ihtiyaçları doğrultusunda yüzyıllar içinde morfolojik, fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar geliştirerek uyum sağlamışlardır. Doğanın yüzyıllardır biriktirdiği bu biyolojik bilgi hafızası, tasarımcıların karşılaştığı ya da karşılaşıcağı problemlere sayısız çözümleri barındırmaktadır.

Bu kapsamda bu çalışma, termoregülasyon ve biyomimikri kavramlarının literatür çalışmalarında araştırılması ile başlamıştır. Çeşitli iklim bölgelerinden seçilen canlıların termoregülasyon sağlamak için geliştirdiği yöntemler araştırılmış ve benzer çevresel koşullarda bu yöntemlerden ilham alınarak tasarlanan benzer yapı kabuğu kesitleri incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda, seçilen yapı kabuğu tasarımlarının bilgisayar ortamında yapılan testler ile enerji etkin tasarım hedeflerine ulaşp ulaşmadığı incelenmiş, elde edilen nihai tasarımın yapıların enerji sarfiyatlarını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Sonuç olarak “Doğadaki canlıların termoregülasyon yöntemleri mimari tasarımlar için de ilham kaynağı olup akılcı çözümler üretilebilir mi?” sorusu ile başlayan bu araştırma, biyomimetik bir yaklaşımla tasarlanan yapı kabuklarının enerji etkin, sürdürülebilir performatif, hafif ve sağlam olabileceğini ortaya koymuştur. Yapı kabuklarının termoregülasyonunu sağlamak için aranan çözümlerin doğada aranmasının potansiyeller barındırdığı görülmüştür. Tasarımcıların çözmek durumunda kaldığı benzer problemlere evrimsel süreçlerinde çözüm üretmiş canlıların taklit edilmesinin, yenilikçi ve enerji etkin tasarımlara olanak sağladığı görülmüştür. Bu doğrultuda incelenen örneklerden elde edilen veriler, “Yapı kabuklarının termoregülasyonunda doğadan ilham alma fikri, mimari tasarımlar için, doğru tasarım kararları ve disiplinler arası çalışmalar ile yenilikçi ve enerji etkin çözümler barındırmaktadır.” hipotezi doğrulanmıştır. Doğadaki milyarlarca canlı keşfedilmeyi bekleyen yeni özellikleriyle sınırsız bir örnek havuzu oluşturmaktadır●

Kaynakça

- Abdullah, A., Said, I., & 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-Rubaih, M. S. (2008). Energy-Efficient Envelope Design For Schools in Saudi Arabia: ProQuest.
- Al Hussaini, K. (2005). Design in Nature and Architecture. (Unpublished master's thesis), Carleton University, Canada.
- Arslan Selçuk, S. (2009). A Proposal For A Non-Dimensional Parametric Interface Design In Architecture: A Biomimetic Approach. (Unpublished PhD Thesis), Middle East Technical University, Ankara.
- Aydın Yazıcıoğlu B. (2020). Yapı Kabuklarının Termoregülasyonu: Biyomimetik Bir Yaklaşım. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- 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. & Knaack, U. (2010). Solutions from Nature for Building Envelope Thermoregulation. *Design & Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*. Chilworth: WIT Press.
- Başarır, B., Diri, B., & Diri, C. (2012). Energy efficient retrofit methods at the building envelopes of the school buildings. 5 Kasım 2022 tarihinde https://www.researchgate.net/profile/Bahar-Basarir/publication/260066099_Energy_efficient_retrofit_methods_at_the_building_envelopes_of_the_school_buildings/links/00b4952f4a5acc62d7000000/Energy-efficient-retrofit-methods-at-the-building-envelopes-of-the-school-buildings.pdf adresinden erişildi
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: Harper Collins Publishers.
- Bhushan, B. (2009). Biomimetics: Lessons from Nature—an Overview. *The Royal Society London*, 367 (1893), 1445–1486.
- Camargo, C. R., Visconti, M., & Castrucci, A. (1999). Physiological Color Change in the Bullfrog, Rana Catesbeiana. *Journal of Experimental Zoology*, 283(2), 160-169.
- Cloudsley-Thompson, J. (1999). Multiple Factors in the Evolution of Animal Coloration. *Naturwissenschaften*, 86(3), 123-132.
- Dinur, B. (2004). Interweaving Architecture and Ecology—A Theoretical Perspective. 5 Kasım 2022 tarihinde http://www.casa.ucl.ac.uk/cupumecid_site/download/Dinur.pdf adresinden erişildi
- Engelhardt, S. & Sarsour, J. (2015). Solar Heat Harvesting and Transparent Insulation in Textile Architecture Inspired by Polar Bear Fur. *Energy and Buildings*, 103, 96-106.
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Australia: McGraw-Hill Book Company.
- Farchi Nachman, Y. (2009). Learning from Nature: Thermoregulation Envelope. (Unpublished Master Thesis). Delft University of Technology, Netherlands.
- Fecheyr-Lippens, D. & 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. & Chapman, J. A. (2003). *Wild Mammals of North America: Biology, Management, and Conservation*. Maryland: Johns Hopkins University Press.
- Fu, M., Weng, W., Chen, W., & Luo, N. (2016). Review on Modeling Heat Transfer and Thermoregulatory Responses in Human Body. *Journal of thermal biology*, 62, 189-200.
- Gamage, A. & Hyde, R. (2011). *Can Biomimicry, as an Approach, Enhance Ecologically Sustainable Design (ESD)*. In 45th Annual Conference of ANZAScAAT: Faculty of Architecture, Design and Planning, The University of Sydney, Australia, 17–19 November 2011.
- Ghisi, E. & Tinker, J. A. (2005). An Ideal Window Area Concept for Energy Efficient Integration of Daylight and Artificial Light in Buildings. *Building and Environment*, 40(1), 51-61.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: John Wiley.
- Goller, M., Goller, F. & 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. & Richter, S. (2013). BioSkin - Research Potentials for Biologically Inspired Energy Efficient Façade Components and Systems. 5 Kasım 2022 tarihinde <https://nachhaltigwirtschaften.at/en/hdz/projects/bioskin-research-potentials-for-biologically-inspired-energy-efficient-facade-components-and-systems.php> adresinden erişildi
- Gruber, P. (2011). *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings*. New York: Springer, 7-14.
- Gündoğdu E. & Arslan H. D. (2020). Mimaride Enerji Etkin Cephe ve Biyomimikri. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji (GU J Sci, Part C)*, 8(4), 922-935.
- Harkness, J. M. (2002). In Appreciation a Lifetime of Connections: Otto Herbert Schmitt, 1913-1998. *Physics in Perspective*, 4(4), 456-490.
- Heschong, L. (1979). *Thermal Delight in Architecture*. Cambridge: MIT press.
- Hill, R. W., Wyse, G. A., Anderson, M. & Anderson, M. (2004). *Animal Physiology (Vol. 2)*. Oxford: Sinauer Associates Sunderland.
- Jackson, T. (2012). The Science of Stripes. 4 Kasım 2022 tarihinde http://www.safarikzn.com/africa-geographic-articles/page_africa_geographic_articles_sciences-of-stripes.html adresinden erişildi
- Kalatha, A. (2016). The Water Wall: A Bio-inspired Thermoregulative Façade System. (Unpublished master thesis), Delft University of Technology, Netherlands.
- Karamanloğlu, Ş. (2011). Enerji Etkin Bina Cephe Sitemlerine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kipervaser, D. (2003). Behavioral Thermoregulation in Terrestrial Arthropods. 2 asım 2022 tarihinde <http://ibranian.net/navon/paper/Behavioralthermoregulationinterrestrialarthropods.pdf> adresinden erişildi

- Kobelt, F. & Linsenmair, K. (1986). Adaptations of the Eeod Frog *Hyperolius Viridiflavus* (Amphibia, Anura, Hyperoliidae) to its Arid Environment. *Oecologia*, 68(4), 533-541.
- Koch, K., Bhushan, B. & Barthlott, W. (2008). Diversity of Structure, Morphology and Wetting of Plant Surfaces. *Soft Matter*, 4(10), 1943-1963.
- Lillywhite, H. B. & Stein, B. R. (1987). Surface Sculpturing and Water Retention of Elephant Skin. *Journal of Zoology*, 211(4), 727-734.
- Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. (2013). Climate Adaptive Building Shells: State-of-the-art and Future Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483-493.
- Loonen, R. C. G. M. (2015). Bio-inspire Adaptive Building Skins. *Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*. Switzerland: Springer, 115-134.
- 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.
- McGinnis, S. M. (1970). Flexibility of Thermoregulatory Behavior in the Western Fence Lizard *Sceloporus Occidentalis*. *Herpetologica*, 70-76.
- Morris, D. (1990). *Animal Watching: A Field Guide to Animal Behaviour*. London: Johnathan Cape.
- Moujaes, S. F. & Brickma, R. (2003). Thermal Performance Analysis of Highly Reflective Coating on Residences in Hot and Arid Climates. *Journal of Energy Engineering*, 129(2), 56-68.
- Mutlu Avingç, G. & 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. & Winner, W. (1987). Stress Physiology and the Distribution of Plants. *Bioscience*, 37(1), 38-48.
- Parker, D. S., Sherwin, J. R., Sonne, J. K., & Christian, J. (1998). Measured Performance of a Reflective Roofing System in a Florida Commercial Building. *ASHRAE Technical Data Bulletin*, 14(1), 7-12.
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. UK: RIBA Publishing.
- Kutup Ayısı Pavyonu, 4 Kasım 2022 tarihinde <https://docplayer.net/19939909-Polarbear-building-solar-thermal-system-with-textile-membranes-in-combination-with-an-innovative-heat-storage-system.html> adresinden erişildi
- Rahman, A. (2014). Optimizing the Performance of Building Envelope for Energy Efficiency Considering Adaptive Thermal Comfort: A Case of Tropical Climate in Dhaka. (Unpublished PhD thesis), Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Rassart, M., Colomer, J.-F., Tabarrant, T. & Vigneron, J.-P. (2008). Diffractive Hygrochromic Effect in the Cuticle of the Hercules Beetle *Dynastes Hercules*. *New Journal of Physics*, 10(3), 033014.
- Sadineni, S. B., Madala, S. & 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. & Shono, M. (2004). Mitochondrial Small Heat-Shock Protein Enhances Thermotolerance in Tobacco Plants. *FEBS letters*, 557(1-3), 265-268.
- Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal physiology: Adaptation and Environment*. New York: Cambridge University Press.
- Simonis, P., Rattal, M., Oualim, E. M., Mouhse, A. & Vigneron, J. P. (2014). Radiative Contribution to Thermal Conductance in Animal Furs and Other Woolly Insulators. *Optics express*, 22(2), 1940-1951.
- Stegmaier, T., Linke, M. & 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.
- Tattersall, G. J. & Milsom, W. K. (2003). Transient Peripheral Warming Accompanies the Hypoxic Metabolic Response in the Golden-Mantled Ground Squirrel. *J Exp Biol*, 206(1), 33-42.
- Terrien, J., Perret, M., & Aujard, F. (2011). Behavioral Thermoregulation in Mammals: A Review. *Front Biosci*, 16(4), 1428-1444.
- Kutup Ayılarının Termoregülasyonu, 5 Kasım 2022 tarihinde <https://ecobubamarica.wordpress.com/2010/10/25/thermoregulation-of-polar-bears/adresinden-erisildi>
- 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. & Pahl, A. K. (2006). Biomimetics: Its Practice and Theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482.
- Wiebe, K. R. (2009). Biomimetic Design of the Building Envelope: Biological Climate Adaptations and Thermal Controls in the Sonoran Desert. (Unpublished Master Thesis), University of Southern California, Los Angeles.
- Wigginton, M. & Harris, J. (2013). *Intelligent skins*. London: Routledge.
- Wright, P. (1987). Thermoregulation in the Hippopotamus on Land. *South African Journal of Zoology*, 22(3), 237-242.
- Yowell, J. (2011). Biomimetic Building Skin: A Phenomenological Approach Using Tree Bark As Model. (Unpublished Master Thesis), University Of Oklahoma, Norman.