

PAPER DETAILS

TITLE: Mimaride Enerji Etkin Cephe Ve Biyomimikri

AUTHORS: Emine GÜNDOĞDU,Hatice Derya ARSLAN

PAGES: 922-935

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1307381>

Energy-Efficient Facade and Biomimicry in Architecture

 Emine GÜNDOĞDU  H. Derya ARSLAN* 

Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, 42090, Meram/KONYA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 24/09/2020

Revision: 27/10/2020

Accepted: 27/10/2020

Highlights

- Energy efficiency in building design.
- Biomimetic façade systems.
- Sustainable solutions.

Keywords

 Biomimicry
 Energy efficient facade design
 Sustainability

Energy requirements in the design, construction and use of buildings have a major impact on the consuming of energy resources. For this reason, it is important to build buildings in a way that is least harmful to the environment and energy efficient. The façade, which is the first surface where the building communicates with the external environment, is the part that affects energy usage the most.

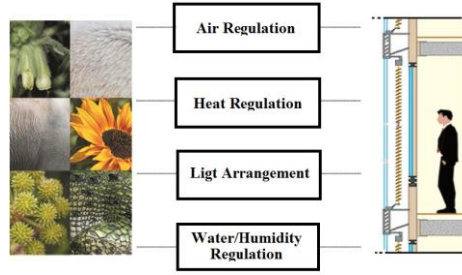


Figure A. Basic principles for energy efficiency in building facades

Purpose: The main aim of this study is to find the answer of the question; “Can solutions for providing energy efficiency in building facade systems be designed by taking inspiration from the systems in nature?”

Theory and Methods: 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, five 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 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.

Results: 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 regulation with especially heat and light regulation, in biomimetic facade systems.

Conclusion: When designing energy efficient facade systems, biological solutions should be well defined and integrated into the design according to the problems experienced in the creation of facade designs. In addition, in order to obtain more reliable and clear data, it is recommended that biomimetic project analysis be performed with energy simulation programs and energy performance calculation methods.



GU J Sci, Part C, 8(4): 922-935 (2020)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi
PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>


Mimaride Enerji Etkin Cephe ve Biyomimikri

Emine GÜNDOĞDU H. Derya ARSLAN*

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 42090, Meram/KONYA

Öz

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 24/09/2020
Düzeltilme: 27/10/2020
Kabul: 27/10/2020

Anahtar Kelimeler

Biyomimikri,
Enerji etkin cephe
tasarımı,
Sürdürülebilirlik

Keywords

Biomimicry,
Energy efficient facade
design,
Sustainability

Bu çalışmada “Bina cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümler doğadaki sistemlerden ilham alınarak tasarlanabilir mi?” sorusuna yanıt bulunması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda doğal varlıkların, doğal derilerin, bir cephe sisteminin enerji etkinliğini en çok etkileyen hava, ısı, ışık, su ilkeleri doğrultusundaki çözümleri incelenmiştir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında biyomimetik yaklaşımın cephe tasarımlarında nasıl enerji etkin çözümler ürettiği araştırılmıştır. Bu kapsamda doğadan esinlenen biyomimetik cephe sistemlerinin enerji etkin çözümleri (verimlilik, koruma, üretme vb.) sağlama yöntemleri belirlenen örnek projeler üzerinden incelenmiştir. Gerekli literatür taramasının ardından farklı özelliklere sahip beş proje enerji etkin cephe tasarımında etken hava, su, ısı, ışık düzenleme ilkeleri ile geliştirilen tablo aracılığı ile doğadan esinlenilen varlığın, canlının; yapısı, cildi, derisi, yüzey veya tabakası gibi etkileşim stratejileri üzerinden analiz edilmiştir. Bu stratejilerin, cephe sistemlerine biyomimikrinin hangi seviyesinde ve yaklaşımında aktarıldığı tespit edilmiştir. Sistemin belirlenen ilkeler doğrultusunda sağladığı enerji etkin çözümler tek tek analiz edildikten sonra bu ilkeler doğrultusunda karşılaştırmalı bir tablo üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda biyomimetik yaklaşımla sürdürülebilir, yenilikçi ve alternatif çözüm önerileri ile enerji etkin cephe sistemlerinin tasarlanabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca biyomimetik cephe sistemlerinde ısı ve ışık düzenlemesi başta olmak üzere hava ve su düzenlemelerine yönelik çözümler üretilerek enerji etkinliğin sağlandığı görülmüştür.

Energy-Efficient Facade and Biomimicry in Architecture

Abstract

In this study, it is aimed to find the answer of the question; ‘Can solutions for providing energy efficiency in building facade systems be designed by taking inspiration from the systems in nature?’. 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 facade systems inspired by nature have been examined through the sample projects identified. Following the required literature review, five 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 at which level and approach of biomimicry. In biomimetic facade systems, it was determined at which level these strategies are used in the system and what type of facade 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 regulation with especially heat and light regulation, in biomimetic facade systems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Binaların 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.

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. Literatürde enerji etkin cephe sistemleri incelenerek, bu sistemlerdeki mevcut çözümler üzerinden enerji etkinliği sağlayan temel ilkeler belirlenmiştir [1-2]. Ayrıca son yıllarda doğal varlıkların, organizmaların, bu ilkeler doğrultusunda enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümlerinde ele alındığı çalışmalar mevcuttur [3-4]. Ekolojik bina cephesi yada enerji etkin bina cephesi tasarımlarında doğanın çözümlerini kullanarak öne çıkan yaklaşımların baz alındığı pek çok paradigma göze çarpmaktadır. Bu bağlamda farklı disiplinlerde temeli doğanın çözümlerine dayanan, biyo-esin (*Bioinspiration*), biyomimikri (*Biomimicry*), biyomimetik (*Biomimetic*), biyonik (*Bionic*), biyofili (*Biophilia*), biyomorfik (*Biomorphic*) gibi terimlerle karşılaşılmaktadır. 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 bilimciler arasında kullanımı yaygınlaşmıştır. Literatürde biyomimikri ve cephe tasarımına yönelik farklı çalışmalar mevcuttur [5-6].

Bu çalışmada ise “Bina cephe sistemlerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik çözümler doğadaki sistemlerden ilham alınarak tasarlanabilir mi?” sorusunun cevabı; biyomimikrinin cephe tasarımında enerji etkin çözümlere katkısını hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme ilkeleri üzerinden (cephede enerji etkinliği sağlamaya yönelik ilkeler) ele alınarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç ve araştırma problemi doğrultusunda 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 de kısaca yer verilmiştir. Sonrasında geliştirilen metodoloji ile 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. Analizleri yapılan projelerin karşılaştırmalı nitel değerlendirme tablosu hazırlanmıştır.

2. ENERJİ ETKİN CEPHE TASARIMI VE BİYOMİMİKİRİ (ENERGY EFFECTIVE FACADE DESIGN AND BIOMIMICRY)

2.1. Enerji Etkin Cephe Sistemleri (Energy Effective Facade Systems)

Yapıda en büyük alana sahip olan ve yenilenebilir enerji kaynakları ile doğrudan temas halinde olan (güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi) cephe sistemlerinde teknolojinin sağladığı olanaklarla birlikte enerjinin etkin kullanımı sağlanabilmektedir. Cepheler pek çok işleve sahiptir. 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

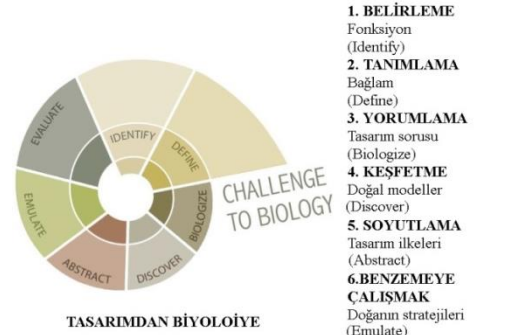
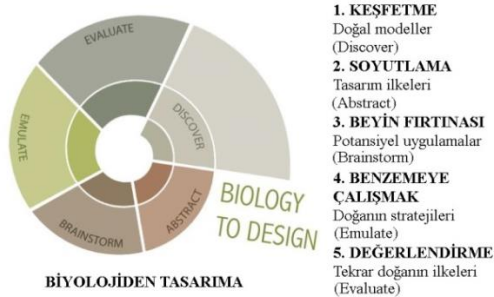
enerji etkinliğini sağlaması yönündeki rolünü inceleyen pek çok çalışma yapılmaktadır. Bina cepheleri aracılığı ile enerji etkinliği; cephe sistemi tabaka sayısı, cephelerin doluluk boşluk oranları, cepheyi oluşturan alt sistemlerin-kapı, pencere gibi sistemlerin yalıtımı, cephede kullanılan malzemelerin enerji etkin özellikleri, bir bütün olarak cephe sisteminin enerji üretimi korunumu ve enerjiyi verimli kullanabilmesi gibi özelliklerle sağlanabilmektedir. Cephe sistemleri; kullanılan malzeme, strüktür türü gibi farklı cephe bileşenlerinin özelliklerine göre ya da yapım amaç ve tekniklerine göre farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Bunlardan bazıları biyomimetik cephe, kinetik cephe, akıllı cephe, interaktif cephe, duyarlı cephe, değiştirilebilir cephe vb. gibidir. 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 bu çalışma kapsamında biyomimetik cepheler incelenmiştir. 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. Biyomimikri (Biomimicry)

Doğa, milyarlarca yıldır kendini devam ettirmeyi başarmıştır. Doğada insanoğlunun çözmeye çalıştığı birçok sorun hâlihazırda çözülmüş durumdadır, önemli olan insanların aradıkları çözüm için doğaya bakmalarıdır [7]. 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 [8]. 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 çoğunun, 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 [9]. Bu nedenle geçmişten günümüze farklı disiplinlerde pek çok doğa esinli tasarımlar yapılmıştır.

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 [10]. 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. Zari (2018) [11]’ e göre tasarım probleminin çözümü noktasında doğa üç seviyede taklit edilmektedir. Bunlar; organizma seviyesi, davranış seviyesi, ekosistem seviyesidir. Seviye doğanın hangi yönünün taklit edildiği anlamındadır. 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 [12]. Biyomimikrinin tasarıma uygulanması sürecinde araştırmacılar, tasarımdan biyolojiye yönelik ve biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım olarak iki farklı yöntem ele almışlardır. i) Biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım: Biyolojik bir olgu, yani tanımlanan bir organizma ya da ekosistemin belirli bir özellik, davranış ya da işleyişini inceleyip elde edilen verilerle tasarım sorununu çözmeye yeni bir seçenek sunar (Şekil 1). Biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşım, Panchuk (2006) [13] tarafından dolaylı yaklaşım, Badarnah (2012) [14] tarafından çözüm tabanlı yaklaşım olarak adlandırılmaktadır. 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 yaklaşım biyolojinin bir

tasarım sorununa çözüm üretme adımlarını içerir. Biyolojik bir araştırmanın yapılmış olması ve sonuçların tasarım bağlamında kullanılabilir şekilde belirlenmiş olması gerekliliği yönünden, bu yaklaşımın tasarım açısından sınırları vardır [20]. ii) 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).



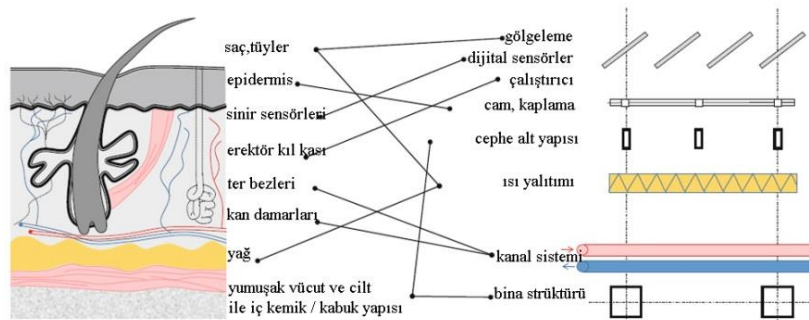
Şekil 1. Biyolojiden tasarıma yönelik tasarım (Biomimicry Guild' den aktaran [15]).

Şekil 2 Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşım (Biomimicry Guild' den aktaran[15]).

Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşıma, Panchuk (2006) [13]' nın dolaysız yaklaşım, Badarnah (2012) [14]' nin 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 [16]. Doğadan esinlenilen 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 alması uygundur [13].

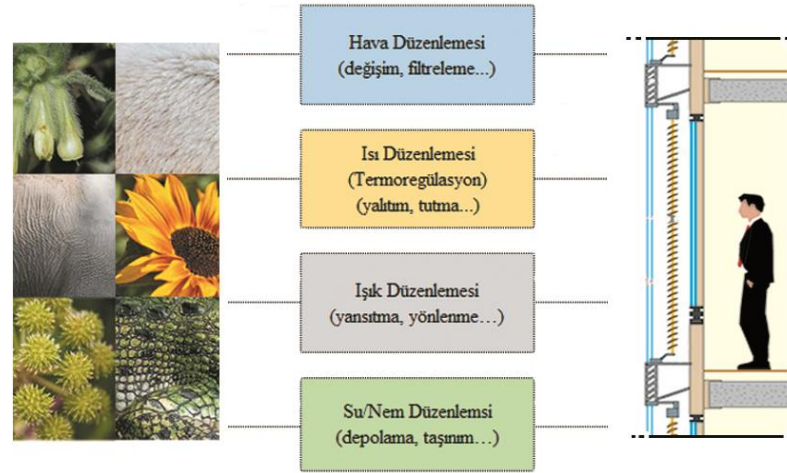
2.3. Enerji Etkin Cephe Tasarımı ve Biyomimikri İlişkisi (Energy Efficient Facade Design and Biomimicry Relationship)

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. Cephelerin mimarideki işlevi ve doğanın (deri, zarlar, kabuklar, kılıflar, kütiküller) geliştirdiği büyük koruyucu tabaka çeşitlilikleri ile benzerlik taşır. Doğal canlıların cildi, yapılarını dış koşullardan koruyan en önemli katmandır [17]. 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).



Şekil 3. Hayvan derisi ve bina cephesi arasındaki benzerlik [16]

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 4).



Şekil 4. Bina cephelerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik temel ilkeler [14]’den uyarlanmıştır.

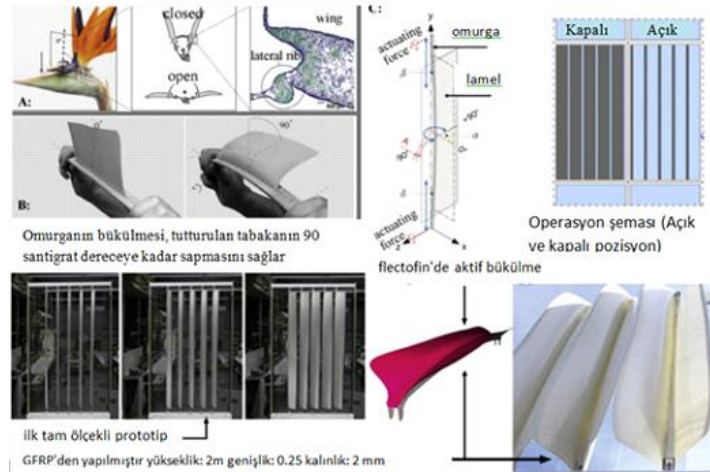
Canlı organizmaların hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme stratejileri enerji etkin cephe tasarımları için kavramsal fikirler ve çözümler barındırmaktadır. Yapılan çıkarımları desteklemek ve öneriler getirmek amacıyla biyomimetik yaklaşım yöntemi ile doğadaki bu düzenleme ilkelerinin mimari cephelere nasıl aktarılabilirliği sorusu ile çalışmaya başlanmıştır. Devamında belirlenen kavramlar ve ilkelerle (mevcut enerji etkin cephe sistematığı, biyomimikri yaklaşımları ve ilkeleri vb.) oluşturulan değerlendirme tablosu ile çözüm önerileri getiren örnek projelerin enerji etkinliği analiz edilmiştir.

3. BİYOMİMETİK CEPHE SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ (ENERGY EFFICIENCY OF BIOMIMETIC FACADE SYSTEMS)

Enerji etkin cephe sistemleri ve biyomimikri arasında ilişkiyi analiz edebilmek için farklı canlılardan esinlenerek tasarlanmış, tasarım önerisi olarak geliştirilmiş, prototip olarak üretilmiş veya uygulanmış beş farklı projenin oluşturulan değerlendirme tablosu ile biyomimetik cephe sistemlerinin detaylı olarak enerji etkinlik (verimlilik, koruma, üretme vb.) analizleri yapılmıştır [18].

3.1. ‘Flectofin’ Projesi (‘Flectofin’ Project)

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 mekanizması 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. Menteşesiz mekanik sistemlerin kullanımı, interaktif cephe sistemleri ile yaygın olarak ilişkili bakım miktarını azaltmaktadır (Şekil 5) [19].

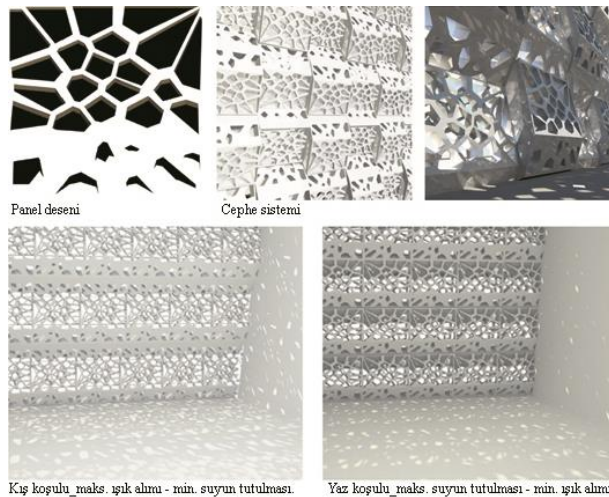


Şekil 5. Flectofin projesi [20,21]

3.2. Gözenekli Cilt Projesi (The Porous Skin Project)

Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsünde Ilaria Mazzoleni (2011) [22] 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 (Şekil 6).

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 [2].



Şekil 6. Gözenekli Cilt (The Porous Skin) Projesi cephe sistemi [22].

3.3. 'Biotic-Tech' Gökdelen Şehir Projesi ('Biotic-Tech' Skyscraper City Project)

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) ve doğanın kaynakları (güneş, hava akımı, su, bitki örtüsü) kullanılarak çevresel entegrasyon sağlayan binanın

şekli ve zarfının ana hatları tasarlanmıştır. Deniz süngerinin 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 tüneli 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 (Şekil 7) [23].



Şekil 7. Biotic-Tech Gökdelen Şehir Projesi [23]

3.4. 'The BIQ House', Biyo-Akıllı Cephe Projesi ('The BIQ House', Bio-Smart Façade Project)

'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 (CO_2) 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, CO_2 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, CO_2 yakalamak için alg kullanımı yoluyla karbonu nötr şekilde enerji üretebilmektedir. Bundan 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 (Şekil 8) [24].



Şekil 8. BIQ Apartman Binası [24]

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.

3.5. ‘CH2’ Ofis Binası (‘CH2’ Council House)

CH2, DesignInc adlı bir mimarlık firması tarafından tasarlanan, Avustralya'daki mevcut bir ofis binasının uzantısıdır. Şekil 9’ da gösterildiği gibi on katlı bir yapıdır ve ‘Avustralya'daki Yeşil Bina Konseyi’nden altı yıldız alan ilk binadır [25]. Yapıda ısıtma ve soğutma sistemi için termit höyüklerinin sıcaklığını düzenlemesinden esinlenilmiştir. 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 [26].



Şekil 9. Farklı açılardan CH2 binası [27]

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 [28]. 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 [26]. Servis çekirdeği ve tuvaletlerden oluşan doğu çekirdek ve cephe, ağaç kabuğunu taklit etmiştir. Cilt, arkasındaki havalandırma ıslak alandaki ışığı ve havayı filtreleyen koruyucu bir tabaka görevi görmüştür [28].

4. DEĞERLENDİRME VE BULGULAR (EVALUATION AND FINDINGS)

Doğanın stratejilerinin enerji etkin cephe tasarımına etkisi ele alınan projelerde; Organizma türü, Uygulanan organizmanın etki etme seviyesi, Projenin tasarım aşaması, İklim bölgesi ve Biyomimetik seviye ve yaklaşımlarına göre karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir (Tablo 1). Değerlendirmelere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- 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 görülmüştür. Prototip olarak üretilmiş, mevcut bina/sistem ve laboratuvarında test edilmiş örneklerde ise canlının çözümünün sisteme aktarılabilmesini ve enerji etkinliğin sağlandığı tespit edilmiştir.

- Biyomimikri seviyesi olarak, canlıların daha çok organizma ve davranış seviyesinde geliştirdiği stratejiler sisteme aktarılmıştır. Biyomimikri yaklaşımı olarak ise biyolojiden tasarıma yönelik yaklaşımda tasarımcıların daha çok canlının bulunduğu iklim, çevre koşulları altında yaşanan zorluklara karşı geliştirmiş olduğu çözümlerin kullanıldığı belirlenmiştir. Tasarımdan biyolojiye yönelik yaklaşımda ise bina cephelerinde enerji etkin, uyarlanabilir, sürdürülebilir, enerji verimli yenilikçi sistemler üretebilmek için belirlenen tasarım problemine (doğal havalandırma, ısıl düzenleme, havanın filtrelenmesi, nem değişimlerine tepki vb.) yönelik biyolojik organizmanın geliştirdiği strateji soyutlanarak cephe sistemlerine aktarıldığı gözlemlenmiştir.

Projelerde canlıların geliştirdiği stratejiler var olan enerji etkin sistemlerde (çift kabuk cephe, giydirme cephe şeklinde) sistemin farklı seviyelerine (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. 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, stoma tuğlalarından oluşan dış cephe parça birimi şeklinde tasarlanarak aktarılmıştır.
- Alt bileşen seviyesinde; gölgeleme elemanı, cephe panelleri, güneş şemsiyesi, bioreaktör panel, kontrollü pencere açıklıkları ve havalandırma kanalları, alüminyum gölgeleme cihazları, pencereler tasarlanarak aktarılmıştır.
- Element 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.

Tablo 1. Biyomimetik cephe sistemlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

	Canlı	Proje	Sistemin Mevcut durumu	İklim	Biyomimetik Seviye ve Yaklaşımı	Esnetilen Doğal Varlığın Enerji Etkin Stratejisi ve Sistemdeki Çözümü	Uygulanan Cephe Sistemi ve Sistemin Seviyesi	Enerji Etkinlik Değerlendirmesi	Cephe Enerji Etkinliği Sağlamaya Yönelik Temel İlkeler
1	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 (gölgelendirme elemanı) seviyesinde	Sistem ışık kontrolünü sağlarken Herhangi bir mekanizmaya ihtiyaç duymadığı için enerji tasarrufu ve esnek tasarıma imkan verir.	Hava Su Işı Işık Su
2	Su aygırı 	The Porou Skin 	Formüle edilmiş tasarım önerisi	Kurak ve yarı göl iklimi	Organizma ve davranış Seviyesi Biyolojiden tasarıma yaklaşım	Canlının farklı deri kalınlıklarının ısı ve ışık düzenleme, gün ışığından korunmayı sağlayan yapıları, yarı suda yaşam tarzı yapıya, pasif ısıtma/sogutma, ısı yalıtım, doğal aydınlatma, su depolama, ışık kontrolü ve dinamik gölgelendirme sağlanması yönünde aktarılır.	Sistemde bina bölünümü (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.	Hava Su Işı Işık Su
3	Mürekkep balığı ve deniz canlıları 	Biotic Tech 	Formüle edilmiş tasarım önerisi		Organizma ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Deniz hayvanlarının şeffaflık, esneklik, hareket, konuyu pigmentasyon özellikleri yapıya, doğal havalandırma ve aydınlatma, sıcaklık değişimine tepki, ışık kontrolü ve dinamik gölgelendirme şeklinde aktarılır.	Çift kabuk Cephe Sistemde bina Bölünümü (cephe sistemi), bileşen (rüzgar türbinleri), alt bileşen (güneş sensiyesi), element (gün ışığına tepki veren sensörler) seviyesinde	Cephe için esnek ilk katmanı rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. İkinci katmanla güneş enerjisinden yararlanılır. Enerji üretimi, kazasını ve korunumu vardır.	Hava Su Işı Işık Su
4	Algler 	BIQ Binası 	Mevcut bina		Organizma ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Alglerin CO ₂ emme, ışığın biyokütleye dönüşümü yapıya, Hava filtreleme, ısı yalıtımı, depolanması ve kazancı, doğal aydınlatma ve dinamik gölgelendirme sağlama şeklinde aktarılır.	Cepheye ek ikinci bir sistem olarak entegre edilebilir. Sistemde binabölünümü (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.	Hava Su Işı Işık Su
5	Termit ve ağaçlar 	CH2 	Mevcut bina	Okyanus iklimi	Organizma ve davranış Seviyesi Tasarımdan biyolojiye yaklaşım	Ağaç epidermisinin havalandırma mekanizması kabuklarının ısı geçirgenliği, termit höyüklerindeki delikler gözenekli dış yüzü ile ısıyı düzenleme, Yapıya doğal havalandırma ve aydınlatma, pasif ısıtma/sogutma, hava filtreleme, su depolama ve hasadı, ışık kontrolü sağlanması şeklinde aktarılır.	Çift kabuk cephe sistemi, Sistemde bina bölünümü (Cephe Sistemi), alt bileşen (kontrolü pencere açıklıkları, havalandırma kanalları), element (cephe panelleri) seviyesinde	Hava %100 filtrelenmiştir, Doğal aydınlatma ve havalandırma ile %65 enerji tasarrufu sağlanmıştır (A.N. Radwan, Osama, 2016). Hasad edilen ve depolanan su da soğutma sisteminde kullanılarak enerji tasarrufu sağlanır.	Hava Su Işı Işık Su

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Biyomimikrinin cephe tasarımında enerji etkin çözümlere katkısını hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme ilkeleri üzerinden ele alarak incelendiği çalışmada, biyomimetik yapı cephelerinde enerji etkinliği; a) Enerji tüketiminin azaltılması ve verimli kullanımı, b) Sistemin çalışması için hiç enerji gerekmemesi, c) Esnek tasarıma izin verme, d) Enerji kazanımı, korunumu, üretimi, e) Su depolama ve yeniden kullanımı, f) Sera gazı emisyonlarında azalma sağlama, g) Hava kirliliğini önleme, h) Yağmur suyu depolama, ı) Alan ve malzeme tasarrufu ile sağlandığı görülmüştür. Yapılan analizler sonucu elde edilen verilere dayanarak, ‘Enerji etkin cephe sistemleri tasarımında doğa esinli tasarım yaklaşımı olan biyomimikri optimum düzeyde çözüm sağlayabilir.’, hipotezi doğrulanmıştır. Temeli doğa olan biyomimikri, mimarlara enerji etkin cephe sistemi tasarlamalarında, sistemler için sürdürülebilir yenilikçi fikirler üretmesinde, günümüzde ve gelecekte ortaya çıkabilecek enerji sorunlarına karşı etkin çözümler üretilmesi noktasında çok önemli sistematik bir yaklaşım sunar.

Çalışma 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. Sonuç olarak biyomimetik cephe sistemlerinde hava, ısı, ışık, su düzenlemelerinden bir veya birkaçına çözümler üretilerek enerji etkinlik sağlanmıştır (Tablo 2). Bunlar arasından en çok ısı ve ışık düzenlemesiyle cephe sistemlerinde enerji etkinliğin sağlandığı görülmüştür.

Tablo 2. *Biyomimetik cephe sistemlerinin enerji etkinlik değerlendirmesi*

	Canlıdan Aktarılan Özellik	Hava	Isı	Işık	Su	Enerji Etkinlik Değerlendirmesi	Enerji etkin midir ?
1	Cennet kuşu çiçeğinin uyarana bağlı hareket sistemi			Işık kontrolü Dinamik gölgelendirme		Herhangi bir mekanizmaya ihtiyaç duymadığı için enerji tasarrufu sağlanır. Esnek tasarıma imkân verir.	✓
2	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.	✓
3	Deniz ayvanlarının 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.	✓
4	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.	✓
5	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.	✓

Cephelerde enerji etkinlik, tek bileşenle veya sistem halinde uygulanarak sağlanabilir. Dikkate alınması gereken binaların tasarımları için enerji tüketiminin azaltılarak, iç mekân konforunun sağlanması ve çevresel etkilerin de minimum seviyelerde tutulmasıdır. Bu noktada cephe sistemlerinin, yapı sistemleri ve

çevre ile koordinasyon içinde çalışarak enerji tüketimini azaltacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Doğal sistemler burada yol gösterici olmakla birlikte tasarımlara aktarımlar disiplinler arası iş birliği ile sağlanabilir. 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 çok işlevli olacak şekilde sistemler üretilebilir. 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 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 programlar ve enerji performansı hesaplama yöntemleri ile yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Karamanlioğlu, Ş., (2011), Enerji Etkin Bina Cephe Sitemlerine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [2] 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.
- [3] Xing, Y., Jones, P., & Donnison, I., (2017), Characterisation of nature-based solutions for the built environment. *Sustainability*, 9(1), 149.
- [4] Arslan S., Gönenç Sorguç A., (2007), "Mimari Tasarım Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi", Gazi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22(2):451-460.
- [5] Diamanti MV, Yu CP, Lee HK, editors., (2015), *Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*. Cham: Springer International Publishing; 115-134.
- [6] Loonen RCGM, Trčka M, Cóstola D, Hensen JLM., (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 25:483-493.
- [7] Benyus, J., (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. HarperCollins Publishers Inc
- [8] Beyaztaş, H.S., (2012), *Mimari tasarımda ekolojik bağlamda biçim ve doğa ilişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [9] 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.
- [10] Pawlyn, M., (2016), *Biomimicry in architecture*, 2nd edition, RIBA Publishing.
- [11] Zari, M. P., (2018), *Regenerative urban design and ecosystem biomimicry*. Routledge.
- [12] Zari, M. P., (2007), *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability, Transforming Our Built Environment: New Zealand Sustainable Building Conference*, Auckland, 14-16.
- [13] Panchuk, N., (2006), *An Exploration into Biomimicry and its Application in Digital & Parametric [Architectural] Design*. Master of Architecture Thesis, University of Waterloo.
- [14] Badarnah, K., L., (2012), *Towards the Living Envelope Biomimetics for building envelope adaptation*, Bachelor of Architecture Theses, Delft University of Technology, Netherlands.

- [15] Peters, T., (2011), Nature as measure: The biomimicry guild. *Architectural Design*, 81(6), 44-47.
- [16] Aldemir, B.C., (2014). Bina Kabuğunun Biçimlenmesinde Doğal Süreçlere Dayalı Üretken Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 6-15.
- [17] 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*.
- [18] Gündoğdu E., (2020), Cephe Sistemlerinin Enerji Etkinliği Üzerine Biyomimetik Bir Değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [19] Web İletisi 1: <https://asknature.org/idea/flectofin-hingeless-louver-system/>
- [20] Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., (2016), Imperadori, M., Masera, G., Shape morphing solar shadings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 863–884.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Web İletisi 2: <https://architizer.com/projects/biotic-tech-skyscraper-city/>
- [24] Web İletisi 3: https://pocacito.eu/sites/default/files/BIQhouse_Hamburg.pdf
- [25] Web İletisi 4: <http://inhabitat.com/ch2-australias-greenest-building/>
- [26] 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.
- [27] Web İletisi 5: <https://www.archdaily.com/395131/ch2-melbourne-city-council-house>
- [28] 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.