

## **Fotovoltaik Entegre Biyofilik Cephelerin Enerji ve Sürdürülebilirlik Performansının Derlemesi**

**Ruşen DURAN<sup>1\*</sup>**

*Düzce Üniversitesi*

*r.duran.81@outlook.com*

*ORCID No: 0009-0000-8290-2742*

**Özlem SALLI BİDEÇİ<sup>2</sup>**

*Düzce Üniversitesi*

*ozlembideci@duzce.edu.tr*

*ORCID No: 0000-0002-9699-6003*

Submission Date: 17.08.2025 / Acceptance Date: 08.09.2025

### **Öz**

Yapı sektörü enerji tüketimi ve karbon salınımının önemli bir bölümünden sorumludur ve bu durum çevresel sürdürülebilirlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Küresel ısınma ve doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi çağımızın en kritik sorunları yapıların enerji performansını artırmaya yönelik yenilikçi stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir mimarlık anlayışına dayalı fotovoltaik entegre biyofilik cephe sistemleri yapıların çevresel koşullara dinamik olarak uyum sağlamasını mümkün kılarak hem güneş enerjisinden elektrik üretimiyle enerji verimliliğini artırmakta hem de biyofilik tasarım ilkeleri sayesinde karbon ayak izini azaltarak ekolojik dengeye katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, fotovoltaikli biyofilik cephelerin enerji performansı, sürdürülebilirlik katkıları ve biyofilik tasarım kriterleri ile olan ilişkisini incelemektedir. Çalışmanın kapsamında, literatür taraması ve örnek yapı incelemeleri kullanılarak fotovoltaik ile biyofilik cephe sistemlerinin enerji etkinliği, karbon emisyonları ve kullanıcı konforuna etkileri araştırılmıştır. Fotovoltaik sistemlerin yenilenebilir enerji üretimi biyofilik sistemlerin ise doğal iklimlendirme yoluyla sürdürülebilirliğe katkısı değerlendirilerek farklı iklim bölgelerindeki entegre uygulamalar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler bu sistemlerin enerji tüketimini azalttığını, karbon emisyonlarını düşürdüğünü ve iç mekan konforunu arttırdığını göstermektedir. Sonuçlar sürdürülebilir yapı tasarımında bu sistemlerin kritik bir rol oynadığını ve enerji verimliliği hedeflerine ulaşmak için etkili bir çözüm sağladığını göstermektedir.

### **ANAHTAR KELİMELER**

Fotovoltaik entegre cephe, Sürdürülebilirlik, Enerji verimliliği, Biyofilik cephe

### **ABSTRACT**

The construction sector is a major contributor to global energy consumption and carbon emissions, significantly impacting environmental sustainability. Pressing contemporary challenges, including global warming and the rapid depletion of natural resources, compel the development of innovative strategies aimed at improving the energy performance of buildings. Within this framework, photovoltaic-integrated biophilic facade systems—rooted in sustainable architecture—enable structures to dynamically adapt to environmental conditions, not only enhancing energy efficiency through solar-based electricity generation but also reducing the carbon footprint and supporting ecological balance via biophilic design principles. This study investigates the energy performance, sustainability benefits, and interrelationship with biophilic design criteria of photovoltaic-biophilic facades by employing a methodological approach that combines literature review and case study analysis to assess energy effectiveness, carbon emissions, and user comfort impacts. Evaluations of renewable energy production from photovoltaics and the sustainability contributions of biophilic systems through natural conditioning, alongside a comparative analysis of integrated applications across diverse climatic regions, reveal that these systems effectively reduce energy consumption, decrease carbon emissions, and improve indoor comfort levels. The findings underscore the critical role of such systems in sustainable building design and highlight their potential as effective solutions for meeting energy efficiency objectives.

### **KEYWORDS**

Photovoltaic integrated facade, Sustainability, Energy efficiency, Biophilic facade

---

\* Sorumlu yazar.

## GİRİŞ

Sanayi Devrimi'nin ardından yaşanan teknolojik ve toplumsal dönüşümler küresel enerji talebini önemli ölçüde arttırmıştır. Enerji tüketiminin büyük kısmı inşaat sektörü kaynaklıdır. Amerikan Mimarlar Enstitüsü 2020 verilerine göre bina ve inşaat faaliyetleri küresel enerji kullanımının %36'sını, enerjiye bağlı karbon salımının %38'ini ve doğal kaynak tüketiminin %50'sini oluşturmaktadır ([URL-1](#)). Yapıların toplam enerji tüketimindeki payı %40 civarındadır ([URL-2](#)). Bu durum enerji verimliliği odaklı sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarını zorunlu kılmaktadır.

Sürdürülebilir mimarlık, yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü boyunca sosyal ve çevresel sorumluluk ilkeleri doğrultusunda; iklim verilerine, yerel koşullara ve ekosistemlere duyarlı, düşük tüketimli, yenilenebilir enerjiye dayalı ve atık üretmeyen malzemelerle tasarlanmış yapı anlayışını ifade eder ([URL-3](#)). Bu kapsamda alana yönelik yenilikçi yaklaşımlar ve çözümler giderek yaygınlaşmaktadır. Mevcut literatürde, yenilikçi çözümlerin performansı çoğunlukla parçalı olarak ele alınmaktadır. [Ding vd. \(2024\)](#) yaptıkları derleme makalesinde biyofilik tasarımın fizyolojik ve psikolojik faydalarının iyi belgelenmiş olmasına rağmen bina entegre fotovoltaikler gibi enerji verimli teknolojilerle olan etkileşimli etkilerine ilişkin kapsamlı bir analizin yetersiz olduğunu vurgulamaktadır.

Yapılarda enerji verimliliğini arttırmak için cephe tasarımı kritik bir rol oynar. [Ünal \(2008\)](#), cepheyi iç mekânı dış ortamdaki ayıran bir kabuk yapısı olarak nitelendirmektedir. Yüzey alanının büyük bir bölümünü kaplamasından dolayı enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ve yaratıcı tasarım yaklaşımları sayesinde cephelerin enerji verimliliğini artıracak şekilde tasarlanması artık mümkün hale gelmiştir ([Mayhoub vd., 2021](#)). Bu nedenle cephe tasarımı ve malzeme seçimine yönelik farkındalığın artırılması gereklidir.

Fotovoltaik (PV) sistemlerle entegre edilmiş biyofilik cepheler son yıllarda öne çıkan yenilikçi çözümlerden biridir. Bu sistemler hem temiz enerji üretimi sağlama hem de yapının doğal çevreyle bağlantısını güçlendirme gibi çift işleve sahiptir. Fotovoltaik sistemler, güneşten gelen fotonları doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yenilenebilir enerji teknolojileri arasında yer alır. Başlangıçta açık alanlar ve çatılarda kullanılan bu sistemler teknolojik gelişmeler sayesinde yapı cepheleri, saçaklar ve güneş kırıcılar gibi mimari elemanlarla entegre edilebilir hale gelmiştir. Bu entegrasyon enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra estetik ve işlevsel tasarım olanakları sunmaktadır. Yapıya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV), sürdürülebilir mimarinin önemli bir bileşeni olup enerji üretiminin yanında ısı, su ve ses yalıtımını iyileştirme potansiyeline de sahiptir. Teknolojik ilerlemeler ve destekleyici politikalar sayesinde BIPV'lerin gelecekte sürdürülebilir yapı tasarımlarında yaygın bir uygulama haline gelmesi beklenmektedir ([Yılmaz vd., 2015](#)).

Diğer bir yenilikçi tasarım yöntemi ise biyofilik cephe tasarımlarıdır. Biyofilik tasarım; insanın içgüdüsel olarak doğaya duyduğu özlemi tatmin ederek fiziksel ve psikolojik yarar sağlamak için bazı tasarım önerileri sunma yaklaşımını temsil etmektedir. Bu yaklaşım çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmeyi, bireylerin doğayla bağ kurma eksikliğini azaltmayı ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını hedeflemektedir ([Zhong vd., 2022](#)). Biyofilik tasarımın yapı cephelerine entegrasyonu; dikey yeşillendirme (yaşayan duvarlar, yeşil cepheler), doğal malzeme kullanımı (örneğin ahşap,taş), biyomimikri (doğal formlardan esinlenen tasarım) ve doğal ışık ile havalandırmanın artırılmasına yönelik çözümlerle mümkün olmaktadır. Biyofilik cephelerdeki bitki örtüsü, yaz aylarında ısı kazanımını azaltırken kış aylarında ısı kaybını minimize ederek termal yalıtım sağlamaktadır. Bu durum, ısıtma ve soğutma için gereken enerji talebini önemli ölçüde azaltarak enerji tasarrufu ve kullanıcı konforunu artırmaktadır.

Bu bağlamda fotovoltaik entegre biyofilik cepheler, hem temiz enerji üretimi hem de termal performans iyileştirmeleri sayesinde yapıların enerji tüketimini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunabilir. Yapılan çalışmada söz konusu cephelerin enerji performansı ve sürdürülebilirlik katkılarını üç aşamalı bir yöntem çerçevesiyle incelemektedir. İlk aşamada, fotovoltaik sistemlerin yapı kabuğu ile entegrasyonu, enerji performansı ve sürdürülebilir cephe uygulamalarına ilişkin ulusal ve uluslararası akademik yayınlar taranmıştır. Biyofilik tasarımın kuramsal çerçevesi, Stephen Kellert'in ilkeleri temel alınarak oluşturulmuş ve bu ilkelerin yapılardaki temsil düzeyini değerlendirmek amacıyla beş temel kriter geliştirilmiştir. Bu kriterlerden ilki doğal eleman entegrasyonu olan dikey bahçeler, yeşil cepheler ve yeşil çatılar aracılığıyla yapının doğa ile bütünleşmesini sağlayan uygulamaları kapsamaktadır. İkinci olarak doğal ışık ve havalandırma, gün ışığından maksimum düzeyde fayda elde edilmesini ve doğal hava sirkülasyonunun desteklenmesini hedefleyen tasarım stratejilerini içermektedir. Üçüncü kriter olan doğal malzeme kullanımı ahşap, taş, bambu gibi organik ve yenilenebilir nitelikteki yapı malzemelerinin tercih edilmesini ifade etmektedir. Bunun yanında biyomimikri doğadaki form ve süreçlerden esinlenerek geliştirilen yenilikçi tasarım çözümlerini ortaya koymaktadır. Son olarak doğa ile görsel temas ise iç ve dış mekan arasında görsel bir süreklilik sağlayarak doğal manzaranın iç mekana dahil edilmesine imkan tanımaktadır (Kellert & Calabrese, 2015). Bu kriterler biyofilik tasarımın hem kuramsal hem de pratik düzeyde bütüncül bir değerlendirilmesine olanak sunmaktadır. Araştırmanın ikinci aşamasında, fotovoltaik ve biyofilik tasarım unsurlarını içeren, enerji verimliliği ve karbon emisyonu azaltımı açısından belgelenmiş nicel verilere sahip ve farklı coğrafi bölgeler ile yapı türlerini temsil eden dört öncü yapı maksimum çeşitlilik örnekleme yöntemiyle seçilmiştir. Bu kapsamda; BIQ House (Almanya), The Edge (Hollanda), Bosco Verticale (İtalya) ve One Central Park (Avustralya) örnek yapıları değerlendirmeye alınmıştır. Her bir yapı için akademik yayınlar, proje raporları ve üretici verileri gibi ikincil kaynaklardan yararlanılmıştır. Son aşamada seçilen örnek yapılar belirlenen beş biyofilik tasarım kriteri bağlamında sistematik olarak analiz edilmiştir. Her bir yapının cephe tasarımı, bu kriterleri karşılama düzeyi, enerji üretim/tüketim dengesi, karbon ayak izi azaltımı ve kullanıcı konforu açısından irdelenmiştir. Elde edilen bulgular karşılaştırmalı bir tablo aracılığıyla özetlenerek entegre sistemlerin çok boyutlu performansı yorumlanmıştır.

Bu yaklaşım, fotovoltaik entegre biyofilik cephelerin biyofilik tasarım kriterleri (doğal eleman entegrasyonu, doğal ışık ve havalandırma, doğal malzeme kullanımı, biyomimikri ve doğa ile görsel temas) bağlamında sağladığı katkıları ve bu katkıların enerji verimliliği ile sürdürülebilirlik performansına yansımalarını ortaya koymaktadır. Çalışmanın özgünlüğü ise bu ilişkinin literatürdeki örnek yapılar üzerinden sistematik olarak analiz edilmesi ve tartışılmasıdır.

### YAPILARDA CEPHE SİSTEMLERİNİN ROLÜ

Cephe sistemleri yapıların estetik, işlevsel ve çevresel performansını doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Yapının iç ve dış çevresi arasında bir arayüz oluşturan cephe, yalnızca koruyucu bir dış kabuk olarak değil aynı zamanda yapının genel performansını belirleyen dinamik bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Cephe sistemi; dış duvarlar, pencereler ve dış kapılar gibi bileşenleri kapsayarak ısı transferi, doğal aydınlatma, havalandırma ve ses yalıtımı gibi fiziksel performans kriterlerini doğrudan etkilemektedir. Bu işlevsel özellikleri sayesinde cephe sistemleri enerji verimliliğinin artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Schittich (2001), cephe sistemlerinin yalnızca inşaa sürecinde değil kullanım aşamasında da sağladığı havalandırma, yalıtım ve güneş ışığı kontrolü gibi çeşitli işlevler sayesinde yapının en temel unsurlarından biri olduğunu ifade etmektedir. Günümüzde ise teknolojik gelişmelerin etkisiyle cephe tasarımında önemli dönüşümler yaşanmakta; adaptif cepheler, fotovoltaik entegre sistemler ve biyofilik

unsurlar gibi yenilikçi çözümler sayesinde yapıların iklim koşullarına uyum sağlaması ve kendi enerjisini üretebilmesi mümkün hale gelmektedir.

Enerji etkin bina tasarımında cephelerin, mevsimsel ve iklimsel koşullara uyum sağlayabilmesi ve kullanıcı gereksinimleriyle bütünlük çalışabilmesi kritik bir öneme sahiptir (Yaman, 2021). Bu bağlamda cephe, yalnızca pasif bir sınır elemanı olarak değil; enerji akışı, gün ışığı kontrolü ve doğal havalandırmanın düzenlenmesinde rol alan aktif ve dinamik bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde cephelerin bu işlevsel konumu, iklim verilerinin analizine dayalı ve enerji odaklı tasarım yaklaşımlarının yaygınlaşmasıyla gelecekte daha da belirginleşecektir (Yaman, 2021).

### **CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLE İLİŞKİSİ**

Sürdürülebilirlik kavramı, 1987 tarihli Brundtland Raporu'nda, "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kapasitesini tehlikeye atmadan, bugünkü ihtiyaçları karşılayan bir kalkınma modeli" olarak tanımlanmıştır (Alaca Tınmaz, 2018). Mimarlık bağlamında sürdürülebilirlik ise; çevresel etkileri minimuma indirilen, enerji tüketimi düşük ve doğal kaynakların verimli kullanıldığı yapıların tasarımı ve inşası olarak tanımlanmaktadır (URL-4). Bu yaklaşım yapıların çevresel ayak izini azaltmayı, uzun ömürlü ve enerji verimli çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

Sürdürülebilir mimari, yapıyı çevresine entegre ederken aynı zamanda yenilenebilir kaynaklara öncelik veren, ekolojik duyarlılık taşıyan ve hem mevcut hem de gelecek nesillerin ihtiyaçlarını gözetten bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Milosevic, 2004; Sev, 2009). Bu çerçevede yapıların dış çevre ile temas halinde olan cephe sistemleri sürdürülebilir tasarımın temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Cephe, dış mekan ile iç mekan arasında bir bariyer görevi üstlenirken aynı zamanda güneş ışığı, rüzgar ve sıcaklık gibi çevresel etmenlerle etkileşimde bulunarak yapının enerji performansını doğrudan etkilemektedir.

Sürdürülebilir yapı tasarımı, yapının tüm yaşam döngüsünde (üretim, inşa, kullanım ve yıkım) çevresel etkileri minimize etmeyi hedefler. Enerji verimliliği, düşük karbon ayak izi, geri dönüşümlü malzeme kullanımı ve yaşam döngüsü analizi bu yaklaşımın temel prensiplerini oluşturur (Yılmaz, 2012). Cephe sistemleri, yapı kabuğunun dış iklim koşullarına karşı ilk savunma hattı olması nedeniyle sürdürülebilirlik ilkelerinin uygulanmasında merkezi bir rol üstlenir. Isı yalıtımı, güneş kırıcı sistemler, fotovoltaik paneller ve doğal havalandırma gibi çözümler sayesinde cepheler, enerji verimliliğini destekleyen ve karbon salınımını azaltan aktif bir bileşen haline gelir. Bu sayede cepheler yalnızca estetik bir kabuk değil, sürdürülebilir mimari yaklaşımların temel unsuru olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, yapı içi enerji performansını artırmak, gün ışığı gereksinimlerini karşılamak ve yüksek düzeyde termal konfor sağlamak cephe tasarımının öncelikli gereksinimlerindendir (Yaman, 2021).

### **FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ**

Fotovoltaik (PV) sistemler, ilk olarak 1839 yılında Fransız bilim insanı Edmond Becquerel tarafından tanımlanmıştır. Becquerel, ışığın belirli malzemeler üzerinde elektron hareketini tetikleyerek elektrik akımı üretebildiğini göstermiştir. Bu buluş, yarı iletken teknolojilerinin ilerlemesiyle birlikte fotovoltaik hücrelerin geliştirilmesine zemin hazırlamış ve güneş ışınımının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi sürecinin teorik temelini oluşturmuştur (Saltık, 2025). Bu keşif, günümüzde "güneş pili" veya "güneş elektrliği" olarak bilinen sistemlerin temelini oluşturmuştur. Fotovoltaik sistemler başlıca güneş hücreleri, dönüştürücüler ve enerji depolama birimleri gibi bileşenlerden oluşur.

Günümüzde bu sistemler, yapıların hem yatay hem de dikey yüzeylerinde kullanılmaktadır. Böylece yapı kabuğu enerji üreten bir bileşene dönüşmektedir. Her yapının fiziksel ve konumsal özellikleri farklı

olduğundan PV panellerin yerleşimi için özel analizlerin yapılması gereklidir. Bu analizler doğrultusunda her yapı için özgün çözümler geliştirilebilir. Bu nedenle yapıların tasarım aşamasında enerji kullanımı analizlerinin dikkatle yapılması, fotovoltaik sistemin doğru kurgulanması açısından kritik öneme sahiptir. PV sistemler, yalnızca yeni yapılarda değil mevcut yapılarda da gerekli yapısal düzenlemelerle uygulanabilmektedir.

Günümüzde küresel iklim değişikliği ve enerji kaynaklarının sınırlılığı yapı kabuğunun yalnızca koruma işleviyle sınırlı kalmayıp enerji üretme potansiyeline sahip bir araca dönüşmesini zorunlu kılmaktadır. Yapıya entegre fotovoltaik sistemlerin (BIPV) kullanımı, Avrupa Birliği'nin sıfır enerjili bina hedefi kapsamında öncelikli uygulamalardan biri haline gelmiştir (Duyan & Bayrakdarlar, 2022). Bu sistemler, cepheye yönelik enerji sorunlarına işlevsel ve estetik çözümler sunma kapasitesine sahiptir. Tasarım açısından PV panellerin cephe yüzeylerine uygulanması çatı uygulamalarına kıyasla daha karmaşık detay çözümleri gerektirir. Cepheye kullanılan fotovoltaik sistemler; giydirme cephe elemanı, güneş kırıcı veya havalandırmalı cephe sistemi şeklinde tasarlanabilir (Duyan & Bayrakdarlar, 2022). Bugün yapıların üst cephelerine bakıldığında çatı tiplerinin biçimindeki değişim, çatıda yeterli alanın olmaması ve çatının kullanıcı kullanıma açılması nedeniyle cephelerde panel kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir (Yaman,2021).

Fotovoltaik sistemlerin yapılarda uygulanma biçimleri, kurulum yöntemine göre iki temel başlık altında toplanır: Bina uygulamalı fotovoltaikler (BAPV) ve binaya entegre fotovoltaikler (BIPV) (Duyan & Bayrakdarlar, 2022). BIPV sistemlerinde, fotovoltaik modüller yapı elemanlarının (örneğin çatı kaplaması, cephe camı, korkuluk vb.) yerini alacak şekilde entegre edilir. Bu modüller farklı hücre teknolojileri ve renk seçenekleri ile yarı saydam olarak üretilebilmekte böylece estetik ve işlevselliği bir arada sunmaktadır. Son yıllarda, PV elemanların yalnızca enerji üretimi değil aynı zamanda yapı kabuğunun farklı işlevlerini (çatı örtüsü, cephe giydirme, pencere camı, gölgelik vb.) yerine getirebilme kapasitesi artmıştır. Temiz enerji üretimini teşvik etmek ve karbon salımını azaltmak amacıyla fotovoltaik sistemlerin yapı tasarımında daha yaygın ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Bu gelişmeler PV panellerin mimari biçimleniş üzerinde belirleyici bir rol üstlenebileceğini ortaya koymaktadır.

### **BIYOFİLİK TASARIMIN TANIMI VE BİLEŞENLERİ**

Biyofili terimi ilk kez 1973 yılında Erich Fromm tarafından “hayata ve canlı olan her şeye duyulan sevgi” olarak tanımlanmıştır (Fromm, 1973). Bu kavram, bireyin doğa ve insanlarla bütünlük içinde bağlantı kurma arzusuna dayanır. 1980’li yıllarda Edward O. Wilson tarafından geliştirilen “biyofili hipotezi” insanın doğayla olan biyolojik bağını vurgulamaktadır. Bu yaklaşım insanların yaşam kalitesini artıracak mekanlar oluşturmak amacıyla doğayla ilişkili öğeler ile yapay tasarım unsurlarını bütüncül ve etkili bir biçimde harmanlamayı amaçlar (Wilson E. O., 2007). Bu bağlamda ortaya çıkan biyofilik tasarım yaklaşımı, Stephen Kellert tarafından mimari bağlamda sistematik hale getirilmiş ve insan-doğa etkileşimini yapıyı çevrede yeniden kurmayı amaçlayan bir tasarım stratejisi olarak geliştirilmiştir (Çorakçı, 2016). Bu tasarımlar, doğal ve yapay unsurları bir araya getirerek kullanıcının doğayla fiziksel ve psikolojik bağ kurmasına olanak tanıyan mekanlar yaratmayı hedefler. Beatley ve Kellert’e göre bu yaklaşım sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu olarak insanları doğal çevreyle yeniden ilişkilendirmeyi amaçlayan bütüncül bir süreçtir (Downton vd., 2017).

Kentleşmenin hızlı artışı ve çevresel kirlilik biyofilik tasarım anlayışını günümüz şehirlerinde doğal yaşamı yapıyı çevreye entegre ederek sağlıklı yaşam alanları oluşturacak şekilde ön plana çıkarmaktadır. Bu yaklaşım yalnızca estetik değerler sunmakla kalmaz aynı zamanda enerji verimliliği, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve kullanıcı konforu gibi işlevsel faydalar da sağlamaktadır (Zhong vd., 2022; Gök & Bingöl, 2021). Yapılarda biyofilik tasarımın sık karşılaşılan bileşenleri arasında doğal aydınlatma, doğal

havalandırma, yeşil cepheler ve doğal malzemeler öne çıkmaktadır. Özellikle yapı cephelerinde kullanılan yeşil cephe sistemleri ve dikey bahçeler, bitkilerin doğrudan veya taşıyıcı sistemler aracılığıyla cepheye entegre edilmesiyle oluşturulur. Yeşil çatılar, dikey yeşillendirme ve fotovoltaik entegrasyon gibi sistemler, karbon emisyonlarını azaltırken yapı operasyonları için enerji üretir ve net-negatif karbon ayak izi elde edilmesine katkıda bulunur (Ding vd., 2024). Doğal malzemeler (ahşap, taş, bambu vb.) de biyofilik tasarımın önemli bir bileşenidir. Görsel ve dokunsal özellikleriyle kullanıcıların doğayla bütünleşmesini sağlayarak mekanlara organik bir karakter kazandırır (Kaya & Arslan Selçuk, 2018).

Bu sistemler hem estetik katkı sağlar hem de yapıların ısı performansını artırır, gölgeleme yoluyla yazın soğutma yükünü azaltır ve kışın yalıtımı güçlendirerek enerji tasarrufuna katkıda bulunur (Blanco vd., 2021). Literatürdeki tematik eğilimler biyofilik unsurların pasif enerji performansını desteklediğini göstermektedir; enerji verimliliği, termal konfor ve gün ışığından yararlanma biyofilik mimarlık araştırmalarının temel kümeleme alanlarıdır (Ding vd., 2024). Biyofilik tasarım, yapıyı çevreye doğal unsurların entegre edilmesi yoluyla insan-doğa ilişkisini güçlendiren bir yaklaşım olarak sürdürülebilirliğe iki temel düzeyde katkı sağlamaktadır (Abdollahi & Oktay, 2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, doğal ışıktan maksimum ölçüde yararlanma ve su verimliliği gibi parametrelerle kaynakların etkin yönetimini teşvik ederken aynı zamanda bireylerde çevre bilincini geliştirerek uzun vadeli sürdürülebilir kalkınma hedeflerine sosyal bir destek oluşturmaktadır (Africa vd., 2019). Ayrıca biyofilik yapıların yaşam döngüsü perspektifinden enerji tasarrufu ve karbon geri kazanım döngüsü üzerindeki etkileri gelecekteki iklim senaryoları altında performans değerlendirmelerini mümkün kılmaktadır (Ding vd., 2024). Sonuç olarak, biyofilik tasarım yalnızca estetik bir yaklaşım değil; sürdürülebilir, enerji verimli ve sağlıklı yapılaşmanın temel unsurlarından biri olarak mimarlık pratiğinde kritik bir rol oynamaktadır.

### **FOTOVOLTAİK-BİYOİLİK CEPHE ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

Fotovoltaik-biyofilik cephe sistemleri enerji üretimi ile doğa temelli tasarım anlayışını birleştiren yenilikçi çözümler arasında yer almaktadır. Bu sistemler, cephe elemanlarına entegre edilen fotovoltaik paneller sayesinde yenilenebilir enerji üretirken biyofilik tasarım ilkeleri doğrultusunda doğal ışık, hava ve yeşil öğelerin entegrasyonu ile kullanıcı konforunu arttırmaktadır (Esgil & Yamaçlı, 2023). Paneller, yapının enerji ihtiyacını karşılayan yanı sıra iç mekan konforunu da korur; güneş kırıcılar ve kaplamalı camlar, rahatsız etmeyen doğal aydınlatma sağlar ve böylece doğal kaynak tüketimini azaltmaktadır.

Biyofilik elemanlar cephelerdeki bitkilendirilmiş paneller aracılığıyla doğal havalandırmayı destekler, ısı yalıtım performansını artırır ve iç mekan sıcaklığının dengeli kalmasına katkıda bulunur. Isı enerji performansı açısından, fotovoltaik panellerin sağladığı gölgeleme etkisi güneş ışımasını kontrol altına alarak soğutma yüklerini düşürür. Cephe, mevsimsel ve hava koşullarına uyum sağlayabilen kullanıcı gereksinimlerine göre esnek davranan dinamik bir arayüz olarak tasarlanır (Orhon, 2016; Guzowski, 2017). Bu sayede biyofilik elemanlar, özellikle yaz aylarında iç mekanların aşırı ısınmasını engelleyerek enerji tüketimini doğrudan azaltır ve yapının enerji sınıfını iyileştirir.

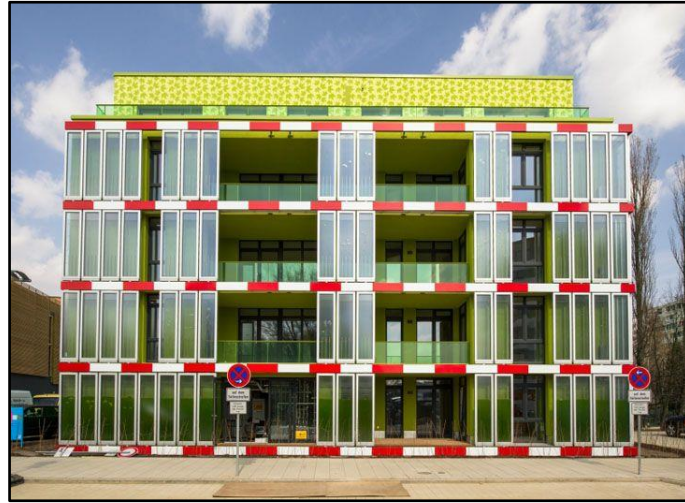
Sürdürülebilirlik açısından, fotovoltaik-biyofilik cepheler karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynar. Geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı, enerji üretimi yoluyla fosil yakıt bağımlılığının azaltılması ve kullanıcıların doğayla etkileşim kurmasını sağlayan tasarım özellikleri çevresel performansı güçlendirir. Ayrıca yerel, dayanıklı ve düşük emisyonlu malzemelerin tercih edilmesi, yapı ömrü boyunca çevresel etkilerin minimize edilmesine katkıda bulunur.

Sonuç olarak, fotovoltaik-biyofilik cephe sistemleri yüksek enerji performansı ve sürdürülebilirlik potansiyeli ile geleceğin yeşil yapı tasarımlarında kritik bir rol üstlenir. Bu bütüncül yaklaşım, enerji verimliliğinin yanı sıra kullanıcı sağlığını, çevresel sorumluluğu ve estetik tasarımı bir arada

değerlendiren yenilikçi çözümler sunar. Yapılan çalışmalar, bitkilerin yapı çatılarıyla entegrasyonunun %70'e kadar enerji tasarrufu sağlayabileceğini ve biyofilik unsurların fotovoltaik sistemlerle birleşmesinin güneş enerjisi üretiminin verimliliğini artırabileceğini göstermektedir (Ding vd., 2024). Bu bulgular, mimarlara ve araştırmacılara daha enerji verimli ve sürdürülebilir yapılar tasarlama konusunda değerli bilgiler sunmaktadır.

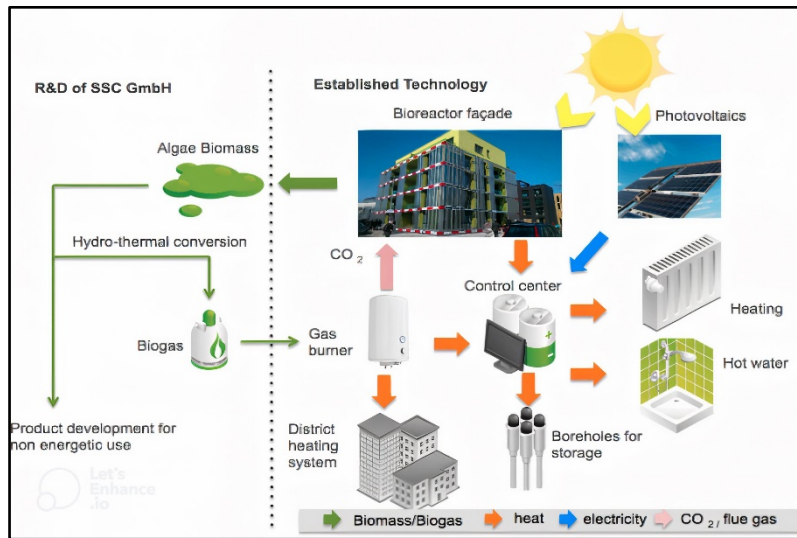
### BIQ HOUSE (ALMANYA)

BIQ Evi, 2011–2013 yılları arasında Hamburg'da gerçekleştirilen Uluslararası Yapı Fuarı (Internationale Bauausstellung – IBA) kapsamında pilot proje olarak inşa edilmiştir. Şekil-1'de yapının cephe görünümü yer almaktadır. Yenilikçi biyoreaktör cephesiyle dikkat çeken yapı, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği alanlarında sergilediği öncü yaklaşım sayesinde birçok uluslararası ödüle layık görülmüştür.



Şekil 1. BIQ (URL-7).

Bu yapının temel amacı; alg biyokütlesi ve güneş ışığından yararlanarak sürdürülebilir enerji üretimini mümkün kılan, dinamik ve etkileşimli bir cephe sistemi geliştirmektir (URL-5). Yapı enerji üretiminde yalnızca teknik bir rol üstlenmekle kalmayıp aynı zamanda çevresiyle etkileşim kuran “yaşayan” bir dış kabuk işlevi görmektedir. Güneşe yönlenen cephelerde yer alan içerisinde mikroalgler bulunan cam paneller; bir yandan doğal gölgeleme sağlarken diğer yandan alglerin fotosentez yoluyla karbondioksit tüketmesi, oksijen üretmesi ve açığa çıkan ısı ile çevre havasını temizlemesi sayesinde aktif bir ısıtma elemanı olarak da çalışmaktadır (Altın & Orhon, 2014). Şekil 2'de görüldüğü üzere bu sistemde, güneş ışığı ve mikroalglerden elde edilen enerji kapalı bir döngü içerisinde toplanmakta, depolanmakta ve sıcak su üretimi gibi bina içi ihtiyaçlarda kullanılmaktadır. BIQ Evi, biyolojik süreçlerin cephe sistemine entegre edilmesiyle sürdürülebilir mimaride çığır açan bir yaklaşımı temsil etmektedir. Alg tabanlı paneller yapının enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamakta, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta ve yılda yaklaşık 6 ton karbon salımının önüne geçerek çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkı sunmaktadır (Altın & Orhon, 2014).

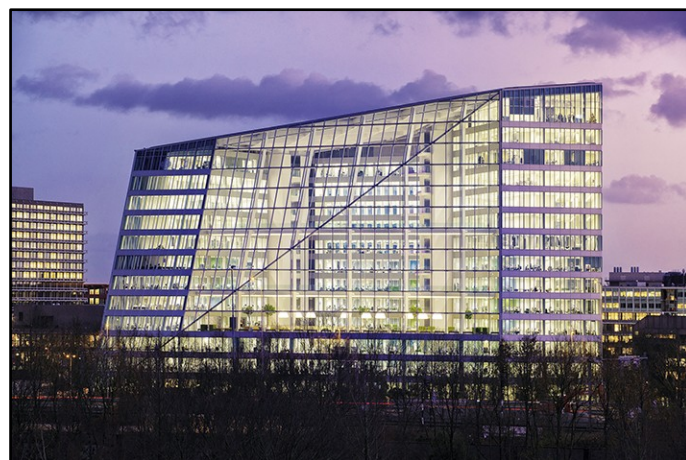


**Şekil 2. BIQ (URL-7).**

Yapının biyoreaktör cephe sistemine ait verimlilik oranları da yapılan araştırmalarla belgelenmiştir. Işık enerjisinin biyokütleye dönüştürülmesindeki verim %10, ısıya dönüşüm verimliliği ise %38 olarak belirlenmiştir (URL-6). Bu oranlar geleneksel güneş enerjisi teknolojileriyle karşılaştırıldığında dikkat çekicidir. Fotovoltaik panellerin verimliliği genellikle %12–15 arasında değişirken, güneş enerjisi kolektörleri yaklaşık %60–65 verimle çalışmaktadır (URL-6). Bu yönüyle BIQ Evi, yenilenebilir enerji üretimi ve karbon salımının azaltılmasına yönelik mimari çözümler arasında öncü bir örnek olarak öne çıkmaktadır.

## THE EDGE (HOLLANDA)

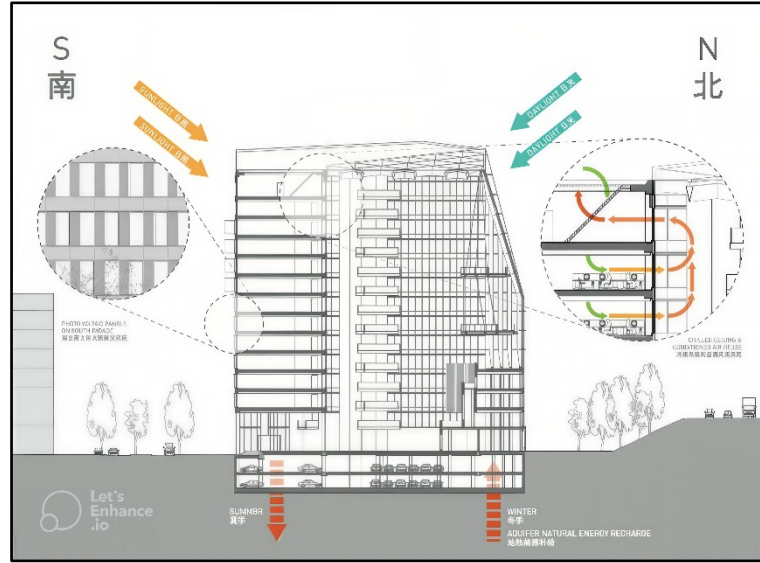
The Edge, Hollanda'nın Amsterdam kentinde yer alan ve günümüzde dünyanın en sürdürülebilir ofis binalarından biri olarak kabul edilen yenilikçi bir yapıdır. [Şekil-3](#)'te yapının cephe görünümü yer almaktadır. Building Research Establishment (BRE) tarafından gerçekleştirilen küresel değerlendirmede, %98,36 gibi yüksek bir puanla *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* (BREEAM) sertifikasına layık görülmüş ve bu alanda şimdiye kadar kaydedilen en yüksek skorla dünyanın en sürdürülebilir ofis binası unvanını kazanmıştır ([URL-8](#)).



**Şekil 3. THE EDGE (URL-9).**

Net sıfır enerji konseptiyle tasarlanan yapı tükettiğinden daha fazla enerji üretme kapasitesine sahiptir. Sürdürülebilir yapı tasarımı ve işletimine yönelik bütüncül yaklaşımı ile dikkat çeken The Edge, yalnızca

çevresel etkiyi azaltmakla kalmamakta aynı zamanda çalışan konforunu ve iş verimliliğini de artırmayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, enerji verimli sistemlerin entegrasyonu ve akıllı teknolojilerin yapıya dahil edilmesi bu hedefin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. BREEAM ekibinin katkılarıyla geliştirilen yapı benzer ofis binalarıyla kıyaslandığında yaklaşık %70 oranında daha az elektrik tüketmekte olup bu özelliğiyle enerji verimliliği açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir (URL-9). Şekil 4’de görülen diyyayramda Avrupa’daki en fazla fotovoltaik panelin yer aldığı çatısı ve güneye bakan cephesi sayesinde yüksek düzeyde güneş enerjisi elde edilmektedir. Ayrıca yapıda bulunan akufer (yeraltı suyu) kaynaklı termal enerji depolama sistemi ve buna entegre edilen ısı pompası, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamada yüksek performans sunmakta ve binanın genel enerji verimliliğini artırmaktadır.



Şekil 4. THE EDGE (URL-8).

Enerji tasarruflu mimari çözümlerinin yanı sıra enerji nötr sıcaklık kontrol sistemleri ve yenilenebilir enerji üreten teknolojilerle donatılan The Edge, yağmur suyunu toplayarak yer altı depolarında biriktirmekte ve bu suyu hem tuvalet sifonlarında hem de iç ve dış mekanlardaki bitki sulamalarında kullanarak su kaynaklarının etkin yönetimini sağlamaktadır (URL-8). Sonuç olarak The Edge; enerji pozitif tasarımı, kapsamlı akıllı bina sistemleri ve kaynak verimliliği odaklı stratejileriyle yalnızca günümüzün değil aynı zamanda geleceğin sürdürülebilir ofis yapıları için de öncü bir model sunmaktadır.

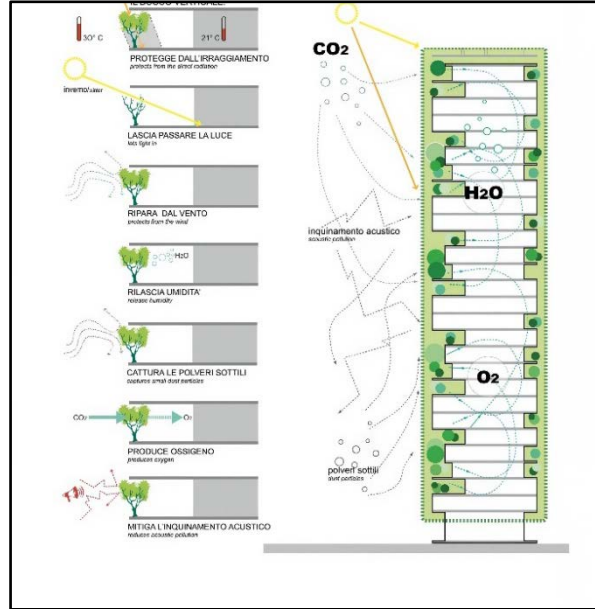
### BOSCO VERTICALE (İTALYA)

Bosco Verticale, Milano’da yer alan ve cepheleri ağaç ve bitkilerle kaplı iki konut kulesinden oluşmaktadır. Şekil-5’te yapının cephe görünümü yer almaktadır. Yaklaşık 100 türden 800 ağaç, 4.500 çalı ve 20.000 bitki, güneş alma durumuna göre konumlandırılarak 1.000 m<sup>2</sup>’lik alanda beş hektarlık orman yoğunluğunu dikey olarak sağlamaktadır. Bu yeşil örtü, CO<sub>2</sub> Emilimi, oksijen üretimi, su yönetimi, gürültü azaltımı ve ekosistem çeşitliliği açısından önemli katkılar sunmaktadır (URL-10). Yapıda ayrıca çatıda rüzgar türbinleri ve cephelerde fotovoltaik sistem entegrasyonu potansiyeli mevcuttur.



Şekil 5. BOSCO VERTICALE (URL-10).

Bosco Verticale, doğayı kentsel ortama taşıyarak sadece estetik bir değer yaratmakla kalmayıp aynı zamanda binaların enerji performansı ve çevresel etkileri üzerinde de olumlu katkılar sağlamayı hedefleyen yenilikçi bir tasarımdır. Bosco Verticale'nin sürdürülebilirlik performansı bitki örtüsünün sağladığı doğal yalıtım ve gölgeleme sayesinde yıllık enerji tüketimini %7,5 oranında azaltırken aynı zamanda CO<sub>2</sub> ve toz partiküllerini filtreleyerek yılda yaklaşık 19 ton CO<sub>2</sub> emilimiyle hava kalitesini iyileştirmektedir (URL-11).



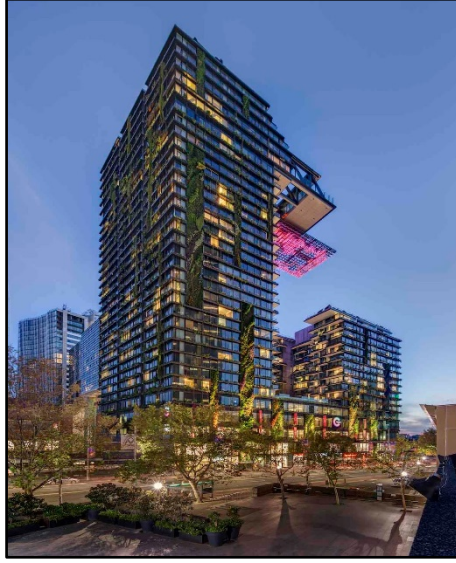
Şekil 6. BOSCO VERTICALE (URL-11).

Bosco Verticale'nin sürdürülebilirlik performansı yeşil bina tasarımının çevresel etkilerini minimize etme potansiyelini açıkça göstermektedir. Şekil 6'da görüldüğü üzere bitki örtüsünün doğal yalıtım ve gölgeleme sağlama işlevi, enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlarken aynı zamanda hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür binalar hem ekolojik dengeyi destekleyen hem de enerji verimliliği açısından gelecekteki kentsel gelişmeler için örnek teşkil eden projelerdir. Bosco Verticale, sürdürülebilir mimarinin doğa ile entegrasyonunun şehir hayatına sağladığı faydalara dair önemli bir model sunmaktadır.

#### ONE CENTRAL PARK (AVUSTRALYA)

One Central Park, Avustralya'nın Sidney kentinde yer alan ve dikey bahçeleriyle dikkat çeken karma kullanımlı bir yapıdır. Şekil-7'de yapının cephe görünümü yer almaktadır. İki kuleden oluşan yapı güney yarımkürenin en büyük dikey bahçelerine sahiptir. Şekil 8'de binanın tepe noktasında yer alan konsol üzerine yerleştirilmiş heliostat (güneş ışığı yönlendirme sistemi), güneş ışığını yakalayarak alt katlara ve

çevresindeki park alanına doğal ışık sağladığı görsel yer almaktadır. Yapının ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacı ise düşük karbon salınımlı trigenerasyon enerji santrali tarafından karşılanmaktadır.



Şekil 7. ONE CENTRAL PARK (URL-12).



Şekil 8. ONE CENTRAL PARK (URL-15).

2014 yılında “Uluslararası En İyi Yüksek Bina” ödülüne layık görülen yapı, Sidney’in Chippendale bölgesinde konumlanmakta olup; yeşil biyoduvalları, su geri dönüşüm programı ve diğer sürdürülebilir tasarım özellikleriyle dikkat çekmiştir (URL-12). Yapının cephelerinin yaklaşık %50’sini kaplayan dikey bahçeler doğal bir güneş kontrol mekanizması oluşturarak enerji tasarrufuna katkı sağlamakta aynı zamanda hava kalitesinin iyileştirilmesine ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Yapının benzer büyüklükteki geleneksel yapılara kıyasla %25 daha az enerji tükettiği ayrıca düşük karbonlu enerji santrali sayesinde 25 yıllık kullanım süresinde yaklaşık 190.000 ton CO<sub>2</sub> emisyonu tasarrufu sağlayarak sera gazı salımını önemli ölçüde azaltacağı öngörülmektedir (URL-13).

One Central Park’ın da içinde yer aldığı Central Park bölgesi; yeşil çatılar, canlı cepheler, geri

dönüştürülmüş malzeme kullanımı, yağmur suyu hasadı, trigenerasyon sistemleri ve araç paylaşımı gibi kapsamlı yeşil altyapı uygulamalarıyla öne çıkmaktadır. Bölgede yer alan tüm yapılar en az 5 Yeşil Yıldız derecesine sahiptir. Ayrıca yıkım atıklarının %93'ü geri dönüştürülmüş, akıllı konut ölçüm sistemleri kullanılmış, %80 oranında sera gazı azaltımı ve %90 oranında karbon nötrlüğü sağlanmıştır. Sulama ve iklimlendirme su ihtiyacının tamamı ise geri dönüştürülmüş su ile karşılanmaktadır ([URL-14](#)).

Enerji ve su verimliliği, yenilenebilir enerji üretimi ve doğayla bütünleşik yeşillendirme stratejilerinin bütüncül biçimde entegre edildiği bu yapı sürdürülebilir kentsel yaşam için örnek teşkil eden öncü projelerden biri olarak değerlendirilmektedir.

## DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma, fotovoltaik entegre biyofilik cephelerin enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik katkılarını biyofilik tasarım kriterleri çerçevesinde incelemiş ve literatürdeki benzer bulgularla uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Fotovoltaik panellerin yenilenebilir enerji üretimi ile biyofilik cephelerin doğal gölgeleme, havalandırma ve yalıtım etkileri birleştiğinde enerji tüketiminde belirgin bir azalma sağlanmaktadır. Biyofilik cepheler, CO<sub>2</sub> emisimi, oksijen üretimi ve biyoçeşitliliği destekleyerek çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmekte; BIQ House mikroalg tabanlı biyoreaktif cephesi ile bu yaklaşımın öncü bir uygulamasını sunmaktadır ([Zhong vd., 2022](#); [Altın & Orhon, 2014](#)).

İncelenen projeler doğal eleman entegrasyonu, doğal ışık ve havalandırma, biyomimikri ve doğayla görsel temas gibi biyofilik tasarım kriterlerini sağlayarak insanların doğayla olan bağınyı yapıyı çevrede yeniden kurmaktadır. Fotovoltaikli biyofilik cepheler yalnızca enerji verimliliği sağlamakla kalmayıp insan-doğa etkileşimini güçlendiren stratejiler sunmakta; Bosco Verticale kentsel biyoçeşitliliği artırırken, One Central Park şehir merkezinde doğa ile görsel teması yeniden kurmaktadır. Bitki örtüsünün fotovoltaik sistemlerle entegrasyonu, net sıfır karbon hedefi için umut verici bir strateji olup mikroiklimlerde sağladığı soğutma etkisi BIPV verimliliğini artırmaktadır. BIQ House, The Edge, Bosco Verticale ve One Central Park örnekleri, bu sistemlerin uygulanabilirliği, teknolojik entegrasyonu ve performans çıktıları açısından değerli veriler sunmakta; doğal havalandırma, gölgeleme ve yalıtım işlevleri ile iç mekan konforunu artırmakta ve enerji tüketimini azaltmaktadır. BIQ yapısında yer alan biyo-reaktif cephe, alg bazlı enerji üretimi, gölgeleme ve termal yalıtım işlevlerini bütüncül bir şekilde yerine getirerek enerji verimliliğini artırmakta ve çevresel etkiyi azaltmaktadır. Bosco Verticale'nin dikey orman yaklaşımı kentsel biyoçeşitliliğin artırılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve ısı konforunun sağlanması yönünden özgün katkılar sunmaktadır. The Edge, doğal ışığın etkin kullanımı sayesinde aydınlatma enerjisi ihtiyacını minimuma indirirken akıllı bina sistemleri ve enerji pozitif tasarımı ile ofis binalarında sürdürülebilirlik standartlarını yükseltmektedir. One Central Park yapısındaki dikey bahçeler gölgeleme sağlamakla su yönetimi ve hava kalitesi üzerinde doğrudan olumlu etkiler yaratarak yeşil altyapı ile enerji verimliliğini bir araya getiren başarılı bir model oluşturmaktadır. Sürdürülebilirlik açısından, biyo-reaktif cepheler, dikey orman uygulamaları ve akıllı cephe sistemleri enerji üretimi ve çevresel kaliteyi yükseltmekte, karbon salımını azaltmakta ve kentsel biyoçeşitliliğe katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, [Tablo 1](#)'de yer alan veriler sonucunda fotovoltaik entegre biyofilik cephe sistemleri, sürdürülebilir yapı tasarımında hem teknolojik hem de ekolojik açıdan bütüncül bir çözüm sunmaktadır. Fotovoltaik entegre biyofilik cephe sistemleri, sürdürülebilir yapı tasarımında teknolojik, ekolojik ve sosyal boyutları bütüncül şekilde ele alan çözümler sunmakta; enerji verimliliğini artırmak, karbon salımını azaltmak ve kent yaşamında çevresel kaliteyi yükseltmek açısından stratejik öneme sahiptir. Bu sistemlerin mimari tasarımlarda daha yaygın uygulanabilmesi için politika geliştiriciler, tasarımcılar ve mühendislerin disiplinlerarası iş birliğiyle çalışması sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma sürecini destekleyecektir ([Ding vd., 2024](#)).

**Tablo 1. Fotovoltaik entegre biyofilik cephe sistemlerinin performans değerlendirilmesi.**

| Yapı Adı                             | Cephe Tipi              | Karşılanan Biyofilik Kriterler                                                               | Temel Özellikler                                    | Enerji Üretimi/Tüketimi                                                          | Enerji Verimliliği Değerleri                              | Sürdürülebilirlik Değerleri                                                       |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BIQ House (Almanya)</b>           | Biyoreaktif cephe       | Biyomimikri, Doğal Elemanların Entegrasyonu                                                  | Alg bazlı enerji üretimi, gölgeleme, termal yalıtım | Işık enerjisinin biyokütleye dönüşüm verimi: %10, Isıya dönüşüm verimliliği: %38 | Fotovoltaik panel verimliliğine kıyasla rekabetçi         | Karbon salınımlarında azalma (yaklaşık 6 ton/yıl)                                 |
| <b>The Edge (Hollanda)</b>           | Akıllı cephe sistemleri | Doğal Işık/Havalandırma, Manzara ve Doğa ile Görsel Temas                                    | Enerji pozitif tasarım, akıllı bina sistemleri      | Tükettiğinden fazla enerji üretimi                                               | Benzer ofis binalarına göre %70 daha az elektrik tüketimi | BREEAM sertifikası en yüksek puanı (%98,36), Yağmur suyu kullanımı                |
| <b>Bosco Verticale (İtalya)</b>      | Dikey orman             | Doğal Elemanların Entegrasyonu, Manzara ve Doğa ile Görsel Temas, Doğal Işık ve Havalandırma | Ağaçlar ve bitkilerle kaplı cepheler                | Fotovoltaik sistem entegrasyonu potansiyeli                                      | Bitki örtüsüyle %7,5 enerji tüketimi azalması             | CO2 emilimi (yaklaşık 19 ton/yıl), Biyoçeşitliliğin artırılması                   |
| <b>One Central Park (Avustralya)</b> | Dikey bahçeler          | Doğal Elemanların Entegrasyonu, Doğal Işık ve Havalandırma, Manzara ve Doğa ile Görsel Temas | Dikey bahçeler, güneş ışığı yönlendirme sistemi     | Düşük karbon salımlı trigenerasyon enerji santrali                               | Benzer yapılara göre %25 daha az enerji tüketimi          | Yüksek CO2 emisyonu tasarrufu (25 yılda ~190.000 ton), Yeşil altyapı uygulamaları |

Bu çalışma, fotovoltaikli biyofilik cephelerin enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve biyofilik tasarım kriterlerine katkılarını incelemiş ancak mevcut sınırlılıklar gelecekteki araştırmalar için fırsatlar sunmaktadır. Farklı iklim bölgelerinde performans değişiklikleri göz önünde bulundurularak enerji simülasyonları ve sayısal modellemeler ile karşılaştırmalı analizler yapılmalıdır. Yüksek başlangıç maliyetleri nedeniyle yaşam döngüsü analizi ve maliyet-fayda değerlendirmeleri ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Biyofilik katkılarının yalnızca yeşil cephe ve dikey bahçeler üzerinden sağlanması, doğal malzemelerin entegrasyonunun gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, kullanıcı memnuniyeti, mekansal konfor ve doğa ile bağ kurma düzeylerini ölçen ampirik çalışmalar sınırlıdır. Fotovoltaik ve biyofilik cephelerin yaygınlaşması için politika, teşvik ve standart desteği gereklidir. Gelecek çalışmalar, disiplinlerarası yaklaşımla bu entegrasyonu farklı ölçeklerde test ederek enerji verimliliği ve insan-doğa etkileşimini artırmayı hedeflemelidir.

## ÇIKAR ÇAKIŞMASI

Yazarlar makale hakkında herhangi bir çıkar çakışması olmadığını beyan ederler.

## KAYNAKÇA

- Abdollahi, S. ve Oktay, H. E. (2020). Çevre Estetiğinde Kullanılan Modellerin Değerlendirilmesi ve BiyofilikBağlamında Yeni Bir Model Önerisi. YEDİ, 23, 75-86, doi: 10.17484/yedi.626883
- Africa, J., Heerwagen, J., Loftness, V., & Ryan Balagtas, C. (2019). Biophilic design and climate change: Performance parameters for health. *Frontiers in Built Environment*, 5, 434550. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00028/Bibtex>
- Alaca Tınmaz, Ö. (2018). *Sürdürülebilirlik değerlendirme sistemleri bağlamında yerel yapı malzemesi* [Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi.
- Altın, M. & Orhon, A. V. (2014). Akıllı yapı cepheleri ve sürdürülebilirlik. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 1–9.
- Blanco, I., Vox, G., Schettini, E., & Russo, G. (2021). Assessment of the environmental loads of green façades in buildings: a comparison with un-vegetated exterior walls. *Journal of Environmental Management*, 294,

112927.

- Çorakçı, R. E. (2016). *İç mimarlıkta biyofilik tasarım ilkelerinin belirlenmesi* (Yayın No. 444471) [Doktora tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Ding, X.; Cui, Y.; Chen, Z.; Zhang, H. (2024) Energy Efficiency in Biophilic Architecture: A Systematic Literature Review and Visual Analysis Using CiteSpace and VOSviewer. *Buildings* 2024, 14, 3800. <https://doi.org/10.3390/buildings14123800>
- Downton, P., Jones, D., Zeunert, J., & Roös, P. (2017). Biophilic design applications: Putting theory and patterns into built environment practice. *KnE Engineering*, 59–65.
- Duyan, F. & Bayrakdarlar, K. P. (2022). Enerji etkin bina tasarımında yapı elemanı olarak fotovoltaiik sistemler. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 7(3), 965–980.
- Esgil, M. & Yamaçlı, R. (2023). Akıllı cephelerin sürdürülebilirliğe etkisi: Türkiye ve dünyadaki örnekleri. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(1), 1–12.
- Fromm, E. (1973). *The Anatomy of Human Destructiveness*. New York: Fawcett Crest.
- Gök, A. B. & Bingöl, B. (2021). Mekân tasarımında insan-doğa etkileşimi: Biyofilik tasarım. H. B. Henden Şolt (Ed.), *Mimarlık Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler* (ss. 257–282). Gece Kitablığı.
- Guzowski, M. (2017). Sıfır Enerji Mimarlığına Doğru: Yeni Güneş Enerjili Tasarım (N. Güçmen & T. S. Tağmat, Çev.). YEM Yayınları.
- Kaya, H., & Arslan Selçuk, S. (2018). Biyofilik tasarım ve iyileştiren mimarlık: Sağlık yapıları üzerine bir değerlendirme. *EJONS International Refereed Indexed Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 2(3), 35–47.
- Kellert, S. and Calabrese, E. 2015. *The Practice of Biophilic Design*. [www.biophilic-design.com](http://www.biophilic-design.com)
- Mayhoub, M. M. G., El Sayad, Z. M. T., Ali, A. A. M., & İbrahim, M. G. (2021). Assessment of green building materials' attributes to achieve sustainable building facades using AHP. *Buildings*, 11(10), 474.
- Milosevic P., (2004), The concept and principles of sustainable architectural design for national parks in Serbia, *Spatium*, 11, 91-105.
- Orhon, A. V. (2016). A review on adaptive photovoltaic facades. *Solar Conference & Exhibition*, 463–470.
- Saltık, H. B. (2025). *Fotovoltaiik entegreli güneş kontrol elemanlarının enerji performansının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Schittich, C. (2001). *In Detail: Building Skins – Concepts, Layers, Materials*. Basel: Birkhäuser.
- Sev A., (2009), *Sürdürülebilir Mimarlık*, YEM Yayınları, Güzel Sanatlar Matbaası, İstanbul, 223ss.
- URL-1: ArchDaily. (2021, 11 Mayıs). Net Zero Energy and Net Zero Carbon: Design Strategies to Reach Performance Goals. ArchDaily. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.archdaily.com/972553/net-zero-energy-and-net-zero-carbon-design-strategies-to-reach-performance-goals>
- URL-2: IRENA. (2019, Temmuz). Renewable Energy Statistics 2019. IRENA. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019>
- URL-3: ÇEDBİK. (t.y.). Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği. ÇEDBİK. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.cedbik.org/yesilbina>
- URL-4: Wikipedia katılımcıları. (2024, 27 Mayıs). Sürdürülebilir mimari. Vikipedi, Özgür Ansiklopedi. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, [https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir\\_mimari&oldid=342169](https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir_mimari&oldid=342169)

- URL-5: IBA Hamburg. (2017, 11 Mayıs). BIQ House Project. IBA Hamburg. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <http://www.iba-hamburg.de/en/projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html>
- URL-6: Re-thinking The Future. (t.y.). BIQ House: Alışılmadık Biyomimikri. Re-thinking The Future. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-styles/a13271-biq-house-unusual-biomimicry/>
- URL-7: Steemit. (2024, 11 Mayıs). BIQ House: Alg Enerji Santralleri Olan İlk Binalar. Steemit. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://steemit.com/indo-stem/@rahmathidayat097/biq-house-the-firrt-buildings-with-algae-power-plants>
- URL-8: ArchDaily. (2016, 11 Mayıs). The Edge / PLP Architecture. ArchDaily. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture>
- URL-9: Ekoyapı Dergisi. (2017, 11 Mayıs). Dünyanın En Yeşil Binası: The Edge. Ekoyapı Dergisi. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.ekoyapidergisi.org/dunyanin-en-yesil-binasi-the-edge>
- URL-10: Stefano Boeri Architetti. (t.y.). Bosco Verticale Projesi. Stefano Boeri Architetti. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.stefanoboeriarchitetti.net/project/bosco-verticale/>
- URL-11: ArchDaily. (2015, 11 Mayıs). Bosco Verticale / Stefano Boeri Architetti. ArchDaily. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, [https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti/564e7c97e58ece8c420003ae-bosco-verticale-stefano-boeri-architetti-detail?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti/564e7c97e58ece8c420003ae-bosco-verticale-stefano-boeri-architetti-detail?next_project=no)
- URL-12: Yeşil Odak. (2016, 11 Mayıs). Sydney'in Central Park'ı. Yeşil Odak. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://www.yesilodak.com/sydney-in-central-park-i->
- URL-13: Wikipedia. (2025, 11 Mayıs). One Central Park. Wikipedia. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/One\\_Central\\_Park](https://en.wikipedia.org/wiki/One_Central_Park)
- URL-14: UrbanNext. (t.y.). One Central Park. UrbanNext. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, <https://urbannext.net/one-central-park/>
- URL-15: ArchDaily. (2014, 11 Mayıs). One Central Park / Jean Nouvel + Patrick Blanc. ArchDaily. Erişim tarihi 11 Mayıs 2025, [https://www.archdaily.com/551329/one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc/5424587dc07a80c9ea000081-one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc-section?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/551329/one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc/5424587dc07a80c9ea000081-one-central-park-jean-nouvel-patrick-blanc-section?next_project=no)
- Ünal, S. (2008). *Yerli ve yabancı geleneksel stillerdeki müstakil konut cephelerinde sembolik anlam* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Wilson, E. O. (2007). Biophilia and the conservation ethic. In D. J. Penn, I. Mysterud, & E. O. Wilson (Eds.), *Evolutionary Perspectives on Environmental Problems*. New York: Routledge.
- Yaman, M. (2021). Different façade types and building integration in energy efficient building design strategies. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 8(2), 49–61.
- Yılmaz, A., Yılmaz, A. S., & Bölek, Y. (2015). BIPV applications for residences. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 1(1), 109–114.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 33–54.
- Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(1), 114–141.