

Sürdürülebilir Mimari Kapsamında Enerji Etkin Cephe Tasarımı: Biyomimetik Cepheler

Energy Efficient Facade Design Within The Context of Sustainable Architectural Design:
Biomimetic Facades

Aslıhan FEDAKAR¹, Ruşen YAMAÇLI²

Gönderilme Tarihi: 22.01.2022 - Kabul Tarihi: 06.06.2022

Özet

Yapı endüstrisinin enerji tüketiminde büyük paya sahip olduğu bilinmektedir. 1970 yılında petrol sıkıntısıyla başlayan ve giderek artan enerji sorunu; mimarların enerji tüketimi, iklim krizi, doğal çevrenin yok oluşu gibi problemler için endişelenir hale gelmesiyle sonuçlanmıştır. Bu sebeple enerji etkin bina ve cephe tasarımı başlıkları öne çıkmıştır. Yapılarda cephelerse enerji tüketimi veya korunmasında kilit rol oynayan yapı elemanlarıdır. Mimarlar enerji tüketiminin azaltılması için çözümler üretmeye ve farklı teknolojilerle yapıları tasarlamaya çalışmaktadırlar. Tasarım süreçlerinde aranan nitelikleri karşılamak için yararlanılabilecek yaklaşımlardan biriye biyomimikri/biyomimetik tasarımıdır. Çalışma kapsamında cephelerde karşılaşılan problemlere yanıt olarak görülen biyomimetik enerji etkin cepheler, sekiz adet örnek yapı ve literatür kapsamında incelenmiştir. “Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri yapılarda enerji verimliliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımı mıdır?” sorusunun yanıtlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma yöntemi olarak örnek yapılar üzerinden enerji etkinlikte etken parametreler çerçevesinde karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Çalışma sonucunda biyomimetik tasarımların cephelerde enerji etkinliğini sağladığı tespit edilmiş ve uygulamalarda kullanılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Sürdürülebilir Cephe Tasarımı, Sürdürülebilir Tasarım, Biyomimetik Cephe Uygulamaları, Doğa.

Abstract

It is known that the construction industry has a large share in energy consumption. The energy problem, which started with the oil shortage in 1970 and gradually increased; This has resulted in architects becoming worried about problems such as energy consumption, climate crisis, and the destruction of the natural environment. For this reason, the titles of energy efficient building and facade design have come to the fore. In buildings, facades are building elements that play a key role in energy consumption or conservation. Architects are trying to find solutions to reduce energy consumption and to design structures with different technologies. One of the approaches that can be used to meet the qualifications sought in design processes is biomimicry / biomimetic design. Within the scope of the study, biomimetic energy efficient facades, which are seen as a response to the problems encountered in facades, have been examined within the scope of eight example structures and literature. “Is biomimetic energy efficient facade systems an appropriate design approach to provide energy efficiency in buildings?” intended to answer the question. In line with this purpose, it has been decided to make a comparative evaluation within the framework of effective parameters in energy efficiency over sample structures as a working method. As a result of the study, it has been determined that biomimetic designs provide energy efficiency on facades and it is suggested to be used in applications.

Keywords: Energy Efficiency, Sustainable Facade Design, Sustainable Design, Biomimetic Facade Applications, Nature.

Atıf: Fedakar, A. ve Yamaçlı, R. (2022). Sürdürülebilir Mimari Kapsamında Enerji Etkin Cephe Tasarımı: Biyomimetik Cepheler. *Modular Journal*, 5(1), 38-67.

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Yüksek Lisans Programı, aslihanfedakar@gmail.com | ORCID: 0000-0002-2445-5152

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, ryamacli@eskisehir.edu.tr | ORCID: 0000-0001-9659-9246

1. Giriş

Enerji; ısınma, yemek, üretim, nakliye vb. birçok temel ihtiyaç için zorunlu olduğundan tahmin edilebilir gelecekte enerjiye erişimimizin ne durumda olacağı büyük bir endişe konusudur. Enerji tüketiminde pastadaki büyük dilimlerden biri de inşaat sektörüdür. Mevcut verilere göre yapı sektörü toplam enerjinin %40'ından fazlasını tüketmekte, doğal kaynakların %30'unu kullanmakta, üretilen elektriğin %70'ini harcamaktadır. Aynı zamanda gelişmiş ülkelerde atmosfere verilen sera gazlarında %30'luk paya sahiptir (Castro-Lacouture vd., 2009). Görülmektedir ki enerji etkin tasarlanmamış yapılarda çok büyük miktarda kullanılabilir enerji ve dolayısıyla hammadde israf edilmektedir. Bunun sonucu olarak gezegenimiz ve kendi geleceğimiz geri döndürülemez bir biçimde yok oluşun eşiğine sürüklenmektedir.

Bahsedilen enerji verimliliği problemlerinin birçoğunun gözlemlendiği yapı bölümü olan cepheler; enerji etkinliğinin sağlanması konusunda önemli yere sahiptir. Doğal dış çevre ve iç mekan arasında tampon bölge olan cepheler, niteliklerine göre enerji tüketiminde büyük farklara sebep olabilmektedir. Dış çevreden gelen ve iç mekanda kullanıcının konforunu etkileyen ısı, ışık, görsel temas, ses, rüzgar gibi faktörler; enerji tüketimini etkileyen önemli değişkenlerdir. Yaşam alanı ve doğal çevre arasında zar görevi görmesi sebebi ile problemleri bir alan olan cepheler; en çok enerji, havalandırma ve nem sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Schittich (2001) kitabında şöyle aktarmaktadır: “Diğer yandan bina cephelerinin, enerji kaynaklarının azalan hammadde problemine karşı sorumluluk bilinci ile tasarlanması cepheleri ‘sürdürülebilir düşük enerji’ konseptinin bir bileşeni haline getirerek ‘enerji etkin cephe’ kavramını ortaya çıkarmıştır. Dış ortam ile yüzey temasının doğal bir sonucu olarak cephe, enerjinin gerek üretimi gerekse korunumu konusunda etkin rol oynamaktadır.”. Mevcut kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesi gündeme geldiğinden bu yana enerji tüketiminin bina kullanıcılarının yaşam kalitesini etkilemeden düşürülmesi yönünde eğilimler oluşmaktadır (Knapp ve Wagner, 2009). Enerji etkinliği, binalarda kullanılacak malzemenin üretimi, binanın yapımı ve işletimi aşamalarının tümünde kullanılan enerjinin çevresel etkilerini en az düzeyde tutmaktır (Zigenfus, 2008). Tüm bu sorunlar ve cepheden beklenen nitelikler mimarlara tasarım girdisi veya problemi olarak dönmektedir. Aynı zamanda yapının yüzey alanının neredeyse tamamını saran cepheler, enerji verimliliği ve enerji tüketimi söz konusu olduğunda nicelikleri değiştirebilecek büyüklüktedir. Tüm bu sebepler doğrultusunda yapılarda enerji etkinliği hususunda problemleri olarak görülen cephelerin çözüm için bir fırsat olabileceği kanısıyla çalışma boyunca cepheler ve cephe sistemleri incelenmiştir. Karamanlıoğlu (2011) ve Loonen (2013) kaynaklarında görüldüğü gibi literatürde enerji etkin cephelere dair araştırmalar mevcuttur.

Var olan teknoloji ve tasarım yöntemleri sayesinde enerji tüketimini aza veya sıfıra indirmek mümkündür. Bu sebeple mimari tasarım süreç, uygulama, yöntem ve üretiminde gerekli değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Sürdürülebilir bir gezegen ve hayatın devamlılığı için enerji tüketimindeki gereksiz kullanımın azaltılmasında mimari tasarımın önemi tartışılmaz hale gelmektedir. Biyomimikri veya biyomimetik tasarım(biyomimesis) ise sürdürülebilir yapı üretimine katkıda bulunabilecek bir mimari tasarım yaklaşımıdır. Mimari ve çevre sorunlarının mimari tasarım yöntemlerince

çözülmesi yolunda uygulanabilir yaklaşımlardan olan biyomimikri/biyomimesis, yenice tanınan bir kavram olsa da yüzyıllardır insanlık tarafından pek çok farklı disiplin tarafından kullanılmıştır. Tarih boyunca cevaplar için danışılan doğa özellikle son yüzyılda kendisine verilen zararın telafisini yine kendi sunmaktadır. Gelişen teknoloji ile doğanın çözüm stratejilerinin kesişimi, mimar ve tasarımcılara olanaksız veri sunmaktadır. Literatürde biyomimikri veya biyomimesis üzerine yapılan çalışmalar bilinmektedir. Örneğin Arslan ve Sorguç (2007) ve Benyus (1998)' un çalışmalarında biyomimesisin mimarlık disiplinine etkileri ile biyomimikrinin detaylı incelemelerine ulaşmak mümkündür.

“Biyomimetik” olarak aktarılan kavram “biyomimesis” isminin sıfat halidir ve biyomimesis tasarım yöntemi uygulanan kavramları nitelemektedir. Biyomimikri ve biyomimesis bazı kaynaklarca eş anlamlı olarak kabul edilse de bazılarında da ufak nüanslarla ayrılmıştır. Benyus (1998) biyomimikriyi şöyle tanımlamıştır: “İnsan problemlerini çözmek için doğanın en iyi fikirlerini inceleyen, sonucunda tasarımlarını ve yöntemlerini taklit eden yeni bir disiplin.” Öte yandan Gruber (2011) biyomimikri için “Mimarî problemler için inovatif potansiyeli olan biyoloji ve mimarlık disiplinlerinin çakışmasıdır.” demiştir. Bu tanımlar incelendiğinde biyomimikrinin doğayı tasarımda taklit etme süreci olduğu kanısına varılabilmektedir. Ayrım gösteren tanımlarsa şunlardır:

- **Biyomimikri (Biomimicry):** Sürdürülebilir kalkınmanın (sosyal, çevresel ve ekonomik) zorluklarını karşılamak için doğayı bir model olarak alan felsefe ve disiplinler arası tasarım yaklaşımlarıdır (ISO / T.C. 266 Biyomimetik komitesinden aktaran; Fayemi vd, 2017). Ancak buna bir ekleme yapmak gerekirse biyomimikri sadece sürdürülebilir kalkınmanın zorluklarını karşılamak için değil, aynı zamanda herhangi bir tasarım probleminin -sürdürülebilirlik kaygısı taşımasa dahi- çözülmesinde de kullanılabilir bir tasarım yöntemidir. Öyle ki sorun sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik olmasa da o an karşılaşılan zorluğu atlatmakta kullanılan doğal bir sistemin ilhamı, tasarım yöntemi olarak biyomimikriyi işaret eder.
- **Biyomimetik-Biomimesis (Biomimetic-Biomimesis):** 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/T.C. 266 Biyomimetik komitesinden aktaran; Fayemi vd, 2017). Günümüzde ise bu çalışmaların disiplinler arası olması gibi bir şart aranmamakla beraber tek disiplinin de bu sistem ve çözümlerin geliştirilmesinde yeterli olduğu görülmektedir. Öte yandan multidisipliner bir yaklaşımın daha etkili sonuçlar doğuracağı açıktır.

Buradan yola çıkarak biyomimesisin doğanın taklit edilmesi veya ilham kaynağı olarak kullanılmasında sistemsel olarak üretim, yöntem, uygulama ve sonuç ürün aşamalarına daha uygun bir kavram olduğu sonucuna varılabilir. (Bu sebeple çalışmada bundan sonra nitelenen ögeler için biyomimetik ve yaklaşımın kendisi için biyomimesis kavramı kullanılacaktır.)

Yapı sistemlerinin sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği konusunda beklentiyi karşılayabilmesi için biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin kullanılması kabul edilebilir bir yaklaşım olarak karşılanmaktadır. Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğine artan önemin yanı sıra yapısal ve işlevsel ihtiyaçlar, mimarlar ve bilim insanlarını biyomimetik tasarıma yönlendirmektedir. Cephelerden beklenen; görüş açıklığı, rüzgar dayanımı, kendini taşıyacak bir strüktüre sahip olma niteliği, güneşten maksimum yararlanma, güneşi iklime uygun kullanma, gürültüden koruma, oryantasyon, nem ve suya direnç gibi özellikler biyomimetik yaklaşımlar sayesinde somut ve sürdürülebilir şekilde hayat bulmaktadır. Bu sebeple çalışma kapsamında cephe sistemlerinde karşılaşılan enerji problemlerinin çözülmesi için biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri konusu incelenmiştir. Literatürde Cruz vd. (2021), Loonen (2015) ve Radwan ve Osama (2016)'nın çalışmaları biyomimetik veya biyomimikri etkisinde enerji etkin cephe sistemlerini inceleyen araştırmalardır.

Bu çalışma kapsamında “Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri yapılarda enerji verimliliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımı mıdır?” sorusunun yanıtlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma yöntemi olarak örnek yapılar üzerinden enerji etkinlikte etken parametreler çerçevesinde karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Literatür taramasında incelenen Karamanlıoğlu (2011), Gündoğdu (2020), Gündoğdu ve Arslan (2020), Cruz vd. (2021) ve Tokuç vd. (2018) kaynaklarından yola çıkarak biyomimetik enerji etkin cephelerde enerji etkinliğini sağlayan etken parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler çerçevesinde değerlendirilecek örnek yapılar için literatür taramasında incelenen Cruz vd. (2021), Radwan ve Osama (2016), Gündoğdu (2020), Gündoğdu ve Arslan (2020), Lopez vd. (2017), Badarnah (2010), Mohamed vd., (2019), Mazzoleni vd., (2011), Schleicher, (2015), Önal ve Karakoç, (2019) ve çeşitli internet kaynaklarından yararlanılmıştır. Etken parametrelerin karşılaştırılmasına uygun biyomimetik cephe tasarımına sahip sekiz yapı belirlenmiştir. Belirlenen sekiz yapı karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek sonuçlara ulaşılmıştır. Gelecekte çok büyük enerji sorunlarıyla karşılaşmak üzere olan insanlık için biyomimetik cephe çözümleri ne derece verimli tartışılmıştır.

2.Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı ve Enerji Etkin Cephe Sistemleri

2.1. *Biyomimetik Tasarım Yaklaşımı (Biyomimesis)*



Biyomimikri Enstitüsü'ne göre biyomimesis; çıkarabileceğimiz, hasat edebileceğimiz veya evcilleştirebileceğimiz şeyler için değil doğaya öğrenebileceklerimiz için değer vermekle ilgilidir (URL-1). Biyomimetik tasarım sayesinde zaten var olan stratejileri yeniden keşfetme zorluğu ortadan kalkmaktadır. Sadece bu yöntem ve stratejilerin nasıl uyarlanabileceği anlaşılmalıdır. Bunun için biyomimesisin ne olduğu ve nasıl işlediği iyi kavranmalıdır. Biyomimikrinin dolayısıyla da biyomimesisin üç temel unsuru vardır:

1. Öykünmek (Taklit Etmek); daha yenileyici tasarımlar oluşturmak için doğanın formlarından, süreçlerinden, ekosistemlerinden öğrenme ve daha sonra çoğaltmanın bilimsel araştırmaya dayalı uygulamasıdır.
2. Ethos (Öz); hayatın nasıl işlediğini anlama ve sürekli olarak yaşamı destekleyen, yaşam için elverişli koşullar oluşturan tasarımlar yaratma felsefesidir.

3. (Yeniden) Bağlanmak “(Re)Connect”; Bizim de doğanın bir parçası olduğumuz ve yaşamın birbirine bağlı sistemlerinin bir parçası olarak Dünya'daki yerimize bağlanmada değer bulduğumuz kavramdır. (Yeniden)Bağlanma, yaşamın nasıl işlediğini anlamak için doğada zaman geçirmemizi teşvik etmektedir böylece tasarımlarda biyolojik stratejilere öykünmek için daha iyi bir tasarım felsefesine veya “öze” sahip olunmaktadır (URL-1).

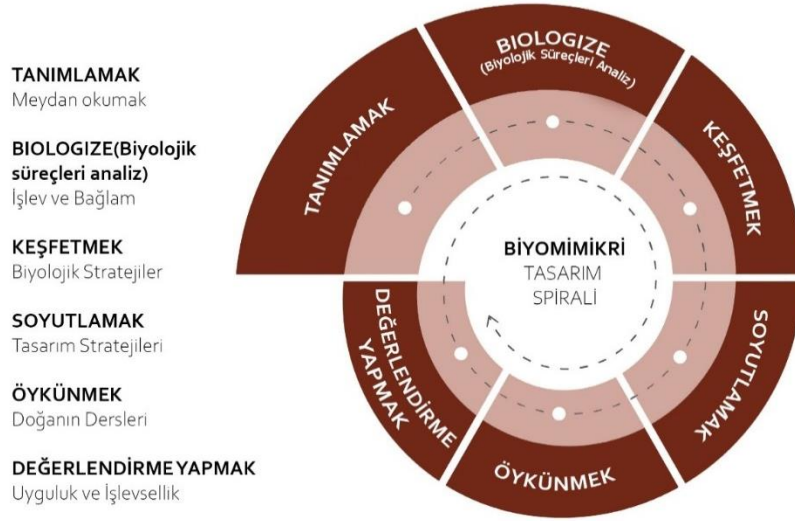
Tablo 1. incelendiğinde biyomimikrinin üç unsurunun da nasıl tasarım düşüncesine entegre edildiği görülmektedir. Öykünürken bulunan ilham ve bu ilhamın nasıl efektif işlenebileceği çözülmesi gereken önemli noktalardandır. Böylece yaşama elverişli koşullar oluşturma isteği ve ihtiyacı karşılanmaktadır (Ethos/Öz). Doğadan alınan ilhama doğru biçimde öykünen ve yaşama elverişli koşullar oluşturan böylesi yapılarda insanın özünü bulması mümkündür. Çünkü yapı; işlevselliği, sunduğu mekan deneyimi ve arz-talep dengesine verdiği cevaplar niteliğince içselleştirilebilmektedir. Tablo 1. incelendiğinde Esplanade Tiyatrosu'nun tasarımında kullanılan biyomimikri yaklaşımının bu üç unsuru da sağladığı görülmektedir. Böylece yapı; özü hatırlatan, öze döndüren ve özden gelen ilhamı açıkça göstermektedir. Öykünen, öze sahip ve yeniden bağlanmayı sağlayabilecek nitelikte yani biyomimikrinin üç unsurunu da sağlayan bir yapı örneği olarak görselleştirilmiştir.

Tablo 1. Biyomimikrinin unsurlarını anlamaya dair örnek yapı kabuğu tasarımı, Esplanade Tiyatrosu (Radwan ve Osama, 2016 kaynağından yazar tarafından uyarlanmıştır.)

Esplanade Tiyatrosu	Amaçlar	Tasarım Konsepti	Sonuçlar
	<ul style="list-style-type: none"> • Enerji etkinliği • Seragazında düşüş • İç ve dış ortamlarda yalıtım sağlama • Doğal aydınlatma 		<ul style="list-style-type: none"> • Enerji tüketiminde %30 düşüş sağlanmıştır. • Güneş enerjisi tutulabilmektedir. • Yapay aydınlatma kullanımı %55 oranında düşmüştür.

Unsurlarda da amaçlandığı üzere biyomimetik tasarım yaklaşımını kavramada yardımcı olmak üzere Biyomimikri Enstitüsü tarafından bir tasarım spirali hazırlanmıştır. (bkz. Şekil 1) Bu spiral biyomimikrinin tasarımcılar tarafından kolay algılanması için

kullanılmaktadır (URL-2). Enstitü'nün aktardığına göre: “Tasarım spiralinin gerçekte olanın basitleştirilmiş bir modeli olduğunu hatırlamak önemlidir. Burada anlatılan doğrusal olmayan ve tekrarlı bir süreçtir. Adımlar sırayla listelenmiş olsa da beklemek gerekmektedir. Yeni keşifler yeniden düşünmeye yönlendirirken önceki adımları gözden geçirmek ve süreç boyunca çalışmalarını tekrar analiz etmek için önceki sonuçları değerlendirmek gerekmektedir. Bu yüzden anlatım lineer bir doğru değil spiral olarak hazırlanmıştır.”



Şekil 1. Biyomimikri tasarım spirali (URL-2 web kaynağından yazar tarafından çevrilmiş ve düzenlenmiştir.)

Şekil 1.'de görüldüğü üzere biyomimesis veya biyomimikri kavramı adımların sırayla izlenerek gerçekleştirildiği bir sistem değildir. Adımlar sırasında geri dönüşler, vazgeçişler veya yeni yol ayrımları çıkabilmektedir. Sistem lineer bir doğrudansa aynı doğada olduğu gibi birden çok farklı alternatifin var olduğu çözümler evreninde parçaların takip edilmesiyle işlemektedir.

Biyomimesis doğadan ilham alınan çözümlerin sistemlere uygulanmasıdır. Bu uygulama yapılırken doğadan alınan ilhamın kaynağı değişmektedir. Bu sebeple Zari (2007) biyomimesisi üç seviyeye ayırmıştır: Organizma, Davranış, Ekosistem. Bu üç seviyede doğanın incelenmesi ve araştırılması sonucunda elde edilen veriler sorunların çözümünde ve tasarım yönteminde kullanılmaktadır.

Seviye doğanın hangi yönünün taklit edildiğini göstermektedir. Organizma seviyesinde bitki ya da hayvan gibi belirli bir organizmaya karşılık gelmektedir ve organizmanın tamamı ya da bir kısmı taklit edilirken, davranış seviyesinde organizmanın davranışının bir yönü ve içinde bulunduğu çevreyle etkileşimi taklit edilmektedir. Ekosistem seviyesinde ise tüm ekosistemin ve ona başarılı bir şekilde işlemini sağlayan fonksiyonlar kazandıran ana ilkelerin taklit edilmesi söz konusudur (Zari, 2007).

2.2. Enerji Etkin Cephe Sistemleri

Radwan ve Osama (2016) farklı görüşlerden derlediği yazısında şöyle aktarmaktadır; "Rankouhi, (2012) yapı cephelerini 'Binaların çevre ile etkileşiminin gerçekleştiği sınır' olarak tanımlarken Hoeven (2012) ise bina cephesini iç ve dış mekan arasındaki 'sınır' olarak tanımlamaktadır. Kieran (2004)'ın görüşlerine bakılırsa bu sınır en çok enerji ve madde transferinin gerçekleştiği yapı bölümüdür.". Bu transferlerin gerçekleştiği sınırın yapıda büyük bir alan kaplaması ve son dönemlerde artan enerji sıkıntılarıyla beraber cephelerin enerji etkin tasarlanması faydanın da ötesinde bir gereklilik olarak görülmelidir. Enerji etkin cephelerin tasarlanması için cephelerin çok yönlü ve çok ilişkili bir ağ olarak düşünülmesi gerekmektedir. Öyle ki yapının tüm bölümleri birbiri ile ilişkilidir. Cepheler binanın ilk temas noktası olarak düşünüldüğünde kullanıcı ve çevreye bağlı etkisi daha da artmaktadır. Bu da yapının tüm bölümlerine kıyasla önemini ortaya koymaktadır. Şekil 2. incelendiğinde bu önem daha da net okunmaktadır. Listelenen parametrelerin çoğunun cephe özelliklerine bağlı olduğu görülmektedir.

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. Enerji etkin bina tasarımını etkileyen parametreler (Esen 2019'dan uyarlayan Gündoğdu 2020.)

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 dönüştürülebilirlik gibi konular da birlikte düşünülmelidir (Gündoğdu, 2020). Cephelerden beklenen tüm gereksinimler değerlendirildiğinde cephelerde enerji etkin ve sürdürülebilir tasarım yapılırken kullanıcı konforunu da düşürmemek için belirli işlevlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gündoğdu (2020)'ye göre cephe tasarlanırken kendi bileşenleri ve işlevleri ile ele alınmalıdır. Cepheden beklenen temel ihtiyaçları karşılayan ana işlevler vardır. Bu işlevler ve eklenen diğer özellikler şu şekildedir:

- Nem ve sıcak/soğuk hava koşullarına karşı yalıtım (rüzgâra karşı koruma, güneşe karşı koruma)
- Parlamaya karşı koruma
- Güvenlik, kamusal alan ile iç mekân arasında sınır oluşturma
- Aydınlatma
- Görsel koruma(mahremiyet)
- Mekanik hasara karşı koruma
- Yangına karşı koruma
- Dış mekân ile görsel ilişki
- İdeal ses düzeyi
- Havalandırma ve hava kirliliği
- Enerji kazancı, enerji üretimi
- Maliyet

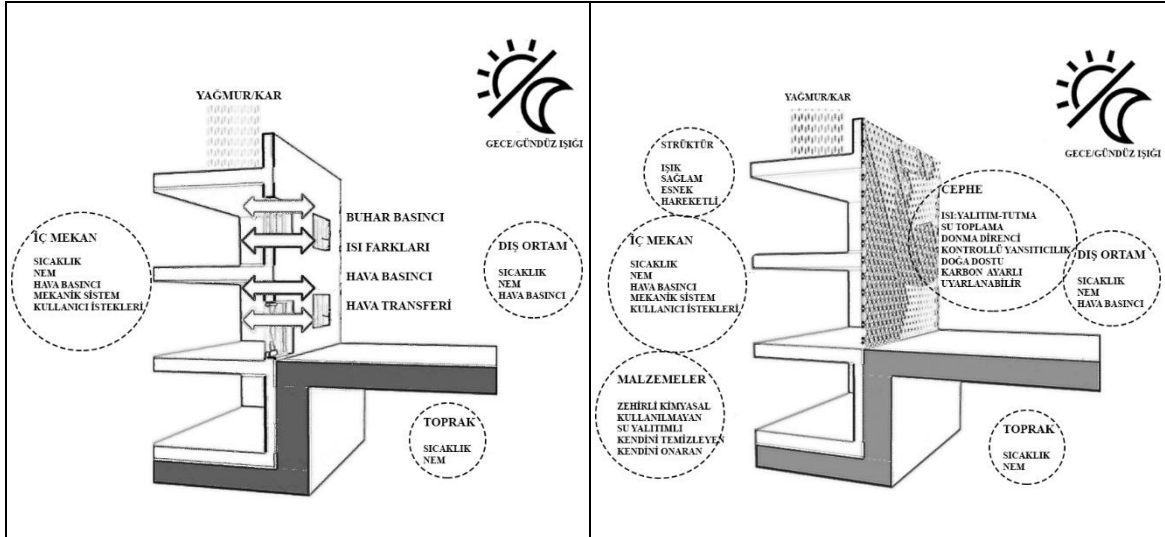
Teknolojinin gelişmesiyle artan olanaklar sayesinde bu temel işlevlere ek olarak cephe sistemlerinde yeni işlevler aranır olmuştur. Bunlar;

- Yapının zamanla değişen kullanım amacına göre dönüştürülebilir olması,
- Esnek tasarıma izin vermesi,
- Kullanıcı talepleri ile ortaya çıkan yeni fonksiyonlara cevap verebilme, şeklinde sıralanmaktadır. Cephe sisteminin bu işlevleri cephenin sahip olduğu elemanlar ve bileşenlerle sağlanmaktadır (Gündoğdu, 2020).

Estetik ve iç mekan kullanıcılarının ekstra beklentileri de düşünülürse enerji etkin cephe sistemlerinin sıralanan her bir madde için tasarruf ettiği var sayıldığında geleceğe yapılan yatırımın boyutları daha da netleşmektedir.

Cephelerin enerji etkin nitelikte olabilmesi için önce enerji etkinliğinin kapsamını bilmek gerekmektedir. Burada öne çıkan soru ise enerji etkinliği nedir olmalıdır. Gündoğdu (2020)'nin aktarımı şöyledir: “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 uyulanıp 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 alıntıda da açıklandığı üzere mimari tasarımda enerji etkinliği kavramından çıkartılabilecek sonuç; yapının tasarım sürecinden, yapım süreçlerine ve oradan da yapının kullanım ömrü boyunca geçireceği tüm değişiklik, kullanım vb. tüm periyotlarda enerjiyi efektif kullanması gerekliliğidir.

Aksamija (2013) yüksek performanslı sürdürülebilir cepheleri, mümkün olduğunca az enerji kullanarak iç konforun sürmesini sağlayan, binanın kullanıcılarının sağlık ve üretkenliklerini arttıran dış kaplamalar olarak tanımlamaktadır. Geleneksel cephelerde bunu görmek modern toplumun standardize mimari anlayışında zorlaşmıştır. Oysaki çalışma kapsamında irdelenmekte olan enerji etkin cephe sistemleri bu gereklilikleri karşılamak üzere tasarlanmaktadır. Şekil 3. incelendiğinde geleneksel cephelerde ve enerji etkin cephelerde uygulanan tasarım ilkeleri görülmektedir. Anlaşıldığı üzere enerji etkin cephe sistemlerinin geleneksel cephelere oranla çok daha fazla faktörü göz önüne alarak hem iç mekandaki kullanıcının konforunu hem de sistemin enerji korunumunu gözettiği görülmektedir. Sadece mevcut şartları değil olabilecek olanı ve maximum verimi sağlayabilecek oluşumu destekleyen enerji etkin cephe sistemlerinin Şekil 3. üzerinde açıkça gözlemlenebilen farkları sebebiyle daha avantajlı olduğu açıktır.



Şekil 3. Geleneksel ve enerji etkin cephe tasarım ilkeleri karşılaştırması (URL-3 kaynağından yazar tarafından uyarlanmıştır.)

2.3 Biyomimetik Enerji Etkin Cephe Sistemleri

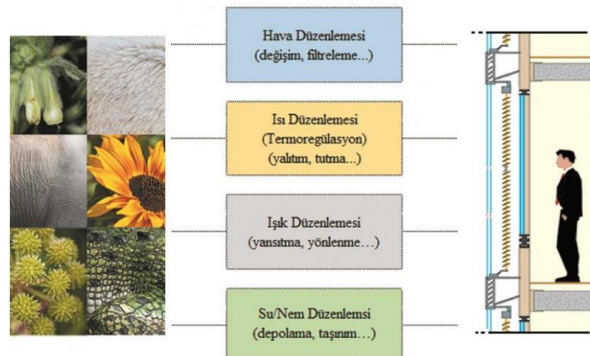
ISO 18458:2015 (2021)'e göre biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri tasarlanırken yararlanılan iki yaklaşım yöntemi mevcuttur. Bunlar: “The Technology Pull Process” ve “The Biology Push Process” yöntemleridir. “The Technology Pull Process”, yani teknoloji ilerletme yöntemi olarak çevrilmektedir ve “The Biology Push Process” bu kavramı da biyolojiyi dahil etme yöntemi olarak çevirmek doğru olacaktır. Teknoloji ilerletme yöntemi, var olan teknolojik bir ürünün fonksiyonlarını biyomimesis ve biyolojik prensipler çerçevesinde geliştirmek olarak tanımlanmaktadır. Biyolojiyi dahil etme yöntemi ise saha araştırmalarından sağlanan biyolojik veriyi yeni teknik tasarımlarda başlangıç noktası olarak kullanmaktır. (bkz. Şekil 4)



Şekil 4. Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri tasarlanırken yararlanılan iki yaklaşım yöntemi (Cruz vd., (2021)'den yazar tarafından uyarlanmıştır.)

Biyomimesis, doğanın prensiplerini teknolojik çözümlerle aktararak biyoloji ve teknolojinin entegresini sağlayan disiplinler arası bir yaklaşımdır. (bkz. Şekil 4) Bu yaklaşım, çeşitli alanlarda inovasyona ilham vermiştir ve biyomimetik yaklaşımın sürdürülebilir yapılar için çevre tasarımı mimariye çok büyük etkisi olmuştur. Uluslararası çalışmalar, biyomimesisin dahil edildiği bir alt kategori olarak uyarlanabilir bina kabuklarının ve cephelerin enerji verimliliğine odaklanmış durumdadır. Sonuç olarak son 20 yılda 70'ten fazla biyo-ilhamlı bina cephesi çalışma ve tasarımı rapor edilmiştir, bu sayı endüstri ve akademi dünyasında giderek artmaktadır (Cruz vd., 2021). Biyomimesisin bir alt başlığı olan enerji etkin cephe sistemleri ve yapı kabukları belirtildiği üzere son yıllarda önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri sayesinde problemlerle karşılaşılan alan olan cepheler, çözümün kendisi olmaktadır. Yapılarda belki de en fazla yüzey alanına sahip kısım cephelerken bu fırsatın kullanılmaması, var olan cephelerin akıllı veya sürdürülebilir sisteme sahip olmaması, cephelerin sorunun parçasıyken çözümün anahtarı olarak değerlendirilmemesi problemlerine karşın biyomimetik cephe tasarımları bir yanıt olarak görülmektedir.


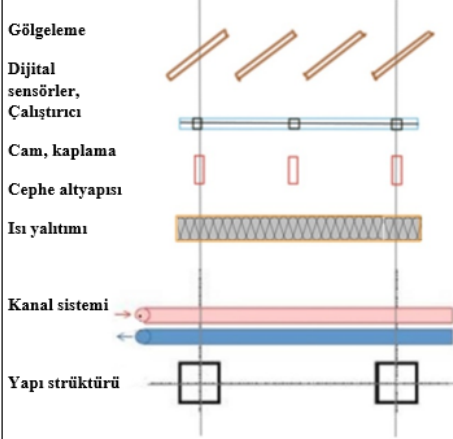
Şekil 5. incelendiğinde cephelerde enerji etkinliği sağlayan temel ilkelerin tümünün doğadan alınacak ilhamla çözülmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Gündoğdu ve Arslan (2020)'nin aktardığı üzere canlı organizmaların hava, ısı, ışık, su/nem düzenleme stratejileri enerji etkin cephe tasarımları için kavramsal fikirler ve çözümler barındırmaktadır. (bkz. Şekil 5)



Şekil 5. Bina cephelerinde enerji etkinliğini sağlamaya yönelik temel ilkeler (Badarnah, 2012'den uyarlayan Gündoğdu ve Arslan, 2020)

Loonen (2015) yazısında Şekil 5.'i işaret edencesine şu ifadeleri aktarmıştır: “Canlı organizmalar enerjiyi, suyu ve güneş ışığını nasıl yakalamaktadır, dönüştürmektedir, depolamaktadır ve işlemektedir? Doğa nasıl soğumaktadır, ısınmaktadır, gölge sağlamaktadır ve ışığı nasıl kontrol etmektedir? Uyarlanabilirlik, yani bir sistemin çevresel koşullardaki değişikliklere yanıt olarak hareket etme yeteneği, bu bağlamda genellikle kilit bir rol oynamaktadır. Canlı organizmaların aksine, binalar tipik olarak statik, cansız nesnelere olarak düşünülmektedir. Bir binanın çevresi ve iç koşulları sürekli değiştiği için, doğadan alınan ilhamın, gelişmiş bina performansı için cephelerde daha fazla uyarlanabilirliğini nasıl destekleyebileceği hakkında öğrenilecek çok şey vardır.” Doğa sınırların ve bu sınırların birbirine geçtiği birçok örnek içermektedir. Bu örneklerdeki tüm sınır noktalarında sınırın iki tarafı için farklı sistemler geliştirilmiştir. Göl ve hava arasındaki sınırı yüzey gerilimi ile koruyan su yüzeyi çizgisi, göldeki suyla bitkinin iç sistemi arasındaki sınırı oluşturan nilüfer yaprağının hücre çeperi, hava veya su gibi farklı ortamlarla iç dengeyi koruyan sınır olan insan derisi verilebilecek örneklerdir. Tüm bu sınırlar farklı ilkeleri esas alarak iç ve dış bölge arasında “tampon” bölge oluşturmaktadır. Bu sayede farklı ortamlardaki optimum koşullar sağlanmaktadır. Tablo 2. incelendiğinde burada bahsedilen tampon bölgelerde doğanın sergilediği yaklaşımların nasıl bina cephelerine entegre edildiği görülmektedir.

Tablo 2. Biyomimetik tasarım örneği olarak cephe sistemleri ve hayvan derisi arasındaki benzerlikler ve karşılaştırma (Aldemir, 2014 kaynağından yazar tarafından uyarlanmıştır.)

Hayvan Derisi Kesiti	Cephe Kesiti
 <ul style="list-style-type: none"> Saç, tüyler Epidermis Sinir sensörleri Erektör kıl kası Ter bezleri Kan damarları Yağ Yumuşak vücut ve cilt ile iç kemik yapısı 	 <ul style="list-style-type: none"> Gölgeleme Dijital sensörler, Çalıştırıcı Cam, kaplama Cephe altyapısı Isı yalıtımı Kanal sistemi Yapı strüktürü
<ul style="list-style-type: none"> • Saç, tüyler • Epidermis • Sinir sensörleri • Erektör kıl kası • Ter bezleri • Kan damarları • Yağ • Yumuşak vücut ve cilt ile iç kemik yapısı 	<ul style="list-style-type: none"> • Gölgeleme • Dijital sensörler, • Çalıştırıcı • Cam, kaplama • Cephe altyapısı • Isı yalıtımı • Kanal sistemi • Yapı strüktürü

Tablo 2. incelendiğinde dış ve iç ortam arasında ortaya çıkan cephe problemlerine cevap veren iki sistem görülmektedir. Bu sistemlerden biri doğal bir yapılanmadır ve hayvan derisinden bir kesiti göstermektedir. Dış ortamdaki virüs, kirlilik, hava, sıcak-soğuk, nem vb. faktörlerden etkilenen canlı organizması deri yoluyla iç ortamda optimum koşulları sağlamak için bu sistemi geliştirmiştir. Yapı sektörü de benzer problemlerin tespitini yaparak bunları doğayla eşleştirmiştir. Bu sayede iç ve dış ortam arası tampon görevi gören bu sistemden yola çıkarak bir analiz sürecine girilmiştir. Elde edilen bilgilerin çözüm odaklı sonuçları tasarıma dahil edilerek kullanıcı faydası güden verimli bir cephe sistemi tipi geliştirilmiştir. Bu cephelerde rastlanan tasarım problemlerine çözüm getirebilecek sayısız cevaptan yalnızca biridir.

3. Biyomimetik Enerji Etkin Cephe Örneklerinin İncelenmesi

Biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin geliştirilmesinde cephelerden beklenen nitelikleri sağlamak için sistem, malzeme, süreç ve ürün bazında doğadan ilham alınarak sistem iyileştirmesi veya tasarımı yapılmaktadır. Biyomimetik ve enerji etkin cephelerin tasarlanmasında bahsedilen alanlardan herhangi biri veya birden fazlası kapsamında uygulama yapılabilir. Yapılan uygulamaların enerji etkinliğinin değerlendirilmesi için etken parametreler çerçevesinde incelenmesi gerekmektedir.

Tokuç vd. (2018) şöyle aktarıyor: "... Bu bağlamda biyomimesis, cephe tasarlamakta uzun süre yardımcı yöntem olarak kullanılmıştır. Ne var ki her biyolojik süreç izlenen tasarım enerji etkin değildir. Enerji etkin cephe tasarlamak için bazı parametreler detaylıca incelenmelidir. Örneğin; organizma nasıl ısınmaktadır, soğumaktadır, gölgenmektedir, ışığı kontrol etmektedir?"

Enerji etkin cephe tasarımında iklim, binanın işlevi, yönlendirme, malzeme özellikleri birlikte etkili olmaktadır. Bina cephelerinde enerji etkinliğinin 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).

Yazı boyunca gerek literatür üzerinden yapılan alıntılarda gerek Şekil 2, 3 ve 5'te (Gündoğdu, 2020, Gündoğdu ve Arslan 2020, Tokuç vd., 2018.) görüldüğü üzere hem bina hem de cephe tasarımda enerji etkinliğini belirleyen bazı etken parametre ve ilkeler bulunmaktadır. Bu etken parametreler yapıda uygulanan biyomimetik yöntemlerin enerji etkinliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımı olup olmadığıyla ilgili değerlendirme koşullarını oluşturmaktadır.

Gündoğdu (2020) farklı yazarlardan edindiği bilgileri şu şekilde aktarmaktadır:

"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 ısı 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), ısı depolama, rüzgârdan

yararlanmak, gerektiğinde korunmak (doğal havalandırma, binanın, pencerelerinin yönlendirilmesi), ısının 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.”

Karamanlıoğlu (2011) ise farklı görüşlerden elde ettiği bulguları Gündoğdu (2020) ve Gündoğdu ve Arslan (2020)’a benzer olarak Şekil 6.da görüldüğü üzere derlemiştir.

	ENERJİ ETKİNLİK KRİTERLERİ	UYGULAMA BİÇİMİ		
ÇEVRESEL ETKENLERE DAYALI KRİTERLER	YÖNLENMEYE BAĞLI	Güney cephesinde güneş ısısından yararlanma		
		Aydınlatmada gün ışığı kullanımı		
		Isı depolama (trombe duvarı, bidon duvar)		
		Gerekli cephelerde güneş kırıcılar ile gölgeleme		
		Hakim rüzgar yönü dikkate alınarak sağlanan doğal havalandırma		
	Isının bina içinde tutulması için ısı tutucu perdeler			
BİNA FORMUNA BAĞLI	Aerodinamik form			
	Açıklıkların oranları			
	Isı yalıtımı			
TEKNOLOJİK GELİŞMELERE DAYALI KRİTERLER	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANIMINA BAĞLI	GÜNEŞ ENERJİSİ	Fotovoltaik sistemler	
			Güneş kolektörleri	
			Çift tabakalı giydirme cepheler	
	MALZEMEYE BAĞLI	RÜZGAR ENERJİSİ	Bina cepheleriyle bütünleşik rüzgar türbinleri	
			Kompozit kaplama malzemeleri	
			Nanoteknolojik malzemeler	
İklim kontrollü cam malzemeler (Low-E kaplamalı, vb.)				
Saydam yalıtım malzemeleri (ETFE, vb.)				

Şekil 6. Bina cephelerinde enerji etkinliği sağlamaya yönelik kriterler (Katırcı, 2003; Karaca, 2008, s. 16’ dan uyarlayan Karamanlıoğlu, 2011.)

Badarnah (2012), Gündoğdu (2020) ve Gündoğdu ve Arslan (2020) ise bu çok maddeli listeyi ana 4 başlık altında toplamıştır: Hava, Su, Isı, Işık. Değerlendirme yapılırken bu sınıflandırma kullanılarak algıda kolaylık sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında “Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri yapılarda enerji verimliliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımı mıdır?” sorusunun yanıtlanmasında kullanılacak değerlendirme yöntemi için seçilen parametreler bahsi geçen literatür çerçevesinde belirlenmiştir.

Bu bölümde biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri örnekler üzerinden belirlenen parametreler çerçevesinde incelenmiştir. Seçilen örnekler cephelerinde biyomimetik; seviye, enerji etkinliği sağlamaya yönelik duyulan kaygı, çözüm şekli, inşa konumu, ait olduğu zamana göre değişen teknoloji ve canlı bazında farklı kullanan yapılardır. Bu sebeplerle çalışma kapsamında yanıtı aranan “Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri yapılarda enerji verimliliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımı mıdır?” sorusunun cevaplanması yolunda elverişli örnekler olarak görülmüştür.

3.1. Water Cube

Yapı Konumu	Beijing
Yapım Tarihi	2004-2007
Mimar	Chriss Boss, Tristram Carfrae, PTW Architects, CSCEC, CCDL ve Arup
Yapı Fonksiyonu	Su merkezi

Burada bina kabuğunun, boşlukları eşit büyüklükteki hücrelere bölebilmesi ve minimum yüzey alanı içermesi gerekmektedir. Aynı zamanda, bina kabuğunun enerji verimli olması için güneş enerjisini emmesi gerekmektedir. Su küpünün tasarımcısı Tristan Carfrae, lord Kelvin gibi önceki bilim adamlarının 19. yüzyılda tetrakaidehedron'un aralarında en az yüzey alanı olan eşit büyüklükteki hücrelere bir boşluk olarak bölünmesine izin verdiğini keşfettiklerini fark etmiştir. Belçikalı bilim adamı Plateau, sabun köpüğünü ve üç yüzün bir araya gelerek bir çizgi oluşturacak şekilde nasıl birleştiğine dair kuralları araştırmıştır. Kabarcıkların içindeki sabun filmleri, yüzey alanını ve yüzey enerjisini azaltma özelliğine sahiptir. Bu, Kelvin'in sorusunu tesadüfen yanıtladı, çünkü bölmelerin yüzey gerilimi kabarcıkların yüzey alanını azaltmaktadır. Geometri, bir alanı alt bölümlere ayırmanın en etkili yolu olduğunu kanıtlamaktadır. Bu nedenle yaklaşım, köpük dizisini belirli bir oryantasyonda görselleştirmek ve ardından yapının geometrisini elde etmek için köpük bloğu çıkarmaktır. Şekil 7.'de gösterildiği gibi geometrik formu elde etmek için 3 boyutlu bir alanda döşenen, döndürülen ve ardından eksenler boyunca dilimlenen yinelenen bir birime dayanmaktadır. Geometrik yapı tamamen düzenli olsa da belirli bir açıdan bakıldığında tamamen rastgele ve organik görünmektedir. Yapı kabuğu, baloncuk sisteminin gizemi ile suyun şeffaflığını sunar. Sonuç olarak hem içerideki hem de dışarıdaki insanları su deneyimiyle meşgul eder (Radwan ve Osama, 2016).

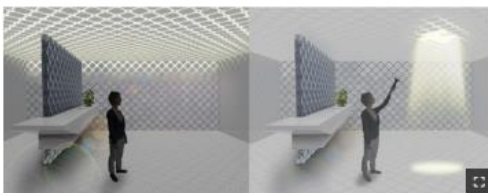
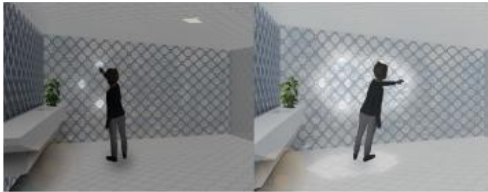


Şekil 7. Water Cube bina kabuğu tasarım fikri (Radwan ve Osama, 2016)

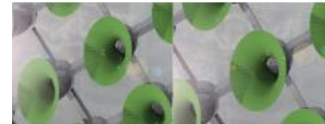
3.2.Habitat 2020

Yapı Konumu	Çin
Yapım Tarihi	Fikir aşamasında
Mimar	Marcus Barnett Landscape Architects
Yapı Fonksiyonu	Çeşitlendirilebilir, çoğunlukla konut

Uygulanmamış örneklerden olan Çin için tasarlanan Habitat 2020 binası doğal organizmalar gibi çalışan yaşayan yapılar oluşturmak için temel hücresel işlevlerle yüksek teknoloji fikrini birleştiren ileriye dönük biyomimetik mimarinin bir örneğidir. Kente doğadan ilham veren yaklaşım, kentsel peyzajı dinamik ve sürekli gelişen bir ekosistem olarak görmektedir. Bu şehir içerisinde binalar, çevreye göre açılmakta, kapanmakta, nefes almakta ve her türlü duruma göre uyarlanmaktadır. Habitat 2020 binası, bir yapının yüzeyinin algısını kökten değiştirmektedir. Dış yapı, sadece inşaat ve koruma için kullanılan bir malzemedен ziyade canlı bir cilt olarak tasarlanmıştır. Deri, habitatın dış ve iç kısmı arasında bir bağlantı görevi gören bir zar gibi davranmaktadır. Alternatif olarak, deri, gaz değişimi ve bitkilerde birkaç stoma hücresi açıklığına sahip yaprak yüzeyi olarak düşünülebilmektedir. Yüzey, ışığın, havanın ve suyun girmesine izin vermektedir. Güneş ışığına göre kendini otomatik olarak konumlandırmakta ve ışığı içine almaktadır. Hava ve rüzgar, binaya yönlendirilerek, temiz hava ve doğal hava koşullarını sağlamak için filtrelenmektedir. Aktif deri, yağmur suyu toplama kapasitesine sahiptir. Amaç saflaştırmak, süzmek, kullanılanı yeniden geri dönüştürülmüş hale getirmektir. Cilt, nemi havadan bile emebilmektedir. Üretilen atık, habitatteki çeşitli kullanımlara sunulabilecek olan biyogaz enerjisine dönüştürülmektedir (Uçar, 2019).



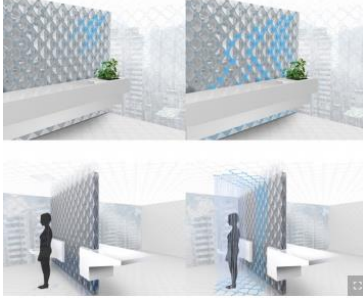
Şekil 8. Işık etki mekanizması (URL-4)



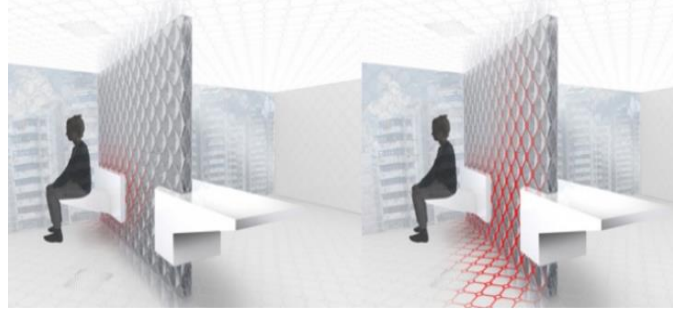
Şekil 9. Havalandırma mekanizması (URL-4)

Bir binanın aktif kabuğu, güneş ışığına tepki verir ve ışığı yönlendirmek ve enerji üretmek için otomatik olarak en verimli konuma geçer. Doğal ışığı toplayıp kanalize ederek, gün boyunca aydınlatma için elektrige ihtiyaç duyulmayacaktır. Doğal ışığı evlerimize getirmek sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda sağlık ve zindelik için tüm avantajları sağlayacaktır (URL-4). (bkz. Şekil 8)

Binanın aktif kabuğu rüzgara tepki verir. Havayı ve rüzgarı bina kabuğundan geçirerek enerji üretilen ve bina içinde temiz hava sağlamak için hava filtrelenecektir. Huniler aracılığıyla sıkıştırılan ve dağıtılan hava, doğal iklimlendirme için de soğutulacaktır. Dış hava, binadan atılmadan önce temizlenir ve CO2'den arındırılır (URL-4). (bkz. Şekil 9)



Şekil 10. Su mekanizması (URL-4)



Şekil 11. Atık mekanizması (URL-4)

Binanın aktif kabuğu yağmura tepki verir ve yağmur suyunu toplayarak yaşam alanına yönlendirir. Havadaki nemi alarak cephe kuru dönemlerde bile suyu toplar. Arıtma, filtreleme ve yeniden kullanım sayesinde su kapalı bir döngüde kullanılacak ve tatlı su tüketimi optimize edilecektir (URL-4). (bkz. Şekil 10)

İnsan atıkları ve diğer organik atıklar biyogaz enerjisine dönüştürülecektir. Biyogaz, ısıtma ve yemek pişirmenin yanı sıra yıkama için sıcak su sağlamak için de kullanılabilir (URL-4). (bkz. Şekil 11)

3.3.Eden Project

Yapı Konumu	Cornwall, England
Yapım Tarihi	2001
Mimar	Grimshaw architects
Yapı Fonksiyonu	Sera

Projenin amacı, insanları içinde yaşadıkları dünya hakkında eğitmektir. Bu proje, biyomimikrinin ve sürdürülebilirliğin mimari ve mühendislik projeleri ile başarılı bir şekilde bütünleştirilmesi için nasıl bir çerçeve sağlanabileceğini göstermeyi amaçlamıştır. Amaç, daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etmemize öncülük etmektir (Önal ve Karakoç, 2019).

Grimshaw Architects, etkili bir küresel şekil oluşturmak için doğaya bakmıştır. İki büyük yapay muhafazaya sahiptir; her muhafaza doğal bir biyomu taklit etmektedir. Sabun köpüğü biyomların formlarına ve hüresel yapılar altıgen çerçevelere ilham vermiştir. Biyom, büyük bir habitatu işgal eden doğal olarak oluşan bir flora topluluğudur. Eden projesindeki yapay biyomlar, nemli bir tropik yağmur ormanına ve Akdeniz biyomuna sahiptir (Michael Pawlyn, 2011). Nemli Tropik Biyom, tropikal bir yağmur ormanının doğal ortamını yeniden yaratır. Sıcak, nemli muhafaza, meyve veren

muz bitkileri, kahve, kauçuk ve dev bambu gibi Güney Amerika, Afrika, Asya ve Avustralya'daki yağmur ormanlarından yüzlerce ağaç ve diğer bitkilere ev sahipliği yapmaktadır; tropikal bir sıcaklık ve nem seviyesinde tutulur. Kubbe 240 metre uzunluğunda, 55 metre yüksekliğinde ve en geniş noktasında 110 metre genişliğindedir (Michael Pawlyn, 2015). (bkz Şekil 12)



Şekil 12. Eden projesi (Nkandu ve Alibaba, 2018)

3.4. Davies Alpine Evi

Yapı Konumu	Londra, Birleşik Krallık
Yapım Tarihi	2006
Mimar	WilkinsonEyre
Yapı Fonksiyonu	Sera

Davies Alpine Evi, enerji yoğun klima ve rüzgar pompaları kullanmadan alplerin gelişmesi gereken kuru, serin ve rüzgarlı koşulları yeniden yaratmak için tasarlanmıştır. Arka arkaya iki kemer olarak tasarlanan yapı, sıcak havayı binadan dışarı çeken bir yığın etkisi yaratmaktadır. Yerin altında, hava beton bir labirente soğutulmakta ve çevre çevresinde yeniden dolaştırılmaktadır, düşük demirli cam dış kısım ışığın %90'ınının geçmesine izin vermektedir. Resmi olarak 2006 yılında açılan Davies Alpine Evi, geleneksel uygulamaları en son teknolojiyle birleştiren RIBA ödüllü bir yapıdır (URL-5).

Alpler bol miktarda ışık ve serin, sürekli hareket eden havaya ihtiyaç duymaktadır, bu nedenle WilkinsonEyre, sıcak havayı binadan dışarı çekmek için bir yığın etkisi yaratan arka arkaya iki kemer olarak tasarlanmış bir cam ev tasarlanmıştır. Zemin seviyesinin altında, hava soğutma için beton bir labirent içine itilmekte ve daha sonra bir dizi yer değiştirme borusu aracılığıyla çevre çevresinde yeniden dolaştırılmaktadır. Tavus kuşunun kuyruğuna benzer yelpaze benzeri bir forma dayalı bir gölgeleme çözümü ile daha fazla çevresel kontrol sağlanmaktadır. Alpine House'un çevre sistemi, mühendisler Atelier Ten ile iş birliği içinde geliştirilmiştir. Ekip sistemi, rüzgar estikçe yapıdaki bacalardan dışarı sıcak hava çekilirken, karıncaların yuvaya taze hava akışını kontrol etmek için tünelleri açtığı veya tıkadığı termit yuvalarında kullanılan doğal soğutma stratejisine dayandırmıştır (URL-6). (bkz. Şekil 13)



Şekil 13. Davies Alpine House kesit diyagramı ve görseller (URL-7)

3.5.FB Elytra I Araştırma Pavyonu

Yapı Konumu	Victoria ve Albert Müzesi, Londra
Yapım Tarihi	2016
Mimar	Achim Menges
Yapı Fonksiyonu	Araştırma Pavyonu



Şekil 14. Fb Elytra I Araştırma Pavyonu

Tasarımın ilhamı, yaşayan doğanın eşsiz etkinliği ve becerikliliğinden gelmektedir. Bugün, gelişmiş hesaplamalı tasarım, simülasyon ve fabrikasyonun yardımıyla, geniş biyoloji deposundan faydalanabilir ve tasarım ve mühendislikte doğal sistemlerin altında yatan çalışma prensiplerini keşfedilebilmektedir. Pavyon, mimarlık, mühendislik ve biyomimetik ilkelerin entegrasyonu üzerine dört yıllık bir araştırmanın sonucudur. Biyolojik fiber sistemlerin mimariye nasıl aktarılabileceğini araştırılmaktadır. 200 m²'lik yapı, doğada bulunan hafif yapı ilkelerinden- elytra olarak bilinen uçan böceklerin ön kanat kabuklarının lifli yapılarından - ilham almıştır. Fiber kompozitler doğanın yapı sistemleridir. Biyolojideki yük taşıyan yapıların çoğu, lif organizasyonunun, yönünün ve yoğunluğunun meydana gelen kuvvetlerle hassas bir şekilde kalibre edildiği lifli sistemlerdir. Ortaya çıkan yüksek düzeyde morfolojik farklılaşma ve ilgili kaynak verimliliği, doğal yapılar için semboliktir. “Daha az

malzeme” kullanarak “daha fazla biçim” kullanmanın biyomimetik ilkeleri, proje ekibi tarafından birkaç yıldır araştırılmakta ve bunlar, tesisatın strüktür anlayışını doğrudan etkilemektedir. Tesisatın lifli kompozit yapısı sadece iki temel hücreden oluşmaktadır. Bunlar; gölgelik hücreleri ve yaşanabilir zemin ile gölgelik arasında arayüz oluşturan ve yine şeffaf çatı panelleri ile donatılmış kolon hücreleridir. Her iki hücre de aynı yük taşıyan fiber malzemeden yapılmıştır: Şeffaf cam fiberler ve siyah karbon fiberler. Üretimin kendisi, proje ekibi tarafından geliştirilen yenilikçi bir robotik sarım prosesidir ve diğer kompozit imalat proseslerinin çoğunun aksine herhangi bir kalıp gerektirmemektedir ve böylece atığı minimuma indirmektedir. Her hücreyi yapmak için bir robot, reçineyle doyurulmuş cam ve karbon fiberleri altıgen bir sarma aletine sarmaktadır (URL-8).

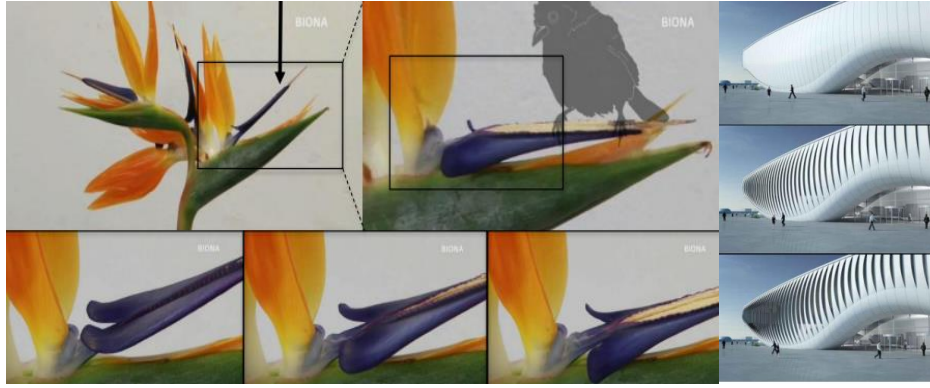
3.6. One Ocean Tematik Pavyonu

Yapı Konumu	Kore
Yapım Tarihi	2012
Mimar	SOMA Architecture
Yapı Fonksiyonu	Yeosu Expo 2012 Pavyonu

Bitki hareketleri ve Flectofins gibi kinematik mekanizmalar üzerine yapılan araştırmalardan esinlenerek uyarlanabilir bir zarflama sistemi geliştirildi. Hafif eğimli plakalardan oluşan bir gölgeleme sistemi, gün boyunca değişen güneş ışığı koşullarını kontrol eden ve bunlara tepki veren ışık koşullarına ve fiziksel bina koşullarına uyum sağlayabilir (Lopez vd., 2017).

Lameller, cam elyaf takviyeli plastik plakalar ve hareket mekanizması, cennet kuşu çiçeği *Strelitzia reginae*'nin çalışmasından esinlenmiştir (Schinegger vd., 2012).

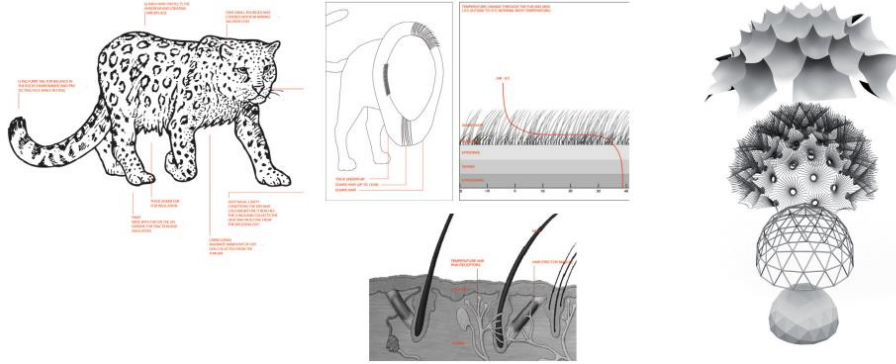
SOMA'nın cephesinin kinetik unsurlarının ilhamı cennet kuşu çiçeğinden geliyor. Bu nedenle önce bu çiçeğin kullanılan mekanizması anlatılacaktır. Aşağıdaki Şekil 22.'de görüleceği gibi bu çiçeğin kuşlar için bir iniş platformu vardır. Bu platform, çiçek tarafından iki süslü yapraktan oluşan çıkıntılı bir şekilde geliştirilmiştir. Bir kuş, tozlaşma için bu “platforma” konduğunda aşağı doğru eğilmektedir ve ayrıca aynı taç yaprakların iki kanadını yana doğru çırparak bir açılma hareketi oluşturmaktadır. Birinci hareket, noktasal bir yükün neden olduğu bir eğilme hareketidir. (bkz. Şekil 15) Bu mekanizma, pedal yönüne dik bir nokta yükü yerine, pedal yönüne paralel bir sıkıştırma nokta yükü varsayılmaktadır. Bu sıkıştırma kuvveti, One Ocean Pavilion için kinetik cephenin lamellerinde kullanılan aynı eğilme hareketine veya burkulmaya neden olmaktadır. (Schleicher vd., 2015) Cephe için teknik konsept, üç ana yön ile karakterize edilmektedir: elastik deformasyon, uyarlanabilir ön gerilim ve enerji geri kazanımı. Elastik deformasyon ve enerji geri kazanımı, çiçeğin tersine çevrilebilir ve deforme olmuş elemanlarında elastik enerji depolayan mekanizmasında bulunabilmektedir. Bu depolanan enerji daha sonra çiçek sistemini sıfırlamak için yeterlidir. Aynı şekilde, aktüatörlerden gelen enerji, deforme olmuş lamellerde depolanır ve lameller tekrar kapanırken kısmen elektrik gücüne dönüştürülmektedir. Artık servo motorlar elektrik jeneratörü olarak kullanılmaktadır (Schleicher vd., 2015; Knippers vd., 2013).



Şekil 15. Cennet kuşu çiçeğinin mekanizması ve cephenin farklı durumları (Haidari, 2015)

3.7. Kar Leoparının Küçük Cebi Projesi

Yapı Konumu	Himalayalar
Yapım Tarihi	Fikir aşamasında
Mimar	Joakim Hoen & Mamoune Ghaiti
Yapı Fonksiyonu	Araştırmacılar için barınak



Şekil 16. Kar leoparı ve deri kesitleri, cep ve katmanları (Mazzoleni, 2010)

Tasarım ekibi, “Kar Leoparı”nın (*Uncia uncia*) kürkünden esinlenerek küçük bir cep için bir cephe sistemi geliştirmiştir. Cep, kar leoparının doğal yaşam alanı olan Himalayaların dağlık ortamlarında bulunmaktadır ve bir veya iki araştırmacı için barınak görevi görmektedir. Zorlu arazi, siyasi koşullar ve aşırı iklim nedeniyle kar leoparı üzerinde çok az araştırma yapılmıştır. Bu bölme, kar leoparının daha fazla araştırılmasını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Kar leoparı, dağlık, bozuk arazi ve soğuk, karlı iklimler için iyi donanımlıdır. Kompakt ve yuvarlak gövdesi, kalın, yoğun kürkü ve geniş patileri karda kolayca yaşamasına yardımcı olmaktadır. (bkz. Şekil 16) Benzer şekilde, araştırma cebi, araştırmacıları -25°F ile 60°F arasında değişen aşırı sıcaklıklardan koruyarak, öncelikle yalıtım üzere tasarlanmıştır. Kompakt ve yuvarlak şekli, şekil değiştiren yalıtımlı bir katmanla kaplanmış küresel bir yapı ile

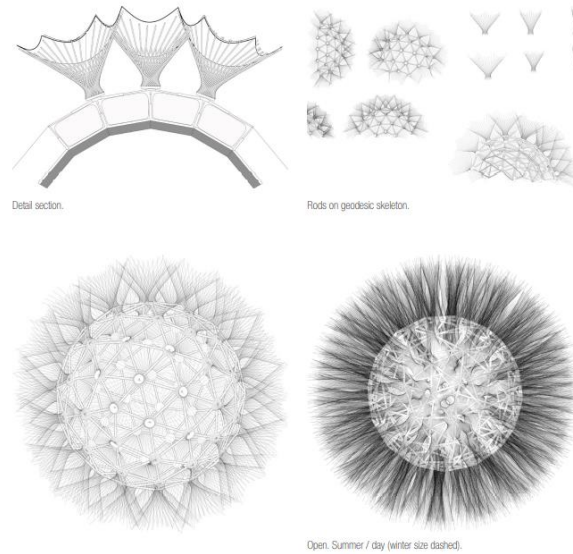
oluşturulmuştur. Tüm sistem, hava ve mevsime göre yüzey alanını büyütüp küçülterek binanın genişlemesini ve büzülmesini sağlamaktadır. (bkz. Şekil 17) Kar leoparının derisine ve kürküne benzer şekilde, bölme birkaç parçadan oluşmaktadır:

İç Yapı (Gövde): İç statik yapı, NASA'nın Thermablock'unun yüksek yalıtımlı panelleriyle kaplı jeodezik bir kubbedir. Bu en içteki yalıtım panelleri katmanı, bölmenin içini kormakta ve sistemin geri kalanının üzerine inşa edilmesi için ana yapı görevi görmektedir.

Teleskopik İskelet: İç gövdeye teleskopik çubuklardan oluşan bir yapı monte edilerek jeodezik bir kubbe oluşturulmaktadır. Bu iskelet şişirilebilir yastıklarla genişlemekte ve daralmaktadır.

Çubuklar: Kubbedeki her bağlantı noktasında, birkaç çubuğu destekleyen yuvarlak bir platform bulunmaktadır. Bu çubuklar bir uçta platforma ve diğer uçta bitişik bir platformdan karşılık gelen bir çubuğa bağlanmaktadır. Teleskopik iskelet genişledikçe platform birbirinden ayrılmakta ve çubukları düzleşmeye zorlamaktadır.

Membran: Gerilmiş su geçirmez membran çubukların ucunda yapı bir kez açılmakta ve genişlemektedir; güneşli bir günde ısınmaya karşı koyu rengi hava cebi yapmaktadır. Estetik olarak, bölmenin zarının şekli himalaya dağlarının zirvelerinin stilize edilmiş bir temsili olarak düşünülmüştür (Mazzoleni, 2010). (bkz. Şekil 16)

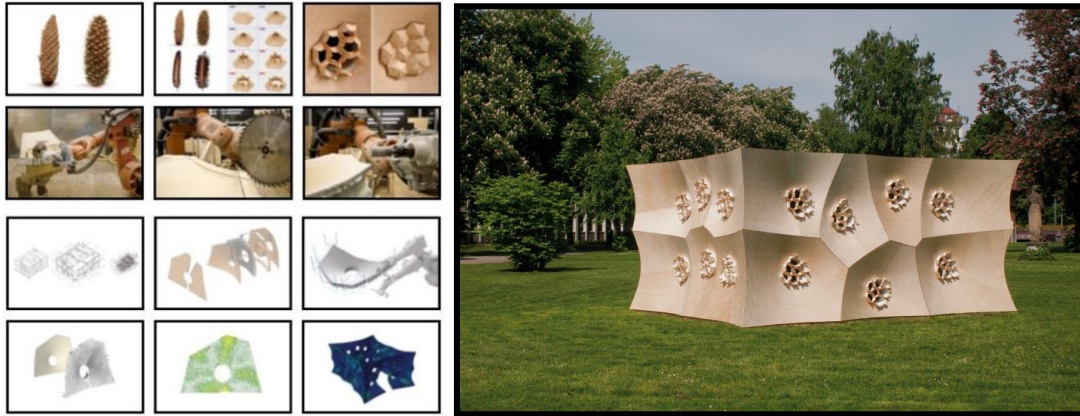


Şekil 17. Cep sistemi yaz koşullarında açılma hareketi (Mazzoleni, 2010)

3.8.Hygroskin

Yapı Konumu	New Orleans, Fransa
Yapım Tarihi	2011-2013
Mimar	Achim Menges
Yapı Fonksiyonu	Pavyon

HygroSkin (İklim Duyarlı Pavilyon) projesi, iklime duyarlı mimarinin yeni bir modunu araştırmaktadır. Proje malzemenin kendisinin duyarlı kapasitesini kullanmaktadır. Ahşabın nem içeriği ile ilgili boyutsal dengesizliği, hava değişikliklerine cevaben özerk bir şekilde açılan ve kapanan, ancak operasyonel enerjinin tedarikini veya herhangi bir mekanik veya elektronik kontrol gerektirmeyen, iklim-duyarlı bir mimari cilt oluşturmak için kullanılmıştır. Burada, malzeme yapısının kendisi makinedir (Gündoğdu, 2020). 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 duyuşal 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 yönel bağımlılığını belirtir. Higroskopiklik, bir maddenin kuru iken atmosferden nemi alma kabiliyeti ve ıslandığında atmosfere nem vermesi 92 anlamına gelir, böylece nemin içeriğini çevreleyen bağıl nem ile dengede tutmaktadır. Bu şekilde, çam kozalaklarının hareketi, malzemenin dış çevre ile etkileşime girme kapasitesine dayanmaktadır ve yapılandırılmış bir dokunun çevresel uyarılara pasif olarak nasıl tepki verebileceğini göstermektedir (bkz. Şekil 18): Koni açılması (kurutulduğunda) ve kapanması (ıslandığında) ölçek malzemesinin iki katmanlı yapısı ile sağlanmaktadır. Paralel, uzun ve yoğun şekilde paketlenmiş kalın duvarlı hücrelerden oluşan dış katman, iç katman nispeten sabit kalırken, bağıl nemin artması veya azalmasıyla higroskopik olarak reaksiyona girmektedir. Sonuçta ortaya çıkan katmanların farklı boyutsal değişimi, ölçeğin şekil değişikliğine dönüşerek koninin açılmasına veya kapanmasına neden olmaktadır (URL-9).



Şekil 18. Geliştirme süreci ve projenin son hali (URL-9)

Tablo 3. Biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi Yazarı tarafından Gündoğdu 2020' den yararlanılarak düzenlenmiştir.)

N	Proje Adı	Canlı	Yapı İşlevi	Biyomime tik Seviyesi	Kullanılan Biyomimetik Yaklaşım ve Cephe Sistemine Entegrasi	Hava	Su	Işık	Isı
0									
1	Water Cube	Sabun köpüğü	Su merkezi	Organizma seviyesi	Kabarcıkların içindeki sabun filmleri, yüzey alanını ve yüzey enerjisini azaltma özelliğine sahiptir. Böylece cepheye hem ışık hem enerji kazandırmakta hem de alan optimumu hâlelerine balmaktadır.	<input type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input checked="" type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input checked="" type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input checked="" type="checkbox"/> Nem kontrolü <input checked="" type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/> Işık kontrolü <input checked="" type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
2	Habitat 2020	Yaprak simonasi	Çeşitli, çoğalmış la konut	Organizma ve davranış seviyesi	Dış yapı, canlı bir cilt olarak tasarlanmıştır. Cilt, habitatın dış ve iç kısmı arasında bir zar gibi davranmaktadır. Yazda, ışığı, havanın ve suyun girişine izin vermektedir. Güneş ışığına göre otomatik olarak kapanmaktadır ve ışığı içine almaktadır (URL-4).	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input checked="" type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input checked="" type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input checked="" type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input checked="" type="checkbox"/> Nem kontrolü <input checked="" type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/> Işık kontrolü <input checked="" type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input checked="" type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
3	Eden Projesi	Sabun köpüğü Yusufçuk böceği	Sera	Organizma seviyesi	Sabun köpüklerinin verimli alan bolluğuyla sağlanan hacim ve yüksek azaldırılmadan ilham alan seradır. Çelik strüktür yusufçuk böceğinin kanatlarından ilham alınarak mimik hâle geldi.	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input checked="" type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input checked="" type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input checked="" type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/> Işık kontrolü <input type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
4	Davies Alpine Evi	Tavus kuşu Kanıca höyükleri	Sera	Organizma ve davranış seviyesi	Tavus kuşunun kuynuğuna benzer gölgeleme çözümü sağlanmaktadır. Rüzgar esikçe yapıdaki bacalarından dışarı sıcak hava çekilerek, kanıcaların yuvasına taze hava akışını kontrol etmek için termi yuvalarında kullanılan doğal soğutma stratejisine dayandırılmıştır (URL-6).	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/> Işık kontrolü <input type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
5	FB Elytra I Anasırına Pavyonu	Elytra böceği	Pavyon	Organizma seviyesi	Doğada bulunan hafif yapı, ilkelcilerden -elytra olarak bilinen uçan böceklerin ön kanat kabuklarının lifli yapılarından ilham almıştır. Elytra denen böceklerin kanatlarını ve karınını koruyan kabukları esnek bir strüktür kurulumuştur (URL-8).	<input type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/> Işık kontrolü <input type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
6	One Ocean Tematik Pavyonu	Cemeli kusu yivceği Flectofin	Pavyon	Organizma ve davranış seviyesi	Laneller, cam elyaf takviyeli plastik plakalar ve hareket mekanizması, cemeli kusu yivceği Stralvina regimelin çalınmasından esinlenmiştir (Schneegeer vd., 2012). Cephe için teknik konsept, üç ana yön ile karakterize edilmektedir: elastik deformasyon, uyarlabilir ön gerilim ve enerji geri kazanımı. Elastik deformasyon ve enerji geri kazanımı, göçgen tersine çevrilidir ve deforme olmuş elemanlarda elastik enerji depolayan mekanizmasında bulunabilmektedir (Schleicher, 2015; Knippers vd., 2013).	<input type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input checked="" type="checkbox"/> Işık kontrolü <input checked="" type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
7	Kar Leoparın Küçük Cebi Projesi	Kar leoparı	Barnak	Organizma ve davranış seviyesi	Kar leoparının gövdesi, kalın, yoğun kürk ve geniş patiler karda kolayca yavaşlamasına yardımcı olmaktadır. Proje, araştırmacılar 25°F ile 60°F arasında değişen aşırı sıcaklıklardan koruyarak, öncelikli yalıtım üzere tasarlanmıştır. Form, şekli değiştirilen yalıtımlı bir katmanla kaplanmış katı bir yapı ile oluşturulmuştur. Tüm sistem, hava ve nem sime göre yüzey alanını büyütüp küçülterek binanın genişlemesini ve büzülmesini sağlamaktadır. Kar leoparının derisine ve kürküne benzer şekilde, bölme birleşim parçadan oluşmaktadır ve bu bölümleri sağlamaktadır (Mazzoleni, 2010).	<input type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input type="checkbox"/> Nem kontrolü <input checked="" type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/> Işık kontrolü <input type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input checked="" type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input checked="" type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi
8	Hygroskin Çam kozalağı	Pavyon	Davranış seviyesi	Ladin kozalaklarını nem değişikliğine bağlı pasif açma kapama mekanizması Sisteme ışık, nem kontrolü ve doğal havalandırma sağlama şeklinde diğer baki hareketlerden farklı olarak, bu hareketi nem değişikliklerine pasif bir tepki ile gerçekleştirmektedir. Bu nedenle, herhangi bir dıvısal sistem veya motor işlevi gerektirmemektedir (URL-9).	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal havalandırma mevcut <input type="checkbox"/> Hava Filresi mevcut	<input type="checkbox"/> Su hasadı/depolama <input type="checkbox"/> Su Filtasyonu <input checked="" type="checkbox"/> Nem kontrolü <input type="checkbox"/> Suyun geri dönüşümü	<input checked="" type="checkbox"/> Doğal aydınlatma <input type="checkbox"/> Işık kontrolü <input type="checkbox"/> Dinamik gölgeleme	<input type="checkbox"/> Isı yalıtımı <input type="checkbox"/> Isı kazancı <input type="checkbox"/> Isı depolama <input checked="" type="checkbox"/> Pasif ısıtma/soğutma sistemi	

4. Bulgular ve Değerlendirme

Tablo 3 ve çalışmanın 3.bölümündeki örnekler incelendiğinde farklı hayvan, bitki, geometrik sistem, birçok canlıdan ve cansız nesnelere bir araya gelişindeki uyumdan çok farklı düzeylerde ilham alındığı görülmektedir. Bu ilhamlar farklı kaynaklardan gelmekte ve çeşitli yapı tiplerinde kullanılmaktadır.

Biyomimetik enerji etkin cephelerin incelendiği proje örnekleri; canlı türü, yapı fonksiyonu, biyomimetik seviyesi, kullanılan biyomimetik yaklaşım ve cephe sistemine entegrasyonu ile beraber hava, su, ışık ve ısı parametrelerinin varlığı kapsamında karşılaştırmalı değerlendirme yöntemi ile analiz edilmiştir. (bkz. Tablo 3) Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda şu bulgulara ulaşılmıştır:

- Canlı veya cansız, her türlü varlıktan alınan ilhamla karşılaşılmıştır. Öyle ki sabun köpüğünün geometrisinden hücre stromasının çalışma prensibine kadar geniş bir yelpazede sunulan örnekler mevcuttur. Buradan yola çıkarak söylenebilir ki doğadan alınan ilhamın enerji veya başka herhangi problemi çözmek hususunda kullanılmasının sınırı yoktur.
- Yapı işlevi ne olursa olsun biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin farklı yapılar da kullanıldığı görülmektedir. Seradan ofise ve hatta su merkezine kadar değişken yapılara entegre edilebildiği açıktır.
- Biyomimetik yaklaşımın proje örneklerinde çoğunlukla organizma ve davranış seviyesinde yapılara aktarıldığı fark edilmiştir. Genellikle de iki seviye bir arada sistem üzerinde kullanılmıştır.
- Tek canlı üzerinden sisteme biyomimetik aktarımlar görüldüğü gibi birden fazla canlıdan alınan ilhamla geliştirilen örnekler de mevcuttur. Bu da göstermektedir ki birden fazla canlıdan alınan farklı ilhamlar da birbirine entegre edilerek sistem önerisi geliştirmek mümkündür.
- Biyomimetik aktarımlar sonucu yapı bünyesinde tekil çözümler geliştirilmiş olmakla beraber birden fazla adımda biyomimetik kullanımın olduğu örnekler de gözlemlenmiştir. Biyomimetik tasarım sonucunda:
 - Malzeme olarak; neme duyarlı ahşap, elastik lameller, elastik cam elyaf takviyeli plastik plakalar üretilmiştir.
 - Cephe kabuğu olarak; 1,3,4,5,6,7 ve 8 numaralı proje örnekleri geliştirilmiştir.
 - Cephe elemanı olarak; 2,6 ve 8 numaralı proje örneklerinde üretimler yapıldığı gözlemlenmiştir.
- Proje örneklerinde yukarıdaki maddede bahsedilen farklı üretimlerin yapılabilmesi için yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi veya mevcut teknolojilerin üzerine yeni fonksiyonlar eklenmesi gerekliliği tespit edilmiştir.

- Yapılan biyomimetik uygulamalar sonucunda sistemin 4 ana başlıkta toplanan -hava, su, ışık ve ısı- parametreler çerçevesinde bir veya birden fazla temel ilkeyi sağladığı görülmüştür.

5.Sonuç

Bu çalışma kapsamında “Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri yapılarda enerji verimliliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımı mıdır?” sorusu örnek projeler üzerinden enerji etkinlikte etken parametreler çerçevesinde karşılaştırmalı bir değerlendirme yöntemi ile ele alınmıştır. Hava, su, ışık ve ısı düzenlemeleriyle sistemde enerji etkinliğini sağlayan örnekler ayrıca proje bütününde enerji korunumu veya enerji üretimi hususlarıyla da bunu kanıtlamaktadır. (bkz. Tablo 4) Çalışma kapsamında incelenen örneklerin biyomimetik tasarım yaklaşımı ile tasarlanmış cephe sistemlerinde farklı yöntemler ve parametrelerce enerji etkinliğini sağladığı görülmüştür.

Tablo 4. Biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin enerji etkinlik değerlendirmesi
 (Yazar tarafından Gündoğdu 2020'den yararlanılarak düzenlenmiştir.)

No.	Proje	Kullanılan Biyomimetik Yaklaşım ve Cephe Sistemine Entegrasyonu	Hava	Su	Işık	Isı	Enerji Korunumu Var mıdır?	Enerji Üretimi Var mıdır?	Enerji Etkin Midir?
1	Water Cube	Kabarcıkların içindeki sabun filmleri, yüzey alanını ve yüzey enerjisini azaltma özelliğine sahiptir. Böylece cephede hem ışık hem enerji tasarrufu sağlamak hem de alan optimum hacimlere bölünmektedir.		✓	✓		✓		✓
2	Habitat 2020	Dış yapı, canlı bir cilt olarak tasarlanmıştır. Cilt, habitatın dış ve iç kısmı arasında bir zar gibi davranmaktadır. Yüzey, ışığın, havanın ve suyun girmesine izin vermektedir. Güneş ışığına göre otomatik olarak konumlanmaktadır ve ışığı içine almaktadır (URL-4).	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	Eden Projesi	Sabun köpüklerinin verimli alan bölümümüyle sağlanan hacim ve yük azalımıyla ilham alan seradır. Çelik strüktür yusuftuk böceğinin kanatlarından ilham alınarak mümkün hale geldi.	✓	✓	✓	✓	✓		✓
4	Davies Alpine Evi	Tavus kuşunun kuyruğuna benzer gölgeleme çözümü sağlanmaktadır. Rüzgar estikçe yapıdaki bacalardan dışarı sıcak hava çekilirken, karıncaların yuvaya taze hava akışını kontrol etmek için termit yuvalarında kullanılan doğal soğutma stratejisine dayandırılmıştır (URL-6).	✓		✓	✓	✓		✓
5	FB Elytra I Araştırma Pavyonu	Doğada bulunan hafif yapı ilkelerinden -elytra olarak bilinen uçan böceklerin ön kanat kabuklarının lifli yapılarından - ilham alınmıştır. Elytra denen böceklerin kanatlarını ve karnını koruyan kabuktan esinleniln bir strüktür kurulmuştur (URL-8).			✓		✓		✓
6	One Ocean Tematik Pavyonu	Lameller, cam elyaf takviyeli plastik plakalar ve hareket mekanizması, cennet kuşu çiçeği Strelitzia reginae'nin çalışmasından esinlenmiştir (Schinegger vd., 2012). Cephe için teknik konsept, üç ana yön ile karakterize edilmektedir: elastik deformasyon, uyarlanabilir ön gerilim ve enerji geri kazanımı. Elastik deformasyon ve enerji geri kazanımı, çiçeğin tersine çevrilebilir ve deforme olmuş elemanlarında elastik enerji depolayan mekanizmasında bulunabilmektedir (Schleicher, 2015; Knippers vd., 2013)			✓	✓	✓		✓
7	Kar Leoparının Küçük Cebi Projesi	Kar leoparının gövdesi, kalın, yoğun kürkü ve geniş patileri karda kolayca yaşamasına yardımcı olmaktadır. Proje, araştırmacıları 25°F ile 60°F arasında değişen aşırı sıcaklıklardan koruyarak, öncelikle yalıtım üzere tasarlanmıştır. Form, şekil değiştiren yalıtımlı bir katmanla kaplanmış küresel bir yapı ile oluşturulmuştur. Tüm sistem, hava ve mevsime göre yüzey alanını büyütüp küçülterek binanın genişlemesini ve büzülmesini sağlamaktadır. Kar leoparının derisine ve kürküne benzer şekilde, bölme birkaç parçadan oluşmaktadır ve bu büzülmesi sağlamaktadır (Mazzoleni, 2010).				✓	✓		✓
8	Hygroskin	Ladin kozalaklarının nem değişikliğine bağlı pasif açma kapama mekanizması Sisteme ışık, nem kontrolü ve doğal havalandırma sağlama şeklinde aktarılır (Gündoğdu, 2020). Aktif hücre basıncı değişiklikleriyle üretilen diğer bitki hareketlerinden farklı olarak, bu hareket nem değişikliklerine pasif bir tepki ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle, herhangi bir duyuşal sistem veya motor işlevi gerektirmemektedir (URL-9).	✓	✓	✓		✓		✓

Tablo 4.'te görüldüğü üzere biyomimetik cephelerin tek veya birden çok enerji etkinlikte etken parametreyi sağlayabildiği kanıtlanmıştır. Enerjinin korunumu tüm örneklerde gözlemlenirken sadece Habitat 2020 projesinde enerji üretimi söz konusudur. Buradan yola çıkarak söylenebilir ki bundan sonra tasarlanacak biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinde enerji korunumunun yanında enerji üretiminin de çözümlere dahilinin olumlu getirileri olacaktır. Sadece ısı veya sadece ışık üzerinden geliştirilen parametrelere cevap veren sistem çözümleri görülmekle beraber birden fazla parametre kapsamında enerji etkinliği sağlayabilen proje örnekleri de incelenmiştir. Bunun mümkün olmasını sağlayan birden fazla disiplinde uzman ve araştırmacının birlikte bu çözümleri geliştirmesidir. Mimarlık yaşamın tümünü kapsayan ve birçok disiplinle beraber çalışılan bir alandır. İnsan hayatını etkileyen her faktör mimari tasarımı da etkilemektedir. Bu sebeplerle biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin geliştirilmesinde disiplinler arası çalışmanın önemi büyüktür. Yine bu sistemlerin hayata geçirilebilmesinde bir diğer önemli etken de teknolojidir. Doğadan alınan ilhamın sistem, gereç ve süreçlere aktarımında teknoloji yadsınamaz bir araçtır. Bu sebeple teknolojinin gelişimi enerji etkin bir gelecek için büyük önem arz etmektedir.

Tablo 4. incelendiğinde proje örneklerinde en çok ısı düzenlemeleriyle enerji etkinliğin sağlandığı görülmüştür. Isı düzenlemelerini 5 örnekle ışık düzenlemeleri takip ederken 4'er örnek ile su ve hava düzenlemeleri enerji etkinlikte en az tercih edilen sistem düzenlemeleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen örnekler sınırlı olmakla beraber çoğaltılabilecek örneklerin de temsili niteliğinde sayılmaktadır. Nicelikler değişebilmektedir fakat nitelik bakımından biyomimetik enerji etkin cephe sistemlerinin çalışabilirliğinin kanıtlanması hususunda yeterli veri elde edilmiştir. Sonuç olarak örnek projeler kapsamında yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda "Biyomimetik enerji etkin cephe sistemleri yapılarda enerji verimliliğini sağlamakta uygun bir tasarım yaklaşımıdır." hipotezi kanıtlanmıştır. Dünyanın giderek yaşanması daha da zor bir gezegen olduğu günümüz koşullarında sürdürülebilir bir gelecek ve çevre için doğadan alınan ilhamın önemi tartışılmazdır. Büyük yüzey alanı kaplayan cepheler enerji tüketiminde sorun teşkil ederken biyomimesis sayesinde çözümün parçası haline gelmektedir. Çalışma boyunca incelenen proje örneklerinde de görülmektedir ki doğadan alınan ilhamın cephe sistemlerine entegrasyonu enerji etkinliğini sağlamaktadır. Bu bağlamda mevcut ve oluşabilecek enerji sorunlarının giderilmesinde etkili çözümler sunabilen bir yaklaşım olarak biyomimesisin mimar ve tasarımcılar için önemi büyüktür. Doğayı iyi gözlemleyebilen, analiz ve sentezini iyi yapabilen mimar ve tasarımcılar için doğanın sunduğu sınırsız veri olduğu açıktır.

Yazarın Katkı Oranı

Sıra	Adı soyadı	ORCID	Yaziya katkısı*
1	Aslıhan FEDAKAR	0000-0002-2445-5152	1, 2, 3, 4, 5
2	Ruşen YAMAÇLI	0000-0001-9659-9246	3, 5
*Katkı bölümüne ilgili açıklamanın karşılığına gelen rakam(lar) yazılmıştır.			
1. Çalışmanın tasarlanması 2. Verilerin toplanması 3. Verilerin analizi ve yorumu 4. Yazının yazılması 5. Kritik revizyon			

Çıkar Çatışması

Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve/veya finansal çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- Aksamija, A. (2013). Sustainable Facades : Design Methods For High-Performance Building Envelopes. New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Aldemir, B.C. (2014).Bina Kabuğunun Biçimlenmesinde Doğal Süreçlere Dayalı Üretken Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 6-15.
- Arslan, S.S., Sorguç, G.A. (2007). Mimarlık Tasarımı Paradigmasında Biomimesis'in Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 2, 451-459, 2007 Vol 22, No 8, 451-459.
- Badarnah, K. (2010). Towards The Living Envelope Biomimetics For Building Envelope Adaptation, Wöhrmann Print Service B.V. Zutphen, The Netherlands.
- Benyus, J.M. (1998). Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. New York: Harper Perennial.
- Castro-Lacouture, D., Sefair, J.A., Flórez, L., Medaglia, A.L. (2009). Optimization Model For The Selection Of Materials Using A LEED-Based Green Building Rating System In Colombia, Build. Environ. 44 (6) 1162–1170.
- Cruz, E., Hubert, T., Chancoco, G., Naim, O., Chayaamor-Heil, N., Cornette, R., Menezo, C., Badarnah, L., Raskin, K., Aujard, F. (2021). Design Processes And Multi-Regulation Of Biomimetic Building Skins: A Comparative Analysis, Energy & Buildings, 246
- Fayemi, P. E., Wanieck, K., Zollfrank, C., Maranzana, N., & Aoussat, A.(2017). Biomimetics: Process, Tools And Practice. Bioinspiration & Biomimetics, 12(1),011002.
- Gruber, P. (2011). Biomimetics In Architecture: Architecture of Life and Buildings, Mörlenbach, Germany: SpringerWienNewYork.

- Gündoğdu, E. (2020). Cephe Sistemlerinin Enerji Etkinliği Üzerine Biyomimetik Bir Değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi
- Gündoğdu, E. ve Arslan, H. D. (2020). Mimaride Enerji Etkin Cephe ve Biyomimikri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 8(4), 922-935.
- Haidari, H. (2015). Decisive Design Aspects For Designing A Kinetic Façade. ISO 18458:2015 - Biomimetics – Terminology, Concepts And Methodology.
- Karamanlıoğlu, Ş., (2011), Enerji Etkin Bina Cephe Sistemlerine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Knapp, T., Wagner, A. (2009). Whole Buildings: Sustainability and Energy Efficiency. 15- 18 Haziran 2009, 4th International Building Physics Conference. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi.
- Knippers, J., Jungjohann, H., Scheible, F., And Oppe, M., (2013). Bio-Inspired Kinetic Façade For The Thematic Pavilion "One Ocean" Expo 2012 İn Yeosu, Korea. Bautechnik 90, Nr. 6.
- Loonen, R.C.G.M., Trčka, M., Cóstola, D. & Hensen, J.L.M. (2013). Climate Adaptive Building Shells: State-Of-The-Art And Future Challenges, Renewable And Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, Pp. 483–493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016>
- Lopez, M., Rubio, R., Martin, S., Croxford, B. (2017). How Plants Inspire Façades. From Plants To Architecture: Biomimetic Principles For The Development Of Adaptive Architectural Envelopes, Renewable And Sustainable Energy Reviews.
- Loonen R.C.G.M. (2015). Bio-inspired Adaptive Building Skins. Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering. Ed. Fernando Pacheco Torgal, J.A. Labrincha M.V. Diamanti, C.-P. Yu, H.K. Lee, Springer International Publishing Switzerland, s: 115-135.
- Mazzoleni, I. (2010). Biomimetic Envelopes. Disegnarecon, 3(5), 99–112.
- Mazzoleni, I. (2011). Biomimetic Envelopes: Investigating Nature to Design Buildings Teaching, Biomimicry in Interdisciplinary Bioscience Courses, Proceedings of the Biomimicry Institute Higher Education Conference.
- Mohamed, N.A., F.Bakr, A., E.Hassan, A. (2019). Energy Efficient Buildings İn Smart Cities: Biomimicry Approach, Real Corp 2019 Proceedings/Tagungsband 2-4 April 2019.
- Nkandu, M., Alibaba, H. (2018). Biomimicry As An Alternative Approach To Sustainability. Bulletin Of The Polytechnic Institute Of Jassy, Constructions. Architecture Section. 8. 10.5923/J.Arch.20180801.01.
- Pawlyn. M. (2011). Biomimicry in Architecture. London. UK: RIBA Publishing.
- Önal, M.B., Karakoç, E. (2019). Innovative Approaches To Organic Architecture: Nature-Inspired Architectural Design, XXII Generative Art Conference - GA2019.

- Radwan, A.N., Osama, N. (2016). Improving Sustainability Concept in Developing Countries - Biomimicry An Approach For Energy Efficient Building Skin Design, Procedia Environmental Sciences 34 (2016) 178 – 189
- Schittich, C. (2001). In Detail: Building Skins – Concepts, Layers, Materials. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser.
- Schneegger, K., Rutzinger, S., Oberascher, M., And Weber, G. (2012). Soma Theme Pavilion Expo Yeosu, One Ocean. St. Pölten: Residenz Verlag.
- Schleicher, S., Julian, J., Poppinga, S., Speck, T., And Knippers, J., (2015). A Methodology For Transferring Principles Of Plant Movements To Elastic Systems İn Architecture. Computer-Aided Design 60. (Published Online)
- Tokuç, A., Özkaban, F.F., Çakır, A.Ö. (2018). Biomimetic Facade Applications For A More Sustainable Future, Intechopen.
- Uçar S. ve Mimari Açından Biyomimikrinin Tasarım Paradigması Olarak Değerlendirilmesi, ISAS 2019, Ankara, Türkiye.
- Zari, M. P., (2007). Biomimetic Approaches To Architectural Design For İncreased Sustainability, Transforming Our Built Environment: New Zealand Sustainable Building Conference, Auckland, 14-16.
- Zigenfus, R. E. (2008). Element Analysis of the Green Building Process, Yüksek Lisans Tezi. New York: Rochester Institute of Technology Masters of Science in Environmental, Health and Safety Management.

İnternet Kaynakları

- URL-1: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/> (Erişim: 13.01.2022).
- URL-2: <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/> (Erişim: 10.12.2021).
- URL-3: Tokuç, A., Özkaban, F.F., Çakır, Ö.A. (2018). Biomimetic Facade Applications for a More Sustainable Future, Interdisciplinary Expansions in Engineering and Design With the Power of Biomimicry, Intechopen.
<https://www.intechopen.com/chapters/59632#F1> (Erişim: 05.11.2021).
- URL-4: <https://www.yatzer.com/grid-sustainable-habitat-2020>
- URL-5: <https://www.kew.org/kew-gardens/whats-in-the-gardens/davies-alpine-house>
- URL-6: <https://www.wilkinsonseyre.com/projects/royal-botanic-gardens-kew-masterplan>
- URL-7: <https://daviesalpinehouse.weebly.com/environment.html>
- URL-8: <http://www.achimmenges.net/?p=5922>
- URL-9: <http://www.achimmenges.net/?p=5612>