



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**CEPHE SİSTEMLERİNİN ENERJİ
ETKİNLİĞİ ÜZERİNE BİYOMİMETİK BİR
DEĞERLENDİRME**

Emine GÜNDOĞDU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

**Mayıs-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Emine GÜNDOĞDU tarafından hazırlanan “Cephe Sistemlerinin Enerji Etkinliği Üzerine Biyomimetik Bir Değerlendirme” adlı tez çalışması 17/05/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Danışman

Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN

Üye

Doç. Dr. Gülşen DİŞLİ

İmza



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emine GÜNDOĞDU

Tarih: 17.05.2020



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CEPHE SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ ÜZERİNE BİYOMİMETİK BİR DEĞERLENDİRME

Emine GÜNDOĞDU

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN

2020,133 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN
Doç. Dr. Gülşen DİŞLİ
Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Sanayileşme, nüfus, teknolojik gelişmelerin büyük bir hızla artması vb. nedenlerle son dönemlerde enerji tüketiminin de büyük oranda artması sebebiyle enerji sıkıntısı yaşanmaktadır. Binalarda yüksek enerji tüketimi de burada büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle mimarlar, binaların enerji tüketimini yönetmek için enerji etkin çözümler bulmaya çalışmaktadır. Bu noktada doğal formlar, sistemler ve süreçlerden ilham alan yenilikçi bir yaklaşım olarak tanımlanan biyomimikri kavramı ön plana çıkmaktadır. Yapıda bulunduğu konum nedeniyle dış çevreyle en çok iletişim halinde olan bina kabuğunun bir parçası olarak bina cepheleri de bu enerji etkin çözümleri sağlama noktasında en büyük alana sahip bina bölümüdür. Bu nedenle cephe sistemlerinin enerji etkin tasarımı önemlidir.

Bu bağlamda çalışma kapsamında 'Bina cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümler doğadaki sistemlerden ilham alınarak tasarlanabilir mi?' sorusu ele alınmıştır. Çalışmada temel alınan bu ana soru üzerinden, doğal varlıkların, doğal derilerin, bir cephe sisteminin enerji etkinliğini en çok etkileyen hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme ilkeleri çerçevesindeki çözümleri incelenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın amacı biyomimetik yaklaşımın cephe tasarımlarında nasıl enerji etkin çözümler ürettiğini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda, doğadan esinlenen biyomimetik cephe sistemlerinin bu enerji etkin çözümleri (verimlilik, koruma, üretme vb.) sağlama yöntemleri belirlenen örnek projeler üzerinden incelenmiştir. Gerekli literatür taramasının ardından geliştirilen tablo ile farklı özelliklere sahip on altı proje ilk olarak, her projede doğadan esinlenen varlığın, canlılığın; yapı, cilt, deri, yüzey veya tabakası aracılığıyla nasıl hava, su/nem, ısı, ışık düzenleme stratejisi geliştirdiği analiz edilmiştir. Bu stratejilerin fikir aşamasında, tasarım önerisi olarak geliştirilmiş, test edilmiş, prototip olarak üretilmiş ya da mevcut binalardaki cephe sistemlerine biyomimikrinin hangi seviyesinde ve yaklaşımında aktarıldığı tespit edilmiştir. Stratejilerin biyomimetik cephe sistemlerinde hangi seviyede ve ne tür cephe sistemi kullanıldığı saptanmıştır. Sistemin belirlenen ilkeler doğrultusunda sağladığı enerji etkin çözümler tek tek analiz edildikten sonra, projeler, bu ilkeler doğrultusunda karşılaştırmalı bir tablo ile değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirme sonucunda biyomimetik yaklaşımın sunduğu sürdürülebilir, yenilikçi ve alternatif çözüm önerileri ile enerji etkin cephe sistemlerinin tasarlanabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca biyomimetik cephe sistemlerinde başta ısı ve ışık düzenlemesi olmak üzere hava ve su/nem düzenlemelerine yönelik çözümler üretilerek enerji etkinliğinin sağlandığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Biyomimikri, Doğa esinli tasarım, Enerji etkin cephe tasarımı, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

MS THESIS A BIOMIMETIC EVALUATION ON THE ENERGY EFFICIENCY OF FACADE SYSTEMS

Emine GÜNDOĞDU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ARCHITECTURE**

**Advisor: Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN
2020,133 Pages**

Jury

**Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN
Doç. Dr. Gülşen DİŞLİ
Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK**

Industrialization, rapid population growth, rapid increase in technological developments, etc. for reasons, energy shortages is been experienced in recent years as the energy consumption has increased significantly. High energy consumption in buildings also has a major impact here. Therefore, architects are trying to find energy efficient solutions to manage the energy consumption of buildings. At this point, the concept of biomimicry, which is defined as an innovative approach inspired by natural forms, systems and processes, comes to the fore. As part of the building envelope, which is most in contact with the external environment due to its location in the building, the building facades are also the part of the building with the largest area to provide these energy efficient solutions. Therefore, energy efficient design of facade systems is important.

In this context, within the scope of the study, ‘can solutions for providing energy efficiency in building facade systems be designed by taking inspiration from the systems in nature?’, the question has been addressed. Based on this main question in the study, the solutions of natural beings, natural skins within the framework of the principles of air, heat, light, water/moisture regulation that most affect the energy efficiency of a facade system were examined. In this context, the aim of the study is to demonstrate how biomimetic approach produces energy efficient solutions in facade designs. In line with this purpose, the methods of providing these energy efficient solutions (efficiency, protection, production, etc.) of biomimetic façade systems inspired by nature have been examined through the sample projects identified. Following the required literature review, sixteen examples of projects with different features were examined. At each project inspired by different organisms; Firstly, it has been analyzed how organisms develop air, water/moisture, heat, and light regulation strategies through structure, skin, surface or layer. It was determined that these strategies are transferred to the facade systems (in the idea phase, developed as a design proposal, tested, prototyped, current project) at which level and approach of biomimicry. In biomimetic façade systems, it was determined at which level these strategies are used in the system and what type of façade system was used. After the energy efficient solutions provided by the system in line with the determined principles were analyzed one by one, the projects were evaluated with a comparative table in line with these principles.

As a result of the evaluation, it has been determined that energy efficient facade systems can be designed with sustainable, innovative and alternative solutions offered by the biomimetic approach. In addition, it has been observed that energy efficiency is achieved by producing solutions for air and water/moisture regulation with especially heat and light regulation, in biomimetic facade systems.

Keywords: Biomimicry, Energy efficient facade design, Nature inspired design, Sustainability.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam süresince, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Hatice Derya Arslan ve Doç. Dr. Semra Arslan Selçuk, olmak üzere, eğitim hayatımda emeği geçmiş tüm akademisyenlere çok teşekkür ederim. Aynı zamanda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen başta annem Hatice Gündoğdu olmak üzere aileme ve yakın dostlarıma teşekkür ederim.

Emine GÜNDOĞDU
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Araştırma Sorusu ve Hipotez	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3. Çalışmanın Önemi.....	2
1.4. Sınırlılıklar	3
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	4
2.1. Enerji Etkin Yapı Tasarım Stratejileri ve Cephe Tasarımı	5
2.1.1 Cephe	6
2.1.1.1. Cephe Tasarımında Etkili Faktörler.....	9
2.1.1.2. Cepenin İşlevleri	10
2.1.1.3. Cephe Sisteminin Parçaları	11
2.1.2. Enerji Etkin Yapı Tasarımı	13
2.1.2.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri.....	15
2.1.3. Enerji Etkin Cephe Sistemleri.....	16
2.1.3.1. Tek Tabakalı Cephe Sistemleri.....	17
2.1.3.2.Çift Tabakalı Cephe Sistemleri.....	20
2.1.4. Enerji Etkin Cephe Tasarımında Temel İlkeler	26
2.2. Doğadan İlham Alan Çözümler: Biyomimikri.....	27
2.2.1. Biyomimikri.....	28
2.2.1.1. Biyomimikri Yaklaşımları.....	35
2.2.2. Mimaride Biyomimikrinin Tarihsel Gelişimi	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
3.1. Enerji Etkin Cephe Tasarımı ve Biyomimikri İlişkisi.....	47
3.1.1. Hava	48
3.1.2. Isı (Termoregülasyon).....	50
3.1.3. Işık	52
3.1.4. Su	53
4. BİYOMİMETİK CEPHE SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ.....	59

4.1. ‘Aero Dimm’ Projesi	60
4.2. ‘Flectofin’ Projesi	62
4.3. Gözenekli Cilt (The Porous Skin) Projesi.....	65
4.4. ‘Biotic-Tech’ Gökdelen Şehir Projesi.....	69
4.5. ‘The BIQ House’, Biyo-Akıllı Cephe Projesi.....	72
4.6. Nefes Alan Cilt ‘Breathing Skins’ Projesi.....	75
4.7. ‘CH2’ (Council House) Ofis Binası.....	78
4.8. ‘S.C.A.L.E.S.’ Akıllı, Sürekli, Aktif, Katmanlı, Çevresel, Sistem Projesi.....	82
4.9. Esplanade Sanat Merkezi	85
4.10. ‘Sino Steel’ Uluslararası Plaza	88
4.11. ‘Hygroskin’, İklim Duyarlı Pavilyon.....	91
4.12. Doğal Havalandırılmalı Perde Duvar.....	94
4.13. Biyolojiden İlham Alan: Havalandırma Sistemi Gibi Çalışan Cilt.....	98
4.14. Stoma Tuğlası ‘Stoma Bricks’ Projesi.....	101
4.15. Uyarlanabilir, Geçirgen Bina Zarfı (Ilaria Mazzoleni Öğrenci Projesi)	105
4.16. Homeostatik Bina Cephesi.....	109
5. DEĞERLENDİRME	112
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR	124
ÖZGEÇMİŞ	133

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm Santimetre

kW Kilowatt

m² Metrekare

Kısaltmalar

BIQ Bio Intelligent Quotient (Biyo Akıllı Bölüm)

CH2 'Council House 2' (Avustralya' da Bir Ofis Binası)

CO₂ Karbondioksit

ETFE Etilen tetra floro etilen

HVAC Isıtma, soğutma, havalandırma ve iklimlendirme

ITKE Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen
(Bina Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü)

SB 'Stoma Bricks' (Stoma Tuğlası)

U-değeri Isıl geçirgenlik katsayısı

1.GİRİŞ

Dünya’ da hızlı nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik gelişmelerin büyük hızla artması vb. nedenlerle son dönemlerde enerji tüketimi de büyük oranda artmıştır. Temelinde fosil yakıt kullanımı olan enerji kaynaklarının kullanılmasıyla, atmosfere salınan karbon yayılımının insan sağlığını ve doğal çevreyi olumsuz yönde etkilediği, enerji kaynaklarının tükendiği görülmüştür. Çevresel ve ekonomik kaygılar nedeniyle enerji verimliliği, enerji korunumu, enerji etkinliği, enerji optimizasyonu önemli hale gelmiştir. Binalar tasarımı, yapımı, kullanımı ve dönüşümü sürecinde yani yaşam döngüleri boyunca oluşan kirlilik, bu süreçte kullanılan enerji gereksinimleri nedeniyle, enerji kaynaklarının tükenmesinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle binaların yapımında çevreye en az zarar verecek şekilde ve enerji etkin tasarımlar yapmak önemlidir. Binanın dış ortamla iletişim kurduğu ilk yüzey olan cephe, enerji kullanımını en çok etkileyen bölümdür. Bundan dolayı günümüzde cephelerin enerji etkin tasarlanması önem arz etmektedir. Bu konu üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında da bina cephelerinde doğa esinli cephe sistemi uygulamalarının enerji etkin çözümleri (verimlilik, koruma, üretme vb.) üzerine bir araştırma yapılmıştır.

1.1. Araştırma Sorusu ve Hipotez

Bu tezde ele alınan ana problem: ‘Bina cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümler doğadaki sistemlerden ilham alınarak tasarlanabilir mi?’ sorusudur.

Araştırma sorusunu cevaplamaya yardımcı olacak, aşağıdaki alt problemler tez kapsamında ele alınarak cevaplanmıştır:

1. Bina cephelerinden kullanıcı konforu göz önünde bulundurularak beklenen işlevler nelerdir?
2. Mevcut enerji etkin cephe sistemleri nelerdir?
3. Enerji etkin cephe sistemlerini etkileyen temel ilkeler nelerdir?
4. Bu temel ilkeler için neden doğanın stratejilerine bakmalıyız?
5. Doğada canlıların bu temel ilkeler doğrultusunda geliştirdiği stratejiler nelerdir?
6. Belirlenen bu ilkelerin enerji etkin cephe tasarımına etkisini belirlemek için ne tür bir analiz gerekir? Analiz yönteminin sınırlılıkları ve yararları nelerdir?

7. Tez kapsamında değerlendirilen projelerde biyomimetik cephe sistemlerinin enerji etkinliği hakkında varılan sonuç nedir?

Çalışma kapsamında belirlenen ana ve alt problemler doğrultusunda; ‘Enerji etkin cephe sistemleri tasarımında doğa esinli tasarım yaklaşımı olan biyomimikri optimum düzeyde çözüm sağlayabilir.’ hipotezi test edilmiştir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak, enerji etkin binalar tasarlamak, mevcut sistemlerde iyileştirmeler yapmak ve gelecekte tasarlanacak sistemlere öncül çözümler sunabilmek için biyomimikri yaklaşımı ele alınmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı biyomimikrinin cephe tasarımında enerji etkin çözümlere katkısını hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme ilkeleri üzerinden (cephede enerji etkinliği sağlamaya yönelik ilkeler) ele alarak belirlemektir.

Bu amaç ve araştırma problemleri doğrultusunda tez kapsamında ilk olarak cephenin yapıdaki konumuna, cephenin işlevlerine, tasarımını etkileyen faktörlere, cephe sisteminin parçalarına değinilmiştir. Sonrasında mevcut enerji etkin cephe sistemleri ve tasarımlarını etkileyen temel ilkeler (hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme ilkeleri) ele alınmıştır. Doğanın stratejilerinin enerji etkin tasarıma etkisini gözlemleyebilmek için neden biyomimikri yaklaşımı seçildiği, biyomimikri seviyelerine, yaklaşımlarına ve biyomimikrinin tarihsel gelişimine yer verilmiştir. Bu yönde literatür araştırması yapılmıştır. Sonrasında ana problem ve alt problemlerin cevaplanmasıyla elde edilen veriler doğrultusunda bir metodoloji geliştirilerek enerji etkin cephe sistemleri ve biyomimikri arasında ilişki kurulmuştur ve saptanan veriler doğrultusunda araştırmanın yöntemi olan analiz tablosu oluşturulmuştur. Bu yöntemle, farklı canlılardan esinlenerek tasarlanmış, tasarım önerisi olarak geliştirilmiş, prototip olarak üretilmiş veya uygulanmış biyomimetik cephe sistemlerinin detaylı olarak enerji etkinlik (verimlilik, koruma, üretme vb.) analizleri yapılmıştır. Sonrasında belirlenen projeler tek bir tablo ile karşılaştırılarak nitel bir değerlendirme yapılmıştır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Cephe tasarımlarında enerji etkin çözümler sağlamak için, enerji etkin cephe sistemlerinin tasarımında etkili olan hava, su, ısı, ışık düzenleme ilkeleri üzerinden

tasarım konseptleri belirlenerek çevreye daha uygun cephelerin tasarlanması için biyomimetik çözümlerin etkisi ortaya konmuştur. Geliştirilen metodoloji sonucu ortaya konan değerlendirme tablosu ile konuyla ilgili tüm verileri kullanarak biyomimikrinin enerji etkin tasarımlara etkisinin sistematik bir şekilde analiz edilmesi sağlanmaktadır.

1.4. Sınırlılıklar

Çalışmada doğada var olan örnek sayısına göre oldukça az sayıda canlı stratejisi analiz edilebilmiştir. İncelenecek canlıların çeşitliliğine göre stratejiler çoğaltılabilir. Doğa kendini sürekli yenilemekte ve canlılar da buna yönelik farklı stratejiler geliştirmektedir. Belirli sayıda biyomimetik proje örneğinin incelenmesi de sınırlılık oluşturur. Diğer bir sınırlama ise analiz yönteminde canlıların stratejileri ve cephe sistemleri arasında ilişkiden çıkarılan hava, ısı, ışık, su düzenleme ilkelerine göre sistemde sağlanan çözümler üzerinden enerji etkinlik analizinin yapıyor olmasıdır.

Güvenilir bir analiz yapılabilmesi için doğanın kendisini sürekli yenilemesine bağlı olarak eklenen daha fazla organizma stratejisi ve artırılan proje sayısı ile ülkelerin veya belirli kurumlar tarafından belirlenen enerji etkinlik değerlendirme ölçütlerine ihtiyaç duyulacağını belirtmek gerekir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Günümüzde gelişmiş ülkelerde binalar, yaşam döngüleri boyunca tüketilen enerji nedeniyle, toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İç ve dış ortam arasındaki ara yüz olan bina kabuğu, binanın enerji etkin olmasını sağlama yönünde önemli bir rol oynar. Binanın dış ortam ile doğrudan temas halinde olan katmanı olması sebebiyle başta havalandırma, ısıtma, aydınlatma, nem kontrolü ve diğer birçok işlev için kullanıcı konforunu sağlamak amacıyla tüketilen enerjinin azaltılmasında büyük etkiye sahiptir. Yapıda en büyük alana sahip olan ve yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi) ile doğrudan temas halinde olan cephe sistemleri ve teknolojinin sağladığı olanaklarla birlikte enerjinin etkin kullanımı sağlanabilmektedir. Bu noktada enerji etkin cephe sistemleri incelenerek, bu sistemlerdeki mevcut çözümler üzerinden enerji etkinliği sağlayan temel ilkeler belirlenmiştir. Doğal varlıkların, organizmaların, bu ilkeler doğrultusunda enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümleri ele alınmıştır.

Doğanın çözümlerinin incelenmesi ve tasarımlara aktarılması noktasında pek çok paradigma değişimi göze çarpmaktadır. Bu bağlamda farklı disiplinlerde temeli doğanın çözümlerine dayanan farklı terimlerle karşılaşmaktadır. Bunlar;

- Biyo-esin (*Bioinspiration*): Biyolojik sistemlerin gözlemine dayanan yaratıcı yaklaşımdır (ISO / TC 266 Biyomimetik komitesinden aktaran; Fayemi vd, 2017).
- Biyomimikri (*Biomimicry*): Sürdürülebilir kalkınmanın (sosyal, çevresel ve ekonomik) zorluklarını karşılamak için doğayı bir model olarak alan felsefe ve disiplinlerarası tasarım yaklaşımlarıdır (ISO / TC 266 Biyomimetik komitesinden aktaran; Fayemi vd, 2017).
- Biyomimetik (*Biomimetic*): Biyolojik sistemlerin işlev analizi, modellere soyutlanması ve biyolojik sistemlerin işlev analizi yoluyla pratik problemleri çözme amacı ile biyoloji ve teknolojinin veya diğer yenilik alanlarının disiplinler arası iş birliği ve bu modellerin çözümüne uygulanmasıdır (ISO/TC 266 Biyomimetik komitesinden aktaran; Fayemi vd, 2017).
- Biyonik (*Bionic*): Biyolojik fonksiyonları elektronik ve/veya mekanik eşdeğerleri ile çoğaltmayı, arttırmayı veya değiştirmeyi amaçlayan teknik disiplindir (ISO/TC 266 Biyomimetik komitesinden aktaran; Fayemi vd, 2017).

- Biyofili (*Biophilia*): Biyolog E.O. Wilson tarafından popüler hale getirilen bir terimdir ve insanlar ile diğer canlı organizmalar arasında içgüdüsel bir bağ olduğu hipotezini ifade eder (Pawlyn, 2016).
- Biyomorfik (*Biomorphic*): Biyolojik formlara dayanan tasarım anlamında kullanılır. (Pawlyn, 2016).

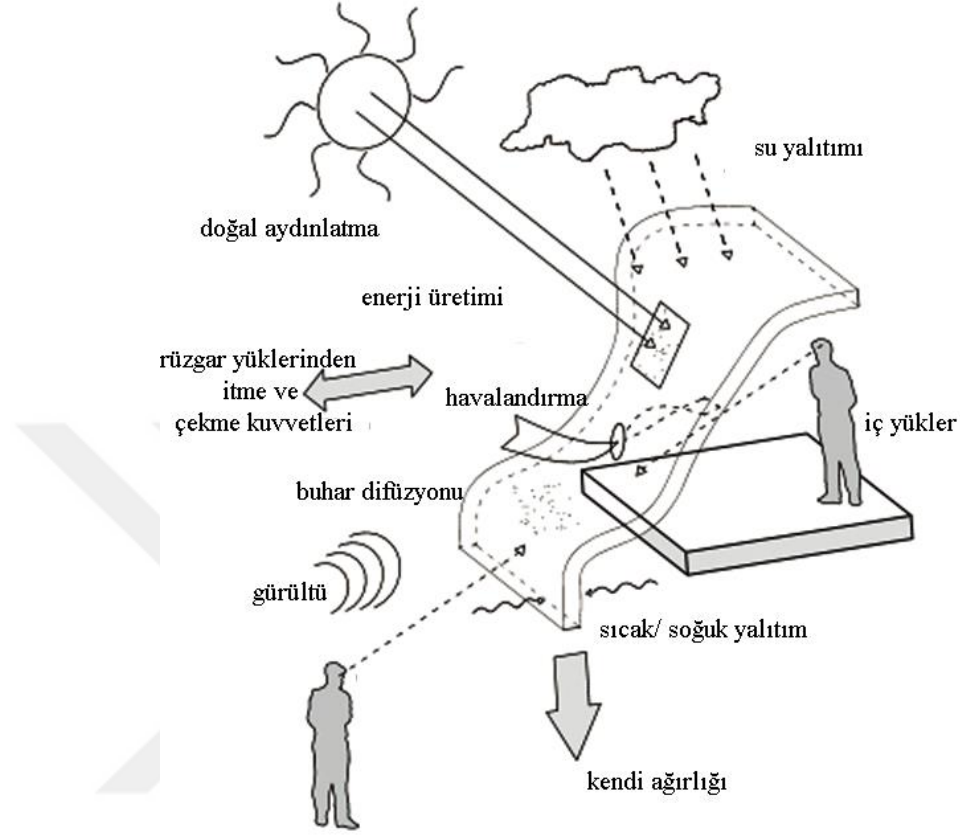
Bu terimler arasında biyomimikri daha ekolojik ve çevreci çözümler için doğaya bakma noktasında özelleşmiştir. Ancak öncesinde 1950'lerde Otto Schmitt tarafından biyomimetik terimi, 1960'da Jack Steele tarafından biyonik terimi kullanılmıştır. Biyomimikri terimi ise ilk olarak 1962' de bilimsel literatürde ortaya çıkmış ve özellikle 1980'lerde malzeme bilimcileri arasında kullanımı yaygınlaşmıştır. Biyolojik bilimler yazarı Janine Benyus biyoloji profesörü Steven Vogel ve biyomimetik profesörü Julian Vincent ile konuya olan ilgi büyük ölçüde artmıştır (Pawlyn, 2016). Biyomimetik ile biyomimikriyi ayıran temel özellik, biyomimetikte doğadan esinlenen rol modelin teknik olarak günümüz şartlarına veya gelecekte oluşabilecek problemlerin çözümüne uyumlu halde aktarılması şeklinde açıklanabilir. Yani teknoloji bu aktarımda ön plandadır. Biyomimikri de ise teknolojiden yararlanılsa da özellikle sürdürülebilir çözümler geliştirmeye odaklanma ön plandadır.

Bu araştırmada cephe sistemlerinin enerji etkinliğinin sağlanması amacıyla tasarıma doğanın çözümlerini aktarmak için, Pawlyn (2016)' inde belirttiği gibi, formun yüzeysel taklit edilmesinden, bilimsel bir işlev anlayışına ve bunun yeniliğe nasıl ilham verebileceğine kadar her şeyi içermesi sebebiyle biyomimikri terimi benimsenmiştir. Bu bağlamda bu bölümde doğa esinli tasarımlar ve biyomimikri terimi araştırılmıştır. Sonrasında doğal varlıkların formu, işleyişi veya yaşam alanlarında, belirlenen ilkeler doğrultusunda enerjinin etkin kullanımını sağlamaya yönelik çözümleri ele alınmıştır.

2.1. Enerji Etkin Yapı Tasarım Stratejileri ve Cephe Tasarımı

Bina kullanımıyla ve yapı malzemesi üretme amacıyla tüketilen enerji, günümüzde gelişmiş toplumlarda toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Chayaamor-Heil ve Hannachi-Belkadi, 2017). Bir binanın enerji etkinliği düşünüldüğünde ise enerjinin verimli kullanımında birincil yaklaşımlardan biri binanın biçimine ve kabuğuna yatırım yapmaktır. Bu noktada bina kabuğunun tasarımı ile enerjinin verimli kullanılmasını, üretimini, depolanmasını, enerji ihtiyaçlarını azaltmayı sağlamak, enerji etkin yapı tasarımı büyük öneme sahiptir. Yapıda bulunduğu

konum itibari ile cephe ise yapının dış ortam ile ilk karşılaştığı yüzey olarak iç mekân konfor koşullarını düzenlemede enerjinin yönetiminde öncül rol oynar (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Yapı dış kabuğu ve bazı kabuk fonksiyonları (Knaack, Klein, Bilow, Auer, 2007)

2.1.1 Cephe

Türk Dil Kurumu sözlüğünde ‘cephe’; bir şeyin veya yapının ön tarafta bulunan bölümü, yan, yön, taraf anlamlarında tanımlanmıştır (Web İletisi 1). Türkçe’ ye, Arapça, ‘*cabha*’ (alın, bir şeyin ön tarafı, yüz) kelimesinden girmiştir. Fransızca’ da ‘*façade*’, İtalyanca’ da ‘*facciata*’, Latince’ de ‘*facia*’ (yüz anlamında) kelimelerinden türetilen cephe kelimesi, karşılığının batı dillerinde genellikle ‘façade’ kelimesinde yapılan küçük değişikliklerle kullanıldığı görülür (Web İletisi 2).

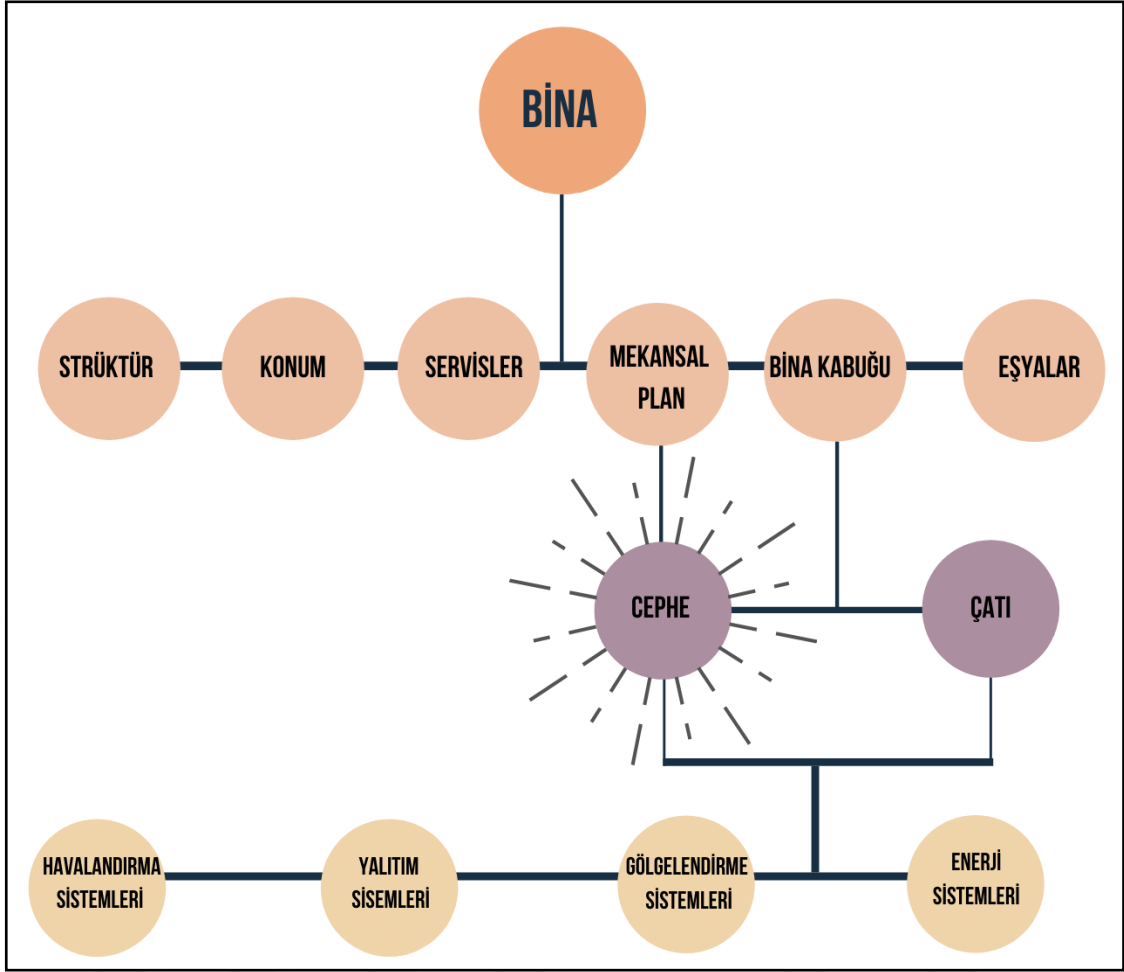
Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğünde cephe farklı şekillerde tanımlanmıştır; özellikle ön yüz olmakla birlikte binanın yüzlerinden her biri olarak ifade edilmiştir. Başka bir ifade şekli olarak cephe, baktığı yön veya işlevine göre adlandırılır; yol cephesi, deniz cephesi, manzara cephesi, güney cephesi, giriş cephesi vb. gibi. Bunlara ek olarak

bina yüzüne dik doğrultuda sonsuzdan bakılan görünüş şeklinde de tanımlanmıştır. (Hasol, 2002).

Cepheyi dokusal olarak ele alıp, zarf (*envelope*) ve kılıf (*skin*) gibi kavramlarla açıklayan Sevinç (2006), iç ve dış ortam arasında bölücü olarak yer alan bina cephesini, iç ve dış ortam arasında iletişimi sağlayan binanın bir parçası olarak tanımlamıştır.

Belirtilen açıklamalar doğrultusunda, cephe kavramı açıklanırken anlamına yönelik farklı tanımlamalar yapıldığı görülmüştür. Bu açıklamalar doğrultusunda cephe; görünüş olarak binaya dik bir doğrultuda bakıldığında algılanan yüzey olarak tanımlanabilir. Görünüş anlamı dışında cephe, binanın bulunduğu fiziksel çevreyle binanın iç ortamı arasında bağlantı kurup bina için gerekli çeşitli işlevleri sağlayan (iklimsel olaylara karşı koruma, ışık, hava, ısı ve nem düzenlemesi gibi yeterli geçirgenliğe sahip olma, strüktür olarak tasarlandığında taşıyıcı özellikte olması vb.), kentsel öge olarak estetik kaygıların yansıtıldığı binanın bir bileşeni olarak tanımlanabilir.

Çeşitli bileşenlerden oluşan bina sistemsel bir bütündür. Binanın bir bileşeni olan cephe de kendi içerisinde barındırdığı bileşenlerle bir sistemdir. Binanın, strüktür, mekân planı, eşyalar, servisler gibi alt sistemleri ile doğrudan iletişim içinde olması cepheyi binanın diğer sistemleri arasında önemli bir konuma oturtur (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Cephenin diğer bina sistemleri ile ilişkisi (Schittich 2006; Karamanlıoğlu, 2011'den uyarlanmıştır.)

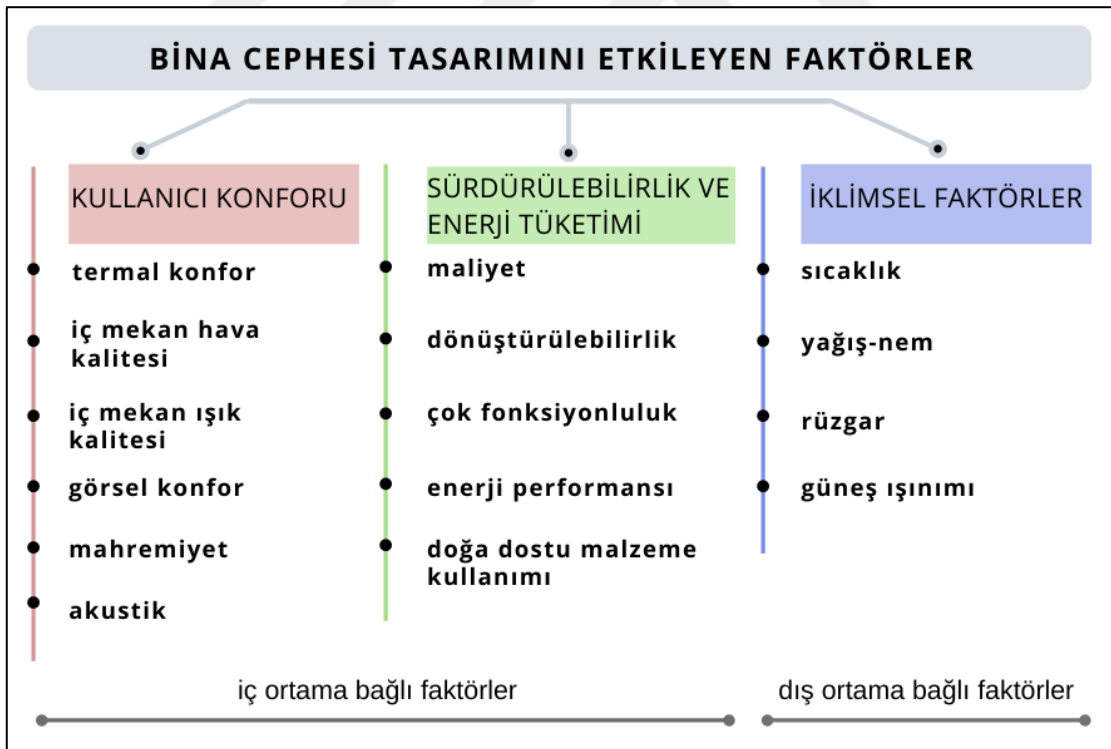
Tasarımın başlangıcından itibaren bina kabuğunun bir parçası olan cephenin binanın diğer sistemleri ile ilişkisinin düşünülmesi gerekir. Cephenin birincil amacı kapladığı mekânları korumak olsa da bu mekânların diğer ihtiyaçları da göz ardı edilemez. Teknolojinin de gelişmesiyle günümüzde yapılan cephe tasarımları, teknik gereksinimleri estetik bir bakış açısıyla karşılarken; enerji verimliliği, sürdürülebilirlik, birden fazla işleve cevap verebilme, ekonomik yön, geri dönüştürülebilme gibi konular da birlikte düşünülmelidir. Bu yönden ele alındığında cephenin diğer bina alt sistemleri ile ilişkisi cepheden beklenen fonksiyonlar ile bu fonksiyonların planlı bir şekilde tasarlanmasıyla ortaya çıkar. Bu tasarlama ile cepheden istenen özellikler dahilinde çeşitli parametreleri etkileyerek cephe karakteri ortaya çıkar. Strüktür, yapı, servisler ve kullanım ile doğrudan ilişki içerisinde olan cepheyi Knaack (2007), binanın ayrılmaz bir parçası olarak tanımlamıştır.

Bu cephenin, beklenen işlevler ve diğer parametreler doğrultusunda kendi içerisinde de farklı bileşenlere sahip olan bir sistem olduğu göstermektedir.

2.1.1.1. Cephe Tasarımında Etkili Faktörler

Cepheyi bir sistem olarak ele alıp, alt bileşenlerine ayırmak, tasarım aşamasında kurgulanan cephe sisteminin kontrol edilebilirliği ve parçalar arasındaki uyumun sistemi nasıl etkilediğini görülmesini sağlaması yönünden faydalı olacaktır. Bu sistem tasarlanırken de çeşitli faktörlerden etkilenir. Bu faktörler literatürde şu şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 2.3.);

- Kullanıcı konforu: termal konfor, iç mekân hava, iç mekân ışık kalitesi, görsel konfor, mahremiyet, akustik.
- Sürdürülebilirlik ve enerji tüketimi; maliyet, dönüştürülebilirlik, çok fonksiyonluluk, enerji performansı, doğa dostu malzeme kullanımı.
- İklimsel faktörler; sıcaklık, yağış-nem, rüzgâr, güneş ışınımı.



Şekil 2.3. Cephe tasarımında etkili faktörler, (Schittich,2006; Ekim, 2013'ten uyarlanmıştır)

Cephe sistemleri kullanıcı konforunu sağlamak amacıyla teknik birtakım donanımlara ihtiyaç duyar. Kullanıcı konforunu sağlayan faktörler; iç mekân ısısını

düzenleme anlamında termal konfor, iç mekânın yeterli havalandırılması yönünden iç mekân hava kalitesi, gölgelendirme ve parlamanın önlenmesi alt başlıklarıyla iç mekân ışık kalitesi, güvenilir bir ortam oluşturma etkiyle mahremiyet ve ses yalıtımının sağlanması açısından akustik iç ortama bağlı faktörlerdir. Bunların yanı sıra sürdürülebilirlik ve enerji tüketimi belirleyicileri yönünden bakıldığında cephenin enerji performansı enerji kullanımının azaltılması, enerji üretebilme, enerji kaybını en aza indirme yani doğru enerji yönetimi belirleyici alt faktörlerdir. Yine geri dönüşebilir malzeme kullanımı, ayrışabilir malzeme kullanımı, malzeme israfının engellenmesi, çevreye minimum etki bırakan malzemelerin seçimi ile doğa dostu malzeme kullanımı, sistemin müdahale edilebilir, geliştirilebilir, esneklik, birden fazla işleve cevap verebilmesiyle, çok fonksiyonluluk iç ortama bağlı faktörlerdendir. Bulunduğu ortama iklime ve değişen kullanıcı gereksinimlerine karşı modüler olma, söküme izin verme yeniden yapılandırmaya izin vermesi yönünden dönüştürülebilirlik, üretim maliyeti ve yaşam ömrü masrafları göz önüne alındığında maliyet iç ortama bağlı diğer faktörlerdir.

Bina cephelerinin tasarımında ve yapımında etkili olan belirtilen faktörlerin ortak noktası, çeşitli bileşenlere sahip bina cephelerinin oluşturulması ve bu faktörleri sağlayıp cepheye aktarabilmek için enerjiye duyulan ihtiyaç olmasıdır.

Cepheden beklenen performansın cepheye yüklenen işlevlerin çeşitliliği ve kendi içinde barındırdığı bileşenlerin karmaşıklığı da cephe sistemlerinin tasarımını büyük ölçüde etkilemektedir.

2.1.1.2. Cephenin İşlevleri

Cephe tasarlanırken kendi bileşenleri ve işlevleri birlikte ele alınmalıdır. Cepheden beklenen temel ihtiyaçları karşılayan ana işlevler vardır. Bu işlevler (Schittich, 2006) ve eklenen diğer özelliklerle şu şekilde sıralanabilir:

- Havalandırma,
- Aydınlatma,
- Nem ve sıcak/soğuk hava koşullarına karşı yalıtım (rüzgâra karşı koruma, güneşe karşı koruma),
- Parlamaya karşı koruma,
- Görsel koruma(mahremiyet)
- Dış mekân ile görsel ilişki
- Güvenlik, kamusal alan ile iç mekân arasında sınır oluşturma

- Mekanik hasara karşı koruma,
- İdeal ses düzeyi,
- Yangına karşı koruma,
- Enerji kazancı, enerji üretimi
- Maliyet
- Hava kirliliği

Teknolojinin gelişmesiyle artan olanaklar sayesinde bu temel işlevlere ek olarak cephe sistemlerinde yeni işlevler aranır olmuştur. Bunlar;

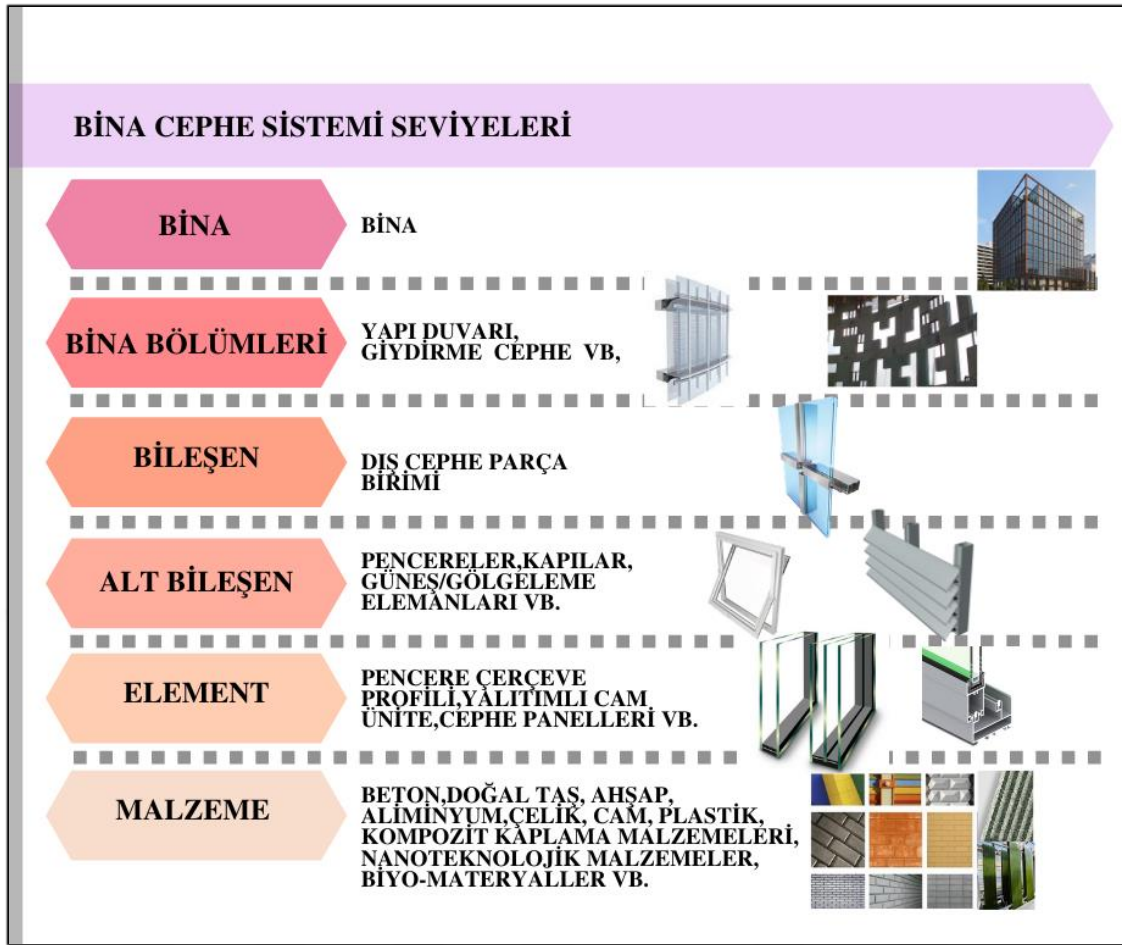
- Yapının zamanla değişen kullanım amacına göre dönüştürülebilir olması,
- Esnek tasarıma izin vermesi,
- Kullanıcı talepleri ile ortaya çıkan yeni fonksiyonlara cevap verebilme, şeklinde

sıralanabilir.

Cephe sisteminin bu işlevleri cephenin sahip olduğu elemanlar ve bileşenlerle sağlanmaktadır.

2.1.1.3. Cephe Sisteminin Parçaları

Cepheyi bir sistem olarak tasarlamak, işlevleri doğrultusunda tasarıma entegre edilen bileşenleri kapsayan cephe elemanlarını bunların arasındaki ilişkiyi düzenli ve en iyi verimi alabilecek şekilde kontrol etmeyi sağlar. Cephe sistemi binanın bir katmanı olan yapı kabuğunun parçasıdır. Buradan yola çıkarak cephe sisteminin yapıdaki konumu, elemanlarının ve bileşenleri arasındaki ilişki görsellerle anlatımı yapılan şekil 2.4. ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.4. Cephe sisteminin seviyeleri (Element eleman anlamı ile kullanılmaktadır.) (Klein, 2013' ten uyarlanmıştır.)

Cephe sisteminin şekil 2.4. de anlatıldığı gibi seviyelerine/ parçalarına/ alt sistemlerine ayrılmasıyla bulunduğu fiziksel, sosyal ve ekonomik çevre içerisinde ihtiyaçlar doğrultusunda, cepheden beklenen fonksiyonların, cephe kompozisyonu içerisinde hangi teknoloji ve yapım yöntemleri kullanılarak cephede somut bir hale nasıl bir araya getirildiğinin, sistemli bir şekilde açıklanması sağlanmıştır.

Burada belirtilen her seviye istenen fonksiyonlar doğrultusunda şekillenir. Her seviye kendi içinde kullandığı fiziksel parçalar ile ilişki içerisinde ve diğer seviyelerle hiyerarşik bir düzen içerisinde birbirini etkiler. Bu oluşum sistemin özelliklerini belirler. Bu fiziksel organizasyon, cephe sisteminin yeniden kullanılabilme, ayrıştırılabilme, söküm- yeniden montaj ve adapte edilebilme gibi yönlerini belirleyen bir faktördür. İşlevsel kararlar ile cephe sisteminin bütünleşebilmesi için bu hiyerarşik düzene ihtiyaç duyulur. Herhangi bir seviyede yapılan değişiklik diğerlerinde de değişikliğe gidilmesine sebep olmaktadır.

Cephenin işlevleri cephenin seviyeleri ile doğrudan ilişki içerisindedir. Bunların herhangi birinde değişen parametreler de tüm sistemi etkilemektedir. Değişen parametreler doğrultusunda cepheden beklenen işlevleri ve sistemin oluşturulmasını sağlamak için de enerji ihtiyacı ortaya çıkar. Bu doğrultuda enerji harcanmasının yanı sıra artık cepheler enerji korunumu yapabilen hatta kendi enerjisini üretebilir bir konuma gelmiştir. Bu noktada enerji etkin cephe sistemlerini incelemek gerekir. Bu nedenle ilk olarak enerji etkin yapı tasarımına değinilmiştir.

2.1.2. Enerji Etkin Yapı Tasarımı

Türkçesi ‘erke’ olan enerji, iş başarma gücü, bir direnmeyi yenme gücü anlamındadır, Fransızca ‘*énergie*’ (iş yapma gücü) sözcüğünden dilimize geçmiştir (Web İletisi 3). Bunu hareket ettirici güç olarak da düşünülebilir. Türk Dil Kurumu güncel Türkçe sözlükte; maddede var olan ve ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç olarak tanımlanan enerji, insan yaşamında temel ihtiyaçlardandır (Web İletisi 4).

Nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik gelişmelerin büyük bir hızla artması vb. nedenlerle son dönemlerde enerji tüketimi de büyük oranda artmıştır. Bundan dolayı dünyada enerjinin elde edildiği kaynakların yaklaşık yarısını oluşturan fosil yakıtların önümüzdeki yüzyıl tükenmeye başlayacağı öngörülmektedir. Enerji kaynağı sınırlı ve dünyada sadece belirli bölgelerde bulunduğu bilinmektedir. Bu hammaddelerin rezervleri ülkeler arası politikada belirleyici olmakla birlikte ekonomik ve siyasal yönden de etkileyici bir role sahiptir. Temelinde fosil yakıt kullanımı olan enerji kaynaklarının kullanılmasıyla, atmosfere salınan karbon yayılımının insan sağlığını ve doğal çevreyi olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Bunların etkileriyle mevsimlerin yıl içerisinde dönemsel değişimleri, iklimsel değişimler, ozon tabakasının incilmesi gibi pek çok sonuç gözlemlenmektedir.

Ekonomik gelişme için çevrenin korunmasının göz ardı edilemeyeceği gözlemlenen pek çok çevresel sorun sonucu kabul edilmiştir. Bundan dolayı enerji verimliliği, enerji korunumu, enerji etkinliği, enerji optimizasyonu önemli hale gelmiştir. Ülkeler, çevrenin korunması için enerji kaynaklarının, enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması, enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi ve enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi amacıyla kanunlar, yönetmelikler vb. çıkarmışlardır. Ülkemizde de 2007 yılında enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve

çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacıyla enerji verimliliği kanunu yürürlüğe girmiştir. Bunları sağlamaya yönelik pek çok yönetmelik, tebliğ ve genelge de yürürlüktedir.

Enerji tüketiminin sektörel dağılımı incelendiğinde, sanayileşmiş ülkelerde, sanayi ve ulaşımın ardından yapı sektörü üçüncü sırada yer almaktadır (U. Harputlugil,2016).

Binalar da tasarımı, yapımı, kullanımı ve dönüşümü sürecinde yani yaşam döngüleri boyunca enerji tüketirler (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Binalarda yaşam döngüsü süreci (Web iletisi 5).

Bu yaşam döngüsü binalar için gerekli hammadde döngüsü ile başlayıp bina kullanımının sonlanması neticesinde yıkılması ve geri dönüştürülmesi süreçlerini içerir (Isık, 2007). Binalar bu süreçte oluşan kirlilik ve enerji kaynaklarının tükenmesinde büyük bir etkiye sahiptir. Bundan dolayı mimarlar binaları çevreye en az zarar verecek şekilde ve enerji etkin tasarımlar yapmaya yönelir.

Yapılması kararlaştırılan binanın, yaşam döngüsünü etkileyen parametrelerinin enerji performansına olan etkisi bu sürecin başından itibaren hesaplanmalıdır. Tasarım sürecinde enerji verimliliğini yükseltecek veriler göz önüne alınmalıdır. Binanın yapım aşamasında harcanan enerji yeniden kazanılamaz. Fakat belirlenen işlevler tasarımı etkileyen diğer faktörler doğrultusunda malzeme seçimi, inşaat süresi, kullanılacak

sistemlerin tasarımı ve seçimi tamamen mimarın ve ekibinin sorumluluğundadır (U. Harputlugil, 2016). Buradan yapının kullanım sürecindeki enerji etkinliğinin tasarım sürecinin en başından itibaren alınan kararlarla belirlendiği sonucuna varılabilir. Bu nedenle tasarımcı aldığı kararların binanın enerji etkinliğini nasıl etkileyeceğinin bilincinde olmalıdır.

Literatürde genel olarak enerji etkinliği, enerji gerektiren bir uygulama için hedeflenen konfor koşulları, performans düzeyi ve kaliteden ödün vermeden, bir hizmet elde etmek için gerekli olan enerji miktarının en az düzeye indirgenmesi olarak tanımlanmıştır (Güvenç, 2008; Karamanlıoğlu, 2011). Mimaride enerji etkinliği ise, binanın yapımı, yapıda kullanılacak malzemenin üretimi ve yapının işletimi süreçlerinin tamamında, tükenmesi muhtemel olan enerji kaynaklarına olan bağlılığın azaltılması, binanın doğaya adapte edilip yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenmesi, bu kaynaklardan en çok verim alınması ve kullanılan enerjinin çevresel etkilerinin en aza indirgenerek tasarım yapılması şeklinde tanımlanmıştır (Tokuç, 2004; Zigenfus, 2008; Esen, 2019).

Bu tanımlamalardan yola çıkarak enerji etkinliği genel anlamda herhangi bir disiplinde enerji kullanmayı gerektiren belirli bir amaç için enerji kaybının en aza indirilmesi olarak ifade edilebilir. Bina tasarımında enerji etkinliği ise binanın yaşam döngüsü boyunca, yapıdan beklenen işlevleri göz ardı etmeden, enerji tüketen faaliyetlerin en aza indirilmesiyle enerji tüketiminin azaltılması, bu süreçte kullanılan enerji kaynaklarının yenilenebilir olması ve bunların verimli bir şekilde kullanılmasıyla doğal döngü içerisinde çevreye zarar vermeyip onunla bütünleşmesini sağlayan bir strateji olarak tanımlanabilir.

2.1.2.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri

Enerji etkinliğinin sağlanması yönünde tasarım sürecine pek çok parametre etki eder. Bu tasarım parametreleri ve enerji etkin çözümler belirlenerek sürece başından itibaren entegre edilmelidir. Bu sayede daha fazla enerji tasarrufu sağlanmış ve uygulama maliyetleri azaltılmış olur.

Enerji etkin bina tasarımı sürecinde etkili olan parametreler; kullanıcıya ilişkin, dış çevreye ilişkin ve binaya ilişkin parametreler olmak üzere üç grupta incelenmiştir (Şekil 2.6.).

Kullanıcıya bağlı parametreler	Dış ortama bağlı parametreler	Binaya bağlı parametreler
Mekânı kullanacak olan kişiye göre değişen termal, nem, aydınlatma, havalandırma miktarı vb. konfor özellikleri	Topoğrafya	Binanın yeri, formu, yönelimi
	İklimsel koşullar	Bina aralıkları ve yükseklikleri,
	Bitki dokusu	Mekân organizasyonu-zonlama
	Peyzaj elemanları ve yakın çevredeki yapılaşma	Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri Güneş kontrolü ve doğal aydınlatma
		Doğal havalandırma düzeni

Şekil 2.6. Enerji etkin bina tasarımını etkileyen parametreler (Esen 2019' dan uyarlanmıştır.)

Enerji etkin tasarım sürecine etki eden birbirleri ile ilişkili bu parametrelerden yapı kabuğunun bir parçası olan cephe, bölüm 2.1.1. de anlatıldığı gibi, binanın diğer sistemleri arasında önemli bir konumdadır. Bundan dolayı cephe sisteminin belirlenen parametrelere en iyi cevap verebilecek şekilde, enerji etkin olarak tasarlanması yapının da enerji etkinliğini büyük oranda etkileyecektir.

2.1.3. Enerji Etkin Cephe Sistemleri

Yapıda en büyük alana sahip olan ve yenilenebilir enerji kaynakları ile doğrudan temas halinde olan (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi) cephe sistemleri ile teknolojinin sağladığı olanaklarla birlikte enerjinin etkin kullanımı sağlanabilmektedir. Cepheler pek çok işleve sahiptir (Bakınız, Bölüm 2.1.1.2.). Cephe sistemleri, bu enerji gerektiren işlevleri yerine getirirken ve yapının yaşam döngüsü sürecinde harcanan enerjide belirli bir paya sahip olmakla birlikte, bu süreçte binanın kullanımı aşamasında özellikle termal konforun sağlanması noktasında harcanan enerjiyi belirleyen en etkin bina sistemidir.

Bu doğrultuda tüketilen enerjiyi minimumda tutan bina için gerekli enerji üretimine katkı sağlayan cepheler tasarlamak günümüzde mimarlar için yapı tasarımında etkili en önemli faktörlerden biri olarak yerini almıştır. Bu nedenle yapının bulunduğu çevre koşullarında iç ortam ve dış ortam arasında sınır görevi üstlenip iletişimi sağlayan cephelerin, yapılarda enerji etkinliğini sağlaması yönündeki rolünü inceleyen pek çok çalışma yapılmaktadır. Bina cepheleri aracılığı ile enerji etkinliği; cephelerin doluluk boşluk oranları, cepheyi oluşturan alt sistemlerin kapı, pencere sistemleri gibi yalıtımı, cephede kullanılan malzemelerin enerji etkin özellikleri, bir bütün olarak cephe sisteminin enerji üretimi korunumu ve enerjiyi verimli kullanabilmesi gibi özelliklerle sağlanabilmektedir.

Bu bağlamda bu tezde enerji etkin cephe sistemleri incelenmiştir. Enerji etkin cephe sistemleri; tek tabakalı cephe sistemleri, çift tabakalı cephe sistemleri olarak iki grupta ele alınmıştır (Şekil 2.7.).

ENERJİ ETKİN CEPHE SİSTEMLERİ		
Tek Tabakalı Cephe Sistemleri	Basit Cepheler	
	Giydirme Cepheler	dış kontrol elemanlı cepheler
		<p>.....</p> <p>iç kontrol elemanlı cepheler</p> <p>.....</p> <p>paneller arasına entegre edilmiş kontrol elemanlı cepheler</p>
Çift Tabakalı Cephe Sistemleri	Çift doğramalı cepheler	
	İçten uygulanan çift tabakalı cepheler	
	Çift Kabuklu Cepheler	<p>.....</p> <p>hava boşluğunun havalandırılma şekline göre</p> <p>.....</p> <p>hava boşluğunun bölünme şekline göre</p>

Şekil 2.7. Enerji etkin cephe sistemleri (Literatür taraması sonucu yazar tarafından oluşturuldu.)

2.1.3.1. Tek Tabakalı Cephe Sistemleri

Tek tabakalı cephe sistemleri binanın yaşam döngüsü içerisinde bina kabuğundan kaynaklanan ısı düzenleme, doğal aydınlatma ve havalandırma gereksinimlerini en üst seviyede sağlayıp bunlar için gerekli enerji tüketimini en aza indirmeye doğrultusunda tercih edilen sistemlerden biridir. Genelde saydam ve opak malzemelerden oluşan elemanların tümü aynı düzlemde bulunmaktadır. En basit şekilde duvar yüzeylerinden ve

pencerelerden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak iç mekân konforunu artırmaya yönelik ve enerjiyi etkin kullanmak adına fonksiyonel yapı elemanları da kullanılmaktadır.

Bunlar tek kabuklu cephelerde güneş kontrolünün sağlanmasına yönelik cephenin iç ya da dış bölümüne yerleştirilen gölgeleme elemanları olmakla birlikte cam yüzeylerde yapılan kaplamalarla da sağlanmaktadır. Bu kızıl ötesi ışınları yansıtan kaplamalar; görülebilen ölçüdeki dalga boylarını emen ve toplayan özelliktedirler. Bu kaplamalar soğuk havalarda ısı ve gün ışığı kazanımını düşürmektedir. Bu olumsuz etkileri azaltmak için havalandırma sistemlerinden yararlanılmaktadır. (Begeç, Savaşır, 2004). Bu sistemlerin kullanılmasıyla doğal hava sirkülasyonu sağlanmakla birlikte enerji tasarrufuna da katkı sağlanmaktadır.

Tek tabakalı cepheler basit ve giydirme cepheler olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

Basit Cepheler: Yapı kabuklarının orijinal formunda bırakıldığı basit cephelerin yapımında taş, tuğla, ahşap gibi malzemeler kullanılır. Yapı açıklıkları ve yük taşıyan bir duvardan oluşur. Havalandırma ve aydınlatma bu yapı açıklıkları ve pencereler ile sağlanır. Güneşten korunmada kullanıcı konforunu sağlamaya yönelik, pencerelerin iç veya dış yüzeylerinde gölgeleme elemanları kullanılabilir. Bunun gibi havalandırmayı sağlayan, enerji üreten işlevsel elemanlar da bulunur. Yapımı ekonomik olan basit cephelerin, temizlik ve bakım maliyeti de düşüktür (Hausladen vd., 2006).

Basit cephelere 2016 yılı Turgut Cansever Ulusal Mimarlık Ödülü alan Muğla'da bulunan Gümüşsu Evleri (Şekil 2.8.) örnek verilebilir. Enerji verimliliğini sağlamak için geleneksel yöntemler kullanılan yapılarda cephe malzemesi olarak cam ve taş kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Gümüşsu Evleri (Web İletisi 6).

Giydirme Cepheleer: Giydirme cephe sistemleri sadece kendi yükünü taşıyan ve genellikle yapının kolonlar, döşemeleri gibi taşıyıcı elemanlarına asılan bina dış yüzeylerini kaplayan yüzey örtüsü şeklinde tanımlanabilir. Bu tür cepheleere Mies van der Rohe' nin Chicago Federal Merkezi (Şekil 2.9.) binası örnek verilebilir.



Şekil 2.9. Chicago Federal Merkezi, 1974 (Web iletisi 7).

Günümüzde ise cepheyi kaplamasına ek olarak farklı fonksiyonlar (aydınlatma, gölgeleme, termal düzenleme, havalandırma, enerji üretimi vb.) eklenmiştir. Bunların sağlanmasında enerji en önemli etkindir ve bu noktada enerji etkin giydirme cephe sistemleri geliştirilmiştir.

Giydirme cepheleer; dış kontrol elemanlı, iç kontrol elemanlı ve paneller arasına entegre edilmiş kontrol elemanlı cepheleer olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

2.1.3.2.Çift Tabakalı Cephe Sistemleri

İki tabakadan oluşan sistemde tabakalar arasında kalan tampon bölgenin hava akımının etkisini azaltması sonucu pencereler açılabilir bu sayede çift tabakalı cephelerde (Şekil 2.10.) doğal havalandırma sağlanır. Bu ara bölme güneş kırıcılar gibi istenilen işlevi sağlayacak farklı mekanizmalar yerleştirilebilmektedir. Bu bölge bölmesiz, yatay bölmeli, düşey bölmeli, yatay-düşey bölmeli olarak tasarlanabilmektedir.

Rüzgâr etkisinin fazla olduğu bölgelerde ise yüksek yapılarda doğal havalandırmaya olanak sağlamaları açısından tercih edilir (Sev ve Özgen, 2003). Buna ek olarak bu ara bölme sayesinde yaz mevsiminde yapının serin, kışın sıcak kalmasını sağlayarak ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji kullanımını da önemli ölçüde azaltılabilir.



Şekil 2.10. Çift tabakalı cephe sistemi perspektif gösterimi (Web İletisi 8).

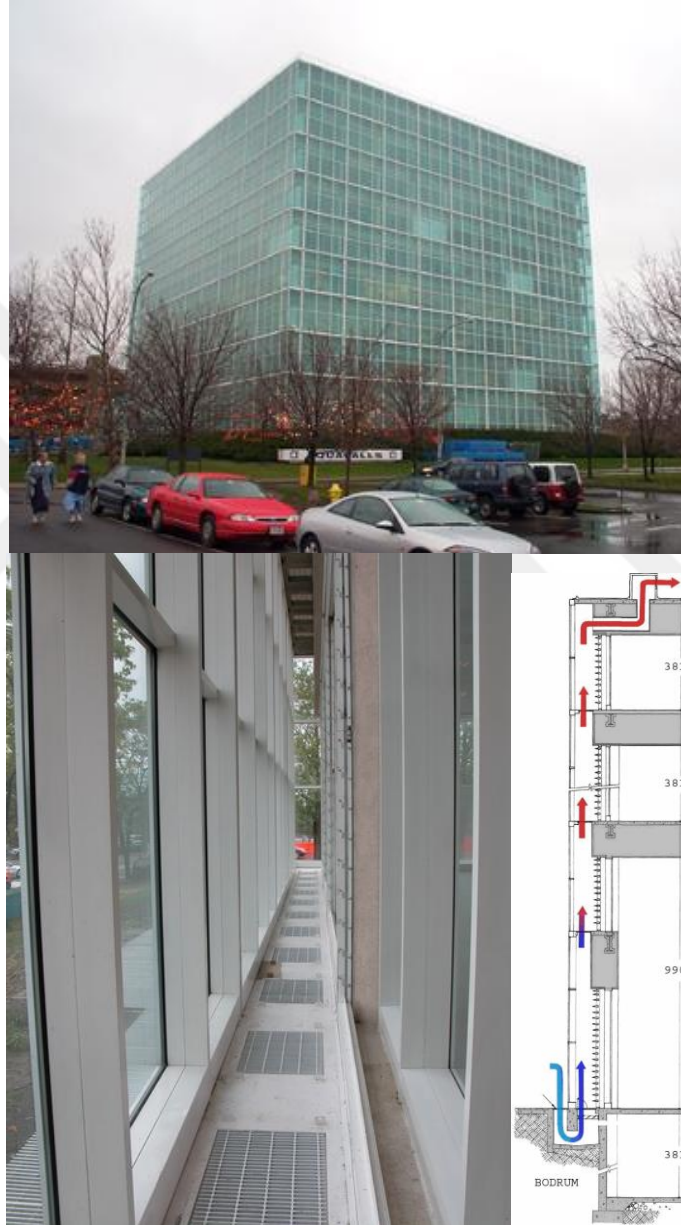
Bu cepheler ile estetik bir görünüm oluşturulabilir ancak asıl amaç kaliteli hava ile doğal havalandırma sağlamaktır (Sev ve Özgen, 2003). Gürültüyü de büyük ölçüde engellemektedir.

Çift tabakalı cepheler enerji etkinlik ve iklimsel avantajlar sağlamakla birlikte yapıya hafif ve estetik bir görünüm kazandırır. Bu nedenle pek çok tasarımcı cephe çözümlerinde bu tür cephe sistemlerini tercih etmektedir.

Çift tabakalı cephelerin 3 temel tipi bulunmaktadır;

- Çift doğramalı cepheler,
- İçten uygulanan çift tabakalı cepheler
- Çift kabuk cepheler

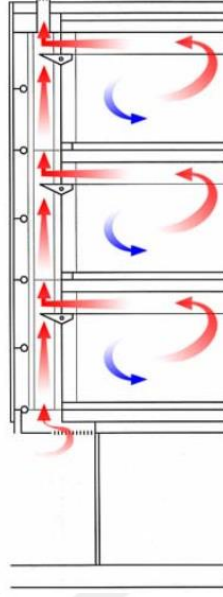
Çift tabakalı cephelerin en basit uygulaması olan çift doğramalı cepheler, doğramalar arasındaki mesafenin 25 cm ile 75 cm arasında olduğu tek camlı doğramalardan oluşmaktadır. Doğramalar arasında kalan boşluk contalarla korunur. Bina içine temiz havayı alabilmek için ayrı pencere kanatları kullanılır (Erturan, 2010) (Şekil 2.11.). Bu türe New York'ta bulunan Hooker Ofis Binası örnek verilebilir.



Şekil 2.11. Hooker Ofis Binası ve cephe sistem kesiti (Web İletisi 9)

İçten uygulanan çift tabakalı cepheler, yalıtımlı camdan oluşan ana cephenin iç kısmına tek camlı ikinci bir cephe doğraması yerleştirilmesi ile oluşmaktadır (Şekil 2.12). İçten uygulanan çift tabakalı cephelerde taze hava HVAC sistemleri ile bina içine alınır.

Daha çok doğal havalandırmanın mümkün olmadığı gürültülü ve rüzgârlı yerlerde tercih edilir. Cam tabakaları arasındaki boşluğa, iç kabuktan fan sistemiyle kullanılan havanın atılması ile cepheden kaynaklı ısı kaybı azalır. Atık hava HVAC sistemleri ile temiz hava olarak içeri alınır ve bu da enerji korunumunu sağlar. Bu nedenle iki cam tabaka arasındaki hava boşluğu HVAC sisteminin bir parçası haline gelir. Gölgeleme cihazlarını boşluğa yerleştirilmesiyle de yaz aylarında soğutma yükü azaltılmaktadır (Erturan, 2010).



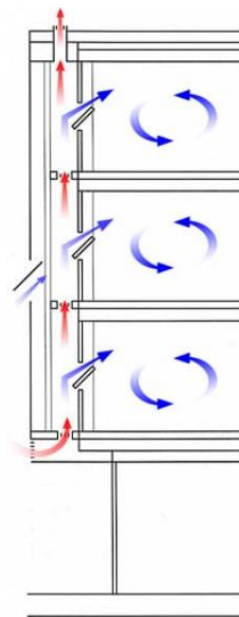
Şekil 2.12. İçten uygulanan çift tabakalı cephe kesit şematik gösterim (Web İletisi 10)

Sheppard Robson tarafından tasarlanan, Londra'daki Helicon Finsbury Binası bu türe örnek olarak verilebilir (Şekil 2.13.). İç mekân konforunun sürekliliği ve gerekli olan enerjiyi azaltmak için solar enerji kontrolünün cephe aracılığıyla sağlanması hedeflenmiştir. Cephe sistemi dışta çerçevesiz tek camdan oluşan panelden, içte çift camlı panellerden oluşur. Sistem havalandırma kanalları ve panjurlarla birlikte termal baca işlevi görür. Aydınlatmayı otomatik olarak kontrol edebilen fotoselli sensörler, zaman ayarları ve kullanıcı detektörleri bulunur (Yellamraju, 2004).



Şekil 2.13. Helicon Finsbury Binası (Web İletisi 11)

Çift kabuk cepheler ise enerji etkin cephe sistemlerinde günümüzde en çok tercih edilen sistemlerden biridir (Şekil 2.14.). Enerji harcamalarını azaltmak ve ısı kayıplarını önlemek amacıyla ortaya çıkan çift kabuk cepheler, bir boşlukla (tampon bölge) birbirinden ayrılan bir dış bir de iç katmandan oluşan cephe sistemidir. Yapının bulunduğu çevresel koşullara göre katmanların özellikleri değişir. Katmanlar arasında kalan boşluğa iç mekân konforunu sağlamaya yönelik gölgeleme elemanları gibi elemanlar yerleştirilir. Tampon bölgenin genişliği, içerisine yerleştirilecek elemanlara ve cepheyi çevre şartlarına karşı korumak için gerekli olan mesafeye göre 15 cm ile 75 cm arasında değişir (Long ve Herzog' dan aktaran: Erturan, 2010).



Şekil 2.14. Çift Kabuk Cepheler (Web İletisi 10)

Bu tür cephelerde dış katman rüzgârı engeller ve doğal havalandırma yapılmasına imkân verir ve gürültü kirliliğine karşı da yalıtım sağlar. Pasif sistemler kullanılmasından dolayı enerji elde edilir. Bundan dolayı mekanik sistemlere duyulan ihtiyaç azalır. Böylece bina giderleri düşürülmesine ve sürdürülebilirliğe katkı sağlanır (Çakır, 2011). Bu cepheler %30-%50 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır (Sev ve Özgen, 2003).

Çift kabuk cepheler literatürde genellikle hava boşluğunun havalandırılışı ve bölünmesine göre iki grupta incelenmektedir.

Hava boşluğunun havalandırılmasına göre doğal, mekanik ve hibrid olmak üzere üç tip vardır. Doğal havalandırmada rüzgâr ve basınç farklılıklarından yararlanarak bina açıklıklarından (pencere, kapılar gibi) temiz havanın sirkülasyonu sağlanır. Enerji gerektiren herhangi bir mekanik kullanım olmadığı için enerjinin verimli kullanılmasına yardımcı olur. Mekanik havalandırmada hava akımı mekanik araçlarla oluşturulur bu yüzden daha kontrol edilebilirdir ancak enerji kullanımı fazladır. İki sistemin de birlikte kullanıldığı hibrid havalandırma sistemlerinde ise öncelik doğal havalandırmadır, gerektiğinde mekanik havalandırma tercih edilmektedir. Bu nedenle iki sistemin de olumlu tarafları ele alınarak enerjinin etkin kullanımı sağlanmaktadır.

Hava boşluğunun bölünmesine göre kutu, şaft, koridor, bina yüksekliğinde çift kabuk cephe olmak üzere dört tip vardır. Kutu pencere tipinde tampon bölge yatay ve düşey bölümlendirilerek birbirinden bağımsız modüller oluşturulmuştur. Böylece mekanların havalandırma kalitesi artar ve ses ve koku geçişi önlenmiştir. Şaft tipinde binanın yüksekliği boyunca devam eden ve baca görevi gören düşey kanallar vardır. Koridor tipinde tampon bölge kat seviyesinde yatayda bölünmüştür. Bina yüksekliğinde çift kabuk cephede ise boşluk bina yüksekliği boyunca kesintisiz bir şekilde devam etmektedir.

Çift kabuk cephelerin amaçları; Kullanım ömrü boyunca enerji tüketiminin azaltmayı sağlamasıyla ekolojik sorumluluk ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Tabakalar arasında kalan tampon bölge rüzgârlı bölgeler ve yüksek katlı yapılarda pencere kullanımına izin vermesi ile doğal havalandırmaya imkân vermektedir. Cephenin üretim maliyeti diğer türlere göre fazladır ancak kullanılan sistemler sayesinde yaşam döngüsü boyunca kullanım maliyetinin azaltılabilmesi yönüyle maliyetten tasarruf edilmesi mümkün kılınmıştır. Kentsel bölgede gürültüyü önlemesiyle ses azaltmayı, termal konforun istenilen düzeyde tutulabilmesi, ışığın kontrol edilebilmesi yönüyle kullanıcı kontrolü ve konforunu sağlamaktadır. İkinci katmanın sağladığı psikolojik olarak güvende olma hissini artırması ve iç katmanda bulunan pencerelerin açık kalabilmesini

sağlaması nedeniyle güvenli bir ortam sağlamaktadır ve binaya şeffaf, hafif ve hareketli bir görünüm katmasıyla estetik bir görünüm sunmaktadır (Yellamraju, 2004).

Belirtilen cephe sistemlerine eklenen farklı teknolojilerle, sistemde kullanılan malzeme, strüktür türü gibi farklı cephe bileşenlerinin özelliklerine göre ya da yapım amaç ve tekniklerine göre de cephe sistemleri farklı şekillerde adlandırılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanmıştır;

- Biyomimetik cephe: Doğada bulunan canlılar, varlıklar, oluşumlar, çok fonksiyonlu ve gerçekten sürdürülebilir cephe, yüzey, kabuk, sistemleri için ilham kaynağı olarak görülür.
- Kinetik cephe: İklim koşulları, farklı konumlar, değişen işlevsel gereksinimler gibi koşullara verimli bir şekilde ayarlanabilen, deforme olabilen veya hareket edebilen sistemlerdir.
- Akıllı cephe: Kendi dokusunda kendi kendini düzenleyen değişikliklerle, kendini otonom olarak ayarlayarak, optimum konfor sağlama yeteneği ile dış ve iç ortam arasında meydana gelen değişimlerin duyarlı ve aktif bir kontrolörü olarak tanımlanır (Wiggington ve Harris, 2002).
- İnteraktif cephe: Bir reaksiyon alabilmek için insan veri girişini gerektirir, sensörler ve otomatik bir bina yönetim sistemi ile donatılabilir ve kullanıcıların konforunu sağlarken enerji tasarrufunu optimize edecek şekilde programlanabilir (Velikov ve Thün, 2013).
- Duyarlı cephe: Dış çevre koşullarının (havalandırma, nem, ışık hacmi, radyasyon ve sıcaklık) binanın iç parametrelerini (termal ve ışık konforu) etkilediği teknolojik sistemler olarak ifade edilir (Romano vd., 2018)
- Değiştirilebilir cephe: Cam cephelerden ışık ve enerji akışlarını düzenlemek için akıllı uyarlanabilir malzemelerin entegre edildiği şeffaf cephelerdir (Beevor, 2010).

Bir cephe sistemi farklı türleri bir arada bulundurabilir. Örneğin kinetik bir cephe hareket mekanizmasında doğal bir olgudan esinlenmiş ise bu aynı zamanda biyomimetik bir cephedir. Bu cephe sistemlerinin tasarlanabilmesi için teknolojiden, bilgisayar destekli programlardan ve farklı üretim tekniklerinden yararlanılmaktadır. Belirtilen sistemler genellikle enerjinin verimli kullanıldığı sistemlerdir. Doğanın enerji etkin çözümlerinden faydalanılması noktasında, doğaya her açıdan geniş bir perspektifle bakan biyomimikrinin cephe sistemleri için optimum enerji etkin çözümler sağlayacağı hipotezi ile tez kapsamında biyomimetik cepheler incelenmiştir.

2.1.4. Enerji Etkin Cephe Tasarımında Temel İlkeler

Enerji etkin cephe tasarımında iklim, binanın işlevi, yönlendirme, malzeme özellikleri birlikte etkili olmaktadır. Bina cephelerinde enerji etkinliğin sağlanması, binaya gün ışığının girmesi; istenmeyen güneş ısısının binaya girmesinin önlenmesi, cephede ısı depolanması, geliştirilmiş yalıtım sayesinde ısı transferinin önlenmesi, cepheden hava veya nemin geçmesinin önlenmesi ve binanın içini soğutmak için doğal havalandırmaya izin vermesine bağlı olarak değerlendirilmektedir (Aksamija, 2013).

Bina cephelerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik fikirleri literatürde farklı yazarlar (Karamanlioğlu, 2011; Özkılıç ve Keles, 2008; Güleç, 2007; Gür, 2007) ele almıştır. Bu fikirler şu şekilde sıralanabilir;

- Aydınlatmada gün ışığı kullanımı ve kontrolünü sağlamak
- Isı kontrolü ve ısı korunumu sağlamak (Örneğin; kullanılmış havadan ısının geri kazanımı),
- Enerjiyi verimli ve tutumlu kullanan donanım,
- Kullanıcılarının kontrol edebildiği ışıklandırma,
- Pasif güneş ısıtması (ısı ve trombe duvarı, çatı havuz, vb.),
- Güneş kontrolü (şeffaf yüzeylerin denetimi, gölgeleme),
- Isı depolama,
- Rüzgârdan yararlanmak, gerektiğinde korunmak (Doğal havalandırma, binanın, pencerelerinin yönlendirilmesi)
- Isının bina içinde tutulması için gece kepenkleri/ısı tutucu perdeler,
- Elektrokromik cam,
- Low-e cam,
- Neme ve rutubete karşı dirençli olmak,
- Enerji korunumu (saydamlık/doluluk oranı, ısı yalıtımı/U değeri, hava sızdırmazlığı),
- Pasif soğutma,
- Doğal aydınlatma,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma (güneş, rüzgâr, su/jeotermal, biyokütle),
- Yeniden dönüşüm/kullanım,
- Doğal, uzun ömürlü, geri dönüşebilir vb. malzeme kullanımı,
- Yağmur suyu depolama.

Bu fikirler doğrultusunda enerji etkinliği sağlama amacıyla bina cephelerinde çeşitli çözümler üretilmiştir. Bunlar;

- Cephe formu ve bina yönelme durumu,
- Isı ve trombe duvarı,
- Güneş pilleri ve kolektörleri,
- Gece kepenkleri/ısı tutucu perdeler,
- Fotovoltaik sistemler,
- Yağmur suyu depolama,
- Ekolojik malzemeler,
- Güneş kontrol elemanları,
- Farklı cephe sistemleri, vb. şeklinde sıralanabilir.

Belirtilen kriterler ve çözümlere göre cephe tasarımının enerji etkin olabilmesi için en uygun hale getirilmesi açısından en önemli ilkeler cephenin, hava, ısı, ışık ve su/nem düzenlemeleri ve bunlara bağlı enerji tüketimi/üretimi/korunumu etrafında şekillendiği görülmüştür. Hipotez doğrultusunda, ‘Doğanın stratejileri enerji etkin cephe tasarımına nasıl etki eder?’ sorusu üzerinden tez kapsamında belirlenen doğadan esinlenme stratejisi olarak biyomimikri terimi ön plana çıkmaktadır.

2.2. Doğadan İlham Alan Çözümler: Biyomimikri

Doğada bulunan olağanüstü yetenekleri taklit etmek, insan sorunlarına ve ihtiyaçlarına cevap vermek için sayısız olanak sunmaktadır (Bar-Cohen, 2011). Bu nedenle mimarlık, diğer sanat ve bilim dallarında, tasarım sorunlarına önemli çözümlerden biri doğanın modellenmesi ve doğanın taklidi ile olmuştur. Doğal modeller yıllar boyunca çeşitli koşullar altında en iyi adaptasyon türünü sağladığı için sorunların çözümünde tasarımcıya en verimli bilgiyi vermektedir. Bu bilginin sistematik bir şekilde aktarılması için farklı disiplinlerde farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar sonucu doğanın disipline aktarımında, biyonik, biyomimesis, biyomimetik, biyognoz, biyomorfizm, biyofili, biyosinpirasyon ve biyomimikri gibi çeşitli isimler verilmiştir. Eşanamlı olarak kullanılan bu terimler biyolojiden kopyalama, uyarlama veya türetmeyi ima eden benzer kelime ve ifadelerdir (Vincent vd., 2006).

Bunlardan, biyonik kelimesini, 1960 yılında Jack Steele kullanmıştır ve 'doğadan kopyalanan bir işlevi olan veya doğal sistemlerin veya analoglarının özelliklerini temsil eden sistemlerin bilimi olarak' tanımlamıştır (Vincent vd., 2006). Biyofili, biyolog E.O.

Wilson tarafından popüler hale getirilen bir terimdir ve insanlar ile diğer canlı organizmalar arasında içgüdüsel bir bağ olduğu hipotezini ifade eder. Biyomorfik genellikle biyolojik formlara dayanan tasarım anlamına gelir (Pawlyn, 2016). Biyo-esin, biyolojik sistemlerin gözlemine dayanan yaratıcı yaklaşımdır (Fayemi vd., 2017). Biyomimetik terimi ilk olarak 1950'lerde Otto Schmitt tarafından kullanılmıştır (Steadman, 2008). Pohl ve Nachtigall (2015) biyomimetik terimini ne malzeme ne işlevsel olarak ne de yaratıcı açıdan sadece doğanın taklidi değil, daha sonra optimize edilmiş teknolojilerin uygulamaları ile çözülebilen benzer teknolojik soruların anlaşılmasına yardımcı olmak için doğal ilkelerin kavranması şeklinde tanımlamaktadır.

Biyoloji bilimleri yazarı Janine Benyus tarafından adlandırılan biyomimikri teriminin, Pawlyn (2016) bilimsel literatürde ilk olarak ortaya çıkışını 1962' de olduğunu, özellikle 1980'lerde malzeme bilimcileri arasında kullanımının arttığını belirtmiştir. Benyus (1997) terimi daha sürdürülebilir tasarımlar oluşturmak için doğal formlardan, süreçlerden ve ekosistemlerden öğrenmek ve sonrasında taklit etmek şeklinde tanımlamıştır. Ana fikir, enerji, gıda üretimi, iklim kontrolü, yararlı kimya, ulaşım vb. gibi doğanın uğraştığımız birçok problemi zaten çözdüğü yönündedir (Baumeister vd., 2011).

Buna paralel olarak, belirsizlikten kaçınmak için pek çok araştırma alanına giren asıl amacı sürdürülebilir çözümler sunmak olan biyomimikri terimi benimsenmiştir. Bu tezde, biyomimikri sürdürülebilir enerji etkin çözümler üretmeyi amaçlayan bir tasarım stratejisini ifade etmektedir.

2.2.1. Biyomimikri

Doğa, milyarlarca yıldır kendini devam ettirmeyi başarmıştır. Benyus'a göre doğa, milyarlarca yıllık araştırmalar ve geliştirmelerden sonra neyin işlediğini, neyin uygun olduğunu ve en önemlisi neyin Dünya üzerinde bozulmadan kalacağını öğrenmiştir. Doğada insanoğlunun çözmeye çalıştığı birçok sorun hâlihazırda çözülmüş durumdadır, önemli olan insanların aradıkları çözüm için doğaya bakmalarıdır (Benyus, 1997). Bu özellikleri nedeniyle geçmişten günümüze insanoğlunun çevresinde gördüklerini nasıl kendine yararlı hale getirdiğini, doğadan esinlenen örnekleri incelediğimizde görmek mümkün olacaktır. M.Ö. 400 yılında antik Yunan filozofu Demokritos doğadan esinlenmeyi hayvanlar üzerinden açıklamış; örümcekten giysi dokumayı, kırlangıçlardan ev inşa etmeyi, kuşlardan şarkı söylemeyi öğrenme şeklinde

ifade etmiştir (Beyaztaş, 2012). Romalılar tarafından kullanılan bazı savaş aletlerinin de doğadan esinlenerek yapıldığı düşünülmektedir. Marcus Virtuvius pollio'nun Scorpio adındaki mancınığında akrebin kuyruğunun şekli örnek alınmıştır (Kuday, 2009). Kazılardan çıkan obje ve oluşumlar incelendiğinde o dönemde yaşayan insanların bulunduğu çevrenin iklimsel şartları, doğanın özellikleri anlaşılabilir. Buradan yola çıkarak doğadan örnek alınarak yapılan araç ve gereçlerin çoğu insanların kendilerini koruma amacı ile yapmış olduğu görülmektedir. Bu nedenle vahşi hayvanlardan, zorlu iklimsel şartlardan korunmak amacıyla barınaklar yapmışlardır. Bunu bazen kuş yuvaları gibi çalı çırpı kullanarak, bazen de mağarada yaşayan hayvanları örnek alarak yapmışlardır.

Endüstri devrimiyle insanların gözlem araçları ve üretim olanakları gelişmiştir. Sonrasında ise teknolojinin de gelişmesiyle birlikte, doğanın sahip olduğu özellikleri ve doğadaki malzemelerin ve formların ihtiyaç duyulan sağlamlık, hafiflik, dinamik ve statik yüklere dayanıklılık, enerji korunumu sağlayan formel ve yapısal özellikleri, sessizlik, kendini onarabilme gibi özelliklerinin gözlemlenmesi, çözümlenmesi ve modellenmesi birçok bilim insanının dikkatini doğadaki canlı ya da cansız oluşumlara yöneltmiştir (Selçuk ve Sorguç, 2004). Bu nedenle geçmişten günümüze farklı disiplinlerde pek çok doğa esinli tasarımlar yapılmıştır (Şekil 2.15.)



Şekil 2.15. Doğa esinli tasarım örnekleri (Yazar tarafından oluşturuldu)

Bu doğa esinli tasarımlar belirtildiği üzere farklı yaklaşımlarla (biyonik, biyomimesis, biyomimetik, biyognoz, biyomorfizm, biyofili vb.) ifade edilebilir. Ancak

binalarda enerji tüketimini azaltmak ve enerji etkin cephe tasarımına en iyi yaklaşımlardan biri biyomimikri olacağı düşünülmektedir.

Biyomimikri terimin ortaya çıkışı 1950 'lerde Otto Schmitt' in doktora araştırması için bir sinirin elektriksel hareketini açıkça taklit eden fiziksel bir cihaz üretme girişimine dayanmaktadır (Vincent vd., 2006)

Biyomimikri, Yunanca 'bios' (yaşam) ve 'mimesis' (taklit etme) kelimelerinin birleşiminden gelir (Benyus,1997). Türkçede kavram, biyotaklit olarak da kullanılır. Bilim literatürüne ilk olarak 1962'de girmiştir ve 1980'lerde malzeme bilimciler arasında kullanımı artmıştır (Pawlyn, 2016).

Biyomimikri literatürde, mimarların sürdürülebilir tasarıma yönelik geleneksel yaklaşımların ötesine geçmesine ve ihtiyacımız olan dönüştürücü çözümleri sunmasına olanak tanıyan, tasarımcıların yerel çevreyi projelerine entegre etmeleri için daha sürdürülebilir bir yapı ve yaşam biçimini destekleyen, ekolojik tasarımı ve teknolojik yeniliğe olan ilgiyi içeren bütünsel yaklaşım, doğanın dehasını kullanan güçlü bir inovasyon aracı olarak tanımlanmıştır (Pawlyn, 2016; Gruber, 2011; Mazzoleni, 2013).

Buradan yola çıkarak biyomimikri, insanlığın problemlerine doğada bulunan oluşumları, dokuları ve stratejileri gözlemleyip taklit ederek herhangi bir disiplinde tasarlanan ürünlere sürdürülebilir çözümler getiren bir bilim dalı olarak tanımlanabilir.

Biyomimikri, biyoloji bilimleri yazarı Janine Benyus'un 1997 yılında yayımlanan "Biomimicry: Innovation Inspired by Nature (Biyomimikri; Doğadan İlham Alan Yenilik)" adlı kitabında geniş bir çerçevede anlatılmıştır.

Benyus (1997) kitabında biyomimikriyi üç farklı açıdan ele alarak açıklamıştır;

- Bir örnek olarak doğa: Biyomimikri, doğanın modellerini inceleyen ve daha sonra tasarım sorunlarını çözmek için bu modelleri ve süreçleri taklit eden veya bunlardan ilham alan yeni bir bilimdir.
- Bir ölçüt olarak doğa: Biyomimikri ekolojik standartları kullanarak yeniliklerimizin "doğruluğunu" yargılar. 3,8 milyar yıllık evrimden sonra doğa neyin işler, neyin uygun ve neyin kalıcı olduğunu öğrenmiştir.
- Bir akıl hocası olarak doğa: Biyomimikri doğayı gözlemlemenin ve değer vermenin yeni bir yoludur. Doğadan neler alınabileceğini değil, ondan neler öğrenilebileceği üzerine kurulmuştur.

Benyus (1997) bu doğrultuda yapılan tasarımların ve yeniliklerin yararlılığını ve doğadan ilham alındığının anlaşılabilmesi için araştırılması gereken, doğanın 9 ana ilkesi olduğunu özellikle belirtmiştir (Şekil 2.16).

... their notebooks, we have begun
 principles that resonates in every chapter of this book

Nature runs on sunlight.
 Nature uses only the energy it needs.
 Nature fits form to function.
 Nature recycles everything.
 Nature rewards cooperation.
 Nature banks on diversity.
 Nature demands local expertise.
 Nature curbs excesses from within.
 Nature taps the power of limits.

A CAUTIONARY TALE

he power of limits," is perhaps most opaque to me
 dare, something to be overcome
 more serious

- Doğa gün ışığı ile çalışır
- Doğa ihtiyacı olduğu kadar enerji kullanır
- Doğa işlevin formuna uyar
- Doğa her şeyi geri dönüştürür
- Doğa iş birliğinin karşılığını verir
- Doğa çeşitliliğe imkân verir
- Doğa yerel uzmanlığı talep eder
- Doğa fazlalıkları kendi içinde zapt eder
- Doğa sınırların gücünü kullanır

Şekil 2.16. Benyus'a göre doğanın 9 ana ilkesi (Yazar tarafından oluşturuldu)

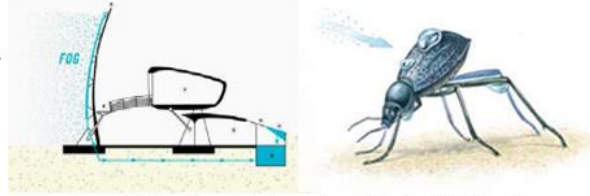
Zari (2018)' e göre tasarım probleminin çözümü noktasında doğa üç seviyede taklit edilmektedir: organizma seviyesi, davranış seviyesi, ekosistem seviyesi. Seviye doğanın hangi yönünün taklit edildiği anlamındadır. Bu seviyelerin her birinde, taklit etmenin beş boyutu daha mevcuttur. Tasarım, neye benzediğine (form), nelerden (malzeme), nasıl yapıldığına (inşaat), nasıl çalıştığına (süreç) veya neler yapabileceğine (fonksiyon) göre biyomimetik açıdan analiz edilmiştir. Zari (2018), biyomimikriyi anlamının bu yolunu termitleri taklit eden bir bina üzerinden tablolaştırarak açıklamıştır (Çizelge 2.1.)

Çizelge 2.1. Biyomimikri düzeyleri ve boyutları: biyomimetik tasarımı anlamak için bir çerçeve (Zari, 2018)

Biyomimikri Seviyesi		Termitleri taklit eden bir bina
Organizma Seviyesi (Belirli bir organizmanın taklit edilmesi)	Form	Bina bir termite benziyor.
	Malzeme	Bina bir termit ile aynı malzemeden yapılmıştır; örneğin termitin dış kabuğunu taklit eden bir materyal.
	İnşaat	Bina bir termit ile aynı şekilde yapılır; örneğin çeşitli büyüme döngülerinden geçer.
	Süreç	Bina termit ile aynı şekilde çalışır; örneğin meta-genomikler yoluyla verimli bir şekilde hidrojen üretir.
	Fonksiyon	Bina bir termit gibi işlev görür; selüloz atıklarını geri dönüştürür ve örneğin gübre oluşturur.
Davranış Seviyesi (Bir organizmanın davranışı veya daha geniş bağlamıyla ilişkisinin takliti)	Form	Bina bir termit tarafından yapılmış gibi görünüyor; örneğin bir termit höyüğü gibi
	Malzeme	Bina, bir termitin kullandığı malzemelerden yapılmıştır; örneğin birincil malzeme olarak sindirilmiş ince toprağın kullanılması.
	İnşaat	Bina, bir termitin inşa edeceği şekilde yapılır; örneğin belirli yerlere belirli sayıda araziye konumlandırılması gibi
	Süreç	Bina bir termit höyüğü gibi çalışır; dikkatli bir şekilde, şekil, malzeme seçimi ve doğal havalandırma veya termitlerin birlikte nasıl çalıştığını taklit eder.
	Fonksiyon	Bina termitler tarafından yapılmış gibi işler; örneğin iç koşullar, optimum ve termal olarak sabit olacak şekilde düzenlenmiştir.
Ekosistem Seviyesi (Bir ekosistemin taklit edilmesi)	Form	Bina bir termitin içinde yaşadığı ekosisteme benziyor.
	Malzeme	Bina bir termit ekosistemiyle aynı malzemelerden yapılmış; örneğin doğal olarak oluşan bileşenlerin kullanılması.
	İnşaat	Bina bir termit ekosistemindeki gibi oluşturulur; örneğin zamanla artan karmaşıklık ve ardıllık ilkeleri kullanılır.
	Süreç	Bina bir termitin içinde yaşadığı ekosistemle aynı şekilde çalışır; örneğin enerjiyi tutup dönüştürür ve suyu depolar.
	Fonksiyon	Bina, ekosistemin yaptığı gibi çalışabilir ve süreçler arasındaki ilişkileri kullanarak karmaşık bir sistemin bir parçasını oluşturur; örneğin hidrolojik, karbon, azot döngülerine vb. katılabilir.

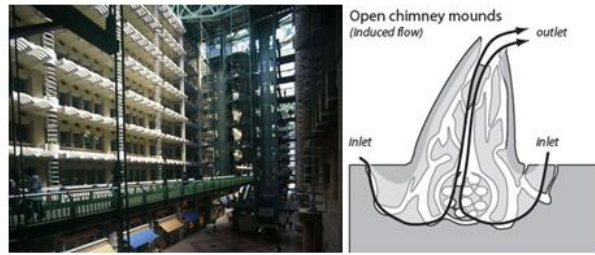
Termitler üzerinden örneklendirilen sınıflandırma, her seviyeye ilişkin farklı projeler üzerinden görselleştirilmiştir (Şekil 2.17)

Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi, **organizma seviyesinde** biyomimesis için iyi bir örnektir. Çölde az bir miktar yağış ile yaşayabilen Namibian çöl böceğinin sis yakalayıcı özelliğinden etkilenilerek tasarlanmıştır.



1. Namibya Üniversitesi Hidroloji Merkezi ve Namibian çöl böceği

Mick Pearce'in Harare'deki Eastgate, **davranış seviyesinde** süreç ve fonksiyonu taklit eden bir yapı olarak örnek gösterilebilir. Tasarımda akkarıncaların pasif iklimlendirme ve sıcaklık kontrolünden esinlenilerek termal olarak daha sabit iç mekân oluşturulmaya çalışılmıştır.



2. Eastgate binası ve 3. akkarınca yuvası

Ekosistem seviyesinde taklit olarak Mithün Architects ve Green Works Landscape Architecture Consultants tarafından tasarlanan Llyod Crossing Projesi örnek verilebilir. Amaç, projenin yapılacağı arsanın eskiden ekosistem olarak hangi özelliklere sahip olduğu araştırılarak benzer ekolojik performans değerlerini uzun yıllar devam ettirebilmektir.



4. Llyod Crossing projesi

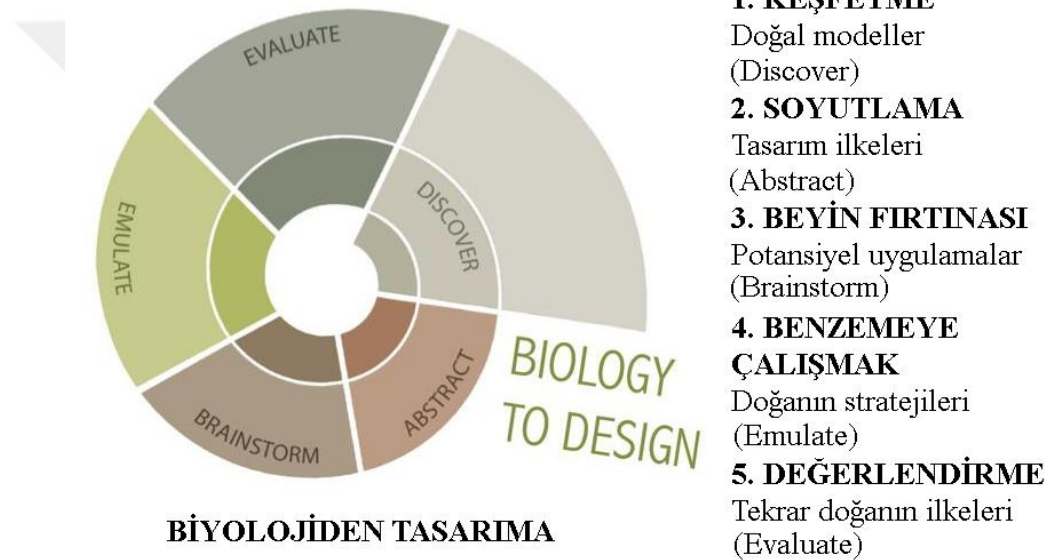
Şekil 2.17. Farklı biyomimikri seviyelerinde örnekler (Zari (2007) den elde edilen veriler doğrultusunda yazar tarafından oluşturuldu) (resim 1 (Web iletisi 12); resim 2 (Web iletisi 13); resim 3 (Web iletisi 14); resim 4 (Web iletisi 15)).

Organizma seviyesinde bitki ya da hayvan gibi belirli bir organizmaya karşılık gelir ve organizmanın tamamı ya da bir kısmı taklit edilirken, davranış seviyesinde organizmanın davranışının bir yönü ve içinde bulunduğu çevreyle etkileşimi taklit edilir. Ekosistem seviyesinde ise tüm ekosistemin ve ona başarılı bir şekilde işlemlerini sağlayan fonksiyonlar kazandıran ana ilkelerin taklit edilmesi söz konusudur (Zari, 2007).

2.2.1.1. Biyomimikri Yaklaşımları

Biyomimikrinin tasarıma uygulanması sürecinde araştırmacılar, tasarımdan biyolojiye yönelik ve biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım olarak iki farklı yöntemle ele almışlardır.

- Biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım: Biyolojik bir olgu, yani tanımlanan bir organizma ya da ekosistemin belirli bir özellik, davranış ya da işleyişini inceleyip elde edilen verileri tasarım sorununu çözmeye yeni bir seçenek sunar (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. Biyolojiden tasarıma yönelik tasarım (Biomimicry Guild' den aktaran Peters, 2011).

Biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşıma, Panchuk (2006)'un dolaylı yaklaşım, Badarnah (2012)' in çözüm tabanlı dediği bu yöntemde ortak tasarım sürecinde bulunan kişilerin tasarım probleminin ne olduğuyla ilgili bilgi sahibi olmalarından ziyade ilgili biyolojik ve ekolojik araştırma bilgisine sahip olmaları gerekmektedir. Bu yaklaşımda biyolojinin bir tasarım sorununa çözüm üretme adımlarını içerir. Biyolojik bir araştırmanın yapılmış olması ve sonuçların tasarım bağlamında kullanılabilir şekilde belirlenmiş olması gerekliliği yönünden, bu yaklaşımda tasarım açısından engeldir (Zari, 2007).

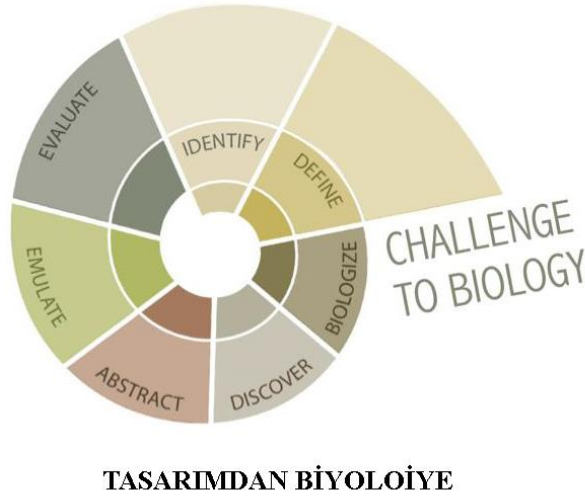
Lotus yaprağının üzerinde bulunan metrenin birkaç milyonda biri boyutundaki pürüzler sayesinde kendini temizleyebildiğinin tespit edilmesi üzerine bu özelliğin camlarda ve dış cephe boyalarında kullanılması biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım

için önemli örneklerdir. Nilüfer yaprağının bu özelliğini kullanarak kendini temizleyebilen cam bilim adamı Prof. Bharat Bhushan tarafından geliştirilmiştir. İsmi lotus çiçeğinden alan alan ve aynı prensibi kullanan bir diğer ürün ise kurduğunda lotus yaprağının kendini temizleme özelliğini taklit eden Lotusan dış cephe boyasıdır (Dunster, 1997) (Şekil 2.19.).



Şekil 2.19. Kendini temizleme özelliğine sahip Lotusan boyası (Web İletisi 16)

- Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşım: Bir ihtiyacın ya da tasarım sorununun tanımlanıp, çözüm için doğadaki organizmaların ve ekosistemlerin bu işlevi nasıl gerçekleştirdiklerine bakılarak incelenmesi yöntemidir (Şekil 2.20.).



1. BELİRLEME

Fonksiyon
(Identify)

2. TANIMLAMA

Bağlam
(Define)

3. YORUMLAMA

Tasarım sorusu
(Biologize)

4. KEŞFETME

Doğal modeller
(Discover)

5. SOYUTLAMA

Tasarım ilkeleri
(Abstract)

6. BENZEMEYE ÇALIŞMAK

Doğanın stratejileri
(Emulate)

7. DEĞERLENDİRME

Tekrar doğanın ilkeleri
(Evaluate)

Şekil 2.20. Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşım (Biomimicry Guild' den akataran Peters,2011).

Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşıma, Panchuk (2006)'un dolaysız yaklaşım, Badarnah (2012)' in problem tabanlı dediği bu yöntemde tasarım problemi belirlenerek

bunun doğada nasıl çözüldüğü araştırılıp tasarımda ne şekilde uygulanabileceği belirlenmektedir. Tasarımcıların sorunlarına biyomimetik bir çözüm bulmaları için derin biyoloji bilgisine sahip olmaları gerekli değildir. Bu yaklaşımda tasarımcının görevi problemi doğru bir biçimde tanımlamak ve ihtiyacın ne olduğunu saptamaktır (Aldemir, 2014). Doğadan esinlenen bir formun ya da organizmanın mekanik özelliklerini taklit etmek tasarımcı için zor görünmeyebilir fakat kimyasal süreçler gibi bilimsel konuların taklit edilmesinde biyologların da tasarım sürecinde yer bulması uygundur (Panchuk, 2006).

Bu yaklaşım Mercedes-Benz'e bağlı Daimler Chrysler'in tasarladığı biyonik otomobilinde uygulanmıştır (Şekil 2.21.). Bu örnekte amaçlanan minimum malzeme kullanarak maksimum hacim elde etmek ve küçük tekerlekli bir araç üretmektir. Otomobil şirketi araca şeklini verirken kutu balığı (ostracion meleagris) adı verilen balıktan esinlenilmiştir. Balığın hareket özellikleri ile şekli arasındaki ilişkinin incelenerek biyonik araca uygulanmıştır. Bu sayede aracın aerodinamiği artmış ve daha az yakıt tüketimiyle daha çok mesafe alabilmesi sağlanmıştır. Aracın şasi ve strüktürü için ise ağaçların gerilim yoğunluklarına maruz kalmadan sürekli nasıl büyüyebildikleri incelenmiş ve gözlemlenen özellikler kullanılarak minimum malzeme kullanımı ile araç strüktürü oluşturulmuştur (Badarnah, 2007). Bu araç ulaşım – taşıma alanına yeni bir yaklaşım getirmese de mevcut sistemler yeniden incelendiğinde nasıl daha etkili sonuçlara ulaşılabileceği konusunda önemli bir gelişmedir (Vincent vd., 2006).



Şekil 2.21. Daimler Chrysler'in biyonik araç tasarımı (Web İletisi 17)

Seviyeleri, yaklaşımları ve gelişimi anlatılan biyomimikrinin, tez kapsamı doğrultusunda mimaride gelişimi ele alınmıştır.

2.2.2. Mimaride Biyomimikrinin Tarihsel Gelişimi

İnsanlar kendilerini ve çevrelerindeki dünyayla ilişkilerini daha iyi anlamak için rehber ve ilham kaynağı olarak doğa üzerinde çalışmışlardır (Vogel, 1998). Doğa milyarlarca yıldır birikmiş olan tasarım deneyimi ile günümüzde pek çok mimarın esin kaynağı olmuştur. Tasarımın doğasında var olan bilgi edinme-yorumlama-esinlenme-uygulama süreci, insanoğlunun yaşadığı ekosistem içerisinde bulunan formları incelemesini ve bilinçli ya da bilinçsiz olarak etkileşimini de beraberinde getirmiştir (Benyus, 1997). Yapılan arkeolojik kazılarda da doğanın aletler, yapılar üzerindeki bu izleri gözlemlenmektedir. Aristoteles (M.Ö. 384-322) doğayı bilimsel çalışmalarının merkezine koymuş ve ‘History of Animals’ (Historia Animalium)’da hayvanlarla ilgili pek çok olayı anlatmıştır (Aristoteles, 2019).

Antik dönemlerde, doğanın formları çağrışımsal yönden ve sembolik olarak mimariye aktarılmıştır. Düşünürler 19. yüzyıla kadar “salt” gözlemden uygulamaya geçmişlerdir (Mazzoleni, 2013). Ancak, Leonardo da Vinci’nin eskiz defterlerinden kafataslarının ve kuşların kanatlarının biçimlerini yakından incelediği bilinmekte ve birçok yönden biyomimikrinin öncüsü, ilk biyomimetik tasarımcı, olarak kabul edilmektedir (Pawlyn, 2016; Mazzoleni, 2013). Leonardo da Vinci 1500’ lü yıllarda, kuş uçuşu sırasında örtüşen uçuş tüyleri prensibine göre işlev görmesi gereken kanat çırpma mekanizmaları geliştirmiştir (Pohl ve Nachtigall, 2015).

Ünlü mimar, inşaatçı ve Rönesans sanatçısı Brunelleschi (1377-1446),’ nin ise Floransa’daki Sanra Maria del Fiore kubbесinin tasarımı için yumurta formundan ilham aldığı düşünülmektedir (Pohl ve Nachtigall,2015).

Keşif Çağı ile Amerika Kıtası’nın keşfinden sonra (1492), Leonardo da Vinci (1452–1519) gibi, Konrad Gessner (1516-1565) ve Ulisse Aldrovandi (1522-1605) gibi doğa bilimcileri de bilgilendirici çizimler üretmiş ve yaklaşık 1555’te İsviçre’de, bilinen tüm hayvanları belgelemeye adanmış ilk ansiklopedik çalışma olarak kabul edilen ‘Gessner Historiae Animalium’ yayınlanmıştır (Mazzoleni, 2013). Bu çalışmalar ışığında tasarım, bilim etkileşimli olarak ilerlemiştir.

17. yy’ ın başlarında bir mühendis ya da bina tasarımcısı olmasa da Galileo Galilei (1564-1642) ‘occhialino’ adını verdiği bileşik mikroskobu bulmuş ve ölçeklendirmeyi

doğal oluşumlar, varlıkların boyut ve oranlarıyla açıklayarak örneklendirmiştir. Robert Hooke (1635-1703) da bulduğu mikroskopla gözlemlediği doğal dünyayı, 1665'te, "Micrographia" adlı kitabında görsellerle insanlara sunmuştur. Bu sayede doğa daha iyi analiz edilmiş ve doğa ile paralellikler gösteren tasarımların mümkün olduğu görülmüştür.

19. yüzyılın başlarında Goethe, Schlegel ve Schelling tarafından şiirsel kompozisyon ve eleştirel analizdeki organik prensibin, yüzyılın sonundaki Amerikan mimarları üzerindeki etkisi görüldüğü iddia edilmiş, organik form fikri önceden düşünülüp "etkilenmek" yerine, çalışmanın ayrılmaz veya "doğuştan" olduğu ifade edilmiştir (Steadman, 2008).

Fransız mimar Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879) Dictionnaire Raisoné de l'Mimari Française (Fransız Mimarısının Gerekeçeli Sözlüğü) rasyonel mimari yapı felsefesini ortaya koyduğu eserde bir bitkinin yaprağından tüm bitkinin, bir hayvanın kemiğinden, tüm hayvanın yapısının çıkarılabileceğini, böylece mimari tasarımda da bir kesit görerek mimari üyelerin buradan da tüm anıtın çıkarılabileceğini ifade etmiştir (Steadman, 2008).

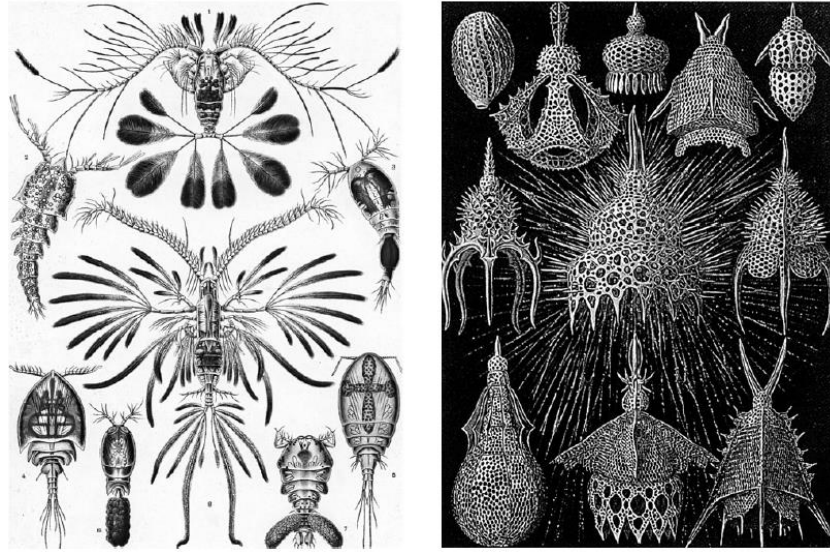
Mimaride ilk biyomimetik bina olarak kabul edilen 'Crystal Palace', Joseph Paxton tarafından 1851' de, nilüfer çiçeği (Victoria amazonica) yaprakları üzerine yaptığı çalışmalar çıkış noktası alınarak tasarlanmıştır (Barthlott vd. 2016) (Şekil 2.22.'de 1. Resim). Gustave Eiffel tarafından tasarlanan Eiffel Kulesi'nde ise 1880'lerin sonunda anatomi uzmanı Hermann Von Meyer ve mühendis Karl Cullman'ın uyluk kemiğinin yapısı üzerine yaptığı çalışmalar temel alınmıştır (Eggermont, 2007) (Şekil 2.22.'de 2. Resim).



Şekil 2.22. Crystal Palace ve Eiffel Kulesi (Web İletisi 18).

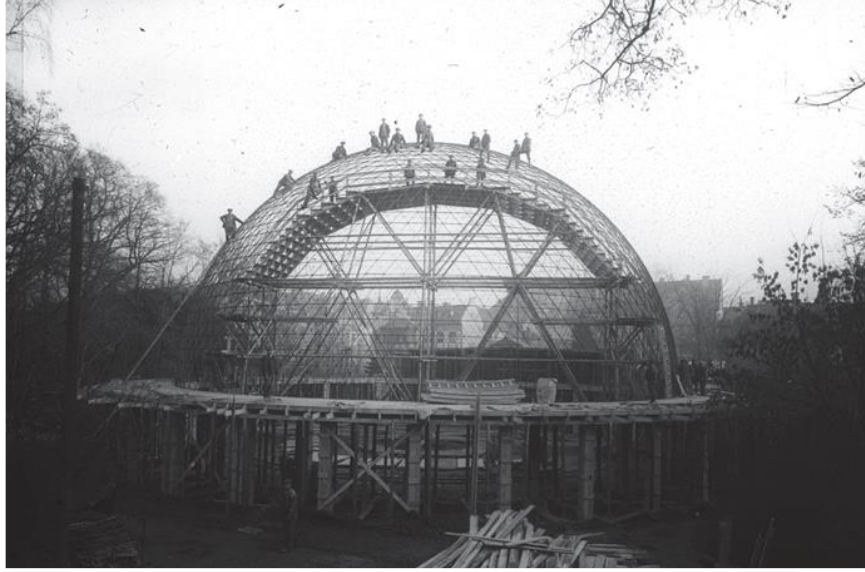
Louis Sullivan 1892 yılında Amerika’da ‘Mimari Süslemenin Sistemi’ adlı incelemesinde süslemenin canlıların tanımlamaları olduğu ve bir lüks olduğunu açıklamıştır (Bozkurt, 2010).

20. yüzyıl başlarında Ernst Haeckel, anıtsal hacimleri *Kunstformen der Natur* (1899–1904; ‘Doğada Sanat Formları’) aracılığıyla, doğadan ilham alan tasarımcıları etkilemiştir (Barthlott vd., 2016). René Binet’in Paris’te 1900 yılındaki Dünya Sergisine giriş binası, Ernst Haeckel’in çizimlerine dayanması nedeniyle biyomimetiktir (Coineau vd., 2015; Kresling, 1994, Aktaran; Barthlott vd., 2016) (Şekil 2.23.).



Şekil 2.23. Ernst Haeckel’in bazı çizimleri (Gruber, 2011)

Ernst Haeckel’in çizimlerinden esinlenilerek dünyanın ilk jeodezik kubbesi olan 1924-1925 yıllarında Almanya’nın Jena kentinde Carl Zeiss firması için bir planetaryum binası inşa edilmiştir. (Pohl ve Nachtigall 2015) (Şekil 2.24.).



Şekil 2.24. Jena Planetaryumu, 1942–1925 (Tasarım: W. Bauersfeld, Dyckerhoff and Widmann; Pohl ve Nachtigall 2015).

İspanya’da Antoni Gaudi (1852-1926) doğaya “en üstün mimarın çalışması” olarak bakmıştır. Orta çağ mimarisi ile modern mimariyi birleştiren mimar, hayvan iskeletlerini, yumuşakçaları, kabuklu canlıları ve bitkileri incelemiş ve bunlardan tasarımlarında esinlenmiştir. 1910’da yapımı tamamlanan Barselona’ daki Casa Mila’ nın ve yapımı henüz bitmeden öldüğü Sagrada Familia katedrali ve diğer yapılarının her köşesinde Gaudi’nin tüm bu esinlenmeleri görülmektedir (Şekil 2.25.).



Şekil 2.25. Casa Mila ve Sagrada Familia Katedrali (Web İletisi 19)

Gaudi'nin başarısını izleyen yıllarda esas olarak Almanya'da başlayan bir akım olan ‘Dışavurumculuğa’ geçiş ile mimarlar, Peter Behrens, Hans Poelzig, Max Berg, Otto Bartning, Hugo Haring, Erich Mendelsohn ve Rudolf Steiner, dışavurumcu olarak açıkça

ayırt edilebilen, organik fikirlerinin yanı sıra binalarında tanınabilir kristal formları ve organ benzeri formları kullanmışlardır (Dordan, 2002; aktaran, Arslan Selçuk, 2009).

D'Arcy Wentworth Thompson'un (1860-1948) 1917' de 'Büyüme ve Form Üzerine' kitabının matematikçi tarafından yeniden keşfedilmesi, organik morfo-mimarlar da dahil olmak üzere nesiller boyunca mimarları ve tasarımcıları etkilemiştir (Knippers vd., 2016).

Birinci Dünya Savaşı sırasında, Bruno Taut'un (1880-1938) Alplerin zirveleri için kristal benzeri yapılar önerisi ile 1919' da benzer sanatçılar ve mimarlarla (Hermann Finsterlin, Hans ve Wassili Luckhardt kardeşler, Walter Gropius, Hans Scharoun ve Max) birlikte ortak amacın temelinde doğa olan yeni yapısal biçimlerle katılmış akademik mimarının üstesinden gelmek olduğu 'Glass Chain' i organize etmiş ve kristaller, kabuklar, amipler ve bitki formları gelecekteki mimari için model olarak tercih edilmiştir (Arslan Selçuk, 2009).

20. yüzyılın ortalarında Max Berg, Eugène Freysinnet, Robert Maillart, Pier Luigi Nervi, Félix Candela ve Edouardo Torroja gibi mühendislik öncüleri, güçlendirilmiş betonu, güç ve hafiflik elde etmek için kabuk yapıları ile deneyler yapmışlardır. Bunlar arasında Nervi ve Candela yapılarını oluşturmak için doğayı örnek almışlardır (Arslan Selçuk, 2009). Sullivan'ın öğrencisi Frank Lloyd Wright 1954 yılında yazdığı 'Natural House' da organik mimarlığı tam anlamıyla tanımlamıştır. Yapının tüm bileşenleri ve eklenecek diğer bileşenlerle birlikte tasarlanması gerektiğini ve yapıdaki süslemenin doğadaki gibi yapıyla bütünleşmesi gerektiğini ifade etmiştir (Bozkurt, 2010). 1962'de Eero Saarinen organik mimarının bir örneği olan New York'taki TWA Terminali'nin tasarımında kuşun uçuşunu sembolize etmiştir (Şekil 2.26)



Şekil 2.26. TWA Terminal Binası, Eero Saarinen, New York, Amerika Birleşik Devletleri, 1956-1962, (Web İletisi 20)

Richard Buckminster Fuller ve Frei Otto gibi mühendisler ve mimarlar 1950'lerden beri “doğal yapılar” ile ilgilenmişler ve günümüzde de hayranlık uyandıran yapılar geliştirmişlerdir. Buckminster Fuller (1895-1983) biyolojik sistemlerin mekanizmaları ve etkileriyle ilgilenmiştir (Pohl ve Nachtigall, 2015). Jeodezik kubbe ile bilinen Fuller bunlardan birini Montreal'deki 1967 Dünya Sergisi için tasarlamıştır. (Şekil 2.27)



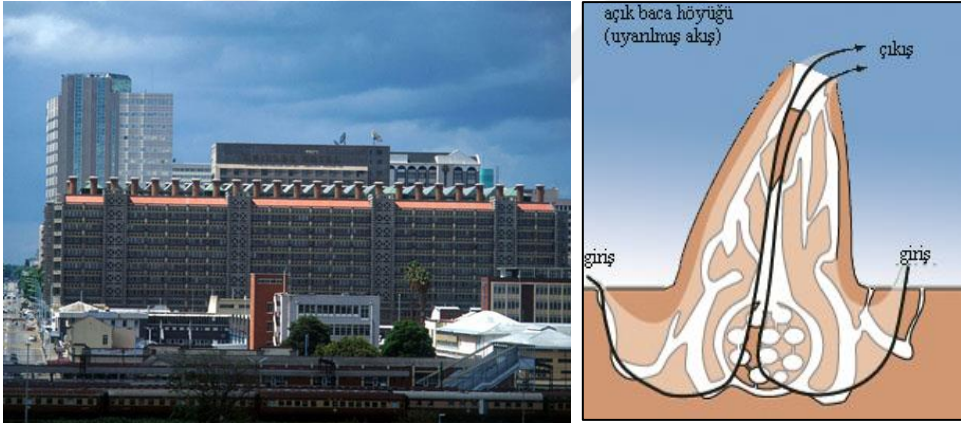
Şekil 2.27. Buckminster Fuller tasarımı jeodezik kubbe, 1967 Dünya Sergisi, Montreal, Kanada (Fotoğraf: George Rose/Getty Images, Web iletisi 21)

Frei Otto, ‘doğal yapıları’ binaların estetik ve işlevsel ifadeleriyle ilişkilendirmiştir ve bu sayede binaların ‘mantıklı’ veya ‘doğal’ göründükleri ve teknolojinin yardımıyla doğanın yaptığı gibi benzer görevleri yerine getirdikleri düşünülmektedir (Pohl ve Nachtigall 2015). Doğadan doğrudan ve kullanışlı referanslar yapan Otto, örümcek ağlarından doğrudan ilham alarak etkili hafif gerilme yapıları üretmiştir (Vincent vd., 2006). Bu yapılardan biri Gunther Behnisch ile iş birliği yaptığı, 1972’de yapımı tamamlanan, Münih Olimpiyat Stadyumu ‘dur (Şekil 2.28.).



Şekil 2.28. Frei Otto'nun mühendisliğini üstlendiği Münih Olimpiyat Stadyumu'na ait Görüntüler (Web İletisi 22)

Mick Pearce 1996'da doğal ve pasif havalandırma ve soğutma sistemine sahip bir alışveriş merkezi ve ofis bloğu 'Eastgate Center' ı tasarlamıştır (Şekil 2.29). Tasarım termit höyüklerinde bulunan prensiplere dayanmaktadır (Turner ve Soar, 2008) (Şekil 2.30.).



Şekil 2.29. Eastgate binası (Web İletisi 23) Şekil 2.30. Akkarınca yuvası (Web İletisi 24)

Benyus tarafından 1997 yılında yayınlanan kitap ile biyomimikri tam anlamıyla tanımlanmıştır. Biyomimikrinin mimarlıkta uygulanmasının ilk inşa edilmiş örneklerinden biri Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanmış ve 2001 tarihinde halka açılmış olan 'Eden Project Biomes' dir (Şekil 2.31.). Proje, doğanın yapısal biçimlerinden esinlenmiş sürdürülebilirlik adına gelişmelerin görüldüğü bir botanik bahçesidir.



Şekil 2.31. Eden Projesi Cornwall, İngiltere (Web iletisi 25)

21. yüzyılla birlikte biyomimetik mimarlık da hızla gelişmeye başlamıştır. Artan çevre kirliliği, küresel ısınma, doğal kaynakların yok olması, enerji problemleri gibi birçok etken, yapı ve ürünlerin daha sürdürülebilir olması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte yapılara farklı işlevler de (hareket, kendini onarabilme, enerji üretimi vb.) eklenmiş, sürdürülebilirlik ve enerjinin verimli kullanımını artırmaya yönelik yenilikler hızlanmıştır.

Pekin Ulusal Su Merkezi olarak da bilinen ‘Water Cube’, 2004 ve 2007 yılları arasında 2008 Olimpiyatları için inşa edilmiştir (Şekil 2.32.). Biyomimetik binada sabun köpüğü şeklinden esinlenilerek enerji verimli bina zarfı tasarlanmıştır. Binanın kaplaması için yarı saydam yastıklar oluşturmak için güçlü, ultraviyole ışık ve hava kirliliğinden bozulmaya karşı dayanıklı, yenilikçi bir malzeme olan ETFE (etilen tetra floro etilen) kullanılmıştır. Geometrik yapı tamamen düzenli olmasına rağmen, belirli bir açıdan bakıldığında tamamen rastgele ve organik görünmektedir (A.N. Radwan ve Osama, 2016).



Şekil 2.32. Water cube geometrik formu içeriden ve dışarıdan görünümü (Web iletisi 26)

Singapur'un merkezinde yer alan 2012 yılında açılan 'Gardens by The Bay' doğadan ilham alarak tasarlanmış sürdürülebilir bir projedir (Şekil 2.33.). Projede ağaçların ekolojik fonksiyonlarını taklit edebilecek enerjinin verimli kullanıldığı yapılar tasarlanmıştır.



Şekil 2.33. Gardens by The Bay (Web iletisi 27)

Doğadan esinlenen yukarıdaki örnekler gibi biyomimetik anlayışa sahip mimari tasarımları çoğaltmak mümkündür. Sonuç olarak doğa her dönemde mimarın karmaşık problemlerine çözüm üretmiştir. Günümüzde teknolojinin sunduğu fırsatlarla doğanın stratejileri artık daha etkili bir şekilde tasarımlara aktarılmaktadır.

Günümüzde hızlı nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik gelişmelerle ve bunlar için gerekli enerji tüketimi de büyük oranda artmıştır. Enerji üretimi kullanılan fosil yakıtlar da buna bağlı risk altındadır. Bazı biyomimetik teknolojiler veya sistemler fosil yakıtların birincil insan enerji kaynağı olarak kullanılmasının yerini almayı amaçlamaktadır (Zari, 2018). Binalar da enerji kaynaklarının tüketiminde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanıldığı enerji etkin binalar tasarlanmalıdır. Bu, cephelerin enerji etkin tasarlanması ile büyük oranda sağlanmaktadır. Cephe tasarımının enerji etkin olabilmesi, cephenin, hava, ısı, ışık ve su/nem düzenlemeleri ile en uygun hale getirilmesiyle sağlandığı görülmüştür (Bakınız, Bölüm 2.1.4). Bir sonraki bölümde bu ilkeler doğrultusunda enerji etkin cephe tasarlamak için doğanın stratejileri doğrultusunda biyomimikrinin etkisini inceleyebilmek için bir metodoloji geliştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

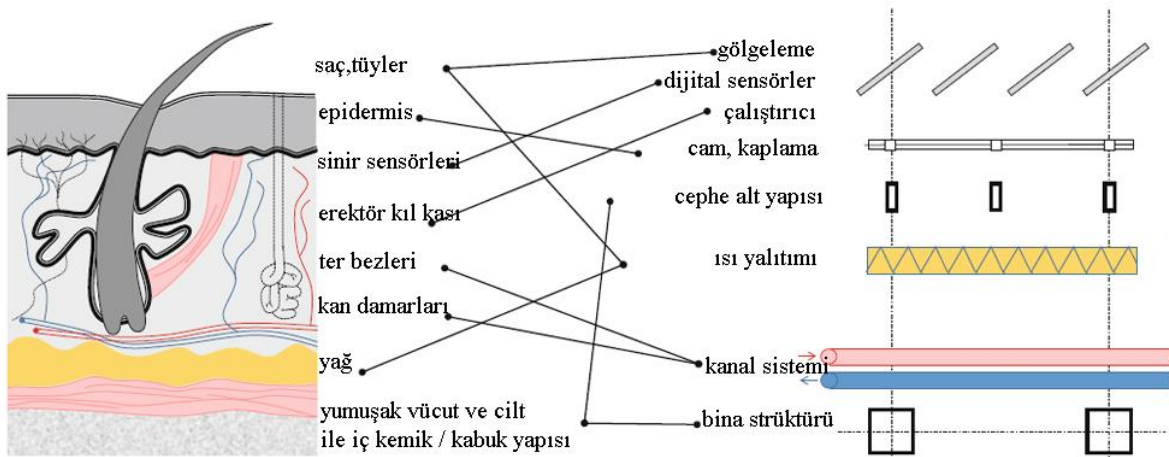
Tez kapsamında cephe tasarımlarının enerji etkin olmasını sağlayan ilkeler belirlenmiş ve mevcut cephe sistemleri ele alınmıştır. Biyomimikrinin enerji etkin cephe tasarımlarına yönelik stratejiler sunabileceği varsayımıyla biyomimikri tanımı, yaklaşımları, seviyeleri ve geçmişten günümüze mimaride gelişimi konuları doğrultusunda yazılmış tezler, makaleler, kitaplar ve diğer yayınlar incelenmiş, gerekli literatür taraması yapılmıştır.

Enerji etkin cephe tasarımlarına biyomimikrinin etkisinin incelenmesi için ilk olarak doğal varlıkların belirlenen ilkelere göre çözümlerine yer verilmiştir.

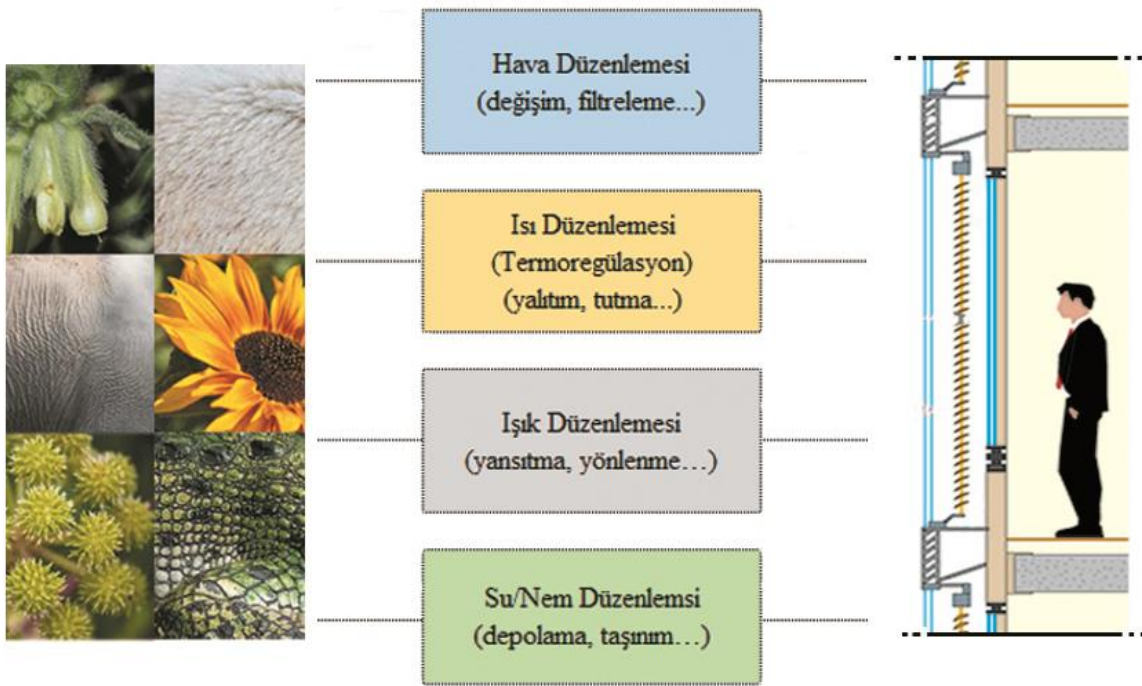
3.1. Enerji Etkin Cephe Tasarımı ve Biyomimikri İlişkisi

Yapıların dış ortamla iletişim kurduğu ara yüzler farklı şekillerde adlandırılır; kabuk, zarf, zar, cilt vb. gibi. Bu kavramlar daha çok binanın her açıdan iletişim kurduğu tüm yüzeyleri ifade eder. Bu çalışmada ise daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi bina kabuğunun bir parçası olan cephe terimi ele alınmıştır (Bölüm 2.1.) Cephelerin mimarideki işlevi ve doğanın (deri, zarlar, kabuklar, kılıflar, kütüküller) geliştirdiği büyük koruyucu tabaka çeşitlilikleri ile benzerlik taşır. Doğal canlıların cildi, yapılarını dış koşullardan koruyan en önemli katmandır (Sandak vd. 2019).

Bina cepheleri yapının dış çevre ile etkileşim halinde olan bir parçası olarak hem iç ortam koşullarını hem de bulunduğu çevreyi etkiler. Bu bakımdan doğal varlıkların yüzeyleri ile benzerlik gösterir. Bu diğer canlılarda da görülebileceği gibi hayvan derisinde de görülür (Şekil 3.1.).



Enerji etkin cephe tasarımları ele alındığında ise cephenin istenen konfor koşullarına bağlı olarak hava, ısı, ışık ve su/nem düzenleme ilkeleri etrafında şekillendiği görülmüştür. Doğal varlıklar da hayatta kalmak için çevrelerine uyum sağlamalı ve iç ortamlarını sabit bir durumda tutmalıdır. Bu yönde bitkiler ve hayvanlar morfolojilerini, davranışlarını ve fizyolojilerini iklimsel ve çevresel koşullara göre uyarlayabilmektedirler. Bu düzenleme sürecinde enerji ve madde alışverişi yapmak için çeşitli stratejiler geliştirmişlerdir. Bu stratejiler cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik temel ilkeler etrafında benzerlik göstermektedir (Şekil 3.2.). Bu bölümde bu ilkeler doğrultusunda canlıların stratejileri incelenmiştir.



3.1.1. Hava

Günümüzde kullanılan havalandırma sistemlerinde öncelik en az düzeyde enerji kullanımıyla optimum hava kalitesi sağlanması yönündedir. İç mekân hava kalitesinin yetersiz olduğu durumlarda hasta bina sendromu ortaya çıkmaktadır. İç mekânda hava kalitesini kullanıcılar için uygun hale getirmek için binalar doğal ya da mekanik olarak havalandırılmaktadır. Doğal havalandırma, dış ortam rüzgâr akımının iç ve dış ortam arasında oluşturduğu basınç farkı ve iç-dış ortam arası sıcaklık farkının oluşturduğu basınç farkından yararlanarak sağlanmaktadır. Yani akışı sağlayan rüzgâr ve sıcaklıktır

(Badarnah, 2012). Gelen havanın filtrelenmesi veya temizlenmesi genellikle uygun olmaması ve hava akışının kontrol edilmesinin zorluğu gibi olumsuzluklar vardır (Liddament 1996).

Pek çok binada doğal havalandırma pencereler aracılığıyla sağlanmaktadır. Doğal havalandırmada diğer prensip, sıcak ortam havasının soğuk ortam havasından daha hafif olması nedeniyle gerçekleşen doğal konveksiyondur. Bu yolla oluşan hava dolanımı, binalarda yazın ve kışın pasif ısıtma ve serinletme amaçlı kullanılabilir. (Liddament 1996).

Enerji etkin cephe tasarımlarında modern binalarda enerji tasarrufu göz önünde bulundurularak bina cephesinden hava sızmasını önleyen hava geçirmez cepheler tasarlanmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda iç mekân hava kalitesini sağlamak için mekanik havalandırma sistemleri gerekli hale gelmiştir. Mekanik havalandırma, taze havanın mekanik araçlar (fanlar, kanallar, difüzörler, hava giriş-çıkışları, hava ızgaraları ve susturucular) ile bina içine dağıtıldığı havalandırma sistemidir (Liddament 1996). Bazılarında bacalardan geri çekme riski ve hava girişlerinde akışa izin vermesi için boş zemin alanları gereklidir (Liddament 1996).

Mekanik ve doğal havalandırmanın birlikte kullanıldığı hibrid havalandırma sistemleri ise her iki yöntemin verimliliğini kullanırken olumsuz etkilerini yok edebilir.

Hava canlılar için hayati öneme sahiptir. Canlıların enerji üretebilmesi ve bunu hayatsal faaliyetlerde kullanabilmesi, havanın içinde bulundurduğu gazlar (oksijen, azot vb.) ile mümkündür. Bu nedenle hava değişimi ve hareket doğada önemli işlevlerdir (Badarnah 2012). Doğal organizmaların hava değişimi ve hareketinde uyguladığı aktif ve pasif çözümler enerji etkinliği ve en uygun iç mekân hava kalitesi sağlanması noktasında yenilikçi hibrid sistemler üretilmesini sağlayabilmektedir.

Çoğu organizma enerji gereksinimleri için vücutlarında gaz regülasyonu yapmaktadır (oksijen/karbondioksit alıp karbondioksit/oksijen verme gibi). Bunun yanı sıra yapılarını da zorlu iklim şartlarından korunmak için inşa etmektedirler. Bu nedenle yapılarında hava düzenlemesi de işlevsel bir sorun haline gelmiştir. Bundan dolayı organizmalar gerek vücutlarında gerekse yapılarında bu düzenlemeyi sağlamak için çeşitli stratejiler geliştirmişlerdir (Badarnah 2012).

Bu stratejilerin temeli gaz değişimi ve hareketine dayanmaktadır. Hava değişimi difüzyon yoluyla gerçekleşmektedir. Havanın hareketi ise doğal konveksiyon ve basınç farkları yoluyla gerçekleşmektedir. Hava hareketi için; termit höyüğü, çayır köpeği yuvası ve insan akciğeri, hava değişimi için; trakea ve damarlar örnek verilebilir (Badarnah, 2012) (Şekil 3.3.).

Canlılar	Strateji	Ana ilke	Ana özellik
Termit tepelikleri Höyüğün sakinleri onu homeostaz için çevresel değişikliklere göre değiştirmektedir.	Isıyı korumak veya dağıtmak için yapısal özellikler: duvar kalınlıkları, yüzey deseni, çıkıntılı yapılar, oryantasyon, bacalar, hava geçitleri, gözeneklilikteki değişikliklerdir.	Doğal konveksiyon	Bacalar ve hava geçitleri
Çayır köpeği yuvası Uzun ve dar yuvalarına hava akışını sağlamak için özel mimari özelliklere sahip yapılar inşa ederler.	Biri keskin ağızlı ve ikincisi yuvarlatılmış bir üst kısım ile oyuğun iki uç açıklığını şekillendirerek zemin yüzeyinde hız gradyanları yaratırlar, bu da rüzgar akış yönüne rağmen rüzgarın yuvadan geçirilmesine neden olur.	Bernoulli prensibi (Havanın hızı ile basıncı arasında ters orantı ile akının sağlanması)	Höyük ve huni şeklinde açıklık
İnsan akciğerleri Akciğerin içine ve dışına gaz aktarmak için hacim değişimleri oluşturur. Kan kılcal damarları ile zengin ince alveolar duvarlarda gaz değişimi olur	Gaz akışını indüklemek için genişleme ve büzülme ile gradyan basıncı oluşturma. Hava yolu boyutunun sistematik olarak azaltılması (fraktal morfoloji), böylece değişim için yüzey alanı artırılır.	Aktif havalandırma	Diyafram ve fraktal yapı
Böceklerde trakeal sistem Hava, solungaç yarığı yoluyla trakeal sisteme (tekrar tekrar dallanan) yayılır ve doğrudan oksijen kaynağı için tüm vücut organlarına ulaşır	Küçük tüp serileri, organlarla doğrudan değişim için dokulardan gaz difüzyonu için ince duvarlı tübüller olarak çapta art arda düşüşün sona erdiği trakea oluşturur.	Fraktallar -difüzyon yoluyla verimli gaz taşınması için hiyerarşiye dayalı sistem dallanması	Fraktaller
Damarlar Gelişmiş değişim için tek yönlü akış	Geri akışı önlemek için valflerden (kapakçıklar) oluşur. Elastik membranların serbest kenarı, basıncı yükseltirken birbirine yapışır	Tek yönlü akış	Kapakçıklar (valf)

Şekil 3.3. Bazı canlıların hava düzenleme stratejilerinin incelenmesi (Badarnah, 2012)

3.1.2. Isı (Termoregülasyon)

Bina cephelerinin amaçlarından biri iç ve dış ortam arasında ısı düzenlemeyi sağlayarak kullanıcılar için gerekli termal konforu sağlamaktır. Isıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması enerji tüketiminin azalmasını sağlar. Hava sıcaklığı, nem gibi iklimsel koşullar, havalandırma, güneş ışınımı vb. bir ortamdaki termal koşulları etkiler. Bunlar genel olarak büyük miktarda enerji ve alan kullanan radyatörler, konvektörler ve klima sistemleri gibi termal kaynaklardan etkilenebildiği gibi bina cephesinden

etkilenmektedir. Cephe ile birlikte kabuk yalıtımının yapılması gereken bir kalkan olmaktan ziyade verimli çözümler sunan bir ortam olarak düşünülmelidir. Verimli ısıl düzenleme çözümleri doğadaki stratejilerden elde edilebilmektedir. Canlı organizmalar hayatta kalabilmek için vücut sıcaklığını sabit tutabilmelidirler. Vücut sıcaklığını korumanın temelinde de sürekli bir ısı kazanç ve kayıp stratejileri vardır (Mazzoleni, 2013). Canlı organizmaların bu stratejilerinin temelinde iletim, konveksiyon, buharlaşma ve termal radyasyon yoluyla ısı alıverişi vardır (Hill vd., 2008).

İletim, farklı sıcaklıklarda iki nesne birbiriyle temas ettiğinde; konveksiyon, iletme benzer ancak ısı hava veya su yoluyla aktarıldığında; radyasyon, fiziksel temas olmadan ısı transferi gerçekleştiğinde; buharlaşma ise hava sıcaklığı cilt, yüzey sıcaklığından daha sıcak olduğunda meydana gelmektedir (Mazzoleni, 2013).

Canlılar temelinde bu ilkeler olan bazı termoregülasyon (ısıl düzenleme) stratejileri geliştirmişler veya bu yönde özelleşmişlerdir.

Örneğin; Kuşlar ısıyı korumak için birden fazla strateji kullanırlar. Bülbüller tüylerini kaldırarak soğukta iletkenliği azaltıp, baş ve ayakları tüyelerine çekerken; karlı baykuşlar ve penguenler, vücuda yakın sıcak havayı yakalamak için kabartabilecek ince tüylere sahiptir (Schmidt ve Nielsen, 2007; Mazzoleni, 2013).

Bitki yapraklarındaki mikroskobik gözenekler (stomalar) buharlaşma oranını ve fotosenteze katılan gaz değişimini kontrol etmeyi sağlar. Sıcaklık arttığında, stoma daha geniş açılır, bu da daha fazla suyun buharlaşmasına neden olur ve bitkinin çevresinden daha serin kalmasını sağlar (Pawlyn, 2016).

Develer gün boyunca vücut sıcaklıklarının yükselmesine izin verir, ısıyı hayati organlardan uzaklaştırıp ve yağ yığınlarında depolarken, afrika filinin büyük kulakları ve tüysüz vücudu ise ısıyı dağıtma potansiyelini artırır (Mazzoleni, 2013).

Güneşi doğrudan kazanma amacıyla bir kelebek türü olan çadır tırtılları (*Malacosoma americanum*) ise sabah güneşini yakalamak için güney doğuya bakan birden fazla ipek katmandan oluşan ortak yuvalar inşa ederler (Pawlyn, 2016). Termit Höyüklerinde ise yüzey alanının artması daha fazla radyasyona izin vermektedir, bu da çevresel kanallardaki hava akışını artırır, böylece ısı dağıtılır yani soğutma sağlanır (Badarnah, 2012).

3.1.3. Işık

Bina cepheleri değişken bir ışık yoğunluğuna maruz kaldığı için ışığın iletilmesi gerekmektedir. Aynı anda birkaç öge göz önüne alındığında ışığı yönetmek gerçek bir zorluk haline gelmektedir. Örneğin; gün ışığını en üst düzeye çıkarırken, yansımaya düşünülmemektedir (Badarnah, 2012).

Cam üzerinde termokromik kaplamaların kullanılması sıcaklığa tepki olarak iletim özelliklerini etkileyerek binalarda enerji tüketiminin azalmasına neden olabilmektedir (Parkin ve Manning, 2006; Saeli vd, 2010). Ancak, ışığı yönetmek için ortak çözüm gölgeleme sistemleridir. Dış ortamla görsel bir temas sağlanmasının yanısıra ısı yüklerini azaltmak için kabuk üzerindeki ışınım miktarını kontrol etmek için binalara gölgeleme sistemleri eklenir. Mevcut gölgeleme teknolojileri cepheyi ışınımına karşı korumak için yatay ve dikey uzantılar veya ekstra bir kaplama kullanmaktadır.

Moleküler seviyeye dayanan diğer çözümler de içeri giren ışık miktarını kontrol etmek için ortaya çıkmıştır; örneğin yansıtıcı ve seçici kaplamalar ve termo-kromik cam gibi (Compagno 2002). Binalarda kullanılan gölgeleme elemanlarının çoğunun sınırlı ayarlanabilirliği ve aşırı güneş ışığına karşı gölgeleme sağlamak için çok sayıda yenilikçi gölgeleme çözümü ortaya çıkmaktadır. Konum (enlem) ve iklim koşullarının incelenmesi etkili gölgeleme sisteminin tasarımını etkiler (Hausladen vd., 2006).

Biyolojik organizmalar da ışığı çeşitli şekillerde (toplama, dağıtma, odaklama, yayma, yansıtma, kırma) yönetmek için gelişmişlerdir.

Yağmur ormanı bitkisi ‘anthurium warocqueanum’, yaprak yüzeyleri üzerinde lensler oluşturan hücrelerin bir örtüsünü geliştirmiştir. Bu strateji, büyüme alışkanlığının temel dezavantajını iyileştirmektedir: doğrudan ışık almaz çünkü orman tabanının yakınında, yukarıdaki yoğun ağaç örtüsünün gölgesinde yaşamaktadır (Pawlyn, 2016).

Mat renkli kabukları ve yukarı dönük yanardöner ağızları olan dev istiridyeler, bu özelliğiyle ışığın yararlı olmayan dalga boylarını yansıtan ve yararlı ışığı dikey olarak düzenlenmiş mikroalg sütunlarına doğru dağıtırlar (Holt vd., 2014). Algler de yumuşakçaların enerji bütçesinin önemli bir bölümünü temsil eden, midye için besin üretmek için simbiyotik olarak bulunur ve fotosentez yaparlar (Pawlyn, 2016).

Balon balıkları aşırı ışığa maruz kaldığında korneadaki (gözün şeffaf tabakası) pigmentleri serbest bırakabilmektedir. Yoğun ışığı filtrelemek için korneadaki sarı pigmentleri serbest bırakır ve bu pigment ışığın önemli bir bölümünü emer ve yansıtır. Bunun sonucunda balığın retinası üzerindeki ışık yoğunluğu azalmaktadır (Orlov ve

Gamburtzeva, 1976; Orlov & Kodrashev 1998; Collin ve Collin, 2001; Yahya, 2000; aktaran: Badarnah, 2012).

Biyolüminesans (canlı organizmalar tarafından ışık üretimi) çok sayıda deniz organizmasında, bazı mantarlarda, bazı bakterilerde ve ateş böcekleri gibi karasal hayvanlarda da vardır (Pawlyn, 2016). Küme salyangozu (*Hinea brasiliana*), koruyucu kabuğu boyunca güçlendirilen ve yayılan parlak ışık flaşları üretir (Deheyn ve Wilson, 2010). Kalamarın tüm vücudu aslında her yönden ışığı algılayan bir dizi kamera gibidir ve ahtapotun güçlü gözleri ve dağıtılmış ışık sensörleri kombinasyonu, arka tarafını tamamen algılamasına ve eşleştirmesine olanak sağlamaktadır. Uyarlanabilir veya kararlı yapısal renk kalamar ve ahtapotlar gibi kafadanbacaklılar da olağanüstü ışık manipülasyon özelliklerini şekil değiştiren kamuflajla genişletirler (Pawlyn, 2016). Biyolog Tamsin Woolley-Barker, 'ahtapotların sadece merkezi bir ışık algılama sistemine sahip olmadığını, aynı zamanda cilde dağıtılmış merkezi olmayan bir ışık sensörü sistemine sahip olduklarını gözlemlemiştir (Woolley-Barker, 2012).

Mirketlerde çölde yüksek ışınım yoğunluklarında daha iyi bir görüş için gözlerini çevreleyen siyah kürk bölgesi ışınımı emer ve yansımaları önler, böylece görüşüne müdahale edebilecek parlama azaltılmaktadır (Badarnah, 2012).

3.1.4. Su

Günümüzde su tasarrufu, çevreye verilen zararların etkilerini azaltmak için sürdürülebilir enerji etkin tasarımlarda temel oluşturan konulardan biridir. Binalarda suyun yönetiminde, su temini, atık su dönüşümü gibi problemler stratejiler geliştirilmelidir. Su kaynaklarının kullanımı ve çevresel sorunlar nedeniyle tükenme riski nedeniyle verimli su düzenleme stratejilerinin tasarımlarda kullanılması gerekmektedir. Suyu verimli kullanan bir bina su kazanabilmeli, muhafaza edebilmeli, geri dönüştürebilmelidir.

Yeryüzünde tüm yaşam biçimleri için suya ihtiyacın olmasının yanı sıra su Dünya yüzeyinin %70'inden fazlasını kaplamaktadır. İnsanlardan bakterilere kadar tüm organizmalar öncelikle sudan oluşur; hücrelerin ana bileşenidir ve dokuların, organların çoğu su içindedir ve su yoluyla besin maddeleri, vitaminler ve hormonlar vücudun farklı bölgelerine enerji üretmek ve yaşamın temel işlevlerini yerine getirmek için kullanılmaktadırlar (Mazzoleni, 2013).

Canlılar farklı yaşam ortamlarında su kullanımını için farklı stratejiler geliştirmişlerdir. Bu nedenle organizmalar suyun toplanması, muhafaza edilmesi, fazla suya karşı çeşitli adaptasyonlar sergilemektedirler. Doğada bulunan su düzenleme stratejileri bakıldığında yönetim stratejileri suyun elde edilmesi (su hasadı), korunumu ile sağlanmaktadır.

Yılan balıkları gibi deniz balıkları, solungaçlardaki tuz seviyelerini aktif olarak düzenleyerek ve konsantre idrar atarak dokularında çevreleyen suya göre daha düşük bir tuz konsantrasyonu sağlamaktadırlar (Mazzoleni, 2013).

Çok sayıda kaktüs türü, sadece güneşi yansıtma ile kalmayıp aynı zamanda canlı dokunun yanındaki nemli havayı yakalamaya yardımcı olan ince beyaz filamentlerle kaplıdır, böylece su kaybı en aza indirilirken fotosentez için gerekli gaz alışverişi devam edebilmektedir (Pawlyn, 2016).

Balinalar ve yunuslar suya geri dönen memelilerdir ve bu hayvanlar düşük kan tuzu seviyelerini korumak için kalın, gözeneksiz bir cilde ve etkili böbreklere sahiptir (Mazzoleni, 2013).

Namib Çölü böceği, gün boyunca aşırı sıcaklıklar ve gün doğumunda yoğun sis olan zorlu koşullarda yaşamaktadır. Buna rağmen hayatta kalabilmeyi başarmışlardır. Böcek sis basma davranışı ile sisten su elde edebilmektedir (Badarnah, 2012).

Birçok omurgasızın yumuşak, geçirgen bir cildi vardır, bu nedenle kurumaya karşı savunmasız kalırlar ve genellikle su içinde veya nemli ortamların yakınında yaşamaktadırlar. Turbellaria, şerit benzeri gövdelere sahip yassı kurtlardır. Vücutlarındaki tuz ve su konsantrasyonunu, özel bir hücre sistemi ile dengelemek zorundadırlar (Mazzoleni, 2013).

Literatürde ve incelenen tüm organizmalarda görülür ki; canlılarda hava düzenlemesinin temelinde hava değişimi ve hareketi; ısıl düzenlemenin (termoregulasyon) temelinde ısı kazancı ve kaybı; ışığın düzenlenmesinin temelinde ışık toplama ve dağıtma; su düzenleme temelinde ise suyun elde edilmesi (su hasadı) ve suyun korunması ve bunlara bağlı geliştirilen çeşitli stratejiler vardır. Canlılar hayatta kalabilmek için bu stratejiler doğrultusunda farklı koşullara (iklimsel koşullar gibi) fiziksel olarak (özelleşmiş organlar, farklı cilt, deri, kabuk özellikleri) veya davranış şekilleriyle adapte olmuşlardır.

Sonuç olarak canlı organizmaların hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme stratejileri enerji etkin cephe tasarımları için kavramsal fikirler ve çözümler barındırmaktadır.

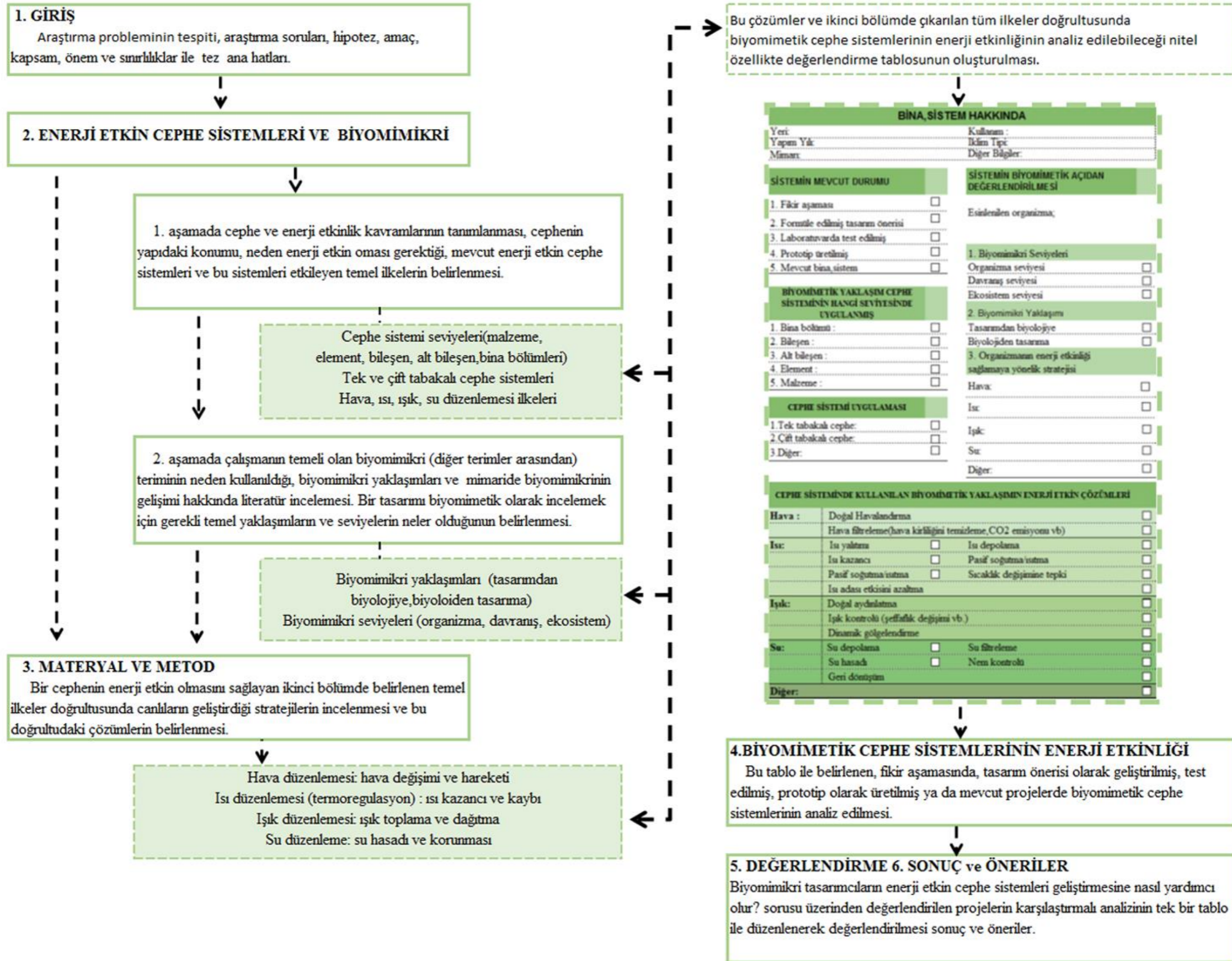
Yapılan çıkarımları desteklemek ve öneriler getirmek amacıyla biyomimetik yaklaşım yöntemi ile doğadaki bu düzenleme ilkelerinin mimari cephelere nasıl aktarılabilceği sorusu ile başlayan ve çözüm önerileri getiren örnek projelerin incelenebilmesi için belirlenen kavramlar ve ilkelerle (mevcut enerji etkin cephe sistematiği, biyomimikri yaklaşımları ve ilkeleri vb.) enerji etkinliğini analiz edebilmek için her projenin tek tek ele alınıp inceleneceği Şekil 3.5.' te geliştirilen metodoloji sonucu bir analiz tablosu oluşturulmuştur (Şekil 3.4.).



BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri:	Kullanım :
Yapım Yılı:	İklim Tipi:
Mimar:	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma:
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : <input type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: <input type="checkbox"/>
	Isı: <input type="checkbox"/>
	Işık: <input type="checkbox"/>
	Su: <input type="checkbox"/>
	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	
3. Diğer: <input type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	<input type="checkbox"/>

Şekil 3.4. Metodoloji sonucu oluşturulan analiz tablosu (yazar tarafından oluşturuldu)

Şekil 3.5. Metodolojinin gelişimi (yazar tarafından oluşturuldu)



Bir sonraki bölümde Şekil 3.5. te belirtilen süreç sonucu oluşturulan değerlendirme sistematığı üzerinden farklı canlılardan esinlenilmiş; fikir aşamasında, formüle edilmiş tasarım önerisi olarak geliştirilmiş, prototip olarak üretilmiş veya mevcut bina ya da sistemlerdeki biyomimetik cephe sistemlerinin ayrı ayrı ele alınıp analiz edilmesine yer verilmiştir.



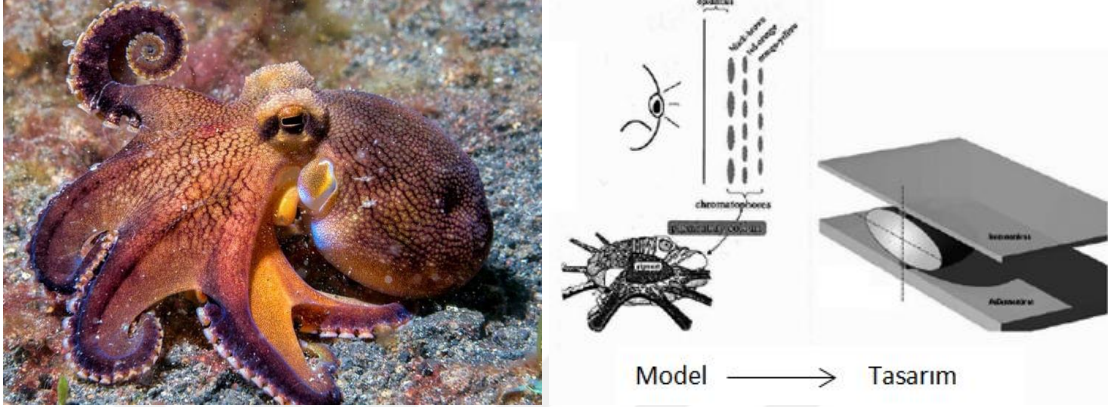
4. BİYOMİMETİK CEPHE SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ

Enerji etkin cephe sistemlerini, tasarımında etkili olan hava, su/nem, ısı, ışık ilkeleri etrafında düzenlenmesi çerçevesinde tasarım konseptlerini kolaylaştırmak ve çevreye daha uygun cephelerin oluşturulmasının sağlanması amacıyla, belirlenen metodoloji doğrultusunda ne tür enerji etkin çözümler üretildiği analiz edilmiştir. Bu analiz öncelikle biyolojik organizmanın ve enerji tüketen sistemlerin enerji etkinliğini doğanın bu sistemlere (tez kapsamında cephe sistemleri) etkisini araştırmak için gereklidir.

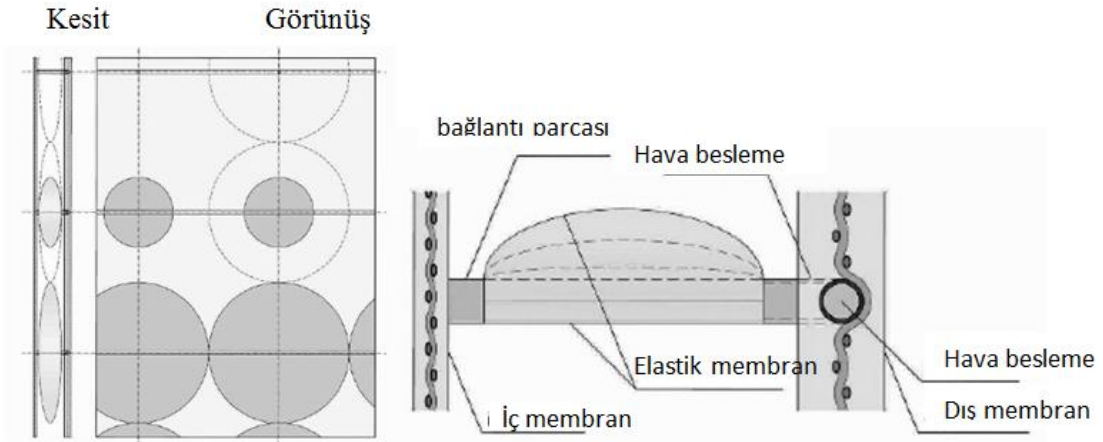


4.1. 'Aero Dimm' Projesi

Doğadan gelen sinyal mekanizmaları araştırılması gereken bir konu olarak ele alınmıştır. Sefalopod (kafadanbacaklı) cildinden ilham alan proje, termal özelliklerin değişiminin yanı sıra sinyallemeyi tercüme etmektedir (Pfaffstaller,2004; Gruber,2007).



Şekil 4.1. Sefalopod (kafadanbacaklı) (Web iletisi 28) Şekil 4.2. Modelden tasarıma yaklaşım (Pfaffstaller, 2004)



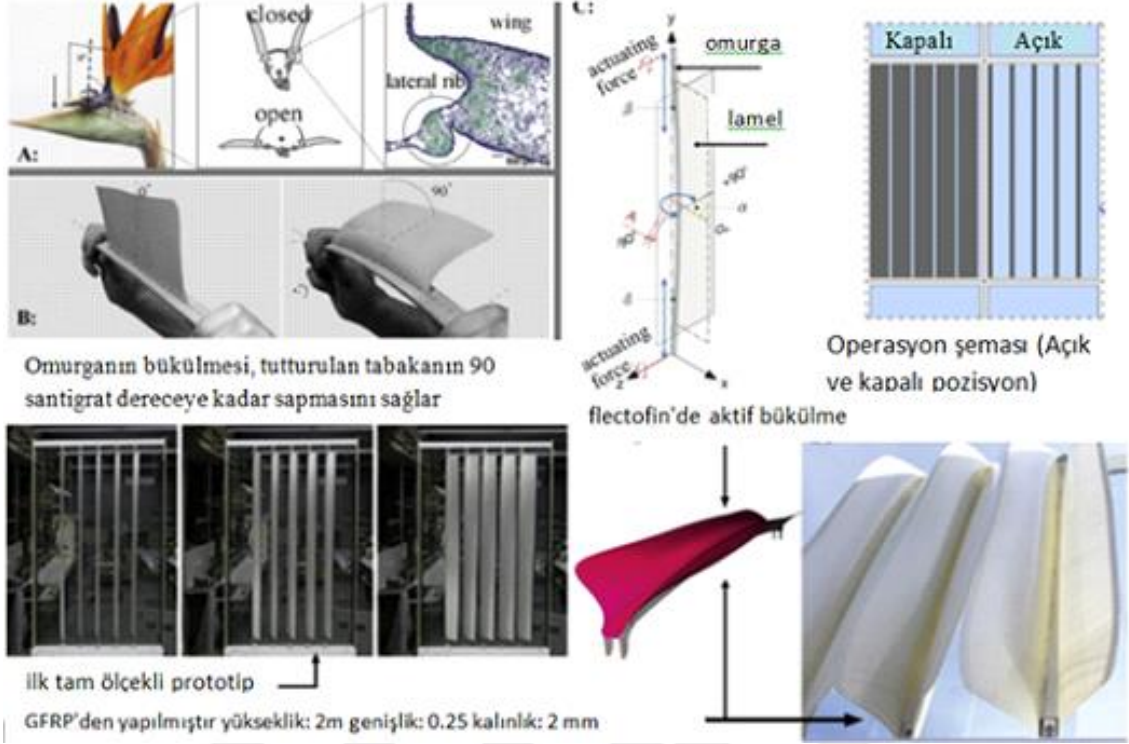
Şekil 4.3. Sefalopodlardan ilham alan karartıcı bir pnömatrik cephe konsepti (Pfaffstaller, 2004).

Biyomimetik yüzey, sefalopod cildinin renk değişiminden ilham almaktadır. “Elastik membranlar, cephenin iki katı arasındaki hacmi değiştirir ve bu şekilde gün ışığı ve güneş ısı kazanımlarını kontrol eder.” Pnömatrik basınç, adaptif mekanizmaların arkasındaki itici güçtür ve havalandırma boruları dış tabakaya entegre edilir (Gruber ve Gosztonyi, 2010).

Çizelge 4.1. Aero Dimm Projesi değerlendirilmesi

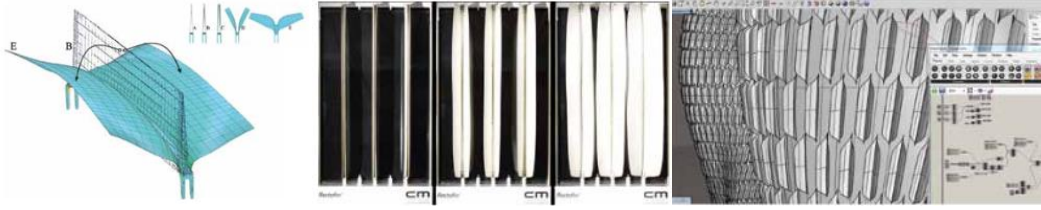
BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri:	Kullanım :
Yapım Yılı: 2004	İklim Tipi:
Mimar: Pfaffstaller S.	Diğer Bilgiler: TU Vienna öğrenci proesi
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input checked="" type="checkbox"/>	Esinlenen organizma: 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	Sefalopod(kafadanbacaklı)
3. Laboratuvarında test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü : <input type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : Dış cephe parça birimi <input checked="" type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : Gölgeleme elemanı <input checked="" type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: Renk değişimi ile ısı kazancı <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: <input type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: Hibrid havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>	Su: <input type="checkbox"/>
3. Diğer: <input type="checkbox"/>	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input checked="" type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	<input type="checkbox"/>

4.2. 'Flectofin' Projesi



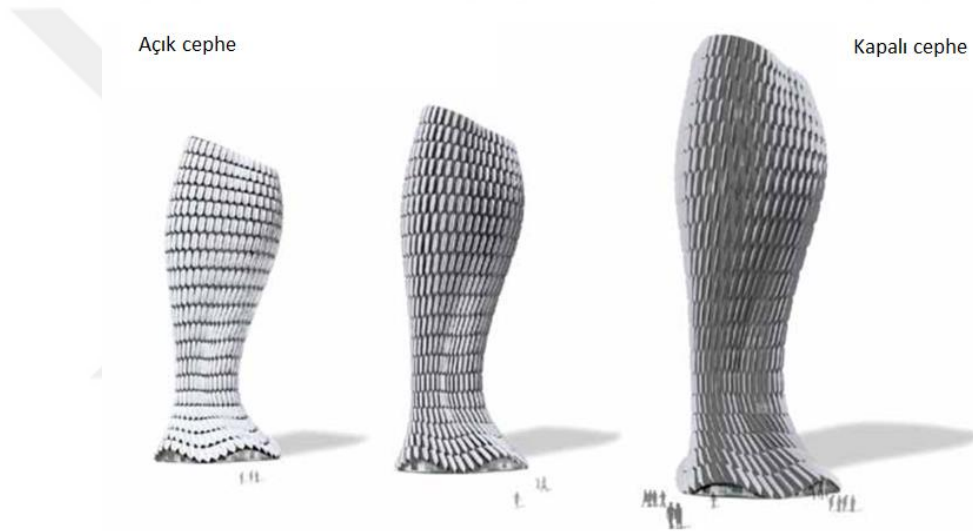
Şekil 4.4. Flectofin projesi (Fiorito vd., 2016; Schleicher vd., 2014).

Stuttgart Üniversitesi Bina Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü' nde (ITKE) mimarlar, mühendisler ve biyologlar arasında disiplinler arası bir iş birliği ile 'Cennet Kuşu' çiçeğinin (*Strelitzia reginae*) tozlaşma mekanizmasını incelenmiştir. Omurgada bir desteğin yer değiştirmesi veya laminadaki sıcaklık değişikliğinin neden olduğu omurgadaki eğilme gerilmelerini indükleyerek kanadını 90 derece değiştirebilen menteşesiz bir panjur sistemi olan 'Flectofin' geliştirilmiştir. Cennet Kuşu, tozlaşmak için güneş kuşlarına güvenir. Çiçek sapına dik olarak hizalanır ve kuşlar için bir tüneme noktası sağlanır. Bir kuş indiğinde, ağırlığı alt iki yaprakları aşağı çekerek polenlerin bulunduğu anterleri ortaya çıkararak bir bükülme hareketine neden olur. Polen, nektarla beslenirken kuşun ayaklarını örter ve sonra polenin o bitkinin pistiline biriktiği başka bir çiçeğe uçar. Araştırmacılar, bitkilerin stratejisini dikkatle incelediler ve menteşesiz yapılarına uygulamak için gereken tasarım ilkelerini soyutladılar. Menteşesiz mekanik sistemlerin kullanımı, interaktif cephe sistemleri ile yaygın olarak ilişkili bakım miktarını azaltmaktadır (Web iletisi 29).




Şekil 4.5. Çift Flectofin ve uygulamaları (Lienhard vd., 2012).

Çift Flectofin ise başlangıçta önerilen cephe bileşeninin geliştirilmiş halidir ve gölgeleme verimliliğinin artmasına ve daha yüksek rüzgâr dayanıklılığına sahiptir (Şekil 4.5.). Bir ince profil üzerine iki kanat yerleştirdikten sonra, omurga başına gölgeli alanı iki katına çıkarırken, görünümü çok fazla etkilememektedir (Lienhard vd. 2012) (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Açık ve kapalı konfigürasyonda uyarlanabilir çift Flectofin ile örnek serbest biçimli cephe geometrileri (Lienhard vd. 2012).

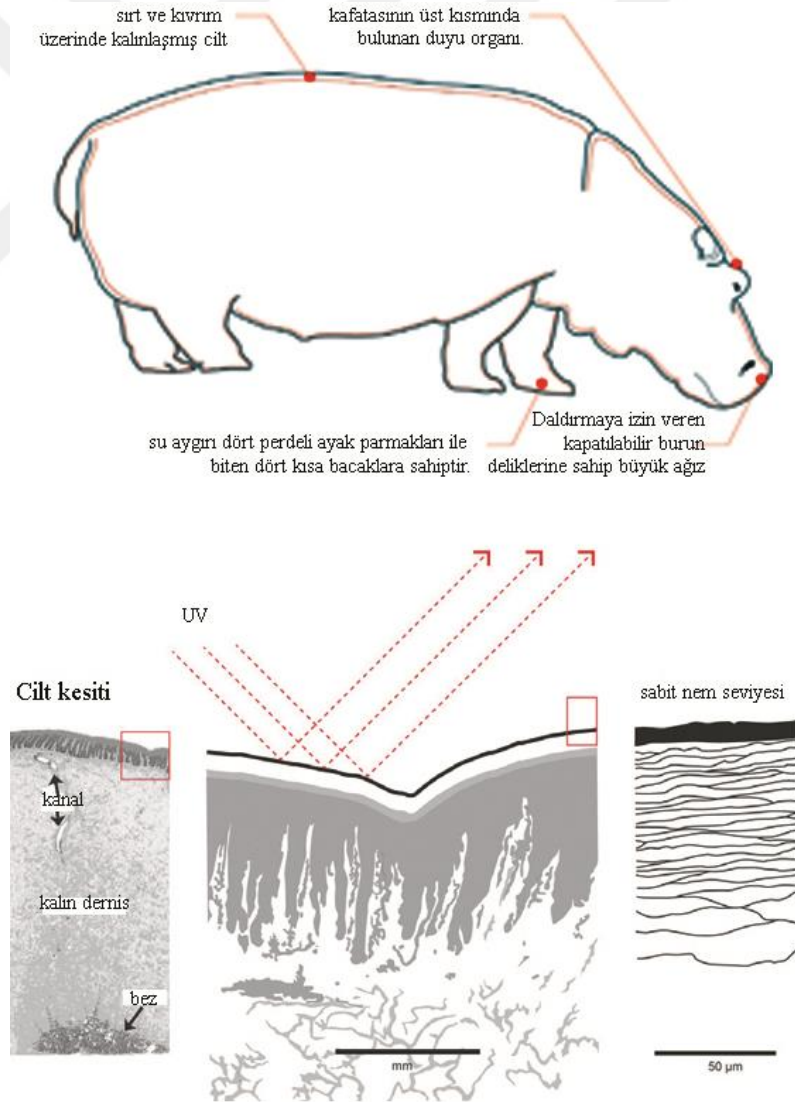
Çizelge 4.2. Flectofin Projesi değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Stuttgart Üniversitesi, Almanya	Kullanım :
Yapım Yılı: 2011	İklim Tipi:
Mimar: Lienhard vd.	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; Cennet kuşu çiçeği 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarında test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem <input checked="" type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü : <input type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : Gölgeleme elemanı <input checked="" type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input checked="" type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: <input type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: <input type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Su: <input type="checkbox"/>
3. Diğer: Veri bulunamadı <input checked="" type="checkbox"/>	Diğer: Canlının uyarana bağlı hareket sistemi soyutlanmıştır. <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/> Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/> Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	<input type="checkbox"/>

4.3. Gözenekli Cilt (The Porous Skin) Projesi

Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsünde Ilaria Mazzoleni (2010, 2011) önderliğinde mimarlık öğrencileri Sarah Maansson ve Worrawolan Raksaphon tarafından geliştirilen ‘Gözenekli Cilt’ projesi, güneş ışığından korunma, geçirgenlik ve termal düzenleme için bir model olarak su aygırı cildini kullanarak gün ışığının alımını ve sıcaklık kontrolünü temel almaktadır. Su aygırı sudan çıktığında güneş kremi işlevi gören dermisin derinliklerindeki bezlerden bir sıvı salgılayarak kendisini güneş ışığından koruyabilmektedir. Bu koruyucu sistem, projenin bina zarfının tasarımı için ilham kaynağı olmuştur.

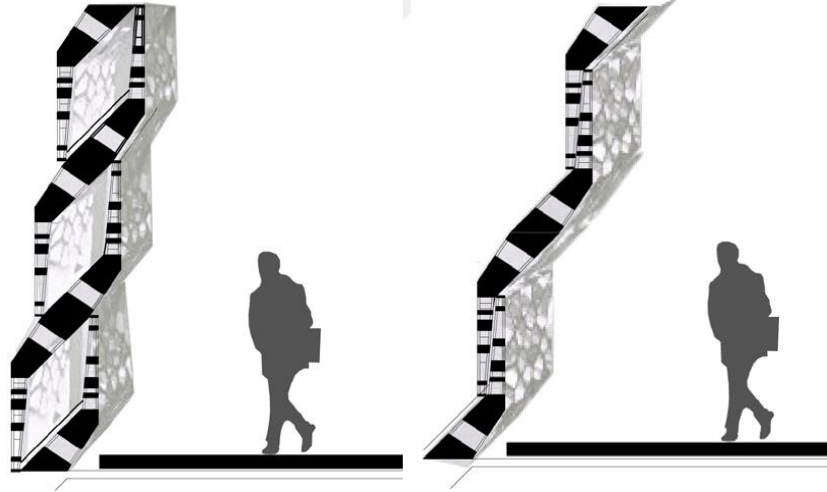
Su aygırı, çok kalın bir dermis ve ince bir epidermisten oluşan deri ile kalın derili bir hayvandır (Mazzoleni,2010) (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Su aygırının ve cildinin kesiti (Mazzoleni,2010).

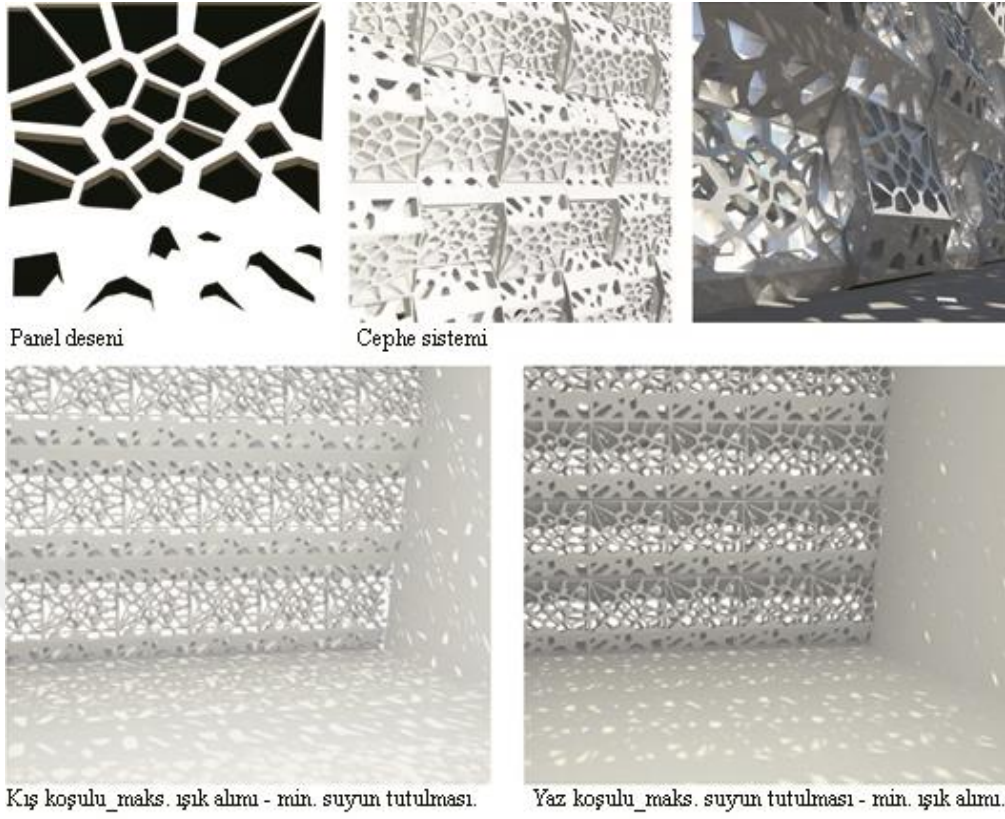
Cildin kalınlığı, vücudun her tarafında değişmektedir, sırt üstü daha kaba, göbek ve uzuvların iç kısımlarında daha ince ve esnek hale gelmektedir. Benzer şekilde, projenin dış bina cildi olarak, derinliğine bağlı olarak güneş ışığını filtreleyen bir sistemi vardır. Daha kalın bölümler güneş perdesi gibi davranırken, daha ince bölümler daha fazla ışık sağlamaktadır. Binaya gelen güneş ışığı miktarının kontrolü, sıcaklık düzenlemesinin kontrol edilmesine yönelik ilk adımdır. Su aygırının yarı-suda yaşam tarzı, binanın soğutulması için su kullanımı gibi binanın altyapı tasarımını bilgilendirebilir. Proje sahası su aygırının habitatu- Okavango Deltası, Botswana ile örtüşmektedir. (Mazzoleni,2010).

Nehrin delta taşkınları sırasında kış ayları kurak ve ılıktır, yağışlı yaz ayları soğuk geçmektedir. Böylece su aygırı, yazın serinlemek için bol sudan faydalanabilmektedir. Değişken kalınlıkta ve sudaki soğuma fikirlerini bir araya getirerek, bina sakinlerine rahatlık sağlamak için iç mekân sıcaklığını kontrol etmek için hareketli bir panel sistemi tasarlanmıştır. Sıcak ve nemli yaz mevsiminde, paneller A konumuna getirilerek binanın iç kısmının soğumasını binanın dış tabakasından geçirirken paneller B konumuna ayarlandığında ise daha fazla güneş ışığı cepheye nüfuz edebilmekte ve yaşam alanlarını ısıtabilmektedir (Şekil 4.7.).




Şekil 4.7. Yaz koşulu- hepsi A. konumunda. Kış koşulu- hepsi B konumunda. (Mazzoleni,2010).

Değişken boyutlarda bir hücre sistemi, neredeyse delinmiş incelikten, kalın ve sık hale gelen panellerin temel yapısını oluşturmaktadır. Değişken kalınlıklar, zarfın dış ve iç kısımları arasındaki ısı transferini düzenlemektedir. Hücrelerin açılarını değiştirmek, binaya gelen güneş ışığının yönünü kontrol etmektedir. Gün ışığının belirli saatlerinde veya binanın belirli alanlarında güneş ışığına izin verilebilme, açıklığın boyutunu değiştirmek genel ışık miktarını azaltmaktadır (Mazzoleni,2010) (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Gözenekli Cilt (The Porous Skin) Projesi cephe sistemi, (Mazzoleni,2010).

Çizelge 4.3. The Porous Skin (Gözenekli Cilt) Proje değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Bostwana	Kullanım :
Yapım Yılı: 2010	İklim Tipi: Kurak ve yarı çöl iklimi
Mimar: S.Maansson, W.Raksaphon, I. Mazzoleni	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma: 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input checked="" type="checkbox"/>	Su aygırı
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Tarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
3. Alt bileşen: <input type="checkbox"/>	Biyolojiden tarıma <input checked="" type="checkbox"/>
4. Element : Cephe panelleri <input checked="" type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme: <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: Farklı deri kalınlıkları ile termal düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: Gün ışığından korunmayı sağlayan salımlama, farklı deri kalınlıkları <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Su: Yarı suda yaşam tarzı <input checked="" type="checkbox"/>
3. Diğer: Veri bulunamadı <input checked="" type="checkbox"/>	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme (hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama (soğutma etkisi) <input checked="" type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü (soğutma etkisi) <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	<input type="checkbox"/>

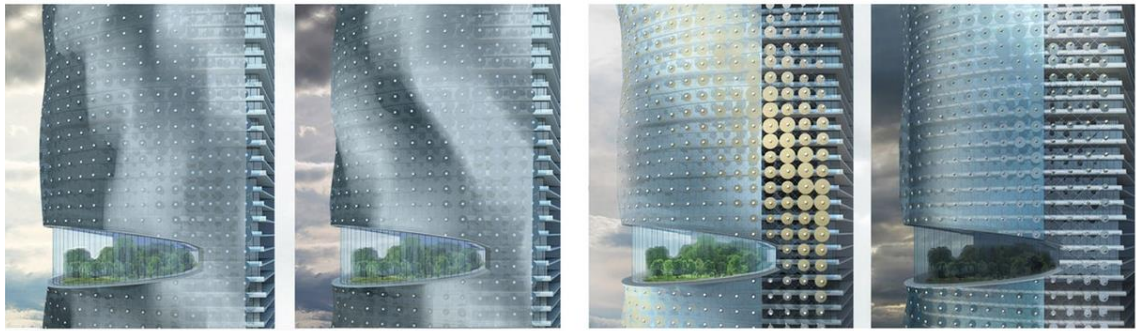
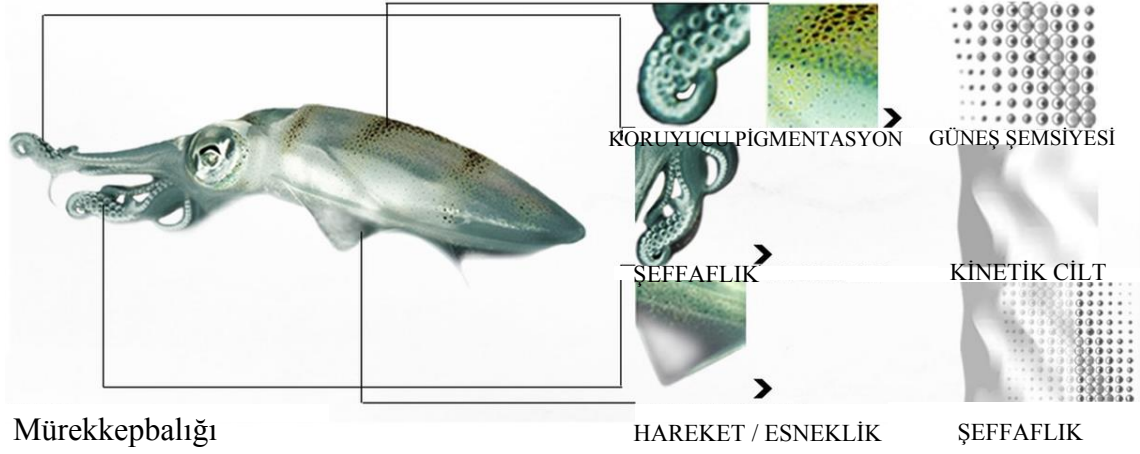
4.4. 'Biotic-Tech' Gökdelen Şehir Projesi



Şekil 4.9. Biotic-Tech Gökdelen Şehir Projesi (Web İletisi 30)

Yüksek irtifalara ulaşan binalar zorlu çevre koşullarına maruz kalır. Bu nedenle, proje zorlu doğal ortamlarda yaşayan deniz hayvanlarından (ahtapot, denizanası, kalamar, deniz süngeri) esinlenmiştir. Bu deniz hayvanlarının uyarlanabilir özellikleri (şeffaflık, esneklik, hareket, koruyucu pigmentasyon), doğanın kaynaklarını (güneş, hava akımı, su, bitki örtüsü) kullanarak çevresel entegrasyon sağlayan binanın şekli ve zarfının ana hatları tasarlanmıştır. Deniz süngeri su akışını kullanan yapısından ilham alınan binada hava akışını güç kaynağı olarak kullanmak için bir rüzgâr türbini bulunmaktadır. Binanın kendisi, yüksek rüzgâr türbinlerini harekete geçiren hava akışını oluşturmak için yüksekliğini ve dolayısıyla çevre koşullarını kullanan devasa bir rüzgâr tuneli mekanizmasıdır.

Bina cephesi, kullanıcılar için rahat bir ortamı desteklemek için enerji ve koruma sağlayan çeşitli katmanlara sahip entegre bir sistemdir. Birinci katman, esnekliğini kaybetmeden rüzgâr basıncı altında uzanan yarı saydam bir polimer membrandır. Bu, yapısal enerjiye entegre edilen ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren çok sayıda pistonu harekete geçiren bir dalga dinamiğine neden olmaktadır. Güneş enerjisi ikinci katman tarafından kullanılmıştır. Fotovoltaik hücrelerle kaplı güneş şemsiyeleri ve farklı güneş ışığına tepki veren sensörler kullanıcılar için fonksiyonel ve rahat bir ortam yaratırken aynı zamanda binaya estetik bir görünüş sağlamaktadır (Web İletisi 30).



Şekil 4.10. Biotic-Tech Gökdelen Şehir Projesi farklı açılardan inceleme (Web İletisi 30)

Çizelge 4.4. Biotic-Tech Gökdelen Şehir Proje değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: İspanya	Kullanım :
Yapım Yılı: 2013	İklim Tipi:
Mimar: GPT + Mimarlık	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input checked="" type="checkbox"/>	Mürekkkep balığı ve farklı deniz canlıları
3. Laboratuvar da test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü : Cephenin kendisi <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : Rüzgar türbinleri <input checked="" type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : Güneş şemsiye <input checked="" type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
4. Element : Güneşe tepki veren sensörler <input checked="" type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: Derinin koruyucu pigmentasyon özelliği <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: Işık geçirgenliği <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: Çift kabuk cephe <input checked="" type="checkbox"/>	Su: Deniz süngerinin su akışını kullanması <input checked="" type="checkbox"/>
3. Diğer: <input type="checkbox"/>	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input checked="" type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Enerji üretimi dinamik ve esnek yapı <input checked="" type="checkbox"/>

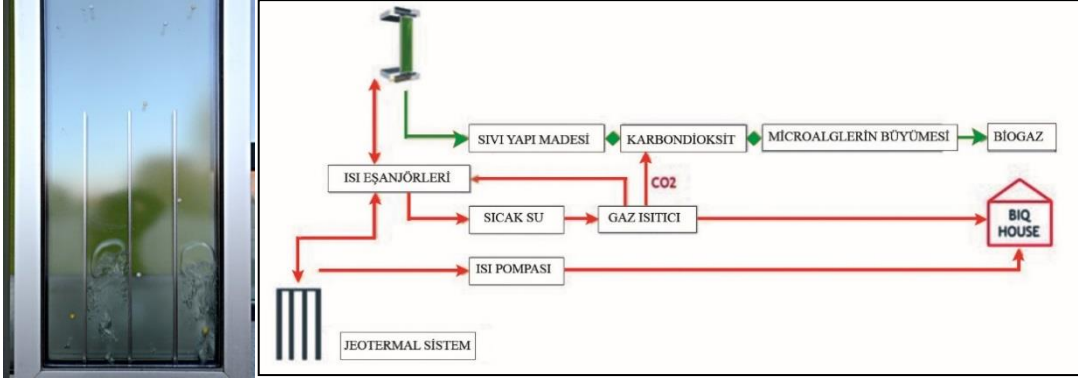
4.5. ‘The BIQ House’, Biyo-Akıllı Cephe Projesi

‘BIQ’ (Biyo Akıllı Cephe) evi, konutlarda biyo-reaktif cephenin uygulanması için dünyanın ilk pilot projesini temsil etmektedir. SolarLeaf adı verilen biyo-reaktif cephe, alg biyokütleleri ve güneş termal ısısından yenilenebilir enerji üretmektedir. Özellikle Hamburg'daki ‘BIQ’ evinde, binaya ihtiyaç duyduğu tüm enerjiyi sağlayan ve karbondioksit (CO₂) emisyonlarını yılda 6 ton azaltan 200 m² yosun dolgu biyo-reaktif panel bulunmaktadır. Bu pilot proje, biyokütle üretmek ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ısınmak için mikroalg yetiştirirken, CO₂ emisyonlarını emen bir bina entegre sistemini örneklemektedir.

Aynı zamanda, bu yenilikçi sistem dinamik gölgeleme, ısı yalıtımı ve ses azaltma gibi ek işlevleri birleştirerek bu teknolojinin tüm potansiyelini vurgulamaktadır. Bu sistem sayesinde, BIQ evi, CO₂ yakalamak için alg kullanımı yoluyla karbonu nötr şekilde enerji üretebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, düşük karbonlu kentsel geleceği teşvik etmek ve daha iyi yaşam koşulları olan şehirleri biçimlendirmek ve gelecekteki bina gelişimi için iyi bir uygulamayı temsil etmektedir (Web iletisi 31).



Şekil 4.11. BIQ Apartman Binası (Web iletisi 31)




Şekil 4.12. 'SolarLeaf'-Panjur Detayı (Web iletisi 32) Şekil 4.13. Yapıda kullanılan sistemin şematik İşleyişi (Web iletisi 31).

SolarLeaf cephesi, bir yapıyı ve bileşenlerini daha enerji etkin yapmak için fotosentezin biyo-kimyasal sürecini kullanmaktadır. 200 m² lik entegre foto-biyoreaktörlü alg cephesi bir yılda ortalama bir hane halkından (yılda 3.500 kW / saat) daha fazla yaklaşık 4.500 kW / saat elektrik temini sağlamaktadır (Web iletisi 31).

Sonuç olarak, 'BIQ' evi, inşaat sektöründe CO₂ azaltımı ve karbon tutumu için pilot bir plan ve genel olarak, gelecekteki kentsel ortamlardaki binalar için düşük karbonlu bir yaklaşım olarak önemli bir rol oynamaktadır. Enerji verimli binalar için sürdürülebilir bir enerji tasarımıyla, kendi kabuğundan enerji üretebilmekte, saklayabilmekte ve kendisi kullanabilmektedir.

Çizelge 4.5. 'BIQ' (Biyo Akıllı Cephe) Proje değerlendirilmesi

BİNA,SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Hamburg, Almanya	Kullanım : Konut
Yapım Yılı: 2013	İklim Tipi:
Mimarı: Arup	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	Algler
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina,sistem <input checked="" type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü : İkincil cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : Bio-reaktör panel <input checked="" type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarma <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Hava: Karbondioksit emme <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: <input type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: Işığın biyokütleyle dönüşümü <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Su: <input type="checkbox"/>
3. Diğer: Cepheye ek ikincil bir sistem olarak entegre edilebilir <input checked="" type="checkbox"/>	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input checked="" type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input checked="" type="checkbox"/> Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/> Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/> Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Kendi kabuğundan enerji üretir ve depolar <input checked="" type="checkbox"/>

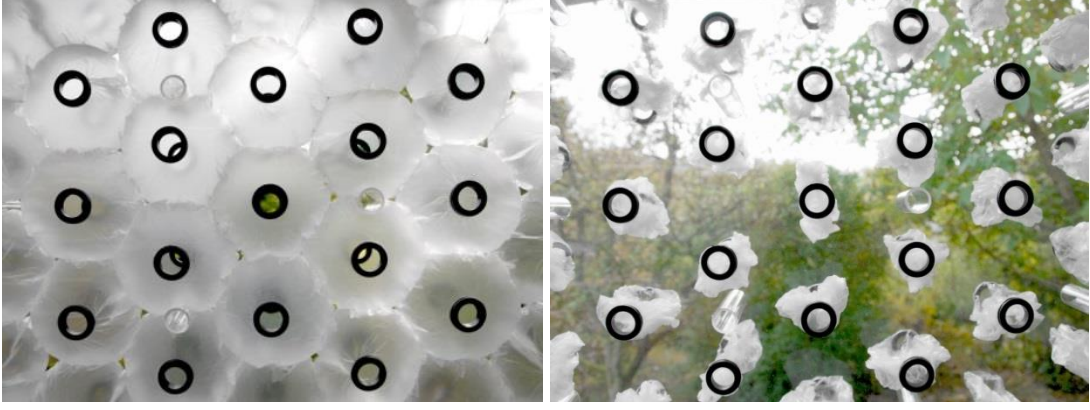
4.6. Nefes Alan Cilt ‘Breathing Skins’ Projesi

Breathing Skins Projesi, Stuttgart Üniversitesi'nde Tobias Becker'in diploma tezi olarak başladıktan sonra, teknoloji, şirketlerden, kurumlardan ve vakıflardan gelen akademisyenlerin ve sponsorlukların desteğiyle daha da geliştirilmiştir (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Breathing Skins Projesi (Web İletisi 33)

Kullanılan teknoloji, iç ve dış ortam arasında gerekli ışık, madde ve sıcaklık akışını kontrol etmek için geçirgenliklerini ayarlayan organik ciltlerden esinlenmiştir. Buna ek olarak cephenin sürekli değişen görünümü, dış çevre ve iç mekân arasında zengin bir etkileşim sağlamaktadır. Cepheler, cildin gözeneklerinin açılması veya daralması gibi, yüzeye dağılmış olan açıklıkların boyutunu artırarak veya azaltarak çalışmaktadır. Nefes alan bir cilt cephesinin her metrekaresinde, geliştiricisi olan Tobias Becker tarafından “pnömatik kaslar” olarak tanımlanan 140 hava kanalı bulunmaktadır (Şekil 4.15.). Bu dairesel aparat şişer ve bu kolektif şişme veya inme, cephenin geçirgenliğinin arkasındaki kontrol faktörüdür (Web İletisi 33).



Şekil 4.15. Kapalı ve açık konumda 'Pnömatik Kas Yapısı' (Web İletisi 33)

Duyarlı bir mimari biçim olarak, sürekli değişen pnömatik kaslar, kullanıcıların tercihine göre belirli miktarda hava, ışık ve görünürlük sağlamaktadır. Teknoloji esas olarak iki cam yüzey arasında kalan pnömatik kaslardan oluşmaktadır. İki cam panel arasındaki alanda, her kasın açılması için sadece hafif bir düşük basınç gereklidir. Becker böylece nefes alan bir cephenin çalıştırılmasının minimum enerjik girdi gerektireceğini ifade etmiştir. Bu basit yenilik, cephenin görünür teknik bileşenlerden arındırılmasını sağlayarak estetik ve kusursuz bir son katman sağlamaktadır. Proje Mandelbachtal, Almanya'daki bir sergi salonunda sergilenmektedir (Web İletisi 33).

Çizelge 4.6. Nefes Alan Cilt ‘Breathing Skins’ Proje değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Mandelbachtal, Almanya	Kullanım :
Yapım Yılı: 2015	İklim Tipi:
Mimar: Tobias Becker, Simon huffer	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma;
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	Organik deriler
3. Laboratuvarında test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input checked="" type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
	2. Biyomimikri Yaklaşımı
	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: Hava hareketi ile düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı: Isıl düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık: Işık geçirgenliği <input checked="" type="checkbox"/>
	Su: <input type="checkbox"/>
	Diğer: <input type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	2. Çift tabakalı: <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : <input type="checkbox"/>	3. Diğer: Tabakalar arasında pnömatik kas adı verilen yenilikçi bir sistem entegre edilmiş <input checked="" type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava : Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>	
Hava filtreleme (hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb)	<input type="checkbox"/>
Isı: Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>	Isı depolama <input type="checkbox"/>
Isı kazancı <input type="checkbox"/>	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/>	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık: Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>	
Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>	
Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>	
Su: Su depolama <input type="checkbox"/>	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
Su hasadı <input type="checkbox"/>	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>	
Diğer: Sistemin hareketi için minimum enerji gerekir <input checked="" type="checkbox"/>	

4.7. 'CH2' (Council House) Ofis Binası

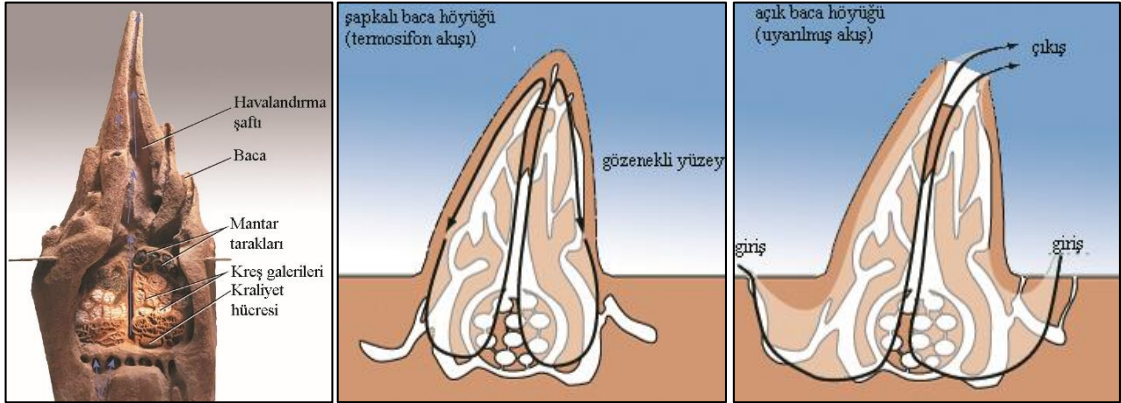
CH2, DesignInc adlı bir mimarlık firması tarafından tasarlanan, Avustralya'daki mevcut bir ofis binasının bir uzantısıdır. Şekil 4.16' da gösterildiği gibi, on katlı bir yapıdır ve 'Avustralya'daki Yeşil Bina Konseyi'nden altı yıldız alan ilk binadır (Web iletisi 34).



Şekil 4.16. Farklı açılardan CH2 binası (Web İletisi 35)

Yapıda ısıtma ve soğutma sistemi için termit höyüklerinin sıcaklığını düzenlemesinden esinlenilmiştir (A. Mohamed vd., 2019).

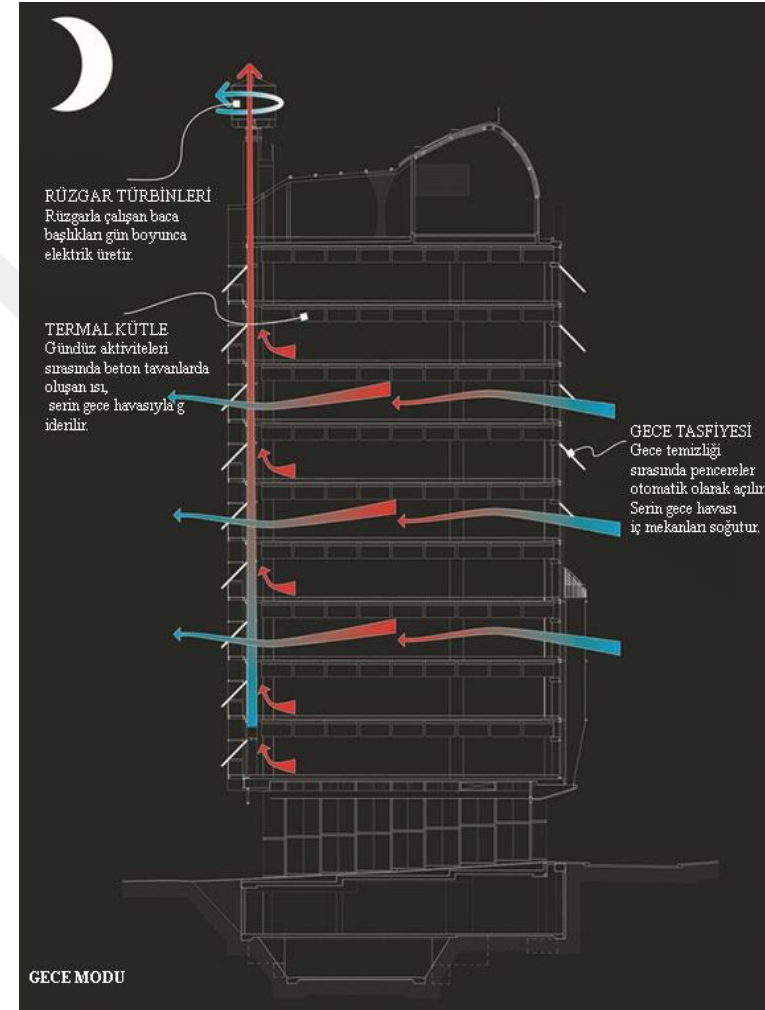
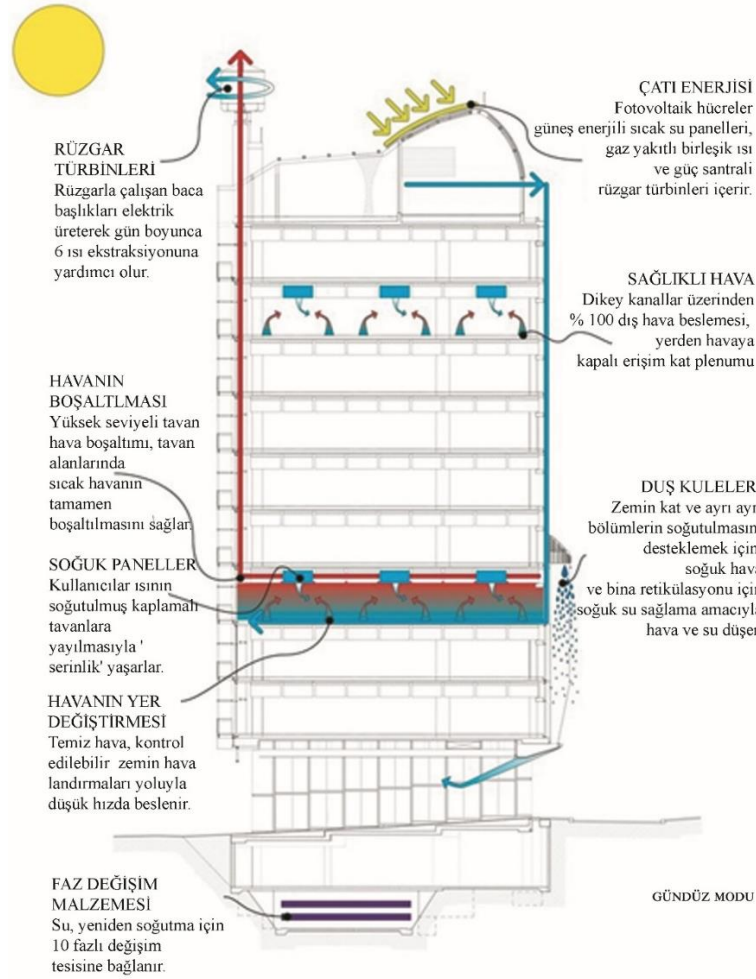
Termitler höyük sıcaklığın üzerinin açıklığına göre iki farklı şekilde düzenlenmektedir. Höyüğün üstü kapatılırsa, termosifon akışı olarak bilinen ve metabolik ısı transferi ile tahrik edilen ılık yüzer hava, bir tünel ağı vasıtasıyla yuvadan çıkarılmakta ve höyüğün gözenekli yüzeyinden dışarı atılmaktadır. Burada yuvaya geri inen daha serin ve daha yoğun hava ile değiştirilmektedir. Höyüğün üstü açılırsa, kullanılan pasif sistem, 'indüklenmiş akış olarak da bilinmektedir ve venturi etkisi olarak da adlandırılmaktadır', sıcak havanın uzaklaştırılması için rüzgâr hızına bağımlıdır ve bu da höyüğün tabanından serin, yoğun hava çekmektedir. Bu stratejiler, termitlerin höyüğün sıcaklığından bağımsız olarak höyüğün içindeki sıcaklığı stabilize etmelerine yardımcı olmaktadır. Toprak soğuğu depolamakta ve höyüğün havalandırma delikleri ve gözenekleri ihtiyaç duyulmadığı takdirde sıcak havadan kurtulmaktadır. Termitler, Şekil 4.18.' de gösterildiği gibi sıcaklığı düzenlemek için eskilerini kapatırken sürekli olarak yeni havalandırma kanalları oluşturmakta ve açmaktadır (A. Mohamed vd., 2019).



Şekil 4.17. Termit höyüğü iç yapısı (Web iletisi 36) Şekil 4.18. Kapalı ve açık baca höyüklerinde hava sirkülasyonu (Web iletisi 37)


Aynı konsept binada, enerji tüketen ve sera gazlarının salınımına katkıda bulunan HVAC sistemlerinin kullanımını en aza indirmek için pasif soğutma ve ısıtma uygulamak için uygulanmıştır (A. Mohamed vd., 2019).

Biyomimikri binanın farklı pek çok yerinde kullanılmıştır. Örneğin, batı cephesinde ağacın epidermis yapısından esinlenilmiştir. Burada ilham alınan cephenin dış iklimi nasıl denetleyeceğidir. Kuzey ve güney cepheleri ağacın bronşlarından esinlenilmiş ve bunlar rüzgâr boruları olarak uygulanarak CH2'nin dış kısmındaki hava kanallarına izin verilmiştir (A.N. Radwan, Osama, 2016). Havalandırma bacaları stratejik olarak kuzey cepheye yerleştirilmesinin amacı Avustralya'nın konumu nedeniyle güneşe en çok maruz kalan cephesi olmasıdır. Hava, kuzey deliklerine ne kadar ılık gelirse, o kadar kolay çıkmaktadır ve güney hava deliklerinden gelen soğuk hava ile değiştirilmektedir. Bu süreci daha da arttırmak için kuzey cephesindeki havalandırmalar daha fazla ısıyı emmek için siyaha, güney cephesindeki havalandırmalar ısıyı yansıtacak şekilde açık renkle boyanmıştır (A. Mohamed vd., 2019). Servis çekirdeği ve tuvaletlerden oluşan doğu çekirdek ve cephe, ağaç kabuğunu taklit etmiştir. Cilt, arkasındaki havalandırmalı ıslak alandaki ışığı ve havayı filtreleyen koruyucu bir tabaka görevi görmüştür (A.N. Radwan, Osama, 2016).



Şekil 4.19. Council House Binası (CH2) sistem kesiti gündüz ve gece sağlanan çözümler (Web iletisi 35)

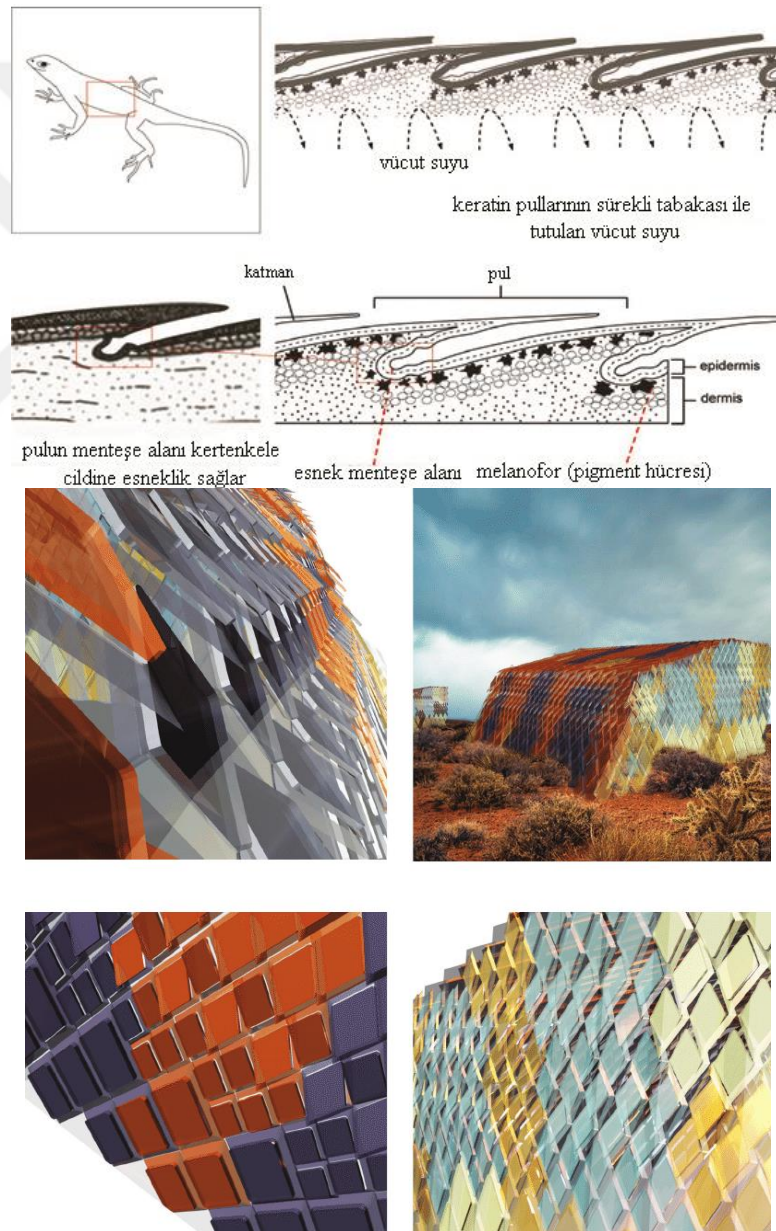
Çizelge 4.7. CH2 Ofis Binası değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Melbourne, Avustralya	Kullanım : Ofis
Yapım Yılı: 2004-2006	İklim Tipi: Okyanus iklimi
Mimar: DesignInc	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma:  Termit, ağaç
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input checked="" type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : Kontrollü pencere açıklıkları, havalandırma kanalları <input checked="" type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : Cephe panelleri <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: Ağaç epidermisinin havalandırma mekanizması <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı: Termit höyüklerinde delikler <input checked="" type="checkbox"/>
	gözenekli dış yüzey ile ısı düzenleme
	Işık: Işık geçirgenliği(ağaç kabukları) <input checked="" type="checkbox"/>
	Su: <input type="checkbox"/>
	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	
1. Tek tabakalı: Basit cephe <input checked="" type="checkbox"/>	
2. Çift tabakalı: Doğal havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>	
3. Diğer: Farklı cephelerde farklı sistemler <input checked="" type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input checked="" type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input checked="" type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input checked="" type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Hava %100 filtrelenmiştir, doğal aydınlatma ve havalandırma %65 tasarruf etti. <input checked="" type="checkbox"/>

4.8. 'S.C.A.L.E.S.' Akıllı, Sürekli, Aktif, Katmanlı, Çevresel, Sistem Projesi

S.C.A.L.E.S. (akıllı, sürekli, aktif, katmanlı, çevresel, sistem) Yan lekeli kertenkelenin (*Uta stansburiana*) özelliklerinden ilham alan bir projedir.

Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsünde Ilaria Mazzoleni (2010, 2011) önderliğinde bir grup mimarlık öğrencisi tarafından hayvan biyolojisi analiz edilmiştir. Bu çalışmalardan biri olan Yuan Yuan ile Juan San Pedro tarafından, bir tür kertenkelenin çöl iklimi için davranışlarını taklit eden ve kertenkele cildinin fizyolojik özelliklerini kullanarak yapı kabuğu tasarlanmıştır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Kertenkele deri analizi ve S.C.A.L.E.S. Projesi, (Mazzoleni,2010).

Kertenkelenin pulları ayrı değil, bir sürekli epidermal tabaka üzerinde yer almaktadır. Tabaka, ince keratin malzemesinin dayanakları ile birbirine bağlanan her örtüşen pulu oluşturur. Pullar, vücut kısmının yaşadığı hareket derecesine göre farklı şekillerdedir. Kertenkelenin daha fazla hareket deneyimleyen vücut kısımları, diğer daha az hareketli parçalara göre daha küçük ölçekli pullara sahiptir (Mazzoleni,2010).


Ten rengi deseni tipik olarak güneş ışığının emilmesi için kertenkelenin arkasında koyu renk ve yerden ısıyı yansıtan karın üzerinde açık bir renktir. Derinin özelliklerine ek olarak, kertenkelenin davranışları ısı düzenlemeye katkıda bulunmaktadır. Kertenkele, vücut yüzeyini ısı emilimi için güneş ışığına dik veya ısı birikimini önlemek için parmaklarını kıvrırken güneş ışığına paralel olarak ayarlamaktadır. Aşırı ısındığında soğuması için gölgede saklanmaktadır (Mazzoleni,2010).

Çöldeki kertenkeleye benzer şekilde, tasarımın asıl kaygısı, sakinlerin sıcak, kurak günlerde ve soğuk gecelerde ısı düzenlemenin sağlanmasıdır.

Yapının sahası, Palm Springs, California'dadır ve 24 saatlik bir süre içerisinde maksimum sıcaklıklarda gerçekleştirilecek şekilde tasarlanmıştır. Kertenkele cildinin fizyolojik görünüşü yapının cephelerini tasarlamada bilgi vermektedir. Kertenkelenin davranışsal yönleri binanın "akıllı" güneş izleme sistemine çevrilmektedir ve hidrolik sistem tarafından çalıştırılmaktadır (Mazzoleni,2010).

Kertenkelenin vücudundaki işleve ve konuma göre sayı, şekil ve kalınlık bakımından çeşitlilik gösteren pulları sürekli bir yüzeyle bağlantılıdır. Tasarlanan binada ise kullanılan membran, bu yaklaşımla oluşturularak yönünde ve boyutlarında değişiklik yapabilen özel fotovoltaik panellerden oluşmaktadır. Bu da kullanıcının konfor ihtiyacını karşılamaya yardım ederek ısı düzenlemeyi sağlamaktadır.

Çizelge 4.8. S.C.A.L.E.S. Projesi değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Palm Springs, California	Kullanım :
Yapım Yılı: 2010	İklim Tipi: Kurak ve yarı çöl iklimi
Mimarı: Y.Yuan, J.San Pedro, I. Mazzoleni	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma: 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input checked="" type="checkbox"/>	Yan lekeli kertenkele
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : <input type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input checked="" type="checkbox"/>
4. Element : Fotovoltaik paneller <input checked="" type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme: <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: Cilt rengi ve davranış ile ısı düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: Güneş ışığına göre yer değiştirme <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Su: <input type="checkbox"/>
3. Diğer: Yapı cepheleri için yenilikçi bir membran <input type="checkbox"/>	Diğer: Kertenkele pullarının sürekli bir yüzeyle bağlı olması özelliği <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input checked="" type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	<input type="checkbox"/>

4.9. Esplanade Sanat Merkezi

İki büyük tiyatro binası, açık hava sahneleri, ofisleri ve dairelerinden oluşan bir sanat merkezidir.



Şekil 4.21. Esplanade Sanat Merkezi (Web iletisi 38)

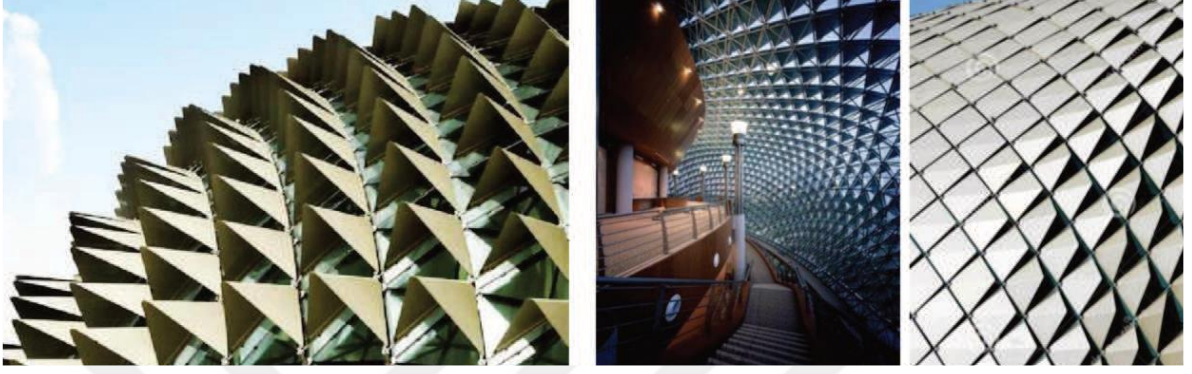
Binanın gölgelendirme sistemi iki unsurdan esinlenmiştir: Singapur'da yerel bir meyve olan durian meyvesi ve bu yere ait olmayan kutup ayısı (A. Mohamed vd., 2019).



Şekil 4.22. Durian meyvesi ve dikenleri, kutup ayısı ve kürkü

Durian bitkisi, içindeki tohumları ısıdan ve doğrudan güneş ışığından korumak için cildinin her yerinde çıkıntılar gibi bir dikene sahiptir. Bu dikenler durian bitkisinden taklit edilen gölgeleme elemanları olarak işlev görmektedir. Kutup ayısının aslında şeffaf kıl köklerinden ve siyah tenden oluşan beyaz bir kürkü vardır. Bu şeffaf kıl dik olduğunda, güneş olduğunda güneşin içeri girmesini ve siyah deri tarafından emilmesini ve aksi takdirde normal pozisyonuna dönmesini sağlamaktadır. Kutup ayısından taklit edilen budur, çünkü bu binadaki kutup ayısının aksine ısı istenmemektedir (A. Mohamed vd., 2019).


Bunlar yapıda Şu Şekilde yorumlanmıŐtır; alüminyum gölgeleme cihazları, güneş ışığı ve ışık yoğunluğuna göre gölge sağlamak ve dia doğru bir uzantı yapmak için durian meyve dikenleri gibi fotovoltaik sensörler vasıtasıyla güneş ıŐınlarına ve ışık yoğunluğuna göre hareket ederek, sanat merkezinin iç alanını korumaktadır (Bezemer, 2009).



Şekil 4.23. Durian meyvesindeki dikenlere benzeyen çıkıntılar ve kutup ayısı kılı gibi sensörler aracılığıyla hareketleri (A. Mohamed vd., 2019)

Harici gölgeleme sistemi (alüminyum gölgeleme cihazları) iç mekanlara gün boyu gölge sağlamıştır, doğal gün ışığı ve minimum ısı sağlamıştır ve HVAC seviyesini düşürmüŐtür (A. Mohamed vd., 2019).

Çizelge 4.9. Esplanade Sanat Merkezi Binası değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Singapur	Kullanım : Sanat merkezi
Yapım Yılı: 1995-2002	İklim Tipi: Tropikal iklim
Mimarı: Michael Wilford, Russell Johnson	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; Durian meyvesi, kutup ayısı kolları 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input checked="" type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen:Gölgeleme elemanları <input checked="" type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	2. Biyomimikri Yaklaşımı
1. Tek tabakalı: Giydirme cephe <input checked="" type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
3. Diğer: <input type="checkbox"/>	
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: <input type="checkbox"/>
	Isı: Durian meyvesi ısı ve ışık yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık: Kutup ayısı kollarının ışığa tepkisi <input checked="" type="checkbox"/>
	Su: <input type="checkbox"/>
	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input checked="" type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Yapay aydınlatma %55, enerji kullanımı %30 azalmıştır. <input checked="" type="checkbox"/>

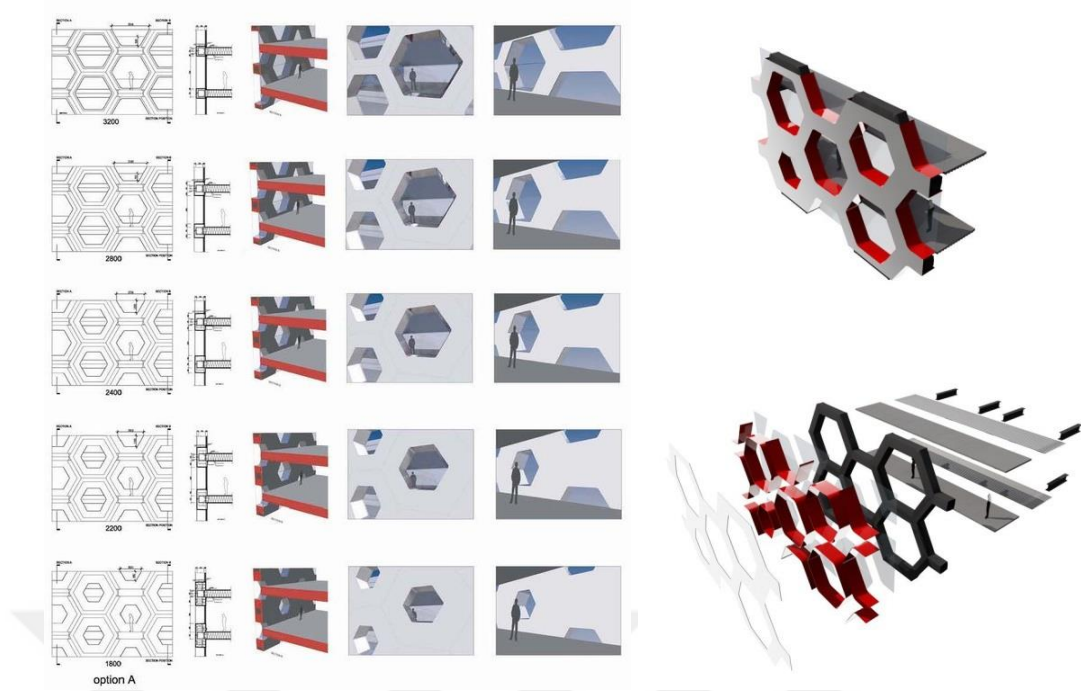
4.10. 'Sino Steel' Uluslararası Plaza

İnşası 2008 yılında Çin, Tianjin' de başlamıştır ancak yapımına 2012'de ara verilmiştir 2017' de yeniden başlanmıştır. Sino Steel Uluslararası Plaza tamamen camdan yapılmış yüksek katlı ticari bir yapıdır. MAD Mimarlık tarafından tasarlanan yapı, Şekil 4.24' de gösterildiği gibi 358 metre yüksekliğindeki bir ofis kulesi ve 88 metre yüksekliğindeki bitişik otelden oluşmaktadır.



Şekil 4.24. Sino Steel Uluslararası Plaza (Web iletisi 39)


Bu yapının tasarımındaki problem, en az miktarda malzeme kullanan hafif bir yapı tasarlamak ve ayrıca çok fazla ışığa izin verirken ısıyı pasif olarak düzenlemektir. Binanın tasarımının en uygun çözüm olan altıgen formlu bal peteği yapısından ilham alınmıştır. Bu, cephe sisteminin tasarımına uygulanmıştır (A. Mohamed vd., 2019) (Şekil 4.25.).



Şekil 4.25. Sino Steel Uluslararası Plaza cephe sistemi tasarımı (Web iletisi 39)

Petekten esinlenen desen, binanın güneş ve rüzgâr yönü örüntülerine yanıt verdiği için binanın enerji açısından verimli olmasını sağlamıştır. Sahadaki farklı hava akışlarını ve güneş yönünü haritalandırarak, kışın ısı kaybını ve yaz aylarında ısı kazanımını en aza indirmek için farklı büyüklükteki pencereler buna göre konumlandırılmıştır (A. Mohamed vd., 2019).

Çizelge 4.10. Sino Steel Uluslararası Plaza Proje değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Çin	Kullanım : Ofis, Otel
Yapım Yılı: 2008/...	İklim Tipi:
Mimarı: MAD	Diğer Bilgiler: Yapımına ara verilmiştir.
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; Bal peteği 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem (Yapımı devam ediyor) <input checked="" type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : Pencereler <input checked="" type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme: <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: <input type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: Giydirmeye cephe <input checked="" type="checkbox"/>	Işık: <input type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Su: <input type="checkbox"/>
3. Diğer: <input type="checkbox"/>	Diğer: Bal peteği formunun işlevsel özellikleri <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme (hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Altgen form minimum enerji kullanır. Enerji tasarrufu %75. <input checked="" type="checkbox"/>

4.11. 'Hygroskin', İklim Duyarlı Pavilyon




Şekil 4.26. Hygroskin projesi (Web İletisi 40)

HygroSkin (İklim Duyarlı Pavilyon) projesi, iklime duyarlı mimarinin yeni bir modunu araştırmaktadır (Şekil 4.26.). Proje malzemenin kendisinin duyarlı kapasitesini kullanmaktadır. Ahşabın nem içeriği ile ilgili boyutsal dengesizliği, hava değişikliklerine cevaben özerk bir şekilde açılan ve kapanan, ancak operasyonel enerjisinin tedarikini veya herhangi bir mekanik veya elektronik kontrol gerektirmeyen, iklim-duyarlı bir mimari cilt oluşturmak için kullanılmıştır. Burada, malzeme yapısının kendisi makinedir.

Doğa, iklimsel etkilerle etkileşime giren çok çeşitli dinamik sistemleri geliştirmiştir. Mimari için, özellikle ilginç bir yol, ladin kozalaklarında gözlenebilen neme dayalı harekettir. Aktif hücre basıncı değişiklikleriyle üretilen diğer bitki hareketlerinden farklı olarak, bu hareket nem değişikliklerine pasif bir tepki ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle, herhangi bir duyusal sistem veya motor işlevi gerektirmemektedir. Hareket, herhangi bir metabolik fonksiyondan bağımsızdır ve dolayısıyla herhangi bir enerji tüketmemektedir. Burada, duyarlı kapasite, malzemenin higroskopik davranışına ve kendi anizotropik özelliklerine özgüdür. Anizotropi, bir malzemenin özelliklerinin yönsel bağımlılığını belirtir. Higroskopiklik, bir maddenin kuru iken atmosferden nemi alma kabiliyeti ve ıslandığında atmosfere nem vermesi

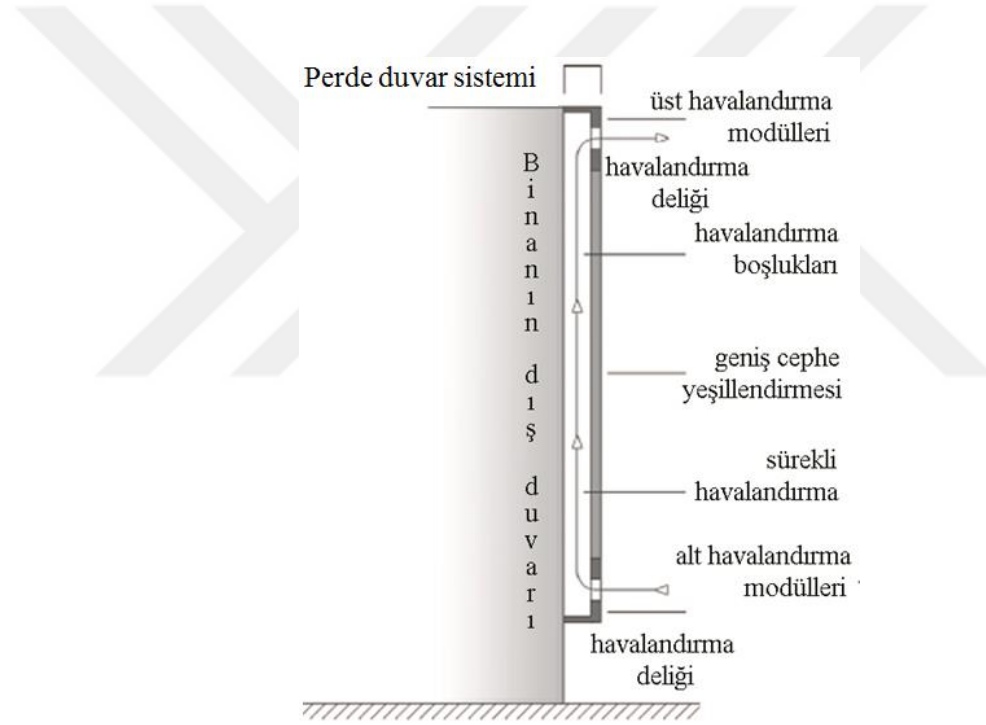
Çizelge 4.11. Hygroskin (İklim Duyarlı Pavilyon) Projesi değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Fransa	Kullanım : Pavilyon
Yapım Yılı: 2011-2013	İklim Tipi: Sıcak ve ılıman iklim
Mimarı: Achim Menges	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma: Ladin kozalağı 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input checked="" type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen: <input type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : İklim duyarlı mimari kaplama <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
5. Malzeme: <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
	Biyolojiden tasarıma <input checked="" type="checkbox"/>
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: <input type="checkbox"/>
	Isı: İklim değişikliğine bağlı pasif açma kapama mekanizması <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık: <input type="checkbox"/>
	Su: <input type="checkbox"/>
	Diğer: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	
3. Diğer: İklim duyarlı yenilikçi mimari cilt <input checked="" type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input checked="" type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Sistemin çalışması için enerji gerekmez. <input checked="" type="checkbox"/>

4.12. Doğal Havalandırmalı Perde Duvar

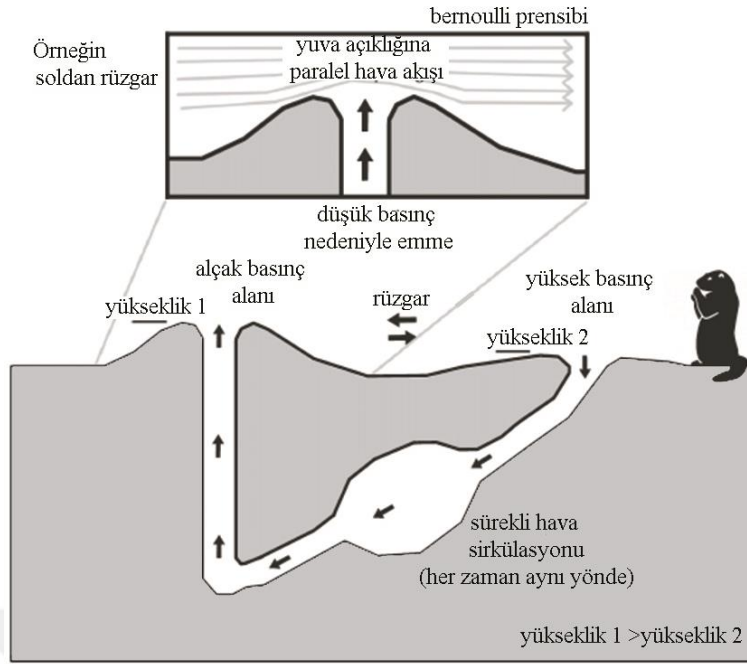
Michael Johann Paar ve Alexander Petutschnigg tarafından bir binanın dış duvarlarının doğal olarak soğutulmasına izin vermek, böylece şehirlerimizdeki ısı adası etkisini azaltmak için cephe yeşillendirmenin umut verici özellikleri ile birleştirilebilecek biyomimetik bir cephe tasarımı çalışmasını ortaya koymuştur.

Cephe tasarımının arkasındaki temel konsept, uyarlanabilir bir perde duvar sistemidir (bina yüzeylerinin bölümlendirilmesiyle ilgilidir). Yukarıya ve aşağıya yerleştirilmiş havalandırma modülleri ile cephe ve dış bina duvarı arasındaki boşlukta sürekli hava sirkülasyonu sağlanmıştır. Aynı zamanda yüzey yeşillendirmesi ile de birleştirilebilmektedir (Şekil 4.28.).



Şekil 4.28. Cephe tasarımının temel konsepti

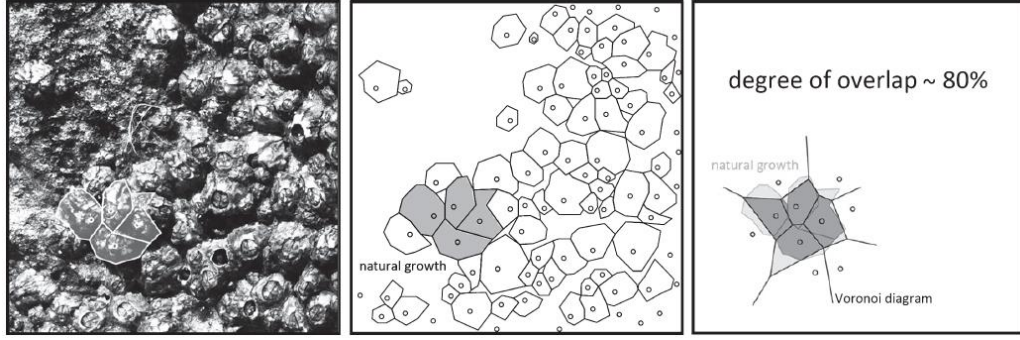
Tasarımda çayır köpeği yuvalarından ilham alınmıştır. Çayır köpeği yuvalarının inşası, enerji tasarrufu ve kaynakları en üst düzeye çıkarmaya dayanmaktadır; rüzgâr kaynaklı, sürekli hava sirkülasyonu gibi kolay ve gelişmiş bir sisteme sahiptirler (Şekil 4.29.).



Şekil 4.29. Çayır köpeği yuvalarında hava dolaşımı prensibi (*Cynomys ludovicianus* için geçerlidir). (Steven Vogel'e göre Michael J. Paar, 2016)

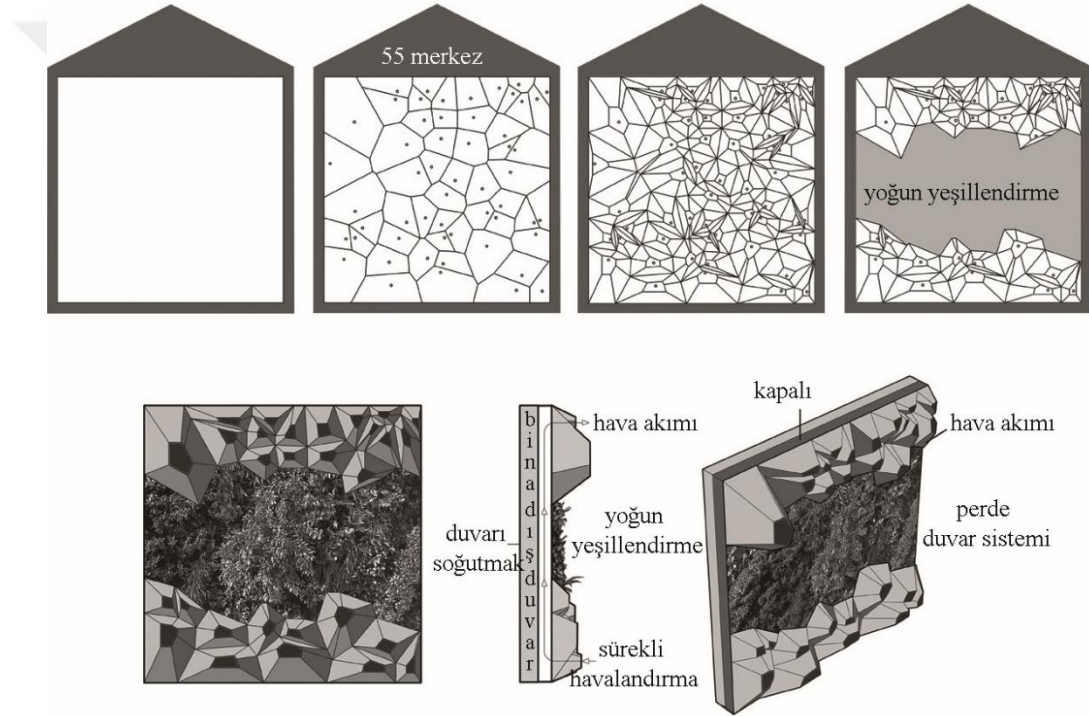
Çayır köpekleri (*Cynomys*), özellikle yaz aylarında hava beslemesinin soğutulmasını kolaylaştıran, yuvalarında amaca yönelik inşa edilmiş bir geçiş sistemi yaratmaktadır (Nachtigall, 2002), Bernoulli prensibinden faydalanmaktadır.

Sürekli hava sirkülasyonu sağlamak için, çayır köpeklerinin girişi farklı yüksekliklerde olan yuvaları vardır (Şekil 4.29.). Kanal sisteminin yüksek ucunda, diğer yandan, oyuktaki kullanılmış havayı emen alçak basınç alanı vardır. Bu düzensiz yuva giriş çıkışlarının yapıları araştırılmıştır ve bunu tasarıma uygulayabilmek için kaya midyesi kültürlerinin modüler büyüme yapısından ilham alınmıştır. Bunlar suda yaşayan, sapsız ve hareketsiz canlılardır. Sadece grimsi beyaz kesik koni biçimleri dıştan görülmektedir. Kendilerini birbirine yakın paketlenmiş sert yüzeylere yapıştırırlar (Bertness vd., 1992). Daha sonra yetişkin bir kaya midyesi, dört ila sekiz kalkerli bir plaka oluşturur ve bu da yumuşak gövdelerini kesik bir koni şeklinde çevreleyen çokgen bir tabanla sonuçlanmaktadır ve bu voronoi diyagramının arkasındaki prensibe çok benzemektedir (yaklaşık %80) (Şekil 4.30.).



Şekil 4.30. Barnacle kültürlerinin büyümesi ile Voronoi diyagramı arasındaki benzerlikler (Paar ve Petutschnigg, 2016).


Yukarıdaki bulgulara dayanarak, şehirlerde ısı adası etkisini en aza indirmeyi amaçlayan uyarlanabilir perde duvar tasarlanmıştır (Şekil 4.31.).



Şekil 4.31. Kare bir cephe yüzeyi örneğini kullanarak aşamalı bir inşaat şeması

Bu tasarım, binanın dış duvarı ile cephe arasındaki havalandırma boşluğunda rüzgâr tarafından üretilen sürekli bir hava sirkülasyonunu kolaylaştırmalı ve duvar yüzeyini soğutmalıdır. Proje laboratuvar ortamında test edilmiştir. Bulgulara göre tasarım cephe yeşillendirmesinin ek doğal soğutma etkisi ile birleştiğinde, şehirlerdeki ısı adası etkisini en aza indirmek için doğal bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Konseptin, ısı adası etkisini azaltması ve binaların yapay olarak soğutulmasıyla ilişkili enerji gereksinimleri ve sera gazı emisyonlarındaki azalmaları, sağlayacağı öngörülmektedir (Paar, Petutschnigg, 2016).

Çizelge 4.12. Doğal havalandırılmalı perde duvar projesi değerlendirmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri:	Kullanım :
Yapım Yılı: 2016	İklim Tipi:
Mimar: M. Paar, A. Petutschnigg	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	Çayır köpekleri, kaya midyesi
3. Laboratuvarda test edilmiş <input checked="" type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
1. Bina bölümü: Perde duvar <input checked="" type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen: <input type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
5. Malzeme : <input type="checkbox"/>	Hava: Çayır köpekleri hava sirkülasyonu <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Isı: Çayır köpekleri yuvası ısı düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Işık: <input type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Su: <input type="checkbox"/>
3. Diğer: Var olan cepheye eklenebilen perde duvar sistemi (Yeşil cephe olabilir) <input checked="" type="checkbox"/>	Diğer: Kaya midyeleri formunun hava hareketine katkı sağlaması <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input checked="" type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtma <input type="checkbox"/> Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/> Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input checked="" type="checkbox"/> Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/> Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Ger döngü <input type="checkbox"/>
Diğer:	Binaların yapay olarak soğutulması ile ilişkili enerji gereksinimlerinin azaltılması <input checked="" type="checkbox"/>

4.13. Biyolojiden İlham Alan: Havalandırma Sistemi Gibi Çalışan Cilt

Badarnah, Knaack, (2007), tarafından farklı görevler için birçok canlıda bulunabilen bazı solunum organizmaları ve dolaşım sistemleri (hava değişimi) incelenmiş, organizmaların geliştirdiği stratejilerin ana yöntem ve ilkeleri belirlenmiş ve zarfı geliştirmek için soyutlanıp, dönüştürülmüştür. Bu bağlamda asknoid sünger, bazı solunum sistemleri, deniz süngerinin iskeleti ve yüzeyi incelenmiştir.

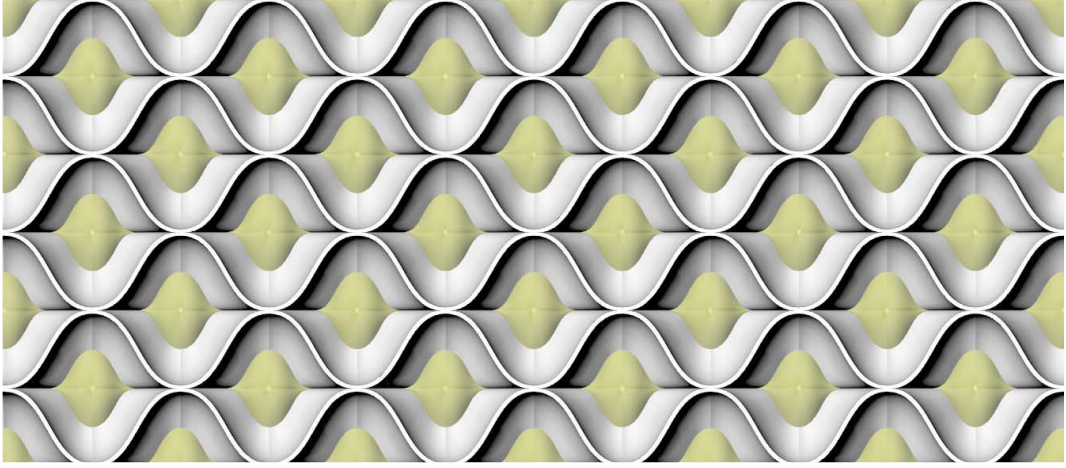
Asknoid sünger: Sünger, zarfın üzerindeki emici zarlardan oluşmaktadır. İçlerinden yiyecekler çıkarır ve suyu ortadaki bir atriyumdan dışarı atmaktadırlar (su sirkülasyonu). Canlıdan ilham alınarak soyutlanan özellikler; dolaşım, membranlar, emme, atma, atriyum, hücreler, pompalama vb. dir (Badarnah, Knaack, 2007).

Solunum sistemleri (solungaçlar, akciğerler, trakealar gibi): Birçok canlı organizma vücutlarında hava alışverişi için bir mekanizmaya sahiptir (soluma ve nefes verme). Bunlar araştırılmış ve bunu sağlayan sistemlerin özellikleri soyutlanmıştır ve bunlar; gaz değişimi, dokular, katlanma, yüzey alanı, kaslar, emme, çıkıntılar, tüpler, difüzyon, genişleme, kasılma vb. şeklinde belirlenmiştir (Badarnah, Knaack, 2007).

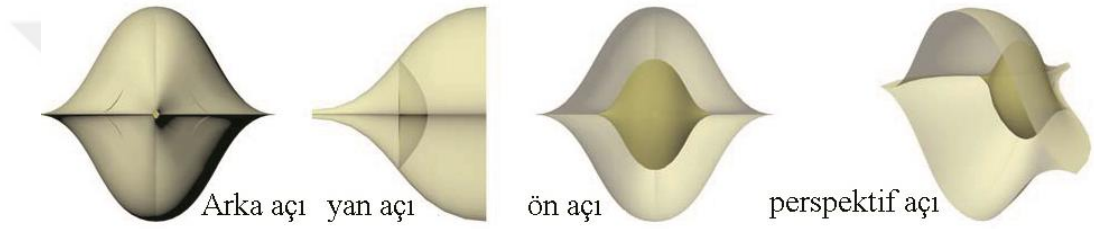
Deniz süngerinin iskeleti: İskeletin lifleri, iskeleti güçlendirmek için diyagonal liflerle düzenli veya çapraz bir desenle üst üste binmektedir. Buradan çıkan soyutlama özellikleri; sarmal benzeri yapı, üst üste binme, lifler, iskelet, optimizasyon vb. dir (Badarnah, Knaack, 2007).

Deniz süngerinin yüzeyinden, farklılaşma, kesintisiz darbe, hareketler, miller, gözenekler, kanal sistemi, geçirgen yapı ilkeleri soyutlanmıştır (Badarnah, Knaack, 2007).

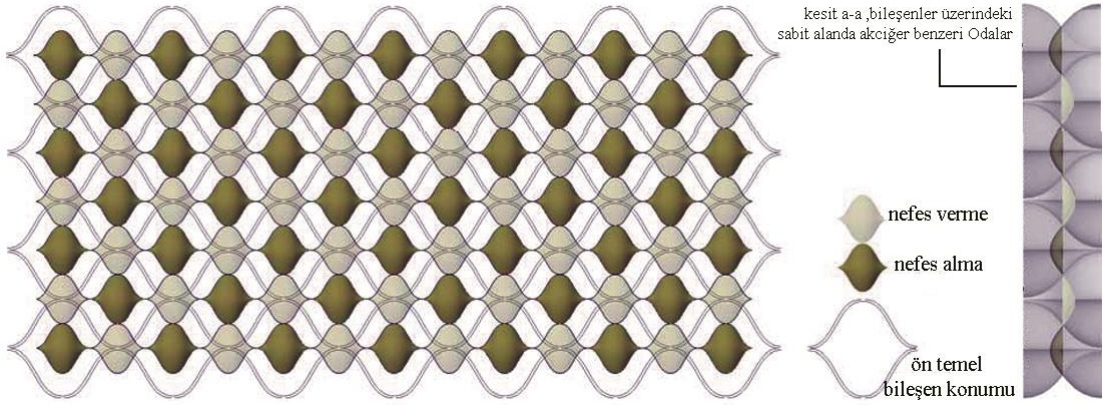
Havalandırma veya sirkülasyon işlemleri yapan doğal sistemler incelenip, analiz edilmiş ve bu sistemlerin dayandığı ilkeler ve yöntemler soyutlanmıştır. Sonuç olarak solunum ve nefes verme işlemini gerçekleştirmek için değişen koşullara tepki veren ve yüzeydeki hava basıncını etkileyen bir cilt geliştirilmiştir (Şekil 4.32). Birçok küçük aktif ünitenin (temel bir bileşen) oluşturduğu hava değişimi için genişletilmiş bir yüzey alanı sağlamaktadır (Şekil 4.33). Cildin değişim yüzeyinin artırılması, havalandırmayı iyileştirmektedir. Sistem, alanı ve malzemeleri verimli bir şekilde kullanmak için temel bir bileşenin özel bir düzenlemesiyle oluşturulmuştur. Bileşenlerin yönelimi ve geometrisi, iç mikro iklimlerin düzenlenmesi ile sonuçlanan soluma ve nefes verme işlemini gerçekleştirmek için deformasyonlara izin vermektedir (Badarnah, Knaack, 2007) (Şekil 4.34).



Şekil 4.32. Bilgisayarda oluşturulan görünüm (Badarnah, Knaack ,2007)



Şekil 4.33. Arka, yan, ön ve perspektif açılardan aktif temel bileşen (Badarnah, Knaack ,2007)



Şekil 4.34. Arka, yan, ön ve perspektif açılardan aktif temel bileşen (Badarnah, Knaack ,2007)

Yapılara entegre edilebilen bir gaz değişim işlemi gerçekleştiren cilt, binaların yenilenmesi için kurulum ve entegrasyon araçları ile, iç mekanlara daha az müdahale ile sonuçlanmaktadır. Sunulan solunum sistemini geliştirerek ayrı bir havalandırma sistemi ile değil, aynı zamanda koruyucu bir tabaka olarak da işlev gören bina zarfının ayrılmaz bir parçası olan bir sistem tasarlanmıştır. Bu şekilde malzeme ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Geliştirilen cilt, çevresel değişikliklere tepki vermeyi sağlayan bir geometri

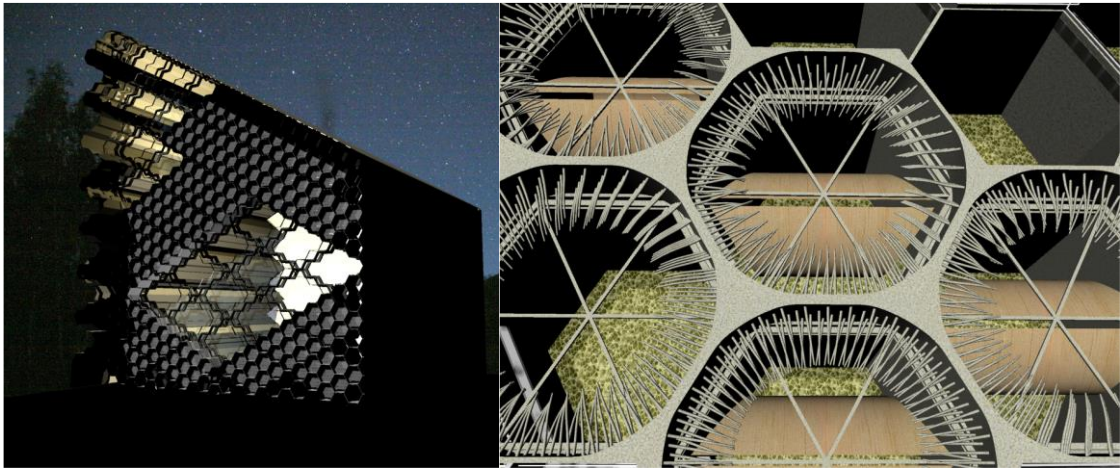
ve bütünlüğe sahiptir. Cilt için kullanılan elastik malzeme, sürekli tepki vermeyi ve değişmeyi sağlamak için önemlidir (Badarnah, Knaack, 2007).

Çizelge 4.13. Bina cepheleri için biyolojiden ilham alan: havalandırma sistemi gibi çalışan cilt proje değerlendirmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri:	Kullanım :
Yapım Yılı: 2007	İklim Tipi:
Mimar: Badarnah L., Knaack U.	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma;
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input checked="" type="checkbox"/>	Çeşitli süngerler, solunum sistemleri
3. Laboratuvarında test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
2. Bileşen :Dış cephe aktif bileşen <input checked="" type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen : <input type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	
5. Malzeme :Yenilikçi elastik malzeme <input checked="" type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	2. Biyomimikri Yaklaşımı
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Biyolojiden tasarıma <input type="checkbox"/>
3. Diğer: Yapılara entegre edilebilen, gaz değişim işlemi gerçekleştiren ikincil cilt havalandırma sistemi gibi çalışır. <input checked="" type="checkbox"/>	
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: Solunum sistemleri, deniz süngeri; hava hareketi, gaz değişimi <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı: <input type="checkbox"/>
	Işık: <input type="checkbox"/>
	Su: Asknoid sünger su sirkülasyonu <input checked="" type="checkbox"/>
	Diğer: Deniz süngeri yüzey/hacim oranı farklılaşması, şekilsel özellikleri <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer: Değişen koşullara tepki veren ve yüzeydeki hava basıncını etkileyen cilt. Alan , malzeme ve enerji tasarrufu <input checked="" type="checkbox"/>	

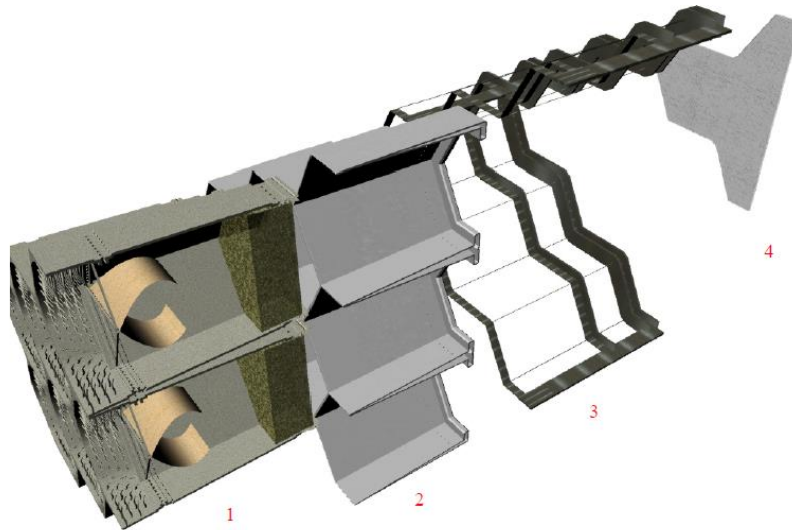
4.14. Stoma Tuğlası ‘Stoma Bricks’ Projesi

Bina zarfları için bir buharlı soğutma sistemi (Stoma Brick -SB) (şekil 4.35) olarak, birkaç doğal sistemin prensiplerine dayanarak tasarlanmıştır. Bunlar arasında bir bitkinin stoması (ozmotik basınç buharlaşma kontrol açıklıklarını değiştirir), çam kozalakları (bağıl nem değişiklikleri malzeme deformasyonuna neden olur), göz çevresindeki kıllar (toz ve kum gibi küçük parçacıklara karşı koruma) ve insan derisi (derinin gizli ısı transferi özelliği ile buharlaşma yoluyla soğutma) bulunmaktadır (Badarnah vd, 2010).



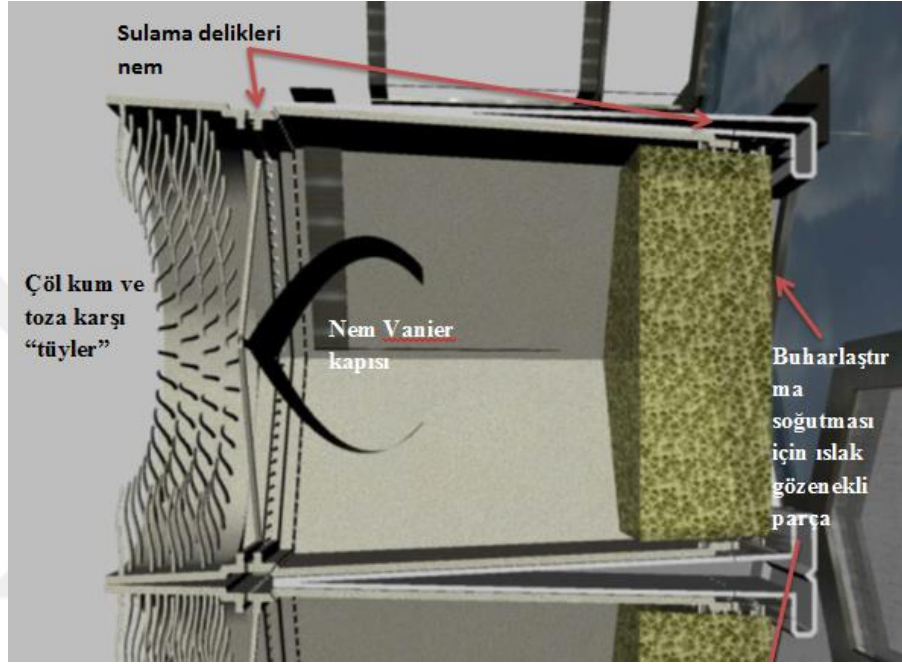
Şekil 4.35 ‘Stoma Bricks’ dış cephe görünümü (Farchi Narchman, 2009).

Sistem dört entegre parçadan oluşur (Şekil. 4.36):



Şekil 4.36. Sistemin dört entegre parçası (Farchi Narchman, 2009)

1. Stoma Brick (Stoma Tuğlası)- SB (Şekil 4.37.): Gözenekli malzemeden yapılmış ısı düzenleme için fonksiyonel kısımdır. Zarftan geçen havayı filtrelemek için dışı kılıklı bir yapı tabakasına sahiptir. Nem değişimine göre açılma / kapanmayı kontrol etmek için bir kaplama panjuru bulunmaktadır ve en iç kısımda buharlaşmayı sağlamada nemi tutmak için süngerimsi bir katman vardır (Badarnah vd, 2010).

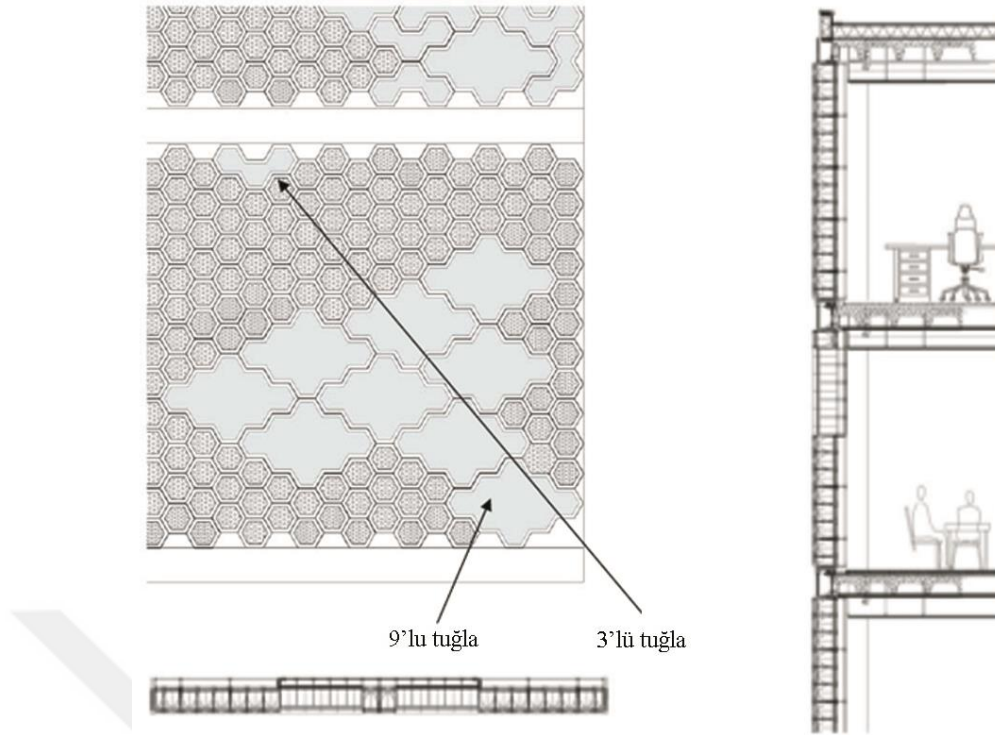


Şekil 4.37. Stoma Brick (Farchi Narchman, 2009).

2. Mono-tuğla: Dikey olarak sürekli bir performans sağlamak için mono-tuğlaya yerleştirilen SB' lerin deliklerinden sulanan bir sulama döngüsü içermektedir. Bu sistemde 3'lü SB ya da 9'lu SB, olması belirli zarf tasarımındaki konumlarına bağlıdır (Şekil 4.38),

3. Çelik çerçeve: soğutma sisteminin yük taşıyan yapısı,

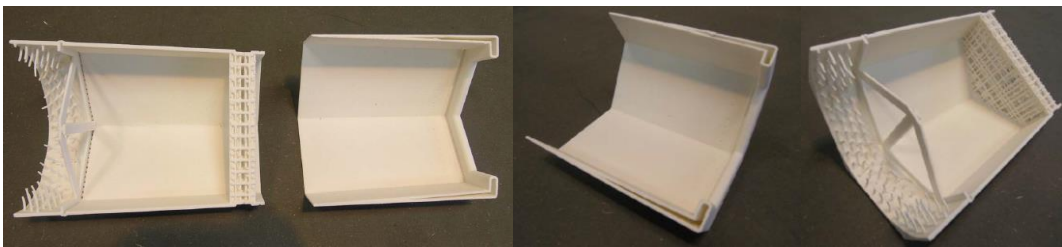
4. İç tabaka: Hava temizleme için HEPA filtre veya dış ortamla aydınlatma ve görsel temas için çift akrilik camdan oluşmaktadır (Badarnah vd, 2010).



Şekil 4.38. 3'lü SB ya da 9'lü SB 'nin sistemde görünümü, sistem plan ve kesiti (Farchi Narchman, 2009)

Sistem sıcak ve nemli havalarda çalışmaktadır: nemlendirildiğinde kaplama panjuru deforme olur, bu da havanın süngerimsi yapıdan içeri girmesini sağlamaktadır. Sıcak ve kuru havalarda sistem farklı şekilde çalışmaktadır: sulama döngüleri, deformasyona neden olmak ve havanın nemlendirilmiş süngerimsi yapıya girmesine ve içinden geçmesine izin vermek için kaplama panjurunun üzerine düşmesine izin verilmesiyle etkinleştirilmiştir. Sonuç olarak, giren kuru hava iç boşluğa ulaştığında nemli olmaktadır.

Soğuk ve kuru havalarda, süngerimsi yapı ısı kaybını azaltan bir yalıtım tabakası görevi görmektedir. Sıcak ve kullanılmış hava, tavana yakın üst bloklar tarafından dışarıya sürülmektedir (Badarnah vd, 2010).



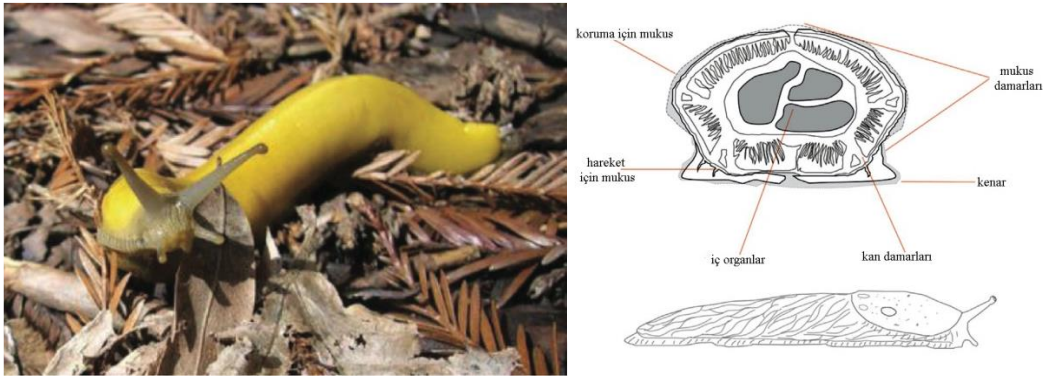
Şekil 4.39. Stoma Brick'in hızlı bir prototipi (Farchi Narchman, 2009).

Çizelge 4.14. Stoma Tuğlası, 'Stoma Bricks' Proje değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri:	Kullanım :
Yapım Yılı: 2010	İklim Tipi: Kurak iklimler için
Mimarı: Badarnah L., Knaack U., Nachman Farchi Y.	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma; Bitki stoması, çam kozalakları, göz çevresindeki kıllar, insan derisi
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input checked="" type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
2. Bileşen :Stoma tuğlalarından oluşan dış cephe parça birimi <input checked="" type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen: <input type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
5. Malzeme: Yenilikçi stoma tuğlası <input checked="" type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input checked="" type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	Biyolojiden tasarıma
	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
	Hava: <input type="checkbox"/>
	Isı: Derinin gizli ısı transferi özelliği <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık: <input type="checkbox"/>
	Su: Çam kozalaklarının ne değişikliğine tepkisi, stomaların ozmotik basınçla hareketi <input checked="" type="checkbox"/>
	Diğer: Göz çevresindeki kılların toz ve kuma karşı koruması <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	
3. Diğer: Yenilikçi malzemenin biraraya gelmesiyle oluşturulan uyarlabilir cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme (hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input checked="" type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input checked="" type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü <input checked="" type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer: Kurak iklimler için verimli bina zarfı <input checked="" type="checkbox"/>	

4.15. Uyarlanabilir, Geçirgen Bina Zarfı (Ilaria Mazzoleni Öğrenci Projesi)

Ilaria Mazzoleni önderliğinde 2010 akademik yılı boyunca Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsü'ndeki öğrencilerle akademik iş birliğinden doğan toplu bir araştırma sonucunda ortaya çıkan bir dizi örnek proje tasarlanmıştır. Bunlardan biri de Maya Alam ve Astrı Bang'ın muz sümüklüböceğinden (*ariolimax columbianus*) esinlenerek, uyarlanabilir, geçirgen bir bina zarfı için geliştirdiği tasarımıdır (Mazzoleni vd., 2011).



Şekil 4.40. Habitatında muz sümüklüböceği (*ariolimax columbianus*) ile kesit ve görünüşü (Mazzoleni vd., 2011).

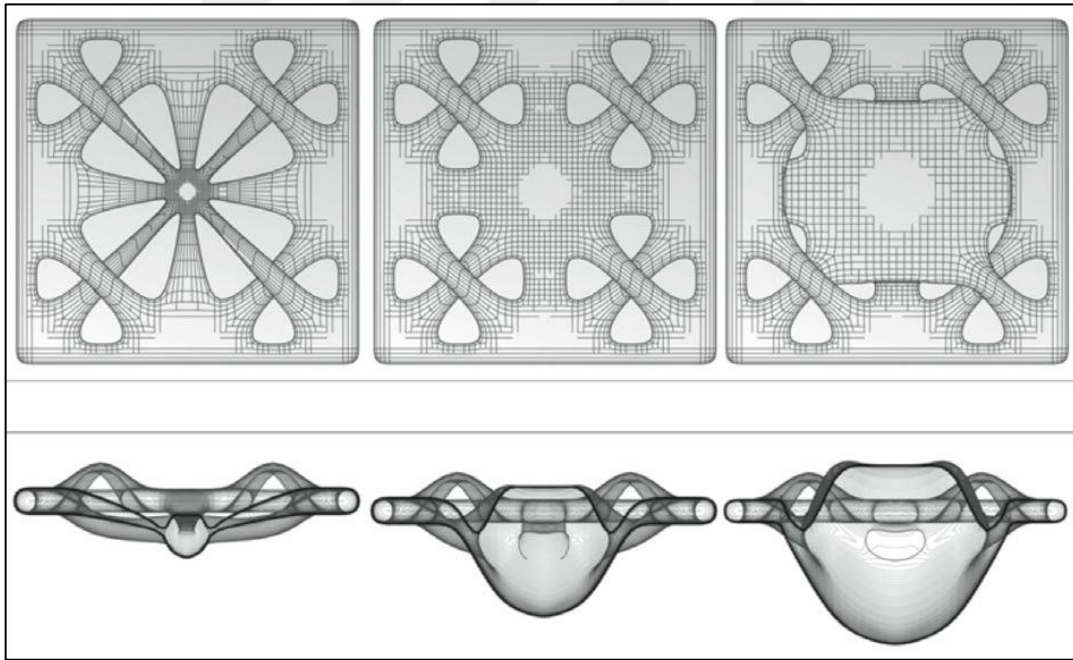
Sümüklüböceklerin ciğerleri olmasına rağmen, bu nefes almak için yeterli değildir. Bu nedenle, gazların kolayca geçebileceği kadar ince bir cilde sahiptirler. İnce geçirgen bir cilt, yaşam için gerekli bir durum olan damarlardaki kan ile dış hava arasında oksijen ve karbondioksitin değiştirilmesini sağlamaktadır. Akciğer solunumunda ikincil bir rol oynamaktadır (Mazzoleni vd., 2011).

Sümüklüböceğin derisi daima ıslak olmalıdır, yoksa boğulurlar. Bu yüzden muz sümüklüböceği kurumayı en aza indireyken bir mekanizma olarak ince kuru bir mukus tabakası ile kendini kaplayabilmektedir. Mukus higroskopiktir, yani su moleküllerini çevredeki ortamdan çekmektedir. Sıcak havalar gibi elverişsiz hava koşullarında muz sümüklüböceği, kendini yaprak çöpünün altına gömdüğü ve vücudunu çevreleyen bir mukus tabakası salgıladığı tahmin edilmektedir. Bu, kurumayı önlemek için böceğin uzun süre pasif kalmasını sağlamaktadır (Mazzoleni vd., 2011).

Ekip sümüklüböceği araştırırken, zarfta odaklanmak istedikleri dört özellik bulmuştur: gözeneklilik (deriden nefes alma geçirgenliği), koruma (sümüklüböceğin hem kurumaya hem de yırtıcılara karşı korunmasındaki mukus kısmı), dinamik (sümüklüböceğin nem ve sıcaklıktaki değişikliklere uyum sağlama yeteneği) ve

homeostaz (denge ve doğa ile iletişim). Bu ipuçlarıyla ekip, uyarlanabilir, geçirgen bir bina zarfı için tasarım geliştirmiştir (Mazzoleni vd., 2011).

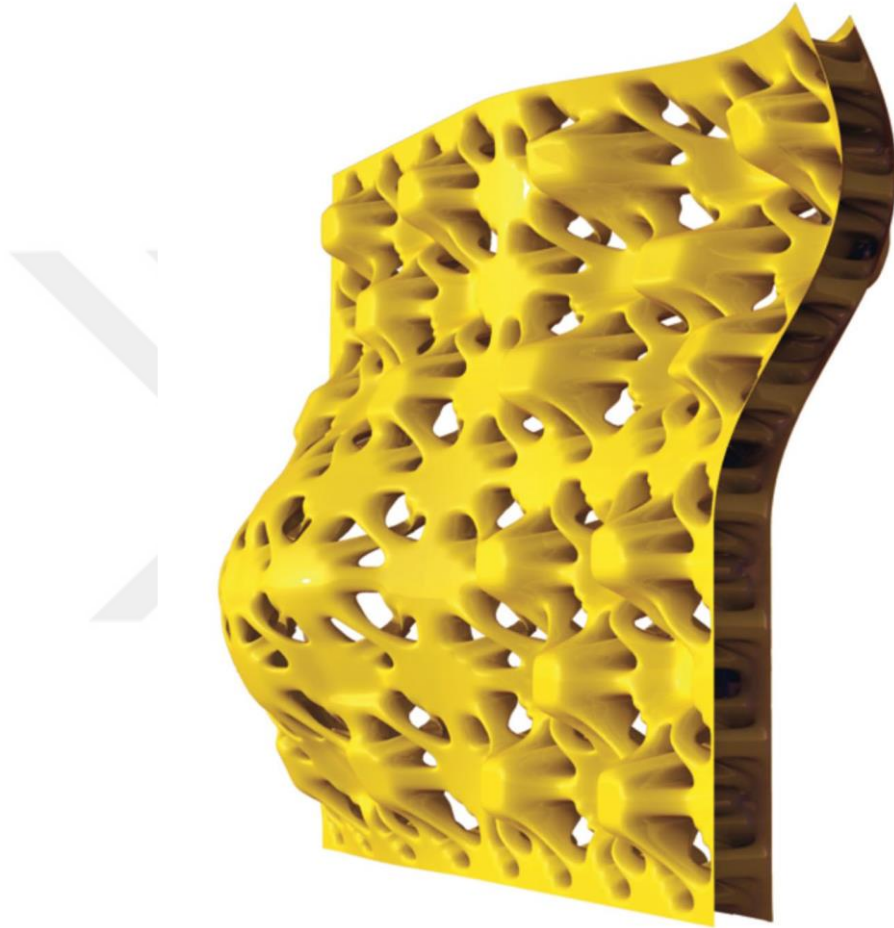
Bu bina, eğitim amaçlı bir sera, nemli ormanda insanların yağmur ormanı benzeri ekosistemi gözlemlemeye ve öğrenmeye gelebileceği bir yerdir. Havanın yıl boyunca oldukça ılıman olduğu Santa Cruz, Kaliforniya'da bulunmaktadır. Serin, yağışlı kışlar ve ılık, çoğunlukla kuru yazlarla karakterize bir Akdeniz iklimi vardır. Sis ve bulutluluk, özellikle yaz aylarında, gece ve sabah saatlerinde yaygındır. Binanın bu alandaki iklim değişikliklerine uyum sağlayabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, zarf iki bileşenden oluşmuştur: yapısal gözenekli ızgara ve şişirilebilir değişken yastıklar (Şekil 4.41). Gözenekli ızgara içeride ve dışarıda 3 boyutlu bir bariyer oluşturmaktadır. Bu, iki bölgeyi iklimsel olarak ayırmayan delikli bir duvar şeklindedir. İklim bariyeri, şişirilebilen veya söndürülebilen minderlerden oluşmaktadır, böylece havanın ve sıcaklığın dış iklime göre ayarlanmasını ve iç ve dış arasında açıklıklar oluşturulmasını mümkün kılmıştır (Mazzoleni vd., 2011).



Şekil 4.41. Farklı pozisyonlarda modül tasarımı: şişirilmemiş, kısmen şişmiş ve tamamen şişmiş (Mazzoleni vd., 2011).


Tasarım sürecindeki bir dizi model ve çizim sayesinde, katmanlarında farklı özelliklere sahip sürekli bir duvar oluşturmak için iki bileşenin birleşmesi sağlanmıştır. Bu katmanların yoğunluğu binanın, duvarların, çatının ve zeminin belirli bölümlerinde farklıdır. Zemin plakası su ve nemi içeri alarak iç ortama soğutma etkisi yaratmıştır.

Ayrıca su haznesi ve minderleri beslemek için pompalar içermektedir. Çatı ve duvarlar bitkileri doğal olarak sulamak için ısı ve suyun girmesine izin vermektedir. Çatının gözenekliliği, koruyucu bir tabaka olarak hizmet etmek için duvarlardan daha yoğundur. Bu artikülasyon, duvar ve pencerenin bir haline geldiği bir zarfın sistemi içinde farklı nitelik ve güçlere sahip bir dizi bariyer oluşturabileceği düşünülmektedir (Mazzoleni vd., 2011) (Şekil 4.42.).



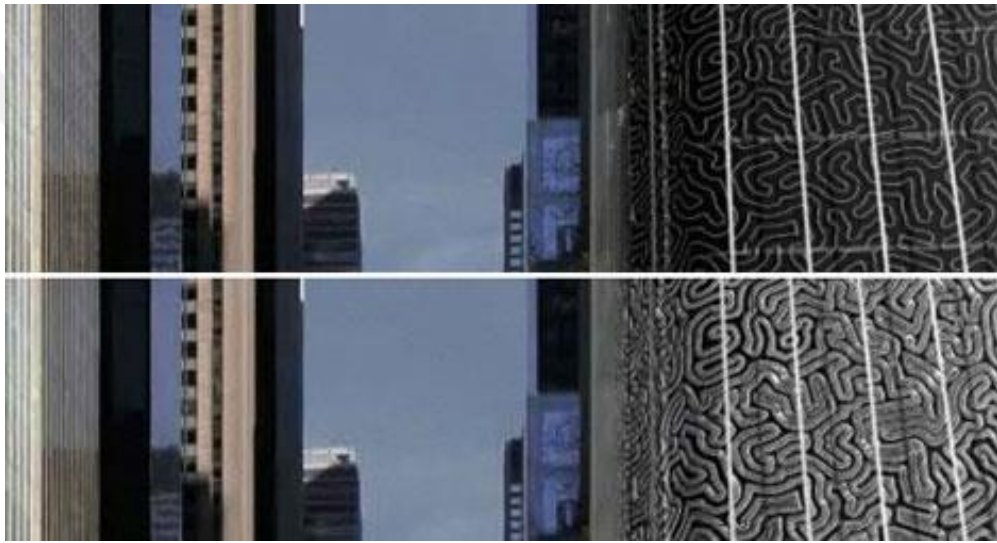
Şekil 4.42. Bir panel tasarım çalışmasının görselleştirilmesi (Mazzoleni vd., 2011).

Çizelge 4.15. Uyarlanabilir, Geçirgen Bina Zarfı Proje değerlendirilmesi

BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri: Santa Cruz, California	Kullanım : Eğitim amaçlı sera
Yapım Yılı: 2010	İklim Tipi: Ilıman iklim
Mimarı: Maya Alam, Astrin Bang	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma: Muz sümüklü böceği 
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input checked="" type="checkbox"/>	
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input type="checkbox"/>	
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	1. Biyomimikri Seviyeleri
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
3. Alt bileşen: <input type="checkbox"/>	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
4. Element : <input type="checkbox"/>	2. Biyomimikri Yaklaşımı
5. Malzeme: <input type="checkbox"/>	Tasarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Biyolojiden tasarıma <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
2. Çift tabakalı: <input type="checkbox"/>	Hava: Gözeneklilik (Deriden efes alma geçirgenliği) <input checked="" type="checkbox"/>
3. Diğer: Uyarlanabilir, geçirgen duvar ve pencerenin bir haline geldiği bina zarfı <input checked="" type="checkbox"/>	Isı: Dinamik (Böceğin nem ve sıcaklıktaki değişikliklere uyum sağlama yeteneği) <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık: <input type="checkbox"/>
	Su: Koruma (kurumaya ve yarıcılara karşı korunmasındaki mucus kısmı) <input checked="" type="checkbox"/>
	Diğer: Homeostaz (Denge ve doğa ile iletişim) <input checked="" type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input checked="" type="checkbox"/>
	Hava filtreleme (hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input checked="" type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input type="checkbox"/>
Su:	Su depolama (soğutma etkisi) <input checked="" type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü (soğutma etkisi) <input checked="" type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	<input type="checkbox"/>

4.16. Homeostatik Bina Cephesi

Mimari cilt, kas gibi genişleyerek ve daralarak iç mekân sıcaklığını düzenlemektedir. New York City'den bir stüdyo olan Decker Yeadon , büyük binalar için çağdaş ve modern bir çift cephe cam cephe sistemi tasarlamıştır. Mevcut çift tabakalı giydirme cephenin panjurlu basit bir hava boşluğuna sahip olmasına rağmen, bu sistem entegre edildikten sonra, sistemin ısı kaybını ve ısı kazancını otomatik olarak düzenlemesini sağlayan kaslarla tasarlanan mekanizmaları içeren gelişmiş bir gölgeleme sistemine sahiptir (Web iletisi 41) (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. Homeostatik cephe sistemi görünüşü (Web iletisi 41)

Homeostaz , bitki veya hayvan organizmalarındaki doğal olaylardır, burada iç koşullarını herhangi bir sayıda eylemle sürekli olarak düzenlemektedirler. İnsan teri yüksek ısı kazanımına homeostatik yanıtın bir örneğidir (Web iletisi 41).

Decker Yeadon'un homeostatik cephe sistemi tasarımı, dielektrik elastomerlerin benzersiz esnekliğinden ve düşük güç tüketiminden yararlanarak çift tabakalı cephe teknolojilerini geliştirmektedir. Şerit tasarımı cepheden güneş enerjisi kazancını kontrol etmek için açılıp kapanmaktadır (Web iletisi 41) (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. dielektrik elastomerin açık ve kapalı hali ve cephe de görünümü (Web iletisi 41)

Çevresel koşullara otomatik olarak yanıt veren bu yüksek ayarlı hareket, basit bir aktüatör (bir tür motor) ile elde edilmiştir. Aktüatör, esnek bir polimer çekirdek üzerine sarılmış bir dielektrik elastomerden oluşan yapay bir kastır. Elastomerin genişlemesi ve büzülmesi, esnek çekirdeğin bükülmesine neden olmaktadır. Polimer çekirdeğinin üstündeki bir rulo, elastomer hareket ettikçe yumuşak hareket sağlamaktadır (Web iletisi 41).

Dielektrik elastomer her iki yüzünde gümüş elektrotlar içermektedir. Gümüş, elektriksel bir yükü elastomer boyunca dağıtırken deforme olmasına neden olarak ışığı yansıtarak ve dağıtarak sisteme yardımcı olmaktadır (Web iletisi 41).

Biyolojik sistemlerde homeostazdan esinlenen cephe, bir binanın iklimini çevre koşullarına otomatik olarak yanıt vererek düzenlemektedir. Geleneksel sistemlere göre avantajı, düşük güç tüketiminde ve üstün hassasiyetinde yatmaktadır. Yüzey malzemesi aynı zamanda motor olduğu için, cephenin herhangi bir bölümü boyunca bölgesel kontrol sunmaktadır (Web iletisi 42). Bu yüksek derecede kontrol ile ancak giderek daha şeffaf hale gelen çağdaş mimariye fayda sağlanabileceği düşünülmektedir. Enerji tüketimini ve buna bağlı emisyonları azaltırken termoregülasyon sağlamaktadır (Web iletisi 42).

Çizelge 4.16. Homeostatik bina cephesi proje değerlendirilmesi


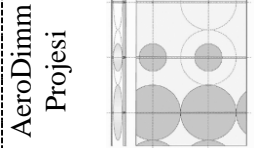



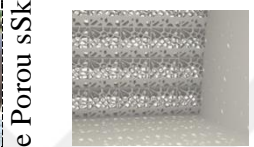










BİNA, SİSTEM HAKKINDA	
Yeri:	Kullanım :
Yapım Yılı:	İklim Tipi:
Mimar: Decker Yeadon	Diğer Bilgiler:
SİSTEMİN MEVCUT DURUMU	SİSTEMİN BİYOMİMETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
1. Fikir aşaması <input type="checkbox"/>	Esinlenen organizma;
2. Formüle edilmiş tasarım önerisi <input type="checkbox"/>	Bitki ve hayvan hücrelerinde gerçekleşen homeostaz, bir kısım çalışma şekli
3. Laboratuvarda test edilmiş <input type="checkbox"/>	
4. Prototip üretilmiş <input checked="" type="checkbox"/>	1. Biyomimikri Seviyeleri
5. Mevcut bina, sistem <input type="checkbox"/>	Organizma seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
	Davranış seviyesi <input checked="" type="checkbox"/>
	Ekosistem seviyesi <input type="checkbox"/>
BİYOMİMETİK YAKLAŞIM CEPHE SİSTEMİNİN HANGİ SEVİYESİNDE UYGULANMIŞ	2. Biyomimikri Yaklaşımı
1. Bina bölümü: Cephe sistemi <input checked="" type="checkbox"/>	Tarımdan biyolojiye <input type="checkbox"/>
2. Bileşen : <input type="checkbox"/>	Biyolojiden tarıma <input type="checkbox"/>
3. Alt bileşen: <input type="checkbox"/>	3. Organizmanın enerji etkinliği sağlamaya yönelik stratejisi
4. Element : <input type="checkbox"/>	Hava: <input type="checkbox"/>
5. Malzeme: Dielektrik elastomerden oluşan vapav kas <input checked="" type="checkbox"/>	Isı: Homeostaz ile düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık: <input type="checkbox"/>
CEPHE SİSTEMİ UYGULAMASI	Su: Homeostaz ile düzenleme <input checked="" type="checkbox"/>
1. Tek tabakalı: <input type="checkbox"/>	Diğer: Kas hareketi <input checked="" type="checkbox"/>
2. Çift tabakalı: <input checked="" type="checkbox"/>	
3. Diğer: <input type="checkbox"/>	
CEPHE SİSTEMİNDE KULLANILAN BİYOMİMETİK YAKLAŞIMIN ENERJİ ETKİN ÇÖZÜMLERİ	
Hava :	Doğal Havalandırma <input type="checkbox"/>
	Hava filtreleme(hava kirliliğini temizleme, CO2 emisyonu vb) <input type="checkbox"/>
Isı:	Isı yalıtımı <input type="checkbox"/>
	Isı depolama <input type="checkbox"/>
	Isı kazancı <input checked="" type="checkbox"/>
	Pasif soğutma/ısıtma <input checked="" type="checkbox"/>
	Isı adası etkisini azaltma <input type="checkbox"/>
	Sıcaklık değişimine tepki <input type="checkbox"/>
Işık:	Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/>
	Işık kontrolü (şeffaflık değişimi vb.) <input checked="" type="checkbox"/>
	Dinamik gölgelendirme <input checked="" type="checkbox"/>
Su:	Su depolama (soğutma etkisi) <input type="checkbox"/>
	Su filtreleme <input type="checkbox"/>
	Su hasadı <input type="checkbox"/>
	Nem kontrolü (soğutma etkisi) <input type="checkbox"/>
	Geri dönüşüm <input type="checkbox"/>
Diğer:	Güneş ışığı ve sıcaklık değişimlerine göre otomatik olarak ayarlanır Enerji tüketimini ve buna bağlı emisyonları azaltır. <input checked="" type="checkbox"/>

5. DEĞERLENDİRME








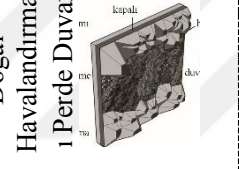
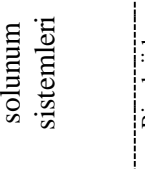
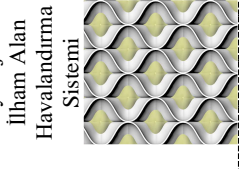
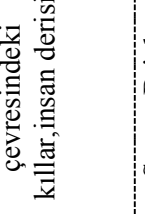
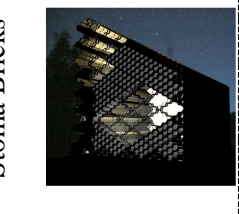

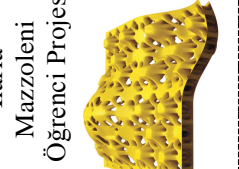


Tek tek analiz edilen on altı projenin karşılaştırmalı değerlendirmesi çizelge 5.1. de tasarımda ilham alınan canlı, proje adı, sistemin mevcut durumu, yapının bulunduğu iklim bölgesi, esinlenen doğal varlığın enerji etkin stratejisi, sistemdeki çözümü, uygulanan cephe sistemi ve sistemin seviyesi, enerji etkinlik değerlendirmesi ve cephede enerji etkinliği sağlamaya yönelik temel ilkeler başlıkları altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Çizelge 5.1. Biyomimetik cephe sistemlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

	Canlı	Proje	Sistemin Mevcut durumu	İklim	Biyomimetik Seviye ve Yaklaşımı	Esinlenen Doğal Varlığın Enerji Etkin Stratejisi ve Sistemdeki Çözümü	Uygulanan Cephe Sistemi ve Sistemin Seviyesi	Enerji Etkinlik Değerlendirmesi	Cephede Enerji Etkinliği Sağlamaya Yönelik Temel İlkeler
1	 Sefalopod	 AeroDimm Projesi	Fikir aşaması		Organizma Ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Sefalopod cildinin renk değişimi, yapıya gün ışığı ve güneş ısı kontrolü; doğal havalandırma ve aydınlatmayı sağlama şeklinde aktarılmıştır.	Çift Kabuk Cephe Sistemde alt bileşen (gölgeleme elemanı) ve bileşen (Dış cephe parça birimi) seviyesinde	Pnömatik basınç, adaptif mekanizmaların arkasındaki itici güçtür bu sayede sağlanan çözümler için enerji harcanmaz	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
2	 Cennet kuşu çiçeği	 Flectofin	Mevcut sistem		Davranış Seviyesi Biyolojiden tasarıma yaklaşım	Canlının uyarana bağlı hareket sistemi yapıya ışık kontrolü ve dinamik gölgelendirme sağlama şeklinde aktarılır.	Sistem türü hakkında veri bulunamamıştır Sistemde alt bileşen (gölgeleme elemanı) seviyesinde	Sistem ışık kontrolünü sağlarken Herhangi bir mekanizmaya ihtiyaç duymadığı için enerji tasarrufu ve esnek tasarıma imkan verir.	<input type="checkbox"/> Hava <input type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
3	 Su aygırı	 The Porou sSkin	Formüle edilmiş tasarım önerisi	Kurak ve yarı çöl iklimi	Organizma ve davranış Seviyesi Biyolojiden tasarıma yaklaşım	Canlının farklı deri kalınlıklarının ısı ve ışık düzenleme, gün ışığından korunmayı sağlayan salgılama, yarı suda yaşam tarzı yapıya, pasif ısıtma/soğutma, ısı yalıtımı, doğal aydınlatma, su depolama, ışık kontrolü ve dinamik gölgelendirme sağlama yönünde aktarılır.	Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi, türü hakkında bilgi yoktur). alt bileşen (Cephe panelleri) seviyesinde	Canlıdan soyutlanarak aktarılan özellikler minimum enerji tüketimi ile yaz ve kış koşullarında cephe panellerinin hareketinin sağlanması için depolanan sudan faydalanılır.	<input type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input checked="" type="checkbox"/> Su
4	 Mürekkep balığı ve deniz canlıları	 Biotic Tech	Formüle edilmiş tasarım önerisi		Organizma Ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Deniz hayvanlarının şeffaflık, esneklik, hareket, koruyucu pigmentasyon özellikleri yapıya, doğal havalandırma ve aydınlatma, sıcaklık değişimine tepki, ışık kontrolü ve dinamik gölgelendirme şeklinde aktarılır.	Çift kabuk Cephe Sistemde bina Bölümü (cephe sistemi), bileşen (rüzgar türbinleri), alt bileşen (güneş şemsiyesi), element (gün ışığına tepki veren sensörler) seviyesinde	Cephenin esnek ilk katmanı rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. İkinci katmanla güneş enerjisinden yararlanır. Enerji üretimi, kazanımı ve korunumu vardır.	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
5	 Algler	 BIQ Binası	Mevcut bina		Organizma Ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Alglerin CO2 emme, ışığın biyokütleye dönüşümü yapıya, Hava filtreleme, ısı yalıtımı, depolanması ve kazancı, doğal aydınlatma ve dinamik gölgelendirme sağlama şeklinde aktarılır.	Cepheye ek ikincil bir sistem olarak entegre edilebilir. Sistemde binabölümü (cephe sistemi) alt bileşen (bio-reaktör panel) seviyesinde	Enerji amaçlı yüksek kaliteli biyokütle üretmekle birlikte kendi kabuğundan enerji üretir ve depolar, yenilenebilir enerji kaynakları kullanır.	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
6	 Organik deriler	 Breathing Skins	Mevcut sistem		Organizma Ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Organik ciltlerin ışık, madde ve sıcaklık akışı kontrolü için geçirgenliklerini ayarlaması, yapıya doğal havalandırma ve aydınlatma, ışık kontrolü sağlanması şeklinde aktarılır.	Çift kabuk cephe sistemi, Sistemde Bina bölümü (Cephe Sistemi) seviyesinde	Cephe tabakaları arasında yerleştirilen Pnömatik Kas adlı yenilikçi sistem ile sağlanan çözümler için minimum enerji gerekir	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
7	 Termit ve ağaçlar	 CH2	Mevcut bina	Okyanus iklimi	Organizma Ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Ağaç epidermisinin havalandırma mekanizması kabuklarının ışık geçirgenliği, termit höyüklerindeki delikler gözenekli dış yüzey ile ısı düzenleme, Yapıya doğal havalandırma ve aydınlatma, pasif ısıtma/soğutma, hava filtreleme, su depolama ve hasadı, ışık kontrolü sağlanması şeklinde aktarılır.	Çift kabuk cephe sistemi, Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi), alt bileşen (kontrollü pencere açıklıkları, havalandırma kanalları), element (cephe panelleri) seviyesinde	Hava %100 filtrelenmiştir, Doğal aydınlatma ve havalandırma ile %65 enerji tasarrufu sağlanmış (A.N. Radwan, Osama,2016). Hasad edilen ve depolanan su da soğutma sisteminde kullanılarak enerji tasarrufu sağlanır.	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input checked="" type="checkbox"/> Su
8	 Yan lekeli kertenkeli	 S.C.A.L.E.S	Formüle edilmiş tasarım önerisi	Kurak ve yarı çöl iklimi	Organizma ve davranış Seviyesi Biyolojiden tasarıma yaklaşım	Organizmanın cilt rengi değişimi, davranış ile ısı düzenleme, güneş ışığına göre konumlanma, deri yapısının, yapıya doğal aydınlatma, pasif ısıtma/soğutma, dinamik gölgelendirme, ışık kontrolü sağlanması yönünde aktarılır.	Yapı cepheleri için yenilikçi membran. Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi). element (fotovoltaik paneller) seviyesinde	Hidrolik sistem tarafından çalıştırılan "akıllı" güneş izleme sistemi yönünde ve boyutlarında değişiklik yapabilen özel fotovoltaik paneller, enerji kazanımı ve tasarrufu.	<input type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su

Çizelge 5.1. Biyomimetik cephe sistemlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi (devamı)

	Canlı	Proje	Sistemin Mevcut durumu	İklim	Biyomimetik Seviye ve Yaklaşımı	Esinlenen Doğal Varlığın Enerji Etkin Stratejisi ve Sistemdeki Çözümü	Uygulanan Cephe Sistemi ve Sistemin Seviyesi	Enerji Etkinlik Değerlendirmesi	Cephede Enerji Etkinliği Sağlamaya Yönelik Temel İlkeler
9	Durian meyvesi 	Esplanade 	Mevcut bina	Tropikal iklim	Organizma Ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Durian meyvesi dikenleriyle ısı ve ışık yalıtımı, kutup ayısı kıllarının ışığa tepkisi yapıya ısı yalıtımı, doğal aydınlatma, ışık kontrolü, dinamik gölgelendirme sağlama şeklinde yansıtılmıştır.	Giydirme cephe sistemi. Sistemde alt bileşen (alüminyum gölgeleme cihazları) seviyesinde	Kullanılan yapay aydınlatma %55, enerji kullanımı %30 azalmıştır ve güneş enerjisi kazanımı mevcuttur (A.N. Radwan, Osama, 2016).	<input type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
10	Bal peteği 	Sino Steel Plaza 	Yapımı devam eden mevcut bina		Organizma Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Bal peteği formunu işlevsel özellikleri yapıya, doğal aydınlatma, pasif ısıtma/soğutma, dinamik gölgelendirme sağlama yönünde aktarılır.	Giydirme cephe sistemi. Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi) alt bileşen (pencereler) seviyesinde	Petekten esinlenen desen, binanın güneş ve rüzgâr yönü örüntülerine yanıt verdiği için binada enerji verimliliği sağlar. Altıgen form minimum enerji kullanır. %75 enerji tasarrufu sağlanır.	<input type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input checked="" type="checkbox"/> Su
11	Ladin kozalağı 	Hygroskin 	Mevcut sistem	Sıcak ve ılıman iklim	Davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Ladin kozalaklarının nem değişikliğine bağlı pasif açma kapama mekanizması Sisteme ışık, nem kontrolü ve doğal havalandırma sağlama şeklinde aktarılır.	İklim duyarlı mimari cilt Sistemde element (İklim duyarlı yenilikçi kaplama) seviyesinde	Sistemin çalışması için enerji gerekmez	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input checked="" type="checkbox"/> Su
12	Çayır köpekleri, kayamidyesi 	Doğal Havalandırma Perde Duvarı 	Laboratuvarda test edilmiş		Organizma ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Çayır köpeklerinin yuvalarında hava sirkülasyonu ve ısı düzenlemesi, kaya midyeleri formunun hava hareketine katkı sağlama, yapıya doğal havalandırma, pasif ısıtma/soğutma, ısı adası etkisini azaltma, hava filtreleme şeklinde aktarılır.	Yeşil cepheli var olan cepheye ek ikincil bir perde duvar sistemi Sistemde bina bölümü (Perde duvar) seviyesinde	Yeşil cepheye ek doğal soğutma etkisi ile birleştiğinde, ısı adası etkisi en aza indirgenebilir. binaların yapay soğutulmasıyla ilişkili enerji gereksinimleri ve sera gazı emisyonlarında azalma	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
13	Çeşitli süngerler ve solunum sistemleri 	Biyolojiden İlham Alan Havalandırma Sistemi 	Formüle edilmiş tasarım önerisi		Organizma ve davranış Seviyesi Biyolojiden tasarıma yaklaşım	Solunum sistemleri, deniz süngerinde hava hareketi ve gaz değişimi, asknoid sünger su sirkülasyonu, deniz süngeri yüzey/hacim oranı farklılaşması, şekilsel özellikleri, yapıya doğal havalandırma, pasif ısıtma/soğutma şeklinde aktarılır.	Yapılara entegre edilebilen, havalandırma sistemi gibi çalışan ikincil cilt. Sistemde bileşen (dış cephe aktif bileşen), malzeme (yenilikçi elastik malzeme) seviyesinde	Değişen koşullara tepki veren yüzeydeki hava basıncını etkileyen cilt, alan, malzeme ve enerji tasarrufu sağlanır.	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su
14	Stoma, çam kozalağı, göz çevresindeki kıllar, insan derisi 	Stoma Bricks 	Prototip üretilmiş	Kurak iklim	Organizma ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Derinin gizli ısı transferi özelliği, çam kozalaklarının nem değişikliğine tepkisi, stomaların ozmotik basınçla hareketi, göz çevresindeki kılların toz ve kuma karşı koruması, yapıya doğal havalandırma/ aydınlatma, sıcaklık değişimine tepki, hava filtreleme, pasif ısıtma/soğutma, ısı yalıtımı, nem kontrolü şeklinde aktarılır.	Uyarlanabilir cephe sistemi Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi), bileşen (stoma tuğlalarından oluşan dış cephe parça birimi) malzeme (stoma tuğlası) seviyesinde	Herhangi bir enerji kullanmadan nem değişimine göre açılıp kapanabilen mekanizma ile havalandırma sağlar. Buharlı soğutma sistemiyle çalışan tuğlalar ile ısı düzenleme yapılması açısından enerji tüketimi azalır.	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input checked="" type="checkbox"/> Su
15	Muz simüklü böceği 	Ilaria Mazzoleni Öğrenci Projesi 	Formüle edilmiş tasarım önerisi	İlman iklimi	Organizma ve davranış Seviyesi Biyolojiden tasarıma yaklaşım	Sümüklü böceğin gözeneklilik, dinamik yapı, mukus salgısıyla koruma, homeostaz özellikleri yapıya doğal havalandırma/ aydınlatma, sıcaklık değişimine tepki, pasif ısıtma/soğutma, su depolama (geçirgenliği) yalıtımı, nem kontrolü şeklinde aktarılır.	Uyarlanabilir, geçirgen duvar ve pencerenin bir haline geldiği bina zarfı Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi) seviyesinde	Havayı ve sıcaklığı dış iklimle göre ayarlayan pasif sistemler enerji kullanımı azaltılır, su ve nem girişiyle yapı fonksiyonuna su kullanımı açısından desteklenir.	<input checked="" type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input checked="" type="checkbox"/> Su
16	Bitki ve hayvan hücreleri, kas 	Homeostatik Cephe 	Prototip üretilmiş		Organizma ve davranış Seviyesi	Bitki ve hayvanlarda homeostaz ile ısı ve su düzenleme ile kas hareketi, yapıya ısı kazancı, pasif ısıtma/soğutma, dinamik gölgelendirme, ışık kontrolü, doğal aydınlatmayı sağlama şeklinde aktarılır.	Çift kabuk cephe sistemi, Sistemde bina bölümü (Cephe Sistemi), malzeme (dielektrik elastomerden oluşan yapay kas) seviyesinde	Güneş ışığı ve sıcaklık değişimlerine göre otomatik olarak ayarlanır. Enerji tüketimini ve buna bağlı emisyonları azaltır.	<input type="checkbox"/> Hava <input checked="" type="checkbox"/> Isı <input checked="" type="checkbox"/> Işık <input type="checkbox"/> Su

Doğanın stratejilerinin enerji etkin cephe tasarımına etkisini daha geniş bir bakış açısıyla ele alabilmek adına;

- Farklı canlılardan esinlenmiş olmasına göre (Farklı yapıdaki biyolojik organizmaların tasarıma etkisini analiz edebilmek için),
- Çözümün cephenin sisteminde farklı seviyelerde (bileşen, alt bileşen malzeme vb.) bulunmasına göre (Canlıdan soyutlanan strateji hangi seviyede yapıya aktarılmış görebilmek için),
- Projenin farklı tasarım aşamasında (fikir aşaması, mevcut bina/sistem vb.) bulunmasına göre (Günümüz ve gelecekte yapılacak enerji etkin tasarımlara ışık tutması için),
- Farklı iklim bölgelerinde olmasına göre (Enerji etkin cephe tasarımında iklimin etkisi, tasarım problemiyle ilişkili olarak (termoregülasyon, doğal havalandırma vb.) gözlemlenmesi için),
- Organizmaların stratejilerinin soyutlanarak cepheye aktarılmasının, farklı biyomimetik seviye ve yaklaşımlarda olmasına göre (Canlının geliştirdiği stratejinin cepheye aktarımında bu seviye ve yaklaşımların cephenin hangi seviyesinde etkili?)

seçilen 16 farklı proje analiz edilmiştir.

Sonuç olarak;

- Değerlendirilen projelerden hem hayvan hem de bitkilerin hava, ısı, ışık, su düzenleme stratejilerinin enerji etkin cephe sistemlerine aktarıldığı görülmüştür.

- Mevcut durumu fikir aşaması ve formüle edilmiş tasarım önerisi halinde olan projelerden beklenen sonuçlar incelendiğinde cephe sistemlerine aktarılabilmesi için farklı teknolojik yeniliklerin üretilmesi gerektiği görülür. Bu enerji etkin cepheler için gelecekte yapılabilecek sistemlerin tasarımlarına ışık tutar. Prototip olarak üretilmiş, mevcut bina/sistem ve laboratuvarında test edilmiş örneklerde ise canlının çözümünün sisteme aktarılabilmesini ve enerji etkinliğin sağlandığı tespit edilmiştir.

- Canlının yaşam ortamının aşırı sıcak, nemli, kurak olma gibi uç hava şartlarına karşı geliştirdiği yöntemler cephe sistemlerinde aynı iklim koşullarında bulunan yapı cephelerinin tasarlanmasında öncül fikir olmuştur. Ancak canlının kendi ortamında geliştirdiği düzenleme stratejisi sistemde farklı bir düzenlemeyi de sağlamak için soyutlanmıştır. Örneğin canlının aşırı sıcaklığa karşı geliştirdiği yöntem hem ısı (termoregülasyon) hem de ışık düzenlemek için sisteme aktarılır. Canlının iklim

koşullarına verdiği tepki ve bu yönde geliştirdiği stratejiler tasarımlarda ilham kaynağı olmuştur.

- İncelenen projelerde; biyomimikri seviyesi olarak, canlıların daha çok organizma ve davranış seviyesinde geliştirdiği stratejiler sisteme aktarılmıştır. Bu organizmanın morfolojik ve davranışsal adaptasyonların aktarımının eksosistem seviyesine göre daha kolay olduğunu gösterir. Biyomimikri yaklaşımı olarak ise biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşımda tasarımcılar daha çok canlının bulunduğu iklim, çevre koşulları altında yaşanan zorluklara karşı geliştirmiş olduğu çözümler belirlenmiştir. Bu çözümler için gerek davranış ve morfolojileri gerekse biyolojik sistemlerinde gözlemlenen stratejiler analiz edilmiş ve cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümler üretebilmek için soyutlanmıştır. Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşımda ise bina cephelerinde enerji etkin, uyarlanabilir, sürdürülebilir, enerji verimli yenilikçi sistemler üretebilmek için belirlenen tasarım problemlerine (doğal havalandırma, ısı düzenleme, havanın filtrelenmesi, nem değişimlerine tepki vb.) yönelik biyolojik organizmalar incelenmiş ve organizmanın geliştirdiği strateji soyutlanarak cephe sistemlerine aktarılmıştır.

- Projelerde canlıların geliştirdiği stratejiler var olan enerji etkin sistemlerde (çift kabuk cephe, giydirme cephe şeklinde) sistemin farklı seviyelerinde (element, malzeme, bileşen vb.) aktarılmasıyla sağlanırken, strateji için özel olarak geliştirilmiş yenilikçi cephe sistemleri tasarlanarak aktarım yapılmıştır. Bunun dışında var olan cephe sistemlerine eklenebilen ikincil bir sistem olarak da aktarım yapılmıştır. Bu günümüzde enerji problemleri yaşayan cephelerin enerji etkinliğini sağlamak için umut vadeder. Cephe sisteminin kendi içinde enerji etkinliği sağlamak için canlıların stratejileri farklı seviyelerde sisteme aktarılmıştır. Bunlar;

- Bina bölümü seviyesinde; cephe sisteminin kendisi ve perde duvar tasarımıyla aktarılmıştır.
- Bileşen seviyesinde; dış cephe parça birimi, rüzgâr türbinleri, dış cephe aktif bileşen (tasarımda kullanılan adıyla on üçüncü projede), stoma tuğlalarından oluşan dış cephe parça birimi şeklinde tasarlanarak aktarılmıştır.
- Alt bileşen seviyesinde; gölgeleme elemanı, cephe panelleri, güneş şemsiyesi, biyoreaktör panel, kontrollü pencere açıklıkları ve havalandırma kanalları, alüminyum gölgeleme cihazları, pencereler tasarlanarak aktarılmıştır.

- Element (Eleman) seviyesinde; gün ışığına tepki veren sensörler, cephe panelleri, fotovoltaik paneller, iklim duyarlı yenilikçi kaplama tasarımıyla sisteme aktarılmıştır.
- Malzeme seviyesinde; yenilikçi elastik malzeme, tasarım için özel olarak üretilmiş yapay kas olarak adlandırılan malzeme ve başka bir sistemde stoma tuğlası adı verilen malzeme ile tasarıma aktarılmıştır

İncelenen projelerde var olan enerji etkin çözümler tasarımda kullanıldığı gibi tamamen projeye özgü tasarımlar da yapılmıştır.

- Sonuç olarak biyomimetik cephe sistemlerinde hava, ısı, ışık, su düzenlemelerinden bir veya birkaçına çözümler üretilerek enerji etkinlik sağlanmıştır (Çizelge 5.2). Bunlar arasından en çok ısı ve ışık düzenlemesiyle cephe sistemlerinde enerji etkinliğin sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 5.2. Biyometrik cephe sistemlerinin enerji etkinliği değerlendirilmesi

	Canlıdan Aktarılan Özellik	Hava	Isı	Işık	Su	Enerji Etkinlik Değerlendirmesi	Enerji etkin midir?
1	Sefalopod cildinin renk değişimi	Doğal havalandırma	Güneş ısı kontrolü	Doğal aydınlatma Gün ışığı kontrolü		Pnömatik basınç, adaptif mekanizmaların arkasındaki itici güçtür bu nedenle enerji harcanmaz	✓
2	Cennet kuşu çiçeğinin uyarana bağlı hareket sistemi			Işık kontrolü Dinamik gölgelendirme		Herhangi bir mekanizmaya ihtiyaç duymadığı için enerji tasarrufu sağlanır Esnek tasarıma imkân verir.	✓
3	Su aygırının farklı deri kalınlıkları, ışıktan korunmayı sağlayan salgılama, Yarı suda yaşam tarzı		Pasif ısıtma/soğutma Isı yalıtımı	Doğal aydınlatma Işık kontrolü Dinamik gölgelendirme	Su depolama (Cephede kullanılan panellerin hareketi için kullanılır)	Minimum enerji tüketimi vardır.	✓
4	Deniz hayvanlarının şeffaflık, esneklik, hareket, koruyucu pigmentasyon özellikleri	Doğal havalandırma	Sıcaklık değişimine tepki	Doğal aydınlatma Işık kontrolü Dinamik gölgelendirme		Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneş enerjisinden yararlanılır. Enerji üretimi, kazanımı ve korunumu vardır.	✓
5	Alglerin CO2 emme, ışığın biyokütleye dönüşümü	Hava filtreleme	Isı yalıtımı Isı depolanması Isı kazancı	Doğal aydınlatma Dinamik gölgelendirme		Kendi kabuğundan enerji üretir ve depolar, yenilenebilir enerji kaynakları kullanır.	✓
6	Organik ciltlerin ışık, madde ve sıcaklık akışı kontrolü için geçirgenliklerini ayarlaması	Doğal havalandırma		Doğal aydınlatma Işık kontrolü		Pnömatik kas adlı yenilikçi sistem ile sağlanan çözümler için minimum enerji gerekir.	✓
7	Ağaç epidermisinin havalandırma mekanizması, kabuklarının ışık geçirgenliği, Termit höyüklerindeki delikler, gözenekli dış yüzey	Doğal havalandırma Hava filtreleme	Pasif ısıtma/soğutma	Doğal aydınlatma Işık kontrolü	Su depolama Su hasadı	Hava %100 filtrelenmiştir, Doğal aydınlatma ve havalandırma ile %65 enerji tasarrufu, hasad edilen ve depolanan su da soğutma sisteminde kullanılarak enerji tasarrufu sağlanır.	✓
8	Yan lekeli kertenkelenin cilt rengi değişimi, davranış ile ısıl düzenleme, güneş ışığına göre konumlanma, deri yapısı		Pasif ısıtma/soğutma	Doğal aydınlatma Işık kontrolü Dinamik gölgelendirme		Hidrolik sistemli "akıllı" güneş izleme sistemi, Özel fotovoltaik paneller ile enerji kazanımı ve tasarrufu.	✓
9	Durian meyvesi dikenleriyle ısı ve ışık yalıtımı, Kutup ayısı kıllarının ışığa tepkisi		Isı yalıtımı	Doğal aydınlatma Işık kontrolü Dinamik gölgelendirme		Yapay aydınlatma %55, enerji kullanımı %30 azalmıştır Güneş enerjisi kazanımı mevcuttur	✓
10	Bal peteği formunu işlevsel özellikleri		Pasif ısıtma/soğutma	Doğal aydınlatma Dinamik gölgelendirme		Petekten esinlenen desen, binanın güneş ve rüzgâr yönü örüntülerine yanıt verdiği için binada enerji verimliliği sağlar. Altıgen form minimum enerji kullanır. %75 enerji tasarrufu vardır.	✓
11	Ladin kozalaklarının nem değişikliğine bağlı pasif açma kapama mekanizması	Doğal havalandırma		Işık kontrolü	Nem kontrolü	Sistemin çalışması için enerji gerekmez	✓
12	Çayır köpeklerinin yuvalarında hava sirkülasyonu ve ısıl düzenlemesi, kaya midyeleri formunun hava hareketine katkı sağlaması	Doğal havalandırma Hava filtreleme	Pasif ısıtma/soğutma Isı adası etkisini azaltma,			Isı adası etkisi en aza indirgenebilir. Binaların yapay soğutulmasıyla ilişkili enerji gereksinimleri ve sera gazı emisyonlarındaki azalma sağlanır	✓
13	Solunum sistemleri, deniz süngerinde hava hareketi ve gaz değişimi, asknoid sünger su sirkülasyonu, deniz süngeri yüzey/hacim oranı farklılaşması, şekilsel özellikleri,	Doğal havalandırma	Pasif ısıtma/soğutma			Değişen koşullara tepki veren yüzeydeki hava basıncını etkileyen cilt, alan, malzeme ve enerji tasarrufu sağlanır.	✓
14	Derinin gizli ısı transferi özelliği, çam kozalaklarının nem değişikliğine tepkisi, stomaların ozmotik basınçla hareketi, göz çevresindeki kılların toz ve kuma karşı koruması	Doğal havalandırma Hava filtreleme	Pasif ısıtma/soğutma Isı yalıtımı Sıcaklık değişimine tepki	Doğal aydınlatma	Nem kontrolü	Herhangi bir enerji kullanmadan nem değişimine göre açılıp kapanabilen mekanizma ile havalandırma sağlar. Buharlı soğutma sistemiyle çalışan tuğlalar ile ısıl düzenleme yapılması açısından enerji tüketimi azalır.	✓
15	Sümüklüböceğin gözeneklilik, dinamik yapı, mukus salgısıyla koruma, homeostaz özellikleri	Doğal havalandırma	Pasif ısıtma/soğutma Sıcaklık değişimine tepki	Doğal aydınlatma	Su depolama Su yalıtımı Nem kontrolü	Havayı ve sıcaklığı dış iklime göre ayarlayan pasif sistemler enerji kullanımı azaltılır, su ve nem girişiyle yapı fonksiyonuna su kullanımı açısından desteklenir.	✓
16	Bitki ve hayvanlarda homeostaz ile ısı ve su düzenleme, kas hareketi		Pasif ısıtma/soğutma Isı kazancı	Dinamik gölgelendirme Doğal aydınlatma Işık kontrolü		Güneş ışığı ve sıcaklık değişimlerine göre otomatik olarak ayarlanır. Enerji tüketimini ve buna bağlı emisyonları azaltır	✓

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak enerji etkin binalar tasarlamak ve mevcut sistemlerde iyileştirmeler ya da gelecekte tasarlanacak sistemlere öncül çözümler sunabilmek için bu tez çalışmasında enerji etkin tasarımlar için biyomimikri yaklaşımı ele alınmıştır. Tez kapsamında; ‘Enerji etkin cephe sistemleri tasarımında doğa esinli tasarım yaklaşımı olan biyomimikri optimum düzeyde çözüm sağlayabilir.’ hipotezi test edilmiştir. Bu kapsamda da binaların çevreyle iletişimde en etkili parçası olan cephe ile enerji etkin çözümleri sağlamak için biyomimetik cephe sistemlerinin bu enerji etkin çözümleri (verimlilik, koruma, üretme vb.) nasıl sağladığı belirlenen projeler üzerinden incelenmiştir ve geliştirilen metodoloji ile enerji etkin cephe sistemleri ve biyomimikri arasında ilişki kurulmuştur.

Araştırma hipotezi doğrultusunda; ‘bina cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümler doğadaki sistemlerden ilham alınarak tasarlanabilir mi?’ ana problemi üzerinden sorulan alt problemler, yapılan kapsamlı literatür taraması sonucu cevaplanmıştır.

1. Bina cephelerinden kullanıcı konforu göz önünde bulundurularak beklenen işlevler nelerdir?

Bina cephelerinde bulunması istenilen işlevler; ideal havalandırma ve aydınlatma, güvenli alan oluşturulması (yangına, mekanik hasara karşı koruma vb.), hava şartlarına karşı yalıtım (Nem, sıcak-soğuk hava şartları), yeterli aydınlatma, dış ortamla yeterli düzeyde görsel iletişim, ideal ses düzeyi, hava kirliliğinin etkisinin azaltılması, ekonomik olması, esnek tasarıma izin vermesi, enerji kazancı, üretimi, korunumu yapabiliyor olması şeklinde sıralanmaktadır (Bakınız Bölüm 2.1.1.2.). Cephe bu işlevleri kendi içinde farklı seviyelerde gerçekleştirmektedir (malzeme, bileşen, alt bileşen vb. (Bakınız Bölüm 2.1.1.3.)). Bu işlevleri sağlamak ve sistemin oluşumu için enerji gerekmektedir. Günümüzde enerji problemleri göz önüne alındığında cephelerin enerji etkin tasarımı (enerji korunumu, depolaması, üretimi, enerjiyi verimli kullanabilmesi) hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemlidir.

2. Mevcut enerji etkin cephe sistemleri nelerdir?

Enerji etkin cephe sistemleri literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Bu tezde temel olarak tek tabakalı (giydirmeye cepheler, basit cepheler) ve çift tabakalı cephe (çift doğramalı, içten uygulanan çift tabakalı, çift kabuk cepheler) sistemleri olarak ele alınmıştır. Bu cephelere eklenen farklı teknolojik yeniliklerle veya tamamen farklı bir

sistematığı olan yenilikçi cepheler olduğu görülmüştür. Burada ortak nokta cephenin enerji etkin olmasıdır.

3. Enerji etkin cephe sistemlerini etkileyen temel ilkeler nelerdir?

Bu ilkeler, aydınlatma için gün ışığının kontrollü kullanımı, ısı kontrol ve korunumu (termoregülasyon), kullanıcılar tarafından kontrol edilebilen ışıklandırma, güneş ısıtmasından yararlanma, ısı depolama, rüzgârın kontrollü kullanımı, enerji korunumu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma (güneş, rüzgâr, su/jeotermal, biyokütle), yeniden dönüşüm/kullanım (su, malzeme vb.), yağmur suyu depolama, neme, rutubete karşı dirençli olmak, doğal, uzun ömürlü, geri dönüşebilir vb. malzeme kullanımı şeklinde sıralanabilir. Bu ilkelerin temelinde ise hava, ısı, ışık, su düzenlemesi vardır.

4. Bu temel ilkeler için neden doğanın stratejilerine bakmalıyız?

Doğadaki organizmalar içinde buldukları değişen çevre koşullarında hayatta kalabilmek için çeşitli adaptasyonlar geliştirmiştir. Bunlar enerji gerektirmeyen, doğal ortama zarar vermeden geliştirilen sürdürülebilir çözümlerdir. Bu onların geliştirdiği çözümlere bakmaya yönlendirir. Bu noktada incelenen diğer yaklaşımlara göre daha geniş bir kapsamla konuyu ele alan, amacı sürdürülebilir, yenilikçi çözümler üretmek olan biyomimikri kavramı araştırmada ön plana çıkmıştır.

5. Doğada canlıların bu temel ilkeler doğrultusunda geliştirdiği stratejiler nelerdir?

Havanın düzenlenmesi, incelenen örnekler doğrultusunda havanın değişimine ve hareketine bağlıdır. Isıl düzenleme (termoregülasyon), ısı kazanç ve kaybına bağlıdır. Işık düzenlenmesinin temelinde ışık toplama ve dağıtma vardır. Su/nem düzenlemesi, suyun elde edilmesi (su hasadı) ve suyun korunmasına bağlıdır. Canlılar hayatta kalabilmek için bu stratejiler doğrultusunda farklı koşullara adapte olmuşlardır.

Bu sonuçlara literatürde sınırlı sayıda ulaşılabilen canlı stratejileri doğrultusunda varılmıştır. Bu nedenle incelenecek canlıların farklılaşmasına göre stratejiler genişletilebilir. Doğa kendini sürekli yenilemekte ve canlılar da buna yönelik farklı stratejiler geliştirmektedir.

6. Belirlenen bu ilkelerin enerji etkin cephe tasarımına etkisini belirlemek için ne tür bir analiz gerekir? Analiz yönteminin sınırlılıkları ve yararları nelerdir?

Yanıtlanan tüm cevapların içeriğinden çıkarılan veriler doğrultusunda farklı projeleri içeren bir değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Bu öncelikle biyolojik organizmanın ve enerji tüketen sistemlerin enerji etkinliğini arasındaki ilişkiyi kurabilmek için gereklidir. Gerek projeler gerekse canlılara bağlı belirli sayıda biyomimetik proje örneğinin incelenmesi bir sınırlılık oluşturur. Ancak hava, ısı, ışık,

su/nem düzenleme ilkeleri, enerji etki cephe tasarımlarını, yapının bulunduğu çevreyle ilişkisi olduğu sürece etkileyecektir. Bu nedenle bölüm üçte oluşturulan metodoloji sonucu elde edilen verilerle oluşturulan analiz tablosu doğanın stratejilerinin enerji etkin tasarımlara olan etkisini biyomimetik cephelere sahip projeler üzerinden sistematik bir şekilde incelemek için yararlıdır.

7. Tez kapsamında değerlendirilen projelerde biyomimetik cephe sistemlerinin enerji etkinliği hakkında varılan sonuç nedir?

Yapılan analiz sonucu tasarımcılar biyomimetik yapı cephelerinde enerji etkinliği sağlama amacıyla hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme problemlerine, biyoloji bilimiyle ilişki kurularak canlıların bu yönde sunduğu stratejilerin, fikir aşamasında ya da mevcut bina cephelerinde, disiplinler arası ilişki kurulması ve teknolojinin de yardımıyla sisteme aktararak, cephenin kendisinde ya da seviyelerinde (element, malzeme, bileşen vb.);

- Enerji tüketiminin azaltılması ve verimli kullanımı (pasif ısıtma/soğutma, doğal havalandırma, doğal aydınlatma, dinamik gölgelendirme, ısı yalıtımı, ışık kontrolü ile)
- Sistemin çalışması için hiç enerji gerekmemesi,
- Esnek tasarıma izin verme,
- Enerji kazanımı, korunumu, üretimi yapılabilmesi,
- Su depolama ve yeniden kullanımı,
- Sera gazı emisyonlarında azalma sağlama,
- Hava kirliliğini önleme,
- Yağmur suyu depolama,
- Alan ve malzeme tasarrufu sağlanması,

açısından sürdürülebilir, enerji etkin yenilikçi ve estetik çözümlerin üretildiği görülmüştür.

Yapılan literatür taraması ve analizler sonucu elde edilen verilere dayanarak, ‘Enerji etkin cephe sistemleri tasarımında doğa esinli tasarım yaklaşımı olan biyomimikri optimum düzeyde çözüm sağlayabilir.’, hipotezi doğrulanmıştır.

Yapı cepheleri anlatıldığı üzere tam olarak; enerji, malzeme ve bilgi alışverişi yapabilen görsel bir etki oluşturan karmaşık bir yüzey olarak düşünülebilir.

Bulduğu çevrede çeşitli koşullara karşı farklı tekniklerle uyum sağlayabilen yapı kabuğunun bir parçası olan cephe çevresi ile bütünleşebilir, bu da sürdürülebilirliği hakkında bilgi verir.

Temeli doğa olan biyomimikri, mimarlara enerji etkin cephe sistemi tasarımlarında, sistemler için sürdürülebilir yenilikçi fikirler üretmesinde, günümüzde ve gelecekte ortaya çıkabilecek enerji sorunlarına karşı etkin çözümler üretilmesi noktasında çok önemli sistematik bir yaklaşım sunar.

Öneriler

Günümüzde bazı yapılarda görebiliyor olsak da gelecekteki yapı kabuğu tasarımlarının doğal ciltlerin özelliklerine sahip olması amaçlanmaktadır.

Tez kapsamında sınırlı sayıda incelenen proje ile organizmaların stratejilerinin enerji problemlerini çözmek için yol gösterici olduğu görülmektedir. Burada önemli olan bu stratejilerin analizlerinin yapıp soyutlanarak en iyi verimi alacak şekilde sisteme aktarımının sağlanmasıdır.

Araştırmada görüldüğü üzere aktarım cephe sisteminin farklı seviyelerinde (element, malzeme, bileşen vb.) yapılabilmektedir. Enerji etkinliğin giderek çok daha önemli hale geleceği öngörüsüyle cepheler tek bir bileşeniyle (algleri kullanan paneller, güneş şemsiyeleri vb.) bile etkin çözümler sunabilir. Bu çözümlerin sistem halinde veya tek bileşen halinde mevcut binalara ya da tasarlanacak binalara dahil edilmesiyle yapılar enerji etkin hale gelebilir.

Dikkate alınması gereken binaların tasarımları için enerji tüketiminin azaltılarak, iç mekân konforunu sağlamanın yanısıra yapının verdiği olumsuz çevresel etkiler (sera gazı emisyonları, ısı adası etkisi vb.) de minimum seviyelerde tutulmalıdır. Bu noktada doğadan esinlenen cephe sistemlerinin, yapı sistemleri (HVAC, aydınlatma vb.) ve çevre ile koordinasyon içinde çalışarak enerji tüketimini azaltacak şekilde sistemin çalışması için enerji kullanımının olmayacağı, doğal çevrenin bir parçası gibi çalışan teknolojileri gerektirmesi beklenmektedir.

Doğal sistemler burada yol gösterici olmakla birlikte tasarımlara aktarımda disiplinler arası iş birliği gerektirmektedir. Bu nedenle mimari tasarımcı, inşaat mühendisliği, biyoloji, fizik, kimya, klimatoloji, fizyoloji, psikoloji, nanoteknoloji ekoloji, bilgisayar mühendisliği, sibernetik ve yapay zekâ vb. gibi disiplinlerle iletişim halinde olmalıdır. Böylece biyolojik modeller akılcı bir şekilde soyutlanarak tasarımlara aktarıldığında enerji tüketiminin azaltılmasının ötesine geçerek kendi enerjisini üretebilir hale gelip, CO2 salınımı yapmayan (sıfır karbon yapılar) çok işlevli olacak şekilde sistemler üretilir. Bunun için enerji etkin cephe sistemleri tasarlanırken biyolojik

çözümler iyi tanımlanmalı ve cephe tasarımlarının oluşturulmasında yaşanan problemler göz önüne alınarak anlaşılıp tasarım sürecine entegre edilmelidir.

Bu nedenle mimar, mimari bir nesne ya da cephe sistemi tasarlarken biyomimikrinin etkilerini göz önünde bulundurarak doğa yasalarını etkin bir biçimde tasarıma aktarabilmek için biyomimikri ilkelerini en özelden en genel seviyeye kadar, yorumlayabilmelidir. Yenilikçi, enerji etkin çözümlerin cephe sistemine daha sistemli ve en iyi verimi alacak şekilde aktarımı için iş birliğinin yanı sıra mimari tasarımcı bu yorumlamayı yapabilmelidir.

Bu çalışmada enerji etkinliğinin analizi, çalışmada belirlenen ilkeler çerçevesinde biyomimetik projelerden elde edilen veriler üzerinden nitel bir şekilde değerlendirilerek yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda daha güvenilir ve net veriler elde edebilmek amacıyla biyomimetik proje analizlerinin, enerji simülasyon programları (ECOTECH, Energy-10, e-QUEST, Energy-Plus, Esp-r, TRNSYS vb.), enerji performansı hesaplama yöntemleri vb. (Türkiye için ulusal hesap modeli BEP-TR) ile yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- A. Mohamed, N., F. Bakr, A., E. Hasan, A., 2019, Energy Efficient Buildings in Smart Cities: Biomimicry Approach, Real Corp 2019: Is This The Real World? Perfect Smart Cities vs. Real Emotional Cities, Proceedings, ISBN 978-3-9504173-6-4 (CD), 978-3-9504173-7-1 (print), Karlsruhe, Germany
- A.N., Radwan, G., Osama, N., 2016, Biomimicry, An Approach, For Energy Efficient Building Skin Design, Procedia Environmental Sciences 34, Available online at www.sciencedirect.com, 178 – 189.
- Aksamija, A., 2013, Sustainable facades: Design methods for high-performance building envelopes. John Wiley & Sons.
- Aldemir, B.C., 2014, Bina Kabuğunun Biçimlenmesinde Doğal Süreçlere Dayalı Üretken Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 6-15.
- Aristoteles, 2019, The Project Gutenberg EBook of Aristotle's History of Animals, (Çeviren: Cresswell, R., 1887.), <http://www.gutenberg.org/files/59058/59058-h/59058-h.htm#Corrections>, Erişim tarihi; 10.4.2020,
- Arslan Selçuk, S. (2009). Proposal for a Non-Dimensional Parametric Interface Design in Architecture: A Biomimetic Approach. Middle East Technical University.
- Badarnah, L., Knaack, U. 2007, Bio-Inspired Ventilating System for Building Envelopes. Proc. of the Int. Conf. of 21st Century: Building Stock Activation, ed. Y. Kitsutaka, TIHEI: Tokyo, pp. 431-438.
- Badarnah, K., L., 2012, Towards the Living Envelope Biomimetics for building envelope adaptation, Bachelor of Architecture Theses, Delft University of Technology, Netherlands.
- Bar-Cohen, Y., 2011., Biomimetics: nature-based innovation. CRC press.
- Baumeister, D., vd., 2011, Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Best Practices, A joint effort of the Biomimicry Institute and Biomimicry Guild.
- Beevor, M., 2010, Smart Building Envelopes. (4th Year Project Report). University of Cambridge, Department of Engineering.
- Begeç, H., Savaşır K., 2004, Akıllı Giydirmeye Cephe Sistemlerinin Havalandırma Şekillerinin İncelenmesi, Çatı Cephe Fuarı- CNR, İstanbul.
- Benyus, J., 1997, Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. HarperCollins Publishers Inc.
- Bertness, M. D., vd., 1992, Components of recruitment in populations of the acorn barnacle *Semibalanus balanoides* (Linnaeus), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 156(2), 199-215. doi: 10.1016/0022-0981(92)90246-7

- Beyaztaş, H.S., 2012, Mimari tasarımda ekolojik bağlamda biçim ve doğa ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bezemer, V., 2009, Sustainable buildings by imitating nature cooling techniques, pg3.
- Barthlott, W., Rafiqpoor, M. D., Erdelen, W. R., 2016, Biomimetic Research for Architecture and Building Construction, Volume 9, Chapter 3; Biological Design and Integrative Structures Bionics and Biodiversity – Bio-inspired Technical Innovation for a Sustainable Future, Springer
- Bozkurt, C., 2010, Kinetik sistemlerle çalışan, biyomimetik bir kentsel donatı tasarımı – Urbancot, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 7-11.
- Chayaamor-Heil, N., ve Hannachi-Belkadi, N., 2017, Towards a platform of investigative tools for biomimicry as a new approach for energy-efficient building design. Buildings, 7(1), 19.
- Compagno, A., 2002. Intelligent Glass Facades, Birkhauser, Verlag, Berlin, Deutschland.
- Çakır, G., 2011, Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Yüksek Yapıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakır, G., 2012, Enerji Etkin Çift Kabuk Cephe Sistemleri, Haliç Üniversitesi, X. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu.
- Deheyn, D. D., ve Wilson, N. G., 2011, Bioluminescent signals spatially amplified by wavelength-specific diffusion through the shell of a marine snail. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278(1715), 2112-2121.
- Dunster, A.M., 1997, Naturally Innovative: Using Biomimetics in Construction, IP 11/07.
- Eggermont M., 2007, Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool. Schulich School of Engineering, University of Calgary.
- Ekim, E., 2013, Cephenin Bir Sistem Olarak Tasarlanması ve Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erturan, B., 2010, Akıllı Cephe Tasarım İlkeleri ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Esen, S., 2019, Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Farchi Nachman, Y., 2009, Learning From Nature: Thermoregulation Envelope. *TU Delft Façade Design*, Netherlands, 57-68.

- Fayemi, P. E., Wanieck, K., Zollfrank, C., Maranzana, N., & Aoussat, A., 2017, Biomimetics: process, tools and practice. *Bioinspiration & biomimetics*, 12(1), 011002.
- Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G., vd., 2016, Shape morphing solar shadings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 863–884. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.086>.
- Gruber P., 2007, *The Signs of Life in Architecture, Bioinspiration and Biomimetics*, IOP Publishing 3.
- Gruber, P., Gosztony, S., 2010, *Design and Nature V*, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 138, © 2010 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3541 (on-line), doi:10.2495/DN100451.
- Gruber, P., 2011, *Biomimetics in Architecture: Architecture of Life and Buildings*. Springer-Verlag/ Wien
- Güleç, D., 2007, *Bina Enerji Performans Simülasyonunun Mimari Tasarım Stüdyosuna Entegrasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gür, N. V., 2007, *Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güvenç, B., 2008, *Sürdürülebilirlik Bağlamında Ekolojik Tasarım Prensiplerinin Mimaride Uygulanabilirliğinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hasol, D., 2002, *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü (8. Baskı)*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- Hausladen G., Saldanha M., Liedl P., 2006. *Climate Skin*, Birkhauser, Basel, Boston, Berlin.
- Hill, R.W., Wyse, G.A., and Andreson, M., 2008, *Animal Physiology*, Massachusetts, Sinauer Associates Inc.
- Holt, A. L., Vahidinia, S., Gagnon, Y. L., Morse, D. E., & Sweeney, A. M., 2014, Photosymbiotic giant clams are transformers of solar flux. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(101), 20140678.
- Işık, M., K., 2007, *Atık Su ve İçme Suyu Şebeke Hizmetlerinde Özelleştirme*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karamanlioğlu, Ş., 2011, *Enerji Etkin Bina Cephe Sitemlerine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Klein, T., 2013, Integral Facade Construction: Towards a new product architecture for curtain walls. TU Delft.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., Auer, T. 2007. Façades: principles of construction. Birkhäuser.
- Kuday, I., 2009, Tasarım Sürecinin Destekleyici Faktör Olarak Biyomimikri Kavramının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- Knippers, J., Nickel, K. G., & Speck, T., 2016, Biomimetic Research for Architecture and Building Construction, Chapter 5, Switzerland: Springer International Publishing.
- Liddament, M., W., 1996, A Guide to Energy Efficient Ventilation, Annex V.
- Lienhard, J., Schleicher, S., Masselter, S.P.T., Müller, L., Sartori, J., 2012, A Hinge-less Flapping Mechanism Inspired by Nature, https://www.itke.unistuttgart.de/img/uploads/2018/02/flectofin_brochure.pdf.
- Mazzoleni, I., 2010, Biomimetic Envelopes, https://www.researchgate.net/publication/307648464_Biomimetic_Envelopes, Alındığı tarih: 15.01.2019.
- Mazzoleni, I., Maya, A., Bang, A., Molina, R., Barron, F., Pei Li, Y., 2011, Biomimetic Envelopes: Investigating Nature to Design Buildings, Proceedings of the First Annual Biomimicry in Higher Education Webinar, The Biomimicry Institute |Webinar Document, 27- 32.
- Mazzoleni, 2013, I. Architecture Follows Nature-Biomimetic Principles For Innovative Design, CRC Press.
- Nachtigall, W., 2002, Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler (2nd ed.). Berlin: Springer-Verlag.
- Özkılıç Keles, C., 2008, Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Paar, M.J., Petutschnigg, A., 2016, Biomimetic inspired, natural ventilated facade – A conceptual study, Journal of Facade Design and Engineering 4, DOI 10.3233/FDE-171645, IOS Press, 131–142.
- Panchuk, N., 2006, An Exploration into Biomimicry and its Application in Digital & Parametric [Architectural] Design. Master of Architecture Thesis, University of Waterloo.
- Parkin, I. P., Manning, T., D., 2006, Intelligent Thermochromic Windows, Journal of Chemical Education, 83(3), 393.
- Pawlyn, M., 2016, Biomimicry in architecture, 2nd edition, RIBA Publishing.

- Peters, T., 2011, Nature as measure: The biomimicry guild. *Architectural Design*, 81(6), 44-47.
- Pfaffstaller S., 2004, Aero Dimm, Biomimetics Design Exercise, TU Vienna, Avusturya.
- Pohl, G., Nachtigall, W., 2015, *Biomimetics for Architecture & Design, Nature—Analogies—Technology*, Springer Switzerland
- Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S., 2018, What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6(3), 65-76.
- Sandak, A. M., Sandak, J. M., Brzezicki, M., & Kutnar, A., 2019, Bio-based building skin. *Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije*.
- Saeli, M., Piccirillo, C., Parkin, I.P., Binions, R., and Ridley, I., 2010, Optimisation of Thermochromic Thin Films on Glass; Design of Intelligent Windows, *Advances in Science and Technology*, 75, 79-90.
- Schittich, C., 2006, *In Detail: Building Skins – New Enlarged Edition*, Birkhäuser.
- Schleicher, S., Lienhard, J., Poppinga, S., Speck, T., & Knippers, J., 2014, A methodology for transferring principles of plant movements to elastic systems in architecture. *Computer-Aided Design*, 60, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.01.005>.
- Schmidt-Nielsen, K., 2007, *Animal physiology: adaptation and environment*, New York: Cambridge University Press, 217-297.
- Selçuk, S., ve Sorguç, A., 2004. Similarities in Structures in Nature and Man-Made Structures: Biomimesis in Architecture”, 2nd International Design and Nature Conference Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Rodos, 45-54, 28-30 Haziran 2004.
- Sev, A. ve Özgen A., 2003. Yüksek Binalarda Sürdürülebilirlik ve Doğal Havalandırma, *Yapı Dergisi*, 262, 92-99.
- Sevinç, U. 2006, *Mimari Cephede Dokusal Etkilerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Steadman, P., 2008, *The Evolution of Designs: Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts*. New York: Routledge.
- Tokuç, A., 2004., İzmir’de Enerji Etkin Konut Yapıları İçin Tasarım Kriterleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Turner S., Soar R.C., 2008, Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON) Loughborough University.
- U. Harputlugil, G., 2016, Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri, Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi 'ne Ait El Kitabı, Ankara.
- Velikov, K., & Thün, G., 2013, Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms, Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice, 75-92.
- Vincent, J. F. V., Bogatyrev, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A. & Pahl, A.-K., 2006, Biomimetics- its practice and theory, Journal of the Royal Society Interface, Nisan 2006.
- Vogel, S., 1998, Cats' Paws and Catapults, Mechanical Worlds of Nature and People., W.W. Norton&Company.
- Yellamraju, V., 2004. Evaluation And Design Of Double-Skin Facades For Office Buildings In Hot Climates, Texas A&M University Master Thesis, Texas, U.S.A.
- Zari, M. P., 2007, Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability, Transforming Our Built Environment: New Zealand Sustainable Building Conference, Auckland, 14-16 Kasım, 2007. Alındığı tarih: 28 Aralık 2018. <http://www.cmnzl.co.nz/assets/sm/2256/61/033-PEDERSENZARI.pdf>
- Zari, M. P., 2018, Regenerative urban design and ecosystem biomimicry. Routledge.
- Zigenfus, R., E., 2008, Element Analysis of the Green Building Process, Yüksek Lisans Tezi, Rochester Institute of Technology Masters of Science in Environmental, Health and Safety Management, New York.
- Wigginton, M., Harris, J., 2002, Intelligent Skins. Oxford: Architectural Press.
- Woolley-Barker, T., 'Learning from the master shapeshifter: Cephalopod technologies', Zygote Quarterly, No.4, Winter 2012, pp. 12-27, <https://asknature.org/strategy/adaptive-camouflage-helps-blend-into-the-environment/>, Erişim tarihi: 09.03.2020

Web İletileri:

Web İletisi 1:

<https://sozluk.gov.tr/?kelime=al%C3%BCminyum%20cephe>

Web İletisi 2:

<https://www.etymonline.com/word/facade>

Web İletisi 3:

<https://www.etimolojiturkce.com/kelime/>

Web İletisi 4:

<https://sozluk.gov.tr/?kelime=enerji>

Web İletisi 5:

<https://www.plafometal.com/suspended-ceilings-their-environment>

Web İletisi 6:

<http://www.mimdap.org/?p=159665>

Web İletisi 7:

https://www.archdaily.com/330700/ad-classics-chicago-federal-center-mies-van-der-rohe/513e8a48b3fc4b560c000004-ad-classics-chicago-federal-center-mies-van-der-rohe-photo?next_project=no

Web İletisi 8:

<https://tr.pinterest.com/pin/565764771913623166/>

Web İletisi 9:

<https://www.tboake.com/hooker.html>

Web İletisi 10:

https://www.tboake.com/pdf/double_facade_general.pdf

Web İletisi 11:

<https://www.sheppardrobson.com/architecture/view/helicon-ec2>

Web İletisi 12:

<https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/>

Web İletisi 13:

<https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>

Web İletisi 14:

<https://biomimicron.wordpress.com/2012/12/13/biomythology-eastgate-gate-2-or-how-the-eastgate-centre-harare-is-not-like-a-termite-mound/>

Web İletisi 15:

<https://prosperportland.us/wp-content/uploads/2016/07/Lloyd-Crossing-Plan.pdf>

Web İletisi 16:

[https://www.designanduniverse.com/articles/lotusan.php \)](https://www.designanduniverse.com/articles/lotusan.php)

Web İletisi 17:

<http://breakthroughmechans.blogspot.com/2017/>

Web İletisi 18:

<https://medium.com/@ryan.guerrero/examining-the-crystal-palace-and-other-cultural-artifacts-of-the-worlds-fairs-c6849c8f09d>

Web İletisi 19:

<https://blog.prontotour.com/gaudinin-hayal-dunyasi-esliginde-barselona-gezisi/>

Web İletisi 20:

http://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/4433/TWATerminal.pdf

Web İletisi 21:

[https://www.architecturaldigest.com/gallery/buckminster-fuller-architecture\)](https://www.architecturaldigest.com/gallery/buckminster-fuller-architecture)

Web İletisi 22:

<https://www.arkitektuel.com/munih-olimpiyat-stadyumu/>

Web İletisi 23:

[https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/.](https://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/)

Web İletisi 24:

<https://www.esf.edu/efb/turner/termitePages/termiteGasex.html>

Web İletisi 25:

[https://www.edenproject.com/visit\)](https://www.edenproject.com/visit)

Web İletisi 26:

<http://www.zigersnead.com/current/blog/post/kelvins-conjecture-the-sustainability-of-optimization-and-integration/06-23-2008/1193/>

Web İletisi 27:

<http://www.bbc.com/storyworks/earth/garden-of-wonders/gardens-by-the-bay>

Web İletisi 28 :

<https://www.thegreatcoursesdaily.com/biology-questions-after-octopus-bites-woman-on-face-during-photo-pose/>

Web İletisi 29:

<https://asknature.org/idea/flectofin-hingeless-louver-system/>

Web İletisi 30:

["https://architizer.com/projects/biotic-tech-skyscraper-city/](https://architizer.com/projects/biotic-tech-skyscraper-city/)

Web İletisi 31 :

https://pocacito.eu/sites/default/files/BIQhouse_Hamburg.pdf

Web İletisi 32 :

<https://www.architonic.com/en/project/arup-biq-house/5101636>

Web İletisi 33:

<https://www.archdaily.com/789230/let-your-building-to-breathe-with-this-pneumatic-facade-technology>

Web İletisi 34:

<http://inhabitat.com/ch2-australias-greenest-building/>.

Web İletisi 35:

<https://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc/51cc7180b3fc4be56b000078-ch2-melbourne-city-council-house-2-designinc-photo>

Web İletisi 36:

<https://earthlymission.com/take-a-look-inside-a-termite-mound>

Web İletisi 37:

<https://www.esf.edu/efb/turner/termitePages/termiteGasex.html>

Web İletisi 38:

https://www.lysaghtasean.com/sg/en/case_studies/esplanade-theatres-on-the-bay/

Web İletisi 39 :

<https://www.dezeen.com/2008/07/30/sinosteel-international-plaza-by-mad/>

Web İletisi 40:

<http://www.achimmenges.net/?p=5612>

Web iletisi 41:

<https://arch5541.wordpress.com/2012/11/08/2534/>

Web İletisi 42:

<https://foxlin.com/decker-yeadons-homeostatic-facade-system/>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emine GÜNDOĞDU
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 1994
Telefon : -
Faks : -
e-mail : mine.gndo@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi (Mimarlık Fakültesi) Mimarlık Bölümü	2016
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi Mimarlık Bölümü	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
06.2014-07.2014	RMA Müşavirlik Mühendislik Ltd. Şti	Stajyer
08.2015-09.2015	PROMİM Mimarlık	Stajyer

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

GÜNDOĞDU EMİNE, ARSLAN HATİCE DERYA, 2019, Yapı Kabuğu Tasarımında Biyomimesis Kullanımının Örnekler Üzerinden Değerlendirilmesi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(4), 159-168.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (*proceedings*) basılan bildiriler:

GÜNDOĞDU EMİNE, ARSLAN HATİCE DERYA, 2019, "Evaluation of the Use of Biomimesis in Building Shell Design Through Examples," International Symposium for Science and Engineering Research (ISESER 2019), May 25-27, 2019, Konya, (Full text paper, Oral Presentation).