

ISIL DÜZENLEME ÖZELLİĞİNE SAHİP YAPI KABUĞU TASARIMLARI İÇİN BİYOMİMETİK ÇÖZÜMLER

Güneş MUTLU AVİNÇ

Arş. Gör., Muş Alparslan Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, gunesavinc@gmail.com

Semra ARSLAN SELÇUK

Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, semraselcuk@gazi.edu.tr

ÖZET

Yapı kabuğu, enerji verimliliğinin ve iç mekan konfor koşullarının artırılmasında önemli bir yere sahiptir. Aynı şekilde doğada var olan biyolojik yüzeyler (*bio-skin*) ve kabuklar (*shells*) dış ortama maruz kalan ve iç ortam koşullarını dengeleyen en önemli oluşumlardır. Bu bağlamda, doğadan pek çok biçimde olduğu gibi bu oluşumlardan da esinlenerek/öğrenerek/uyarlayarak dinamik, kinetik, duyarlı ve uyarlanabilir çözümler üretebilmek için doğa ile mimarlık arasında farklı diyaloglar geliştirilmektedir. Bu diyaloglardan biri olan "biyomimetik yaklaşım" ile, binadaki cephe/kabuk/zarf için doğadaki yüzey/deri/kabuk oluşumları araştırılarak duyarlı, uyarlanabilir, ısı düzenleme özelliğine sahip tasarım ilkeleri elde edilmektedir. Bu amaçla yapılan disiplinler arası çalışmalarla canlıların sergilemiş olduğu fizyolojik, davranışsal ve morfolojik oluşumlar araştırılmakta, ekolojik ve sürdürülebilir çözümler için verimli ısı düzenleme ilkeleri elde edilmektedir. Buradan yola çıkarak canlılarda gerçekleşen "ısı düzenleme" (*thermoregulation / heat regulation*) prensiplerinin neler olduğu ve bu prensiplerin yapı kabuğuna nasıl aktarılacağı sorusu bu çalışmanın araştırma konusunu oluşturmaktadır. Bu bağlamda biyolojik organizmaların ısı düzenlemeleri nasıl gerçekleştirdiği ve bunun mimarlıktaki uygulamalara ne gibi yenilikler getirdiği literatürde yer alan ve deneysel olarak gerçekleştirilen dört öncül çalışma üzerinden tartışılmıştır. Sonuç olarak, yakın gelecekte doğaya adapte olabilen, ısı dengesini doğaya uyumlu bir şekilde gerçekleştirebilen, dışardan daha az enerjiye ihtiyaç duyan, enerjisini kontrol edebilen enerji etkin yapı kabukları üretmenin mümkün olacağı görülmüştür.

120

Anahtar Kelimeler: Biyomimetik, yapı kabuğu, ısı düzenleme

BIOMIMETIC SOLUTIONS FOR BUILDING ENVELOPE DESIGN WITH THERMOREGULATION PROPERTIES

ABSTRACT

The building shell has an important place in improving energy efficiency and indoor comfort conditions. In the same way, the bio-skins and shells that exist in nature are the most important occurrences that are exposed to external atmosphere and stabilize indoor conditions. In this context, different dialogues between nature and architecture have been developed in order to be able to produce dynamic, kinetic, sensitive and adaptive solutions by inspiring / learning / adapting these formations from nature as made in many forms. The design principles of a sensitive, adaptable, thermal regulation feature are obtained by investigating the surface / skin / shell formations in nature for the facade / shell / envelope in the building by using a "biomimetic approach" that is one of these dialogues. For this purpose, interdisciplinary studies are carried out to investigate physiological, behavioral and morphological occurrences, and efficient thermal regulation principles for ecological and sustainable solutions are obtained. With that point of view, the question of what the "thermoregulation / heat regulation" principles in life are and how these principles can be transferred to the building envelope are the subject of this study. In this context, it has been discussed through four preliminary studies carried out experimentally in the literature on how biological organisms perform thermal regulation and which innovations bring to practice in architecture. As a result, it is observed that it will be possible to produce energy efficient building shells which can adapt to nature in the near future, can control the thermal balance in harmony with nature and require less energy from outside and control their own energy.

Keywords: Biomimetic, building envelope, thermoregulation

GİRİŞ

“Biz doğayı taklit etmenin peşinde değiliz, daha çok onun kullandığı prensipleri bulmaya çalışıyoruz.”

Buckminster Fuller

Doğadan öğrenme/uyarlama ve uygulama tekniklerinin, teknolojinin gelişimi ile eşzamanlı ilerlemesiyle yeni tasarım ilkeleri ve buna bağlı performatif çözümlerin geliştirilmesinde önemli aşamalar kaydedilmektedir. Bu bağlamda; örneğin, akıllı malzemeler ve sistemler geliştirilmekte ve çevre ile etkileşimli yapı kabukları araştırılmaktadır. Mimarlık ve biyoloji bilimi arasında yaşanan bu etkileşimle, yüksek performansa sahip yapı kabukları geliştirilirken, 'akıllı', 'duyarlı', 'uyarlanabilir', 'dinamik' gibi mimarlıkta bir dizi kavramsal paradigma da şekillenmektedir. Yaşanan bu paradigma ile, gelişen teknolojiler ve biyoloji bilimi ile olan etkileşim daha da artmakta ve doğanın çalışma prensipleriyle şekillendirilmiş yapı elemanlarının geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar da derinleşmektedir. Yapı performansı kalitesinin yükseltilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu araştırmalarda daha çok yapı kabuğu üzerine odaklandığı görülmektedir.

Yapı kabuğunun iç mekan termal konforunu sağlamasında, ısıtma, soğutma, havalandırma, güneş radyasyonu gibi faktörler önemli parametrelerdir. Bu parametreler mevcut uygulamalarda yapı kabuklarını iç ve dış ortamı birbirinden ayıran bir "bariyer" şeklinde ele alınmaktadır. Bir başka ifade ile, kabuk, nefes almaya yalıtım levhaları ile izole edilmektedir. Oysa termal konfor koşullarının artırılması için dış ortamla etkileşim durumunda olan yapı kabuğunun doğayla uyum içerisinde hareket etmesi önemlidir. Bu bağlamda, termal konfor doğada nasıl düzenlenmektedir; davranış, anatomi ve fizyoloji canlıların vücut sıcaklığının düzenlenmesinde nasıl yardımcı olur; canlılarda gerçekleşen ısı düzenleme için gerekli fizyolojik özellikler mimarlık disiplini bir veri olarak aktarılabilir mi gibi sorular bu çalışmanın strüktürünü oluşturmaktadır. Çalışmada, belirlenen problem ölçeğinde doğadan öğrenmek ve öğrenileni uygulamak için yararlanılan biyomimetik yaklaşım ile doğadaki canlılarda ısı düzenlemenin nasıl gerçekleştiği incelenmektedir. Seçilen örnekler ışığında, biyomimetik yapı kabuğu çalışmalarının gelmiş olduğu son nokta değerlendirilmiş ve mimarlık-doğa paradigmasının geleceği üzerine bir tartışma açılmıştır.

DOĞADA ISIL DÜZENLEME

Isıl düzenleme/termoregülasyon (*heat regulation/thermoregulation*), dış ortam sıcaklığının değişkenliğine rağmen organizmaların iç sıcaklık seviyelerini belirli sınırlar içinde tutması ya da ısı kazanımları ve kayıpları arasındaki denge olarak ifade edilebilir. Organizmaların biyolojik fonksiyonları yerine getirmesi için belirli ısı aralıkları gereklidir. Bu amaçla organizmalar, termoregülasyon için **fizyolojik** veya **davranışsal yöntemler** sergilemektedir. Bu yöntemler sıcaklık değişimlerine gösterilen adaptasyona bağlı olarak **endoterm** ve **ektoterm** olan canlılarda farklılık göstermektedir (Kipervaser, 2003: 1-2).

Ektoterm (soğuk kanlı) olan omurgasızlar, balıklar ve sürüngenler, vücut ısısının çoğunu doğrudan çevreden almakta ve metabolik hızları, ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Memeliler ve kuşlar gibi endoterm (sıcak kanlı) canlılar ise, kendi ısılarını metabolik süreçler yoluyla oluşturarak vücut ısılarını sabit tutmaktadırlar (Mazzoleni, 2013: 97). Ayrıca, hayvanlar çevre ile ısı değişimini kontrol eden vücut yapısına ve kan dolaşım sistemine (kan akışını sağlamak için), yalıtım (kürk, yağ veya tüy) ve evaporatif mekanizmalar (nefes alma ve terleme gibi) gibi fizyolojik tepkilere sahiptir [URL-1].

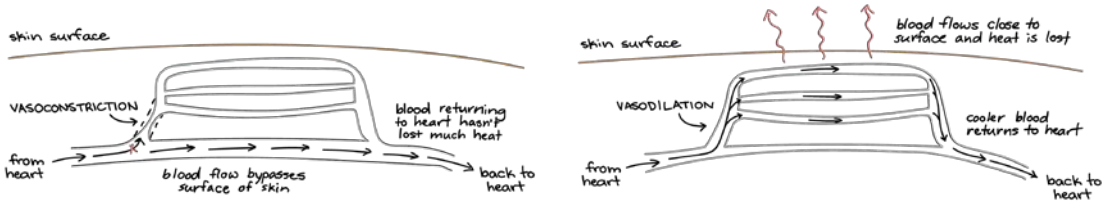
Her organizma, boyut, renk ve şekil olarak farklı özelliklere sahip olduğundan hava sıcaklığı, radyasyon, rüzgar hızı, yüzey sıcaklığı gibi çevresel değişkenler karşısında göstermiş oldukları ısı kazanımı ve korunumu süreçleri de, **radyasyon**, **konveksiyon**, **iletim**, **buharlaşma** gibi dört ana biçimde gerçekleşmektedir (Stevenson, 1985; Schmidt-Nielsen, 1997:235; Hill, Wyse ve Andreson, 2008: 206, 212). Aynı zamanda hem endoterm hem de ektoterm, ortam sıcaklığının çok sıcak veya çok soğuk olması durumlarında vücut ısısını değiştirmek için **davranışsal stratejiler** kullanırlar (Mazzoleni, 2013; 97). Farklı iki ısı düzenleme özelliği bulunan canlılarda anatomik

(morfolojik), davranışsal ve fizyolojik adaptasyon stratejileri görülmektedir. Örneğin kutup ayıları kutuplardaki soğuk yuvalarında yaşamak için gerekli olan vücut ısısını korurken, ölüm vadisinde yaşayan kertenkeleler ise çok yüksek sıcaklıklarda iç ortam sıcaklık dengesini devam ettirmektedir (Resim 2.1.) [URL-1].



Resim 2.1. Buzullarda bir kutup ayısı ve ölüm vadisinde bir kertenkele [URL-1]

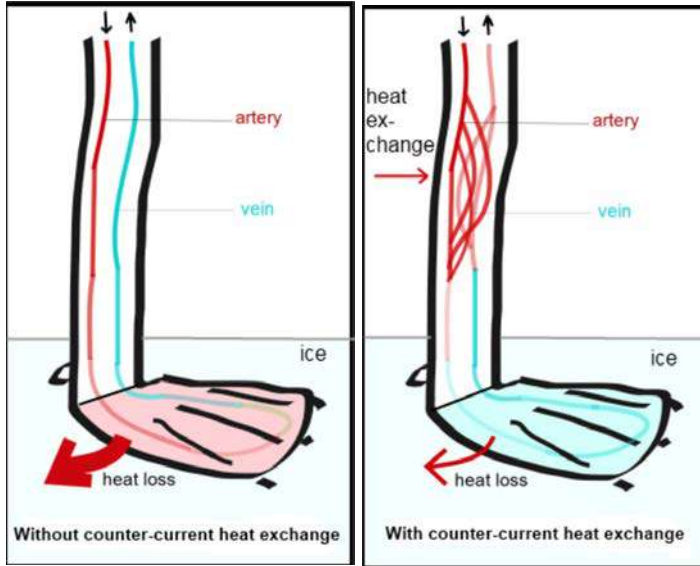
Bazı hayvanlarda ısı kazancını/korunumunu desteklemek için deri yüzeyine yakın birçok kan damarı bulunmaktadır. Bu damarlar, kan akışının artmasına ve daha fazla ısının yayılmasına izin vermek için genişleyebilir/açılabilir (Mazzoleni, 2013:99). Deriyi besleyen kan damarlarının çapının küçülmesi, vazokonstriksiyon olarak adlandırılan bir süreçtir. Kan akışını azaltır ve ıyıyı korumaya yardımcı olur. Vazodilatasyon ise damarların genişlemesi ile ciltteki kan akışını artırarak canlının ısı kaybetmesi durumudur [URL-1].



122

Resim 2.2. Hayvanlarda ısıl düzenleme için görülen vazokonstriksiyon (damar büzülmesi) ve vazodilatasyon (damar genişlemesi) işlemleri [URL-1]

Diğer birçok kuşun yanı sıra ördekler, bacaklarındaki atardamarlar ve damarlar arasında ters akım ısı değişim sistemine sahiptir. Ayaklara akan sıcak arteryel kan ayaklardan dönen soğuk venöz kanın yakınından geçer. Arter kanı, venöz (toplardamar) kanı ısıtır ve böylelikle sıcaklık düşer. Bu, ayaklardan akan kanın nispeten serin olduğu anlamına gelir. Bu bağlamda ördekten buza ısı akışı azalır [URL-2]. Resim 2.3'te organizmanın fizyolojik özelliği ile ısıl düzenlemeyi nasıl gerçekleştirdiği görülmektedir.



Resim 2.3. Buz üzerinde gezen ördeklerde ısıl düzenleme [URL-2]

Çevreye ısı kaybını en aza indirmenin bir başka yolu da yalıttır. Çoğu memeli ve kuşlar ısı transferini azaltmak amacıyla, tüylerini ve cilde yakın olan hava tabakasını kullanmaktadır. Balinalar gibi deniz memelileri ise, yalıtım için kalın bir yağ tabakasına sahiptir. Soğuk havalarda, kuşlar ve memeli hayvanlar, izolasyon tabakasını kalınlaştırmak için tüylerini kabartırlar. Davranışsal olarak tüylerin kabartılmasıyla, başın ve ayakların ise tüylere doğru çekilmesiyle soğukta iletkenlik azaltılır. İnsanlarda aynı davranışsal durum görülmekte fakat vücut tüyleri, kabarık ve sıkı olmadığı için bu durum hayvanlardaki gibi gerçekleşmemektedir (Resim 2.4) [URL-3].

123



Resim 2.4. Tüy kabartma durumu [URL-1]

Davranışsal olarak kara hayvanları genellikle deri, ağız ve burun aracılığıyla, havayı buharlaştırarak su kaybetmektedir. Buharlaşma ısıyı ortadan kaldırmakta ve bir soğutma mekanizması olarak hareket etmektedir. Bu durum **evaporatif mekanizma** olarak adlandırılmaktadır. Örneğin kurtlar, ağız yüzeylerinden buharlaşmayı arttırmak için ağızlarını açarak dillerini dışarı uzatmakta ve hızlı bir şekilde nefes almaktadır. Benzer şekilde, birçok memeli, yüksek vücut ısısına yanıt olarak buharlaşma yoluyla soğutmayı arttırmak için terleme ve nefes alma gibi mekanizmaları harekete geçirebilirler (Resim 2.5) [URL-3].



Resim 2.5. Kurtta ve insanda serinlemek için görülen evaporatif mekanizma [URL-1]

Buraya kadar bahsedilen tüm ısıl düzenleme çözümleri *homeostazis* olarak adlandırılmakta ve bu terim dış ortamdaki değişikliklere rağmen sabit bir iç ortamın sürdürülmesi anlamına gelmektedir. *Homeostazis* için mevcut olan homeostatik kontrol sisteminde üç bileşen çalışmaktadır. Bunlar sensörler (değişken ölçüldüğünde), bütünleştirme merkezi (ölçülen değerlerin ayarlanmış bir değerle karşılaştırıldığı yer) ve efektörler (bir cevap verebilir) olarak adlandırılmaktadır [URL-4].

İnsan termoregülasyonunda ise, sıcaklığı ölçen iki sensör bölümü vardır. Bunlardan ilki deri tabakası olup, derinin sırasıyla çok sıcak veya soğuk olması durumunda tepki verebilen sıcak ve soğuk reseptörleri içermektedir. Kanın sıcaklığı, beyindeki hipotalamusta bulunan ikinci bir termoreseptör seti tarafından sürekli olarak ölçülmektedir [URL-4].

Tablo 2.1. Canlılarda görülen ısıl düzenleme özellikleri

DOĞADA ISIL DÜZENLEME İLKELERİ		
Davranışsal Özellikler	Cilt, ağız ve burun yoluyla serinleme (Evaporatif mekanizma) terleme, nefes alma, tüylerin kabartılması	
Fizyolojik Özellikler	Kan damarlarının çapının küçülmesi: vazokonstriksiyon damarların genişlemesi: vazodilatasyon	
Anatomik/Morfolojik Özellikler	Canlıların tüylerinin vücudun farklı bölgelerinde değişken olması Renk farklılığı	

Tablo 2.1’de örnekleri ile açıklanan doğadaki ısıl düzenleme özellikleri, mimari kabuklara aktarılabilecek kavramsal fikirler ve çözümler barındırmaktadır.

Bu bölümde yapılan çıkarımları desteklemek ve öneriler getirmek amacıyla bir sonraki başlıkta biyomimetik yaklaşım yöntemi ile doğadaki ısıl düzenleme ilkelerinin mimari kabuğa nasıl aktarılabileceği sorusu ile başlayan ve çözüm önerileri getiren örneklerle yer verilmiştir.

MİMARLIKTA BİYOMİMETİK ISIL DÜZENLEME ÇÖZÜMLERİ

Biyomimesis (*biomimesis*), biyomimikri (*biomimicry*), biyognoz (*biognosis*), biyo-esinlenme (*bioinspiration*), biyomimetik tasarım (*biomimetic design*), biyoanalog (*bioanalogous*) tasarım, biyolojiden esinlenmiş tasarım (*biologically inspired design*) şeklinde benzer anlamlarda kullanılagelen bu terimlerin ortak özelliği, insan problemlerini çözmek için doğal modelleri, sistemleri ve süreçleri taklit etmeleridir. Janine Benyus'un konuyla özdeşleşen popüler kitabının da ismi olan "Biyomimikri" ise "sürdürülebilirlik" çağrışımı yapmaktadır (Shu, Ueda, Chiu ve Cheong, 2011: 673). Tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimarlık alanında da potansiyeller barındıran bu kavram, sürdürülebilir, ekolojik ve yenilikçi çözümler üretmek için öneriler sunmaktadır.

Milyarlarca yıldır varlığını sürdüren doğa etkileşimli, uyarlanabilir, duyarlı, performatif, akıllı, sürdürülebilir çözümlerin kaynağıdır. Dolayısı ile biyomimetik yaklaşım mimari tasarım sürecine ve bu sürecin ilk aşamalarına entegre edildiğinde doğayla derinleşme/bütünleşme sağlanabilir. Bir başka ifade ile doğaya ve barındırdığı organizmalara bakmak insanoğlunun çözüm aradığı/çözmekte zorlandığı pek çok probleme yanıt verebilir potansiyellere sahiptir.

Bu bağlamda bu çalışmada, doğadan biyomimetik yaklaşım ile elde edilen ilkeler sonucunda üretilmiş yapı kabuğu/cephesinin tasarımı analiz edilmiştir. Yapı kabuğu/cephesi, yapının ışık, ısı, hava koşulları gibi dış ortam etmenlerinden korunmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Bu amaçla Resim 3.1'de görüldüğü yapıda palyatif yöntemlerle ikincil bir kabuk oluşturmak yerine, kabuğun canlılardaki karşılığı olan yüzeylerden/deriden çıkarımlar yapabilmek daha sürdürülebilir sonuçlara ulaşılmasının bir aracı olabileceği düşünülmektedir. Yaşayan doğa farklı iklim koşullarına adapte olabilen ve ısı düzenlemesini sorunsuz bir şekilde gerçekleştiren sınırsız örneklerle mimarlara ilham verecek özelliklere sahiptir.



125

Resim 3.1. Muş'ta soğuktan korunmak için geliştirilen çözüm; paketlenen apartman örneği [URL-5]

Çok sayıdaki örnek arasından yapılan araştırma sonucu, doğadaki ısı düzenleme yaklaşımlarından bazı çıkarımlar yapılmıştır. Örneğin vazokonstrüksiyon ve vazodilatasyon özellikleri, kış aylarında ve yaz aylarında iç ortam sıcaklığının düzenlenmesi amacıyla yapı kabuğu tasarımlarına ilke olarak aktarılabilir. Daralma-genişleme özelliğine sahip malzemeler ya da çok katmanlı duvarlar ile bu durum çözülebilir. Şöyle ki tasarlanacak kabuğun, dört katmandan oluşması ve hava sirkülasyonunu sağlayacak şekilde olması, soğuk havalarda dış ortama yakın üç tabakanın pistonlarla kapatılması,

yazın ise bu pistonların hepsinin açılarak termal konfor koşulları sağlaması gibi çözümler üretilebilir. Görüldüğü gibi bu durum malzeme ile ya da strüktürel çözüm olarak mimari çözüme aktarılabilmektedir.

Canlılardan aktarılabilecek bir diğer ilke ise dolaşım sistemidir. Bu durum canlılarda deri yüzeyine yakın bir çok damar ile gerçekleşmektedir. Mimari kabuk yüzeyi de katmanlı düzenlenerek, ısıtma-soğutma işlemlerini gerçekleştirmesi için damarsal strüktürler tasarlanabilir.

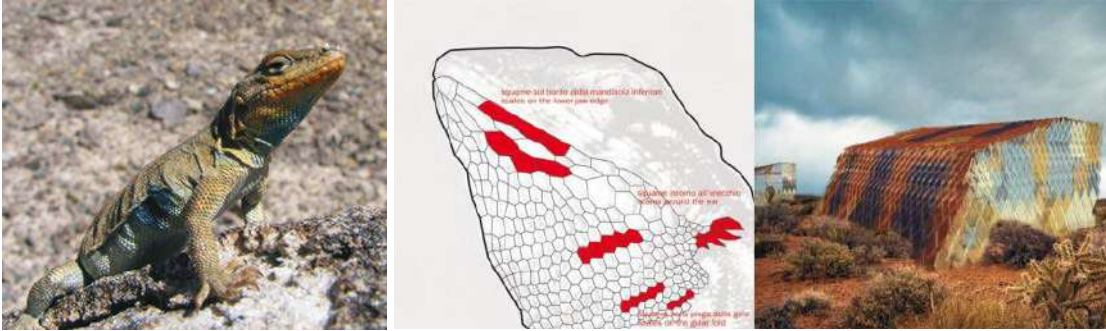
Yine damarların fizyolojisi ile ilgili olarak gerçekleşen vazokonstriksiyon işlemi cephede sıcaklıkla küçülen, soğuk havalarda hacmi artan malzemeler ya da strüktürlerle sağlanabilir. Örneğin kullanılan yalıtım malzemesi sıcak havalarda inceliyor soğuk havalarda kalınlaşabilir. Aynı zamanda bu durum canlılardaki davranışsal özelliklere de karşılık gelmektedir. Son olarak canlılarda cildin yanında bulunan hava tabakası mantığı aynı şekilde mimari kabuk katmanlarına da yansıtılabilir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde, yapılan önerileri desteklemek ve doğadaki uyarlanabilir stratejilerin mimarlıkta yapı kabuğu tasarımına nasıl aktarıldığını örneklemek adına literatürde yer alan öncül örneklerle yer verilmiştir. Bu çalışmalar belirlenirken biyomimetik yaklaşımın kullanılmış ve doğadaki ısıl düzenleme ilkelerini yapı kabuğuna aktarılmış olmasına dikkat edilmiştir.

Çölde Konut Projesi

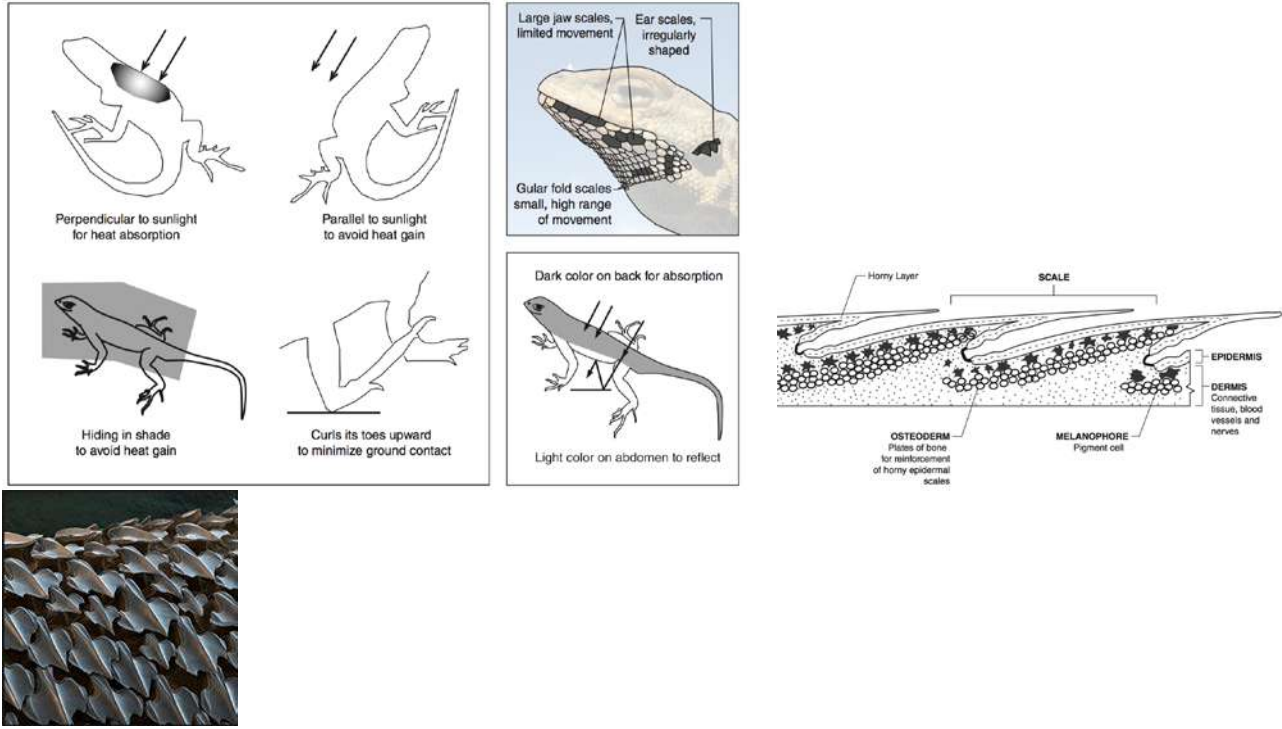
Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsü'nden Ilaria Mazzoleni (2010:109) öncülüğünde, bir grup mimarlık öğrencisi tarafından biyolojik analizler yapılarak mimarlıkta kullanılabilecek biyomimetik ilkeler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan Yuan ve San Pedro tarafından tasarlanan yapı kabuğunda kullanılmak üzere, yan lekeli kertenkele olarak adlandırılan türe ait fizyolojik, davranışsal ve morfolojik özellikler araştırılmıştır (Mazzoleni, 2011). Elde edilen veriler ışığında, aynı ekip, davranışları taklit eden ve kertenkele kabuğunun fizyolojik özelliklerinden referans alan ve çöl iklimine adapte olabilen bir konut tasarlamıştır (Resim 3.1.1) (Mazzoleni, 2010).

126



Resim 3.1.1 Yan lekeli kertenkele (*Side-Blotched Lizard / Uta stansburiana*) (Mazzoleni, 2013:105) ve yapı kabuğu tasarımı (Mazzoleni, 2011).

“Akıllı, sürekli, aktif, katmanlı, çevresel, sistem” olarak adlandırılan proje için söz konusu kertenkelenin habitatu ve iklimsel koşulları incelenmiş, 0 ila 2500 m arasında değişen yüksekliklerdeki çöllerde ve ovalarda yaşadığı belirlenmiştir (Mazzoleni, 2013: 106). Soğuk kanlı olan kertenkeleler, vücut ısısını düzenlemek amacıyla çevrelerini kullanmaktadırlar. Bu canlılarda ısıl düzenleme, kabuk/cilt özelliklerinin ve davranışlarının birlikteliği sonucu gerçekleşmektedir. Genel olarak yan lekeli kertenkeleler, arka kısmında güneş ışığı emilimini sağlamak için koyu renk pullar ve zeminden gelen sıcaklığı yansıtmak için de karın üzerinde açık renk pullar olmak üzere pullara sahiptir (Resim 3.1.2) (Mazzoleni, 2013: 107). Bu pullar ayrı parçalardan oluşmayan, sürekli bir epidermal tabakadır (Mazzoleni, 2010: 109).



Resim 3.1.2 Kertenkelenin sergilemiş olduğu davranışsal özellikler (Mazzoleni, 2013: 107-108), kertenkele derisinin mikroskopik görüntüsü (URL-6)

Konutta; sıcak, kurak günlerde ve soğuk gecelerde kullanıcıların iklimsel konforu hedeflenmiş ve bu amaçla kertenkelenin özellikleri tasarıma aktarılmıştır. Palm Springs, Kaliforniya'da tasarlanan bu yapı en yüksek sıcaklıklara uyumlu bir şekilde tasarlanmıştır. Konutun duvarları için kertenkele derisinin fizyolojik yönü dikkate alınmıştır. Kertenkelenin davranışsal özellikleri ise, cephede düzenlenen hidrolik sistem ve alıcılara için ilham vermiş ve güneş ışınlarına karşı “akıllı” bir çözüm geliştirilmiştir (Resim 3.1.3) (Mazzoleni, 2010: 109).

127



Resim 3.1.3. Gece ve gündüz kabuk elemanlarının genişleyip daralması ve kabuğu oluşturan farklı renklerdeki panellerin hareketi (Mazzoleni, 2010: 110)

Tablo 3.1’de özetlendiği gibi bu çalışmada; organizmaya ait davranışsal özellikler güneş ışığına göre hareket eden kabuk tasarımına yansımıştır. Kertenkelenin ısıyı iletmek ve almak için kullandığı açık ve koyu lekeler yapının cephesinin renklendirilmesinde kullanılmıştır. Son olarak kertenkelenin derisine ait fizyolojik yapı bilgisi konutun duvarlarına aktarılmıştır. Damarlarda sıcak kanın ve soğuk kanın hareketi, strüktürel olarak duvar tasarımına yansımıştır. Buradan hareketle bu çalışmada organizma düzeyinde, davranış ve forma odaklanıldığı görülmektedir.

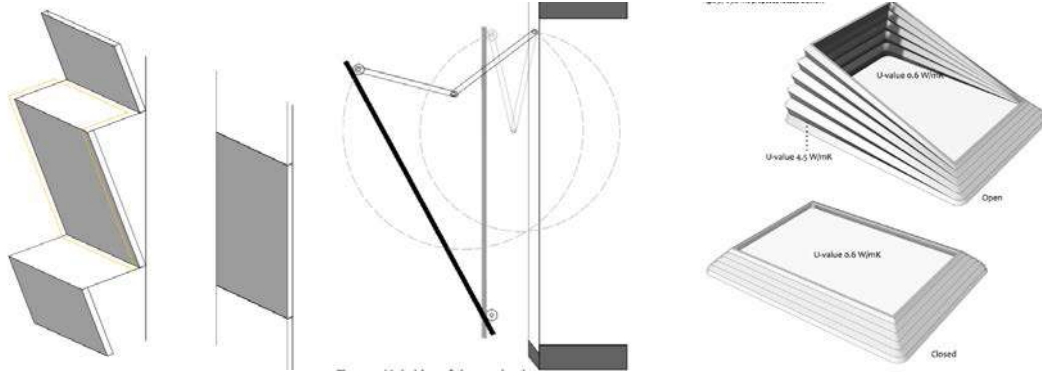
Tablo 3.1. Kertenkele esinli konut projesinin değerlendirilmesi

DOĞA	BİYOLOJİK ORGANİZMA	Canlının yaşadığı habitatın ve iklimsel koşulların tespiti
		Fizyolojik, Davranışsal ve Anatomik özelliklerin tespiti
		Davranışsal özellikler: Isıyı emmek için güneşe dik durmak, ışınlarından kaçınmak için güneşe paralel durmak, sıcak toprağa teması en aza indirmek için ayak parmaklarını yukarıya doğru kıvrırmak ve çok sıcak olduğunda gölgede hareket etmek. Deride yansıtıcı ve emici renklere sahip olmak.
		Deri ve İç Sistemler Arasındaki İlişki,
MİMARLIK	TASARLANAN YAPI KABUĞU	Fotovoltaik paneller, hidrolik piston, Termal kütle için faz değişim malzemesi, hava akımı için boşluk, esnek neopren membran
		Yapı kabuğunun gece-gündüz ve mevsimsel koşullarda yaşanan sıcaklık değişimlerine bağlı olarak boyut değiştirmesi
		Isı kazancı için çatıda ve güney cephesinde koyu renk tercih edilmesi
		Güneş ışığını yansıtmak için doğu ve batı cephelerinde açık rengin tercih edilmesi

Su Duvarı Projesi

Delft Teknik Üniversitesi'nde Antonia Kalatha tarafından biyomimetik yaklaşımla gerçekleştirilen "Su Duvarı: biyo-esinli termo-düzenleyici cephe" çalışmasında öncelikle canlı organizmaların ısı düzenleme amacıyla kullandıkları mekanizmalar gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucu biyomimetik ilkeler elde edilmiş ve bir ofis yapısında termal konforunun sağlanması amacıyla cephe tasarımında uygulanmıştır [URL-7].

Bu çalışma biyomimetik yaklaşım türü olarak "problem odaklı yaklaşım" sürecini benimsemiş ve çözüm için kuş tüyleri ve kuşların kanat hareketinden esinlenilmiştir. Kuş tüylerinin fiziksel ve morfolojik özelliklerinin ve çevresel uyaranlara davranışsal tepkilerinin birleşimi sonucu cephede ısı düzenleme mekanizması oluşturulmuştur. Oluşturulan biyomimetik ilkelerden biri yüzey alanının azaltılması, sıcaklığı yaymak için de yüzey alanının genişlemesi ve "iletken malzeme" kullanımı olarak belirlenmiştir. Farklı ısı katsayısına sahip malzemelerin kullanılması ile ısı kaybının azaltılması da bir diğer ilkedir. Artan ve azalan yüzeyler, birçok canlı organizmada ısı kaybını artırmanın veya en aza indirmenin bir yoludur. Örneğin, kartallar vücut sıcaklığını düzenlemek için kanatlarını açmakta veya gizlemektedir. Vücut kısımları ise birbirinden farklı beş çeşit tüyle kaplıdır. Bu tüyler farklı şekillerde bir araya gelerek ısı izolasyonu sağlamaktadır. Farklı morfolojik özelliklere sahip tüyler, yapı cephesine içe ve dışa doğru katlanan oluklu elemanlar kullanılmasıyla aktarılmıştır. Aynı zamanda cepheye dinamik bir görüntü kazandırılmıştır (Kalatha, 2016: 28-30).



Resim 3.2.1. Açılıp kapanan mekanizma ve mekanizma için tasarlanan oluklu malzeme (Kalatha, 2016: 29-30)

Organizma düzeyinde forma ve davranışsal özelliklere odaklanan bu çalışmada, birçok canlıdan çıkarımlar yapılarak cephe tasarımı gerçekleştirilmiştir. Fakat ilk aşamada gerçekleştirilen biyomimetik ilkelerin çıkarımı için organizmanın fizyolojik, anatomik özellikleri araştırılmamıştır. Daha çok kanatların morfolojik yapısı ve nasıl düzenlendiği, sıcak ve soğuk havalarda göstermiş olduğu davranışsal hareket tasarım ilkesine uyarlanmıştır. Davranışsal hareketin neden olduğu fizyolojik özellikler çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Tablo 3.2.1. Kanat ve tüylerden esinlenen Su Duvarı projesinin değerlendirilmesi

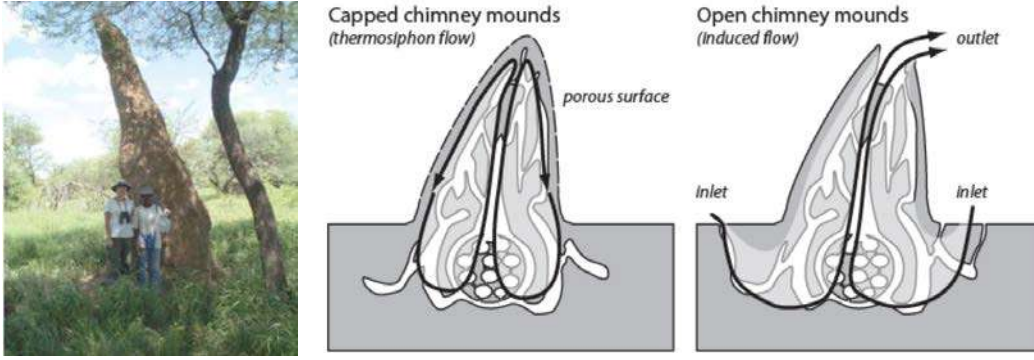
DOĞA	BİYOLOJİK ORGANİZMA	Canlının yaşadığı habitatın ve iklimsel koşulların tespiti
		Fizyolojik, Davranışsal ve Anatomik özelliklerin tespiti
		Davranışsal özellikler: Kuşların kanatlarını açması ya da kapatması, farklı boyutlarda tüyler
		Tüylerin morfolojisi
MİMARLIK	TASARLANAN YAPI KABUĞU	Yüzey alanının azalması-artması
		Yapı kabuğunun dinamik hareketi
		Oluklu ve katlanabilir cephe tasarımı
		İletken/akıllı/yüksek teknoloji malzemelerin kullanılması

129

Ofis Yapıları İçin Gözenekli Katlanabilir Cephe Tasarımı

Bu çalışmada “sıcak iklim bölgelerinde tasarlanan ofis yapılarında günışığı ihtiyaçları karşılanmaya çalışılırken sıcaklığı azaltmanın göz ardı edilmesi” probleminden yola çıkmıştır. Problem odaklı başlayan bu çalışmada sıcak iklime uygun çift kabuklu cephe tasarımı için doğanın çözüm önerilerine başvurulmuştur. Bu yaklaşım sonucu tasarlanacak ofis yapısında ısı düzenlemenin konveksiyon (iletim) ve radyasyon (ışınım) yoluyla yapılmasına karar verilmiştir (El Ahmar ve Fioravanti, 2015: 688).

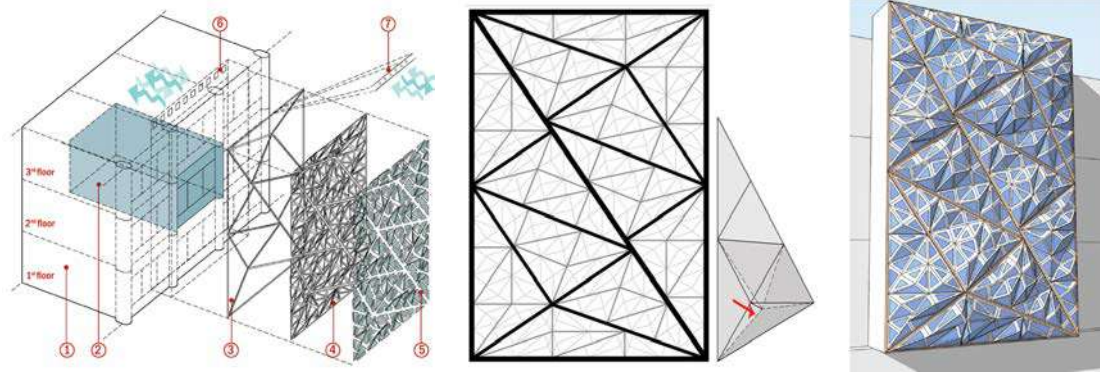
Bu bağlamda termit kulesinin göstermiş olduğu doğal havalandırma davranışı referans alınmıştır. Termit kulesi ısıyı korumak için bir takım yapısal özelliklere sahiptir (Jones ve Oldroyd, 2006:153). *Macrotermes Michaelseni* olarak adlandırılan termit kuleleri Afrika'da Sahra çölünde yer almaktadır. Gözenekli bir kabuğa ve 1,5-2 metrelik çapa sahip bir yeraltı yuvası ve birkaç metre yükseklikte uzayabilen koni biçimli höyüklerdir (Resim 3.3.1) (Turner, 2001: 798).



Resim 3.3.1. Kuzey Namibya'da bir termit kulesi ve açık-kapalı baca tipi (Turner ve Soar, 2008: 2-3)

Gözenekli kule yüzeyi, havanın tüm höyüğün etrafını saran boru ağına girmesini sağladığı için önemli bir role sahiptir. Ağdaki hava hareketi her zaman rüzgâr kaynaklanır ve rüzgâr, bacaya ulaşana kadar tünellerden oluşan bir ağ sisteminden (retikulum) geçerek, ortaya çıkan kuvvete bağlı olarak yukarı veya aşağı doğru hareket eder. Gözenekli yüzeyler ise, iç bölümü türbülanslı rüzgarlardan koruyan bir tampon görevi görür (El Ahmar ve Fioravanti, 2015: 689).

Bu bağlamda gözenekli yapıya sahip kule ve çalışma prensibi yapı kabuğuna analogik ilişki kurularak, gözenekli yüzeye sahip çift kabuklu cephe olarak aktarılmıştır. Aynı şekilde bacalı höyük, bacalı çift kabuklu cephe olarak düşünülmüştür. Cephede sıcaklığı azaltmak için şekilsel olarak üçgen kabartmalar tercih edilmiştir (Resim 3.3.2) (El Ahmar ve Fioravanti, 2015:689).



Resim 3.3.2. Çift kabuklu ofis cephesi (El Ahmar ve Fioravanti, 2015: 692-693)

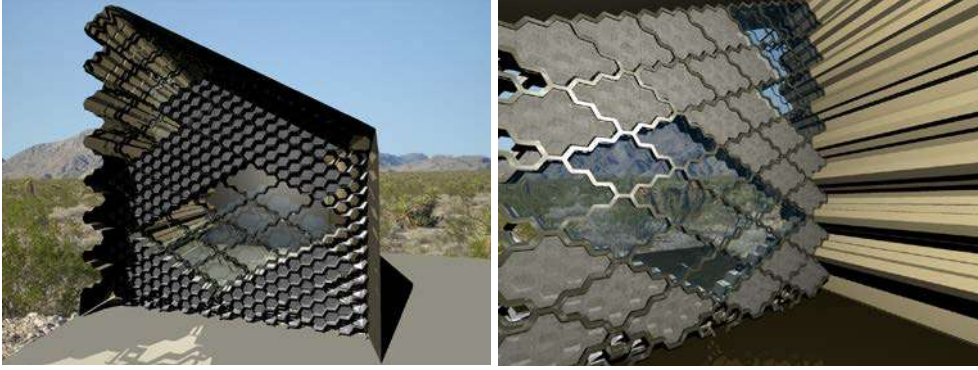
İncelenen örnekte organizmanın yaşadığı ortamın morfolojik özelliklerinden ve bu ortamın koşullarının ısısal düzenleme prensiplerinden (ortamdaki havanın davranışı) esinlenilmiştir. Tasarlanan cephenin performatif durumu simülasyon analizleri ile kontrol edilmiştir. Aynı zamanda kendinden gölgelendirme için katlanmış bir yüzey kullanarak ısı kazanımını azaltılmıştır. Buna ek olarak termit kulesi yüzeyinin gözenekliliğinden esinlenerek oluşturulmuş küçük delikler ile ısı kaybını arttırmak amaçlanmıştır. Böylelikle biyomimetik ilkelerin ve performans kriterlerinin erken tasarım aşamasında kullanılması ile adaptasyonu yüksek yapılar elde edilebilmektedir.

Tablo 3.3.1. Termit kulesi esinli ofis cephesi için değerlendirme

DOĞA	BİYOLOJİK ORGANİZMA	Canlının yaşadığı habitatın ve iklimsel koşulların tespiti
		Termit kulesi yapısının analizi
		Termit kulesi morfolojisi
		Termit kulesinin havayı soğutma şekli
MİMARLIK	TASARLANAN YAPI KABUĞU	Gözenekli yüzeye sahip çift kabuklu cephe tasarımı
		Boşluktaki hava akışının sürekli hareketi ve ısı kaybının arttırılması
		Kırıklı yüzeye sahip katlanabilir dinamik cephe tasarımı
		İletken/akıllı/yüksek teknoloji malzemelerin kullanılması

Stoma Tuğlalı Kabuk Projesi

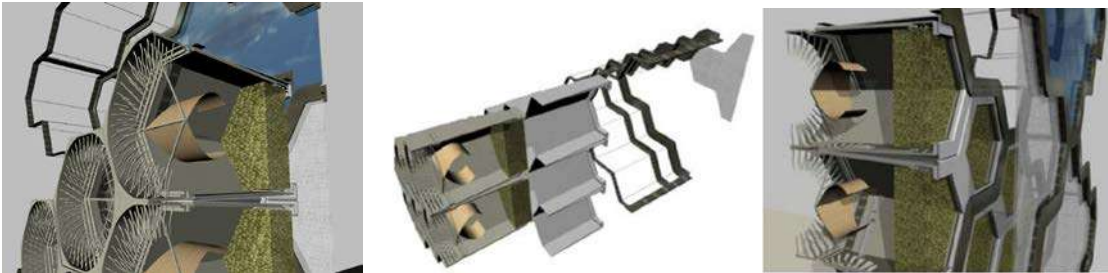
Genişleme, daralma, açıklık, terleme, gaz değişimi gibi özelliklere sahip sistem 3 boyutlu (3D) olarak üretilen “stoma” tuğladan yapılmıştır. Cephe 9’lu ve 3’lü gözenekli bloklardan oluşup, buharlı soğutma için kapalı sulama sistemi içermektedir (Resim 3.4.1) (Farchi Narchman, 2009: 57-65).



131

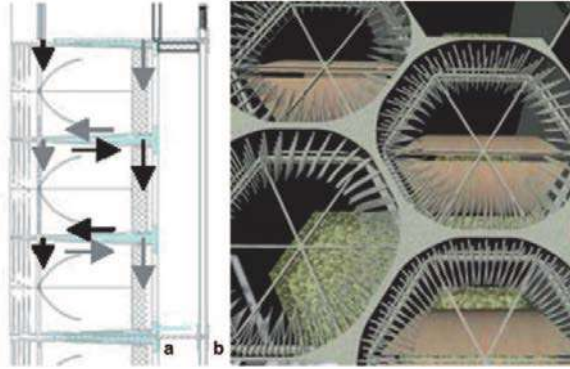
Resim 3.4.1. Kurak bölgeler için cephe tasarımı (Pohl ve Nachtigall, 2015:281; Farchi Narchman, 2009: 64)

Evaporatif soğutma yöntemi sergileyen cephe dört parçadan oluşmaktadır (Resim 3.4.2). Stoma tuğlası, termoregülasyon için gözenekli malzemeden yapılmış fonksiyonel parçalardan oluşmaktadır. Kabuk içerisinden geçen havayı filtrelemek için kabuk dışında tüylü bir tabaka bulunmaktadır. Kabuk içerisinde nem oranına bağlı olarak açılıp/kapanan bir kaplama panjuru yer almaktadır. En iç tabaka ise buharlaşma sonucu oluşan nemi tutmak için süngerimsi/gözenekli bir özelliğe sahiptir (Badarnah vd., 2010: 258).



Resim 3.4.2. Cephe detayları (Farchi Narchman, 2009:62)

Çelik çerçeve ile soğutma sisteminin yapısı taşınmıştır. Çerçeveye yerleştirilen stoma tuğlası içerisinde sulama sistemi oluşturulmuştur (Resim 3.4.3). En iç katmanda, hava temizleme için filtre ya da dış ortam ile aydınlatma ve görsel iletişim için yerleştirilen çift akrilik cam bulunmaktadır. Stoma tuğlası oluşturulurken, buharlaşma için kontrol açıklıklarının değiştiren osmotik basınç için bitkilerin stomasından, bağıl nem değişikliği ile malzeme deformasyonu için çam kozalağından esinlenilmiştir. İnsan kirpiği ise, sistemin toz ve kum gibi parçacıklardan korunması için insan derisi de soğutma ile buharlaşmanın gerçekleşmesi için saklı ısı transferi özelliği amacıyla transfer edilen bilgiler olmuştur (Badarnah vd., 2010: 259-260).



Resim 3.4.3. Nemi sağlamak için oluşturulan sulama sistemi, sistem çalıştığında sulama döngüsü (siyah ve gri oklar) aktifleşir (Pohl ve Nachtigall, 2015:280)

Katmanlardan oluşan bu kabuk sistemi sıcak ve nemli havalarda çalışmaktadır. Kaplama panjur nemlendiğinde deforme olmakta ve havanın süngerimsi katmana geçmesini sağlamaktadır. Sıcak ve kuru havalarda sulama döngüsü, su damlacıklarının kaplama panjuru üzerine düşmesini sağlar. Süngerimsi tabaka da nemli havanın geçmesine izin verir. Soğuk ve kuru havalarda ise süngerimsi tabaka ısı kaybını engeller (Badarnah vd., 2010: 259).

Sonuç olarak bu yapı kabuğu, organizma düzeyinde form, davranış ve süreç özelliklerinden yola çıkarak tasarlanmıştır. İncelenen canlılara ait fizyolojik, davranışsal ve morfolojik bir takım özellikler biyomimetik ilke olarak kabuğa aktarılmıştır.

Tablo 3.4.1. Stoma tuğlalı kabuk projesinin değerlendirilmesi

DOĞA	BİYOLOJİK ORGANİZMA	Buharlaştırma için kontrol açıklıklarının değiştiren osmotik basınç için bitkilerin stoma davranışından
		Bağıl nem değişikliği ile malzeme deformasyonu için çam kozalağından
		Sistemin toz ve kum gibi parçacıklardan korunması için kirpik davranışı
		Soğutma ile buharlaşmanın gerçekleşmesi için insan derisinin davranışı
MİMARLIK	TASARLANAN YAPI KABUĞU	Genişleme, daralma, açıklık, terleme, gaz değişimine sahip katmanlı sistem
		Gözenekli malzeme kullanımı
		Havanın filtrelenmesi, neme adaptasyon
		Soğutma için su döngüsü

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında incelenen örneklerde araştırmacıların yapı kabuğunda belirlemiş oldukları termal konfor probleminin çözümü için doğaya yöneldikleri görülmüştür. Bu süreçte, canlıların iç ortam sıcaklığını düzenlemek için değişen dış ortam faktörlerine nasıl tepki verdikleri sorusunun yanıtı aranmış ve doğanın çözümleri hakkında ipuçları elde etmek için biyoloji bilimi ile disiplinler arası ilişki kurulmuştur.

Kurulan ilişki ile beraber doğanın ve canlıların yaşadıkları ortamda sahip oldukları özelliklere, mekanizmalara ve ilkelere, literatür ve laboratuvar araştırmaları sonucunda ulaşılmış, bu ilkelerin yapı kabuğuna uygulanabilirliği sorgulanmıştır. İlkelerin form, strüktür, malzeme üzerinde uygulanabilirlik arayışları sonuç ürüne dönüşürken, doğadan elde edilen biyomimetik ilkeler genel olarak erken tasarım aşamasında işlev ve yapı (morfoloji) açısından kabukları şekillendirmede kullanılmıştır.

Biyoloji bilimi ile kurulan diyalog sonucunda elde edilen biyomimetik yaklaşımlar mimarlık literatüründe yeni kavramların tartışılabilmesi için yeni platformlar oluşturmuştur. Bu çalışma özelinde, “ısıl düzenleme” konusunda, **akıllı** (*smart/intelligent*), **duyarlı** (*responsive*), **uyarlanabilir** (*adaptive*), **performatif** (*performative*), **etkileşimli** (*interactive*) çözümler mimarlık disiplininde yeni paradigmanın habercisi olmuştur. Söz konusu kavramların mimarlık söyleminde ve pratiğinde “ısıl düzenleme” özelinde çalışılması ve öncül örnekler üzerinden tartışılması; doğaya adapte olabilen, ısıl dengesini doğaya uyumlu bir şekilde gerçekleştirebilen, dışardan daha az enerjiye ihtiyaç duyan, enerjisini kontrol edebilen enerji etkin yapı kabuklarının üretilmesini olanaklı kılacaktır.

KAYNAKÇA

- Badarnah, L., Farchi, Y. N., Knaack, U., Carpi, A., & Brebbia, C. A. (2010). Solutions from nature for building envelope thermoregulation. *Design & Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, 5, 251.
- El Ahmar, S., & Fioravanti, A. (2015). Biomimetic-Computational Design for Double Facades in Hot Climates. *Proceedings of eCAADe 2015*.
- Farchi Nachman, Y. (2009). Learning from nature: Thermoregulation envelope, 62-64. Retrieved from: [file:///Users/machd/Downloads/learning_from_nature-thermoregulation_last_ver2_%20\(2\).pdf](file:///Users/machd/Downloads/learning_from_nature-thermoregulation_last_ver2_%20(2).pdf)
- Hill, R.W., Wyse, G.A. & Andreson, M., 1979, *Animal Physiology*, second edition, Sinauer Associates, Inc.: Massachusetts, 205-252.
- Jones, J. C., & Oldroyd, B. P. (2006). Nest thermoregulation in social insects. *Advances in Insect Physiology*, 33, 153-191.
- Kalatha, A. (2014). The Water Wall: a bio-inspired thermoregulative facade system <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5610cf9c-a54c-4a1d-982e-9643af3a2ba8> Last accessed: 12.5.2018
- Kipervaser, D. (2003). Behavioral thermoregulation in terrestrial arthropods. Retrieved from: http://ibrarian.net/navon/paper/Behavioral_thermoregulation_in_terrestrial_arthro.pdf?paperid=5196238 Last accessed: 11.5.2018
- Mazzoleni, I. (2010). Biomimetic envelopes. *Disegnarecon*, 3(5), 99-112.

- Mazzoleni, I., 2011, A Zoological Approach to Architecture. Retrieved from: <https://www.domusweb.it/en/architecture/2011/02/27/a-zoological-approach-to-architecture.html> Last accessed: 11.5.2018
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture Follows Nature-Biomimetic Principles for Innovative Design* (Vol. 2). Crc Press, 97-99-105-108.
- Pohl, G., & Nachtigall, W. (2015). *Biomimetics for Architecture & Design: Nature-Analogies-Technology*. Springer, 280-281.
- Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal physiology: adaptation and environment*. Cambridge University Press, 235.
- Shu, L. H., Ueda, K., Chiu, I., & Cheong, H. (2011). Biologically inspired design. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 60(2), 673-693.
- 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.
- Turner, J. S. (2001). On the mound of *Macrotermes michaelseni* as an organ of respiratory gas exchange. *Physiological and Biochemical Zoology*, 74(6), 798-822.
- Turner, J. S., & Soar, R. C. (2008, May). Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. In *First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction* at Loughborough University, 1-18.
- URL-1** <https://tr.khanacademy.org/science/biology/principles-of-physiology/metabolism-and-thermoregulation/a/animal-temperature-regulation-strategies> Last accessed: 11.5.2018
- URL-2** <http://askanaturalist.com/why-don%E2%80%99t-ducks%E2%80%99-feet-freeze/> Last accessed: 11.5.2018
- URL-3** https://web.stanford.edu/group/stanfordbirds/text/essays/Temperature_Regulation.html Last accessed: 11.5.2018
- URL-4** <https://pmgbiology.com/tag/thermoregulation/> Last accessed: 11.5.2008
- URL-5** http://fotocdncube.gazetevatan.com/newpics/news/100220141313336038086_4.jpg Last accessed: 11.5.2018
- URL-6** <https://tr.pinterest.com/pin/499618152395566669/?lp=true> Last accessed: 11.5.2018
- URL-7** <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5610cf9c-a54c-4a1d-982e-9643af3a2ba8> Last accessed: 11.5.2018