

## Enerji Etkin Bina Tasarımında Yapı Elemanı olarak Fotovoltaik Sistemler

Fazıla DUYAN<sup>1\*</sup>, Kadir Polat BAYRAKDARLAR<sup>1</sup>

### Öz

Fosil yakıtların hızla tükeniyor olması ve bu yakıtların karbon salınımını arttırmasıyla iklim krizinin gündeme oturması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını dünyanın en önemli konuları arasına sokmuştur. Enerjinin büyük bir miktarının binalar tarafından harcanması, bina tasarımında da yenilenebilir ve çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarının kullanılmasını ortaya çıkarmıştır. “Yeşil bina”, “ekolojik” tasarım gibi kavramlar üzerinden temiz ve yenilenebilir enerjinin bina tasarımında kullanılması bir duyarlılık olması gerekirken artık bir zorunluluğa dönüşmektedir. Bu ekolojik tasarım sürecinde güneşten enerji elde edilmesi ilkesine dayanan fotovoltaik panellerin kullanımı, tasarımda, yapının ana bileşenlerinden biri olmasının yolunu açmıştır. Bu çalışmada, enerji tüketiminin büyük ölçüde binalardan kaynaklandığı göz önünde tutularak, binalara entegre edilen fotovoltaik panellerin özellikleri sınıflandırılarak bir tasarım ögesi olarak çatı, cephe, gölgelik ve parapet olarak kullanımları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Fotovoltaik panel, mimari eleman

## Photovoltaic Systems as Architectural Elements in Energy Efficient Building Design

### Abstract

The energy crisis and intensive CO<sub>2</sub> emissions are the greatest challenges of our time. Since a significant amount of energy is consumed through buildings, the use of renewable energy sources has become a priority in building design. Since buildings are responsible for a substantial part of the energy consumption, there is a need for the use of renewable and environmentally friendly energy sources in building design. In fact, the use of clean and renewable energy in building design, which was once a sensitivity, has now become a necessity. The use of photovoltaic panels, which is based on the principle of obtaining energy from the sun, in this ecological design process has paved the way for it to be one of the main components of the building design. In this study, the use of photovoltaic panels as a design element for roofs, facades, and canopies has been evaluated by classifying the features of photovoltaic panels integrated into buildings, considering that energy consumption is largely caused by buildings.

**Keywords:** Renewable energy, Photovoltaic panel, Architectural element

<sup>1</sup> Doğuş Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye  
\*İlgili yazar/Corresponding author: faziladuyan@gmail.com  
Gönderim Tarihi / Received Date: 01.11.2022  
Kabul Tarihi / Accepted Date: 27.12.2022

## 1. Giriş

Son çeyrek yüzyıldır yapı sektörü sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, karbon salınımı ve iklim krizi gündemleri çerçevesinde “enerji etkin bina, yeşil binalar” gibi sürdürülebilir tasarım kavramlarını tartışmaktadır. Gündeme oturan bu kavramlar temelde dünyadaki iki büyük soruna işaret etmektedir. Birincisi enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların hızla tükenmekte oluşunun endişesi, ikincisi özellikle son yıllarda boyutu tüm dünyayı saran küresel ısınma ve kuraklık sorununa bu fosil yakıtların da katkı sağlaması ile iklim değişikliğine sebep olmalarıdır.

Karbon salınımının dünyaya verdiği zararın belirginleşmeye başladığı süreçte yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etme çalışmaları ve teknolojisi hızla gelişirken yenilenemeyen enerjinin çevre kirliliğine olan etkisini azaltma gerekliliği de aynı hızda insanları meşgul etmektedir. Çevre kirliliğinin iklim değişikliğine etkileri her geçen gün yoğunlaştıkça otorite çevreleri iklim krizini etkin bir şekilde ele almak için yapı endüstrisini ısrarla sürdürülebilir binalara yönlentmektedir. Amerikan Mimarlar Enstitüsü 2020 yılında bina ve inşaat sektörünün, dünya genelinde enerji tüketiminin %36' sından, enerji ile ilgili karbon emisyonlarının %38' inden ve kaynak tüketiminin %50' sinden sorumlu olduğunu beyan etmiş ve çevre yönetimi organizasyonunu birinci öncelik haline getiren kararı onaylamıştır (URL-1). Tüketilen enerjinin yaklaşık % 40' ı gibi ciddi bir miktarının binalar tarafından tüketilmesi tasarımcıları ve bina üreticilerini bu enerjiyi karşılamaktan da sorumlu tutmaktadır (URL-2). Bu bağlamda bitmeyen kaynağı ile güneş enerjisi kullanımı eskisinden daha önemli hale gelmiş ve geleceğe yönelik enerji üretim teknolojileri bu kaynak üzerine çalışma üretmeye başlamışlardır.

Güneş enerjisi binalarda aktif ve pasif olmak üzere iki biçimde kullanılmaktadır; pasif yöntemler binaların konum, yön, biçim ve malzeme seçimi konularını içerirken, aktif yöntemler çeşitli sistemler ile güneş enerjisinin farklı bir enerji türüne dönüştürülmesini kapsamaktadır. Güneş enerjisinden aktif yöntemlerle yararlanma, toplaçlardan ısı enerjisi sağlanması olarak tanımlanan termal güneş kolektörleri ve fotovoltaik (FV) panellerle güneş enerjisinden elektrik üretmesi ile sağlanmaktadır. Fotovoltaik paneller, binanın her türlü enerji gereksinimi sağlayabildiği gibi ayrıca enerji fazlasını depolayabilen ek sistemlere de sahiptir.

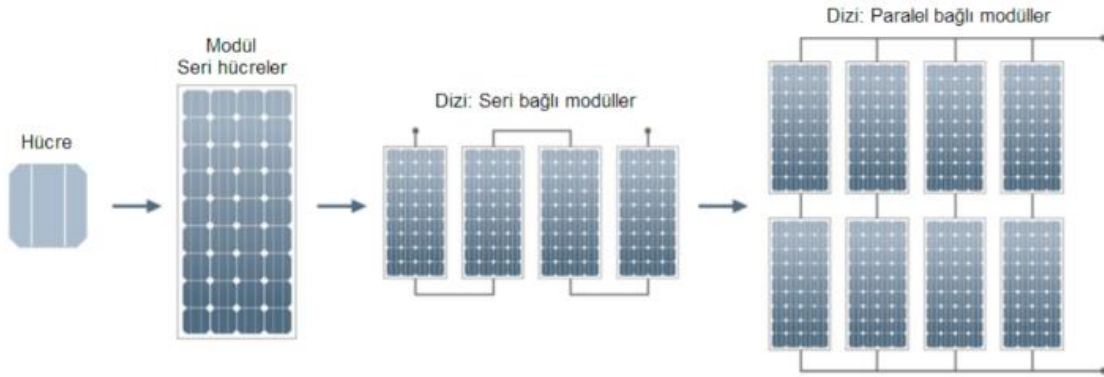
Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (IRENA) 2019 sonu verilerine göre yenilenebilir enerji ile ilgili yol haritaları izlendiğinde, karbon emisyonunun 2030 yılında olması beklenen 35 Gt CO<sub>2</sub>'dan 24.9 Gt CO<sub>2</sub>'a, 2050 yılında ise 33.1'den 9.8 CO<sub>2</sub>'a inmesi öngörülmektedir (URL-2). Bu projeksiyonda, fotovoltaiklerin enerji üretimindeki kapasitesinin 2018'de % 2 iken (480 GW), 2030'da %13'e (2.840 GW), 2050 yılında ise % 25'e (8.519 GW) çıkması beklenmektedir. Bu varsayım karbon emisyonlarını 2050 yılında günümüze göre % 70 azalarak olası iklim krizinden kurtulmanın en akılcı yolu olduğunu göstermektedir (URL-3). Bir başka deyişle, önümüzdeki otuz yıl içinde fotovoltaik panel kullanımının on sekiz kat artması ile karbon salınımının en aza indirgenmesi dolayısıyla iklim krizinin önlenmesinde büyük rol oynaması öngörülmektedir.

Bu çalışmada, fotovoltaik sistemlerin geçmiş, günümüz ile yakın gelecekte enerji sektöründeki yeri araştırılmış, enerji etkin bina tasarımında bir yapı elemanı olarak binaya entegre edilmesinde verimlilik, ölçü, boyut, biçim ve estetik bakımından kullanımları değerlendirilmiştir.

## 2. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik (Photovoltaic) kelimesi Yunanca'da "ışık" anlamına gelen "phōs" ve gerilimin birimi olan "volt" sözcüklerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Fotovoltaik terimi (photo-voltaic) İngilizce'de 1849 yılında bu yana kullanılmakta ve ışıktan elektrik akımı üretilmesi anlamına gelmektedir (Ünver, 2013, s.2). Fotovoltaik sistemler ilk olarak Fransız Bilim İnsanı Edmond Becquerel tarafından 1839'da araştırılmış "Güneş Pili" veya "Güneş Elektriği (solar electricity)" olarak tanımlanmıştır. Becquerel elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek "Fotovoltaik" olayını bulmuştur (Kaymak, 2007, s.1). 1954 senesinde, geliştirilen fotovoltaik hücreler (silikon kristali) uzay teknolojisinde kullanılmak için tasarlanmış, uydu araçlarının elektrik ihtiyacını karşılamak üzere yüksek maliyetli elektrik üreteçleri olarak kullanılmıştır. O yıllarda panel verimi sadece % 5 civarındaydı.

Fotovoltaik panelleri oluşturan güneş hücreleri iki yarı iletkenin birleştirilmesiyle meydana gelmektedir ve güneşten enerji elde etmek için kullanılan en temel elemanlardır. Fotovoltaik hücrelerde elektrik, elektronların bir yarı iletkenen diğerine geçişi sırasında oluşmakta ancak kendileri enerji kaynağı olmayan bu hücreler enerjiyi depolayamamaktadır. Güneşten gelen ışığı elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik enerji üreten bu sistemler, güneş ışığı kesildiği zaman enerji üretmeyi durdururlar. Bu durumlarda enerjiyi depolamak veya aktarmak için akü gibi yedekleyici bir sistem gerekmektedir. Çok sayıda fotovoltaik hücrenin paralel veya seri bağlanmasıyla dizi oluşturulur ve daha büyük güçler elde edilir. Fotovoltaik sistem; güneş hücrelerinden oluşturulan modüller, doğru akımı alternatif akıma çeviren eviriciler (inverter), tercihe bağlı akümülatörler ve çeşitli elektronik elemanların bir arada kullanılması ile oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil1. Fotovoltaik sistem (Öztürk, 2019, s.2)

Fotovoltaik hücreler farklı özellikteki elementlerin birleştirilmesinden oluşurlar. Yine farklı özelliklere sahip levhaların üzerine uygulanarak modül haline getirilirler. Modüller taşıyıcı sistemlerle birleştirilerek içinde buldukları fiziki çevre sınırları kadar geniş alanlara yayılabilirler. Güç talebine bağlı olarak FV modüller birbirlerine seri veya paralel olarak bağlanarak birkaç Watt'tan megaWatt'lara kadar FV diziler oluşturulabilir.

### 2.1. Fotovoltaik Güneş Hücreleri

Fotovoltaik sistemlerin en temel birimi güneş hücreleridir. Hücrelerin verimi, güneş enerjisinin fotovoltaik etkiyle elektriğe dönüştürülebilir bölümünü belirtir. FV güneş enerjisi sistemlerinin gelişimi için yapılan çalışmalar doğrudan hücre veriminin odağına dönük olarak yapılmaktadır. Güneş hücreleri, farklı iki tip yarı iletken yapının

birleştirilmesi ile bir elektriksel alan oluşturulması esasına dayalı bir yapının üzerine düşen fotonun taşıdığı enerjinin elektron tarafından yutulması neticesinde elektrik akımı üreten enerji dönüşüm araçlarıdır (Çelik, 2020, s.2.493). Bu hücrelerin içeriğinde cam gibi yalıtkan ve bakır gibi yarı iletken maddeler bulunur.

Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 24 arasında bir verimle elektriğe dönüştürülebilir. Son yıllarda yapılan laboratuvar çalışmaları ile güneş hücresi verimi % 40'lara kadar çıkartılmıştır (Luceño-Sánchez ve ark., 2019, s.32). Verimi % 10'un altında olan güneş hücreleri uygulamada verimli ancak ekonomik değildir. Yarı iletken güneş hücrelerinin verimi laboratuvar koşullarında % 10-30 iken uygulamada % 5-20 arasında bir verimliliğe gerilemektedir. Uygulama koşullarında verimi % 15 olan güneş hücresi optimum olarak değerlendirilebilir (Öztürk, 2019, s.7).

Son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliğine yönelik artan endişenin bir sonucu olarak sürdürülebilir enerji üretiminde önemli rolü olan fotovoltaik hücre teknolojisi hızlı bir şekilde gelişmektedir. Güneş paneli verimliliğinin en büyük belirleyicisi olan güneş hücrelerinin piyasada en yaygın olanları silikon bazlı olan monokristal, polikristal ve ince film hücreleridir. Bugüne kadar geliştirilen ve gelişmekte olan farklı fotovoltaik hücreler dört ana kategoride sınıflandırılarak incelenebilir (Tablo 1).

*Birinci Nesil Güneş Hücreleri:* Fotovoltaik pazarın yaklaşık % 90'ında kullanılan birinci nesil hücreler, kalın kristal filmlere dayanan fotovoltaik teknolojiyi içermektedir. Ticari güneş pilleri imalatı içinde en yaygın kullanılan (FV pazarının yaklaşık % 90'ında kullanılmaktadır) yarı iletken malzeme olan Si'yi (Silisyum/silikon) ve güneş panelleri için en yaygın olarak uygulanan GaAs'ları (Galyum Arsenit) içeren hücrelerdir (Sampaio ve González, 2017, s.593). Bunların üretilmesi nispeten pahalı olsa da yüksek verimlilikleri nedeniyle en eski ve en çok kullanılan hücrelerdir (Luceño-Sánchez ve ark., 2019, s.5). Bu hücreler üçe ayrılmaktadır.

- Monokristalin (m-Si)
- Polikristalin (p-Si)
- Galyum Arsenit (GaAs)

*İkinci Nesil Güneş Hücreleri (İnce Film Teknolojisi):* İlk üretimleri 1970'lerin ortalarında başlayan ikinci nesil ince tabaka amorf silikon (a-Si) güneş hücreleri yüksek maliyetleri azaltmaya yönelerek daha ucuz ancak daha düşük verimliliğe sahiptir. Laboratuvar ortamında verimliliği % 16-18'dir. Ancak bu düşük verimine karşın güneş ışığını soğurma miktarı yüksektir, malzeme kalınlığı 1  $\mu\text{m}$ 'a kadar düşürebilen ince film teknolojisinden yapılmış hücreler aşırı ısı değişimleri ve gölgeden etkilenmezler (Luceño-Sánchez ve ark., 2019, s.7). Esnek yapıdan üretildiklerinden eğrisel tasarımlar için kullanılabilir.

*Üçüncü Nesil Güneş Hücreleri:* İnce film teknolojisi kullanılan bu hücrelerde, Si bazlı hücreler gibi çok miktarda toksik olmayan malzemeler kullanılır. Bu nedenle, fotovoltaik hücrelerin büyük ölçekli uygulanması için uygundur (Gong, Liang & Sumathy, 2012, s.5851-54).

*Dördüncü nesil güneş hücreleri:* "Organikler içindeki inorganikler" olarak da adlandırılan bu güneş hücreleri bazı literatür kaynaklarında Üçüncü Nesil hücre grubunda yer almaktadır.

Tablo 1. Fotovoltaik güneş hücre kategorileri ve özellikleri

1. NESİL Güneş Hücreleri	Monokristalin (m-Si)	PERC (passive emitter and rear control cell) güneş Pilleri	Hücreden geçen ışığı geri yansıtarak ek %1 daha fazla verimlilik sağlarlar. Perc Mono PV Paneller Poli PV Panellere göre %10 – 15, ince film Panele göre ise % 25-30 daha az alan gerektirir.
		HJT (Heterojunction) Hetero Bağlantılı güneş pilleri	İçerisinde ince katmanlı hücreleri olan ve çeşitli dalga boylarındaki ışığı emerek güç üretimini arttıran farklı tipte bir silikonun katmanları arasına sıkıştırılmış geleneksel monokristal güneş pilleridir.
		Yarı kesilmiş (Half-Cut) /bölünmüş hücreler	Yüksek hassasiyetteki lazer ile güneş pillerindeki ısıyı ve direnci azaltarak verimliliği arttıran teknolojidir.
	Polikristalin (p-Si)	M-Si hücrelere göre üretimlerinin daha kolay ve daha az sera etkisi oluşturmaları gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır. Ancak verim düzeyleri %19,9 olarak M-Si hücrelere göre daha düşüktür (Sunghyun vd., 2016). Polikristal hücrelerin renkleri antireflekta kaplamayla mavi iken kaplamasız halde gümüş gri renklerdedir (URL-4).	
	Galyum Arsenit (GaAs)	İnce tabakalardan oluşan GaAs güneş hücrelerinin verimliliği % 18,4-28,8 (laboratuvar) olarak tespit edilmiştir. Fiyatı monokristalin ve polikristalin hücrelere göre daha uygundur (Luceño-Sánchez ve ark., 2019, s.32).	
2. NESİL Güneş Hücreleri	a-Si	Amorf Silikon hücreler, esnek yapılı ve ışık geçirgen olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. A-Si'nin laboratuvar ortamında verimliliği tek eklemlili hücreler için %10,2 ve çok eklemlili hücreler için %12,7'dir (Green vd., 2017, s.906).	
	c-Si	Kristal silisyum fotovoltaik hücreler yarı saydam pencere camı olarak kullanılır.	
	CIGS	Bakır İndiyum Galyum Selenid'in laboratuvar ortamında verimliliği %22,3'dür.	
	CdTe	Kadmiyum Tellür laboratuvar ortamında verimliliği %21'tür (Green ve ark., 2017)	
3. NESİL Güneş Hücreleri	Renk duyarlı güneş pilleri (DSSC)	DSSC'ler, ince filmler şeklinde üretilen düşük maliyetli güneş hücreleridir. Laboratuvar ortamında ulaştıkları verim düzeyi %5 ila %20 arasında değişmektedir (Shalini vd., 2016, s.1304).	
	Kuantum nokta hücreleri (QD)	Teorik olarak verim sınırı % 63 olarak belirlenmektedir (Luque&Martı, 1997). Bu teknolojiye dayalı hücrelerin verimliliği yüksektir, esnekliği sayesinde kütle, güç tüketimi ve üretim maliyeti düşüktür. Saydam cam yüzeylerde de kullanılabilirler.	
	Organik ve polimerik güneş pilleri (OPVC)	Verimleri laboratuvar ortamında %9,7–22,4 arasında değişen Organik Fotovoltaik hücreler (OPVC) önceki nesillere kıyasla esneklik, hafiflik, daha düşük işlem maliyetleri ve daha az çevresel etki gibi önemli avantajlar sergilemektedir (Gaspar vd., 2018, s.2).	
	Perovskite hücreleri (PVSCs)	Perovskite, süperiletkenlik, manyetik direnç gibi birçok özelliğe sahip bir yapıyı paylaşan malzemelerin bir sınıfıdır. Güneş hücrelerinin geleceği olarak görülen perovskite daha ucuz ve daha verimli bir fotovoltaik teknolojiye olanak sağlıyor. Perovskite hücreleri 2009 yılında yapılan araştırmalarda %3,8'lik başlangıç değerindeyken, 2018 yılına gelindiğinde %22,13'e kadar varan verimliliğe ulaştırılmıştır (Djurišić ve ark., 2017, s.3).	
	Çok eklemlili hücrelerdir (MJ).	Bu hücreler şimdiye kadar yapılan laboratuvar araştırmalarında %40'a kadar verim sağlamış ve geliştirilmesi sonucunda %50 verimin üzerine çıkması beklenmektedir (Luceño-Sánchez ve ark., 2019, s.10).	
4. NESİL Güneş Hücreleri	Organikler içindeki inorganikler	Yeni inorganik nano yapıların kararlılığı ile polimer ince filmlerin düşük maliyet ve esnekliğini (metal nano parçacıklar ve metal oksitler) organik bazlı nano materyallerle birleştirmekte (karbon nanotüpler, grafen ve türevleri) ve günümüzde araştırmaları sürdürülmektedir (Luceño-Sánchez ve ark., 2019, s.22-24).	

Mevcut pazar payını elinde bulunduran 1. nesil ve 2. nesil teknolojileri standartlaştırılmış ve son yıllarda bazı değişikliklerle iyileştirilerek verimleri %20-25 oranına kadar çıkartılmıştır. Diğer taraftan 3. nesilin çoğunluğu ve 4. nesil teknolojilerinin temel araştırma aşamalarında verimlilikleri %10-22,5 seviyesinde olup henüz laboratuvar ortamından endüstriyel ölçekte uygulamaya geçememiştir. 3. nesil çok eklemli hücreler %40'tan büyük dönüştürme oranlarıyla en iyi alternatif olarak görülmektedir. 4. nesil karbon nano tüpler, grafen ve türevleri ön araştırma safhasında olup çok umut verici bir alan oluşturmaktadırlar.

## 2.2. Fotovoltaik Modüller

FV sistemlerin ana birimi olan, 125/150/156/210 mm uzunluklarında olan güneş hücre boyutları genellikle 156.75 x 156.75 mm ile 210 x 210 mm arasında olabilirler (Mittag ve ark., 2020, s.1). Genellikle bir modül 36 hücreden oluşur, ancak 144 hücreye kadar çıkan paneller üretilmektedir. Fotovoltaik modüller tek yüzlü veya çift yüzlü olabilirler.

*Tek Yüzlü Fotovoltaik Modüller:* Tek yüzlü (monofasiyal) ince film FV modüller genellikle 50x100 cm ve 33x133 cm ölçülerinde üretilirler. Ancak günümüzde mimari uyum açısından çok çeşitli boyutlarda paneller üretilmektedir. Modüllerin ana maddesi Amorf silisyum; plastik, metal tabaka, pencere camı, kiremit gibi farklı malzemeler üzerine uygulanabilir. Çerçevesiz olarak üretilen bu modüller pencere camı olarak kullanılabilir. Çoğunlukla, FV modülün mekanik sertliğini ve darbelere karşı korumasını sağlamak amacıyla 2–3 mm kalınlığında temperlenmiş, renksiz cam kullanılır.

*Çift yüzlü (Bifasiyal) fotovoltaik modüller:* Hem üst hem de alt yüzeylerinde elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine sahip bifasiyal FV panellerin üst yüzeyindeki güneş hücreleri güneşe bakmakta, gelen güneş ışınlarını doğrudan yakalayarak geleneksel bir fotovoltaik gibi çalışmaktadır. Alt yüzde bulunan güneş hücreleri “albedo ışığı” denilen yerden ve çevreden yansıyan güneş ışınları emerek elektrik enerjisi üretmektedir. Panellerin altındaki bir çatı veya beton yüzeyin açık ve parlak renklere boyanması ışığı daha çok yansıtarak verimliliğe katkı sağlamaktadır. Bifasiyal güneş pillerinin monofasiyal güneş pillerine göre iki katı yüzeye sahip olmasına rağmen yapılan araştırmalar çift yüzlülerin geleneksel bir güneş paneli sistemine kıyasla verimliliğini sadece %11 artırdığını göstermektedir (URL-5).

## 3. Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerin Enerji Etkin Bina Tasarımında Kullanımları

Fotovoltaik sistemlerin binalarda kullanımı kurulum ve inşaat yöntemine bağlı olarak iki biçimde uygulanır. Bina uygulamalı fotovoltaikler (BAPV-Building Application Photovoltaic) ve binaya entegre fotovoltaikler (BIPV-Building Integrated Photovoltaic). Hareketli raylar kullanılarak doğrudan binalara eklenen bina uygulamalı FV modüllerin binanın işlevi üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur, sadece elektrik üretimi için binanın çatısına veya cephesine uygulanırlar. Bu uygulama mevcut yapı malzemesinin (kiremit, cephe duvarı vb.) üzerine monte edilir. Binaya entegre (BIPV) sisteminde ise FV modülleri, bina yapılarına esas yapı malzemesinin yerine geçecek biçimde çatı veya cepheye entegre edilir. Burada FV modülleri, BIPV ürünleri ile çatı veya duvar yapımında kullanılan geleneksel yapı malzemelerinin (kiremit, cam, cephe duvarı, korkuluk vb.) yerini almaktadırlar. Bu bağlamda, BIPV sistemlerin mimari tasarım ve bina işlevi üzerinde etkisinin olacağı söylenebilir. Bir başka deyişle BIPV sistemler bir mimari ürün tasarlanırken tercih edilen bir yaklaşımdır.

1973 yılında, Amerika, Delaware Üniversitesi'nde, güneş ışığını doğrudan hem ısıya hem de elektriğe dönüştüren ilk ev olan "Solar One" inşa edilmiştir (Şekil 2). Solar One, ince film hücreleri kullanılarak çatısına monte edilen fotovoltaik paneller ile güneş enerjisi sisteminden veri toplamak için deneysel bir yapı olarak tasarlanmıştır. Binalar için ilk FV çözümleri 1970' lerde ortaya çıkmaya başlasa da fotovoltaik çözümlerin çatılara eklenti olarak kullanılması ancak 1980' lerde başlayabilmiştir. 1982 yılında Thomas Herzog ve Bernard Schilling tarafından Münih yakınlarındaki bir köyde tasarlanan Wohnanlage Richter konut binası, BIPV sistemlerin kırk yıllık geçmişinin başlangıç noktasıdır (Corti ve ark., 2020, s.14).



Şekil 2. Solda Solar One, sağda Wohnanlage Richter konut binası (URL-6, URL-7)

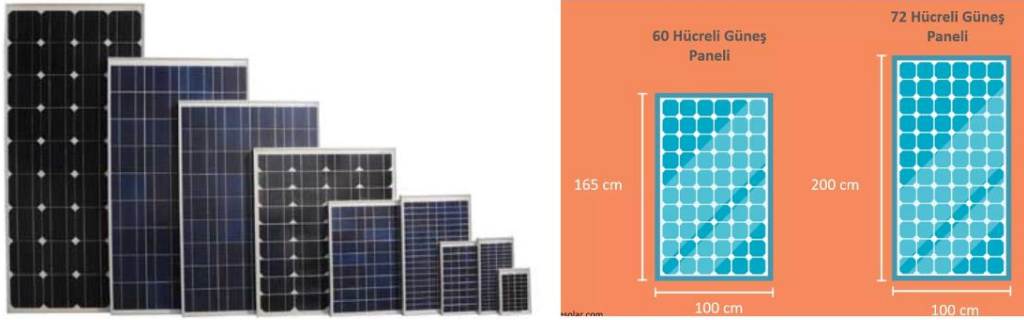
1990'larda sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasının bir yansıması olarak, sürdürülebilir tasarımı destekleyen mimarlara ve yapılara verilmeye başlanan ödüllerle birlikte kendi enerjisini üreten binaların yapımı teşvik edilmeye başlanmıştır. Bu hareketle birlikte FV'ler artık ticari olarak temin edilebilir hale gelmiştir. Binaya entegre fotovoltaik sistemlerinin yirmi yıl pazar payını genişletme çabalarına rağmen 2009 yılının sonuna kadar bina kabuğuna kısmen veya tamamen entegre olan FV sistemleri, dünya çapındaki tüm kurulu kapasitenin sadece %1'ini oluşturuyordu (URL-6). Ancak son on yılda iklim krizinin de tırmanmasıyla birlikte hem teknolojik hem de binaya entegre estetik modüllerin gelişimi ve üretimi ciddi bir ivme kazanmıştır. BIPV sistemlerin tarihsel gelişim noktaları (Şekil 3) temelinde dört dönemsel karakterize edici kümede gruplanabilir (Corti ve ark., 2020, 32-33).



Şekil 3. BIPV sistemlerin tarihsel gelişimi

2010 yılından günümüze kadar gelen dönemde fotovoltaikler hem enerji üreticisi hem de geleneksel yapı malzemesi olarak gelişimini hızla sürdürmektedir. Bina kabuğunda kullanımları, enerji üretimi sağlamlarıyla birlikte yapının dış etmenlerden korunması bakımından ikinci bir işleve de sahip oldukları anlamına gelmektedir. Yönelim ve maksimum enerji elde etme çabaları, binanın mimari biçimlenmesinde yönlendirici, kimi zaman zorlayıcı olabilir. Bu durum üreticileri de farklı boyutta, renkte ya da işlevde modül

üretimine teşvik etmekte aynı zamanda tasarımcılara yeni tasarım biçimleri sunmaktadır (Şekil 4, Şekil 5).



Şekil 4. Standart ve farklı boyutta fotovoltaikler (URL-8, URL-9)



Şekil 5. c-Si hücreli FV panel renkleri (URL-10)

Fotovoltaiklerin binalarda yapı elemanı olarak kullanımı, çatı, cephe, parapet ve gölgelik olarak dört bölümden oluşmaktadır. Ayrıca bina dışında da otopark gölgeliği, yaya yolu gibi çok çeşitli kullanımları mevcuttur.

### 3.1. Fotovoltaiklerin Çatı Ögesi Olarak Binalarda Kullanımı

Verim ve performans açısından fotovoltaik panellerin çatılardaki kullanımı, paneller üzerinde gölgeleme olasılığının düşük olması, çatıdaki eğim ve cepheye uygulanmasından kolay ve daha düşük maliyetli olması nedeniyle bina için en uygun bölgedir. Fotovoltaiklerin çatı uygulamaları genel olarak beş bölümde incelenebilir.

#### 3.1.1. Düz çatıda uygulanması

Düz çatı FV tesisatı, destek yapılarla tercih edilen eğim açısıyla, optimal pozisyonda tercih edilen yere uygulanabilir. Modül ayarı 10°'den 60°'ye kadar açı yapılabilme imkânı vardır ve yüksek rüzgâr gücüne dayanıklıdır.

#### 3.1.2. Eğimli çatıda uygulanması

Eğimli çatı uygulamalarında mevcut çatı üzerine standart panellerin uygulanması (BAPV) ve çatı örtüsü olarak fotovoltaiklerin kullanılması (BIPV) olarak iki biçimde kullanılır. Çatı malzemesi yerine kullanılan FV'ler küçük güneş kiremitleri ve büyük güneş karolarıdır. Küçük güneş kiremitleri (zona-arduvazlar) orijinal kiremitler gibi kil, plastik vb. çeşitli malzemelerden yapılırlar ve aynı boyuttadırlar. Genellikle, birkaç güneş pilinden oluşan bir FV laminatı, bir karo, kiremit veya arduvaza benzeyen bir alt tabaka üzerine yapıştırılır (Şekil 6).





Şekil 6. Sol üstte geniş FV modülü, sağ üstte eğimli çatı kiremiti (BIPV), sol altta BIPV uygulama, sağ altta çatı üstü BAPV uygulama (URL-11, URL-12, URL-13, URL-14).

### 3.1.3. Eğrisel çatıda uygulanması

Eğrisel çatılarda, cam, metal veya sentetik esnek malzemeye uygulanmış amorf silisyum, ince film, ya da yarı saydam fotovoltaik modüller kullanılmaktadır. Çatıyı oluşturan çelik ya da alüminyum kiriş sisteminin kayıt aralıklarına yerleştirilen fotovoltaik panellerden oluşurlar (Şekil 7).

### 3.1.4. Testere dişli çatıda uygulanması

Testere dişli çatılar, yapıların iç bölümlerine daha fazla güneş ışığı alması için tasarlanmaktadır. Kuzeye bakan ışıklıklarında saydam, güneye bakan eğimli yüzeylerindeyse yarı saydam fotovoltaikler kullanılabilir.



Şekil 7. Houten İtfaiye Binası (solda), FV atrium uygulaması, Nijmegen Radboud Üniversitesi, Hollanda (URL-15, URL 16)

### 3.1.5. Atrium FV sistem uygulaması

Atriyumlar kullanılan saydam fotovoltaik modüller standart modüllerden daha pahalıdır fakat entegrasyon olasılıkları, çoklu kullanım özellikleri (gün ışığını geçirme, gölgeleme, pasif soğutma) ve mekanik soğutma sistem giderlerini azaltma gibi özellikleri toplam bina maliyetini düşürmekte olumlu etkiye sahiptir. Atriyumdaki çatılarda, cam veya polikarbonat levha üzerine lamine kristal silisyum ya da amorf silisyum kullanılır.

### 3.2. Fotovoltaiklerin Cephe Ögesi Olarak Binalarda Kullanımı

Cepheler, bina dış kabuğunun en geniş yüzey alanına sahip elemanlar olarak binaların tasarımlarına büyük ölçüde etki ederler. Tasarımcılar projelerindeki fonksiyonları form ve renkle birleştirirken fotovoltaiklere rol vermekte zorlanmaktadırlar. Fotovoltaik sistemlerin bina cephelerinde kullanılması teknolojik ve karakteristik görüntülerinden dolayı çatılarda kullanımından çok daha fazla kendini göstermektedir. Fotovoltaik sistemlerin cephelerde uygulanmasını dört grupta incelemek mümkündür;

- Giydirme cephe ya da perde duvar
- Pencere camı
- Gölgeleme elemanı
- Parapet/korkuluk

#### 3.2.1. Fotovoltaik sistemlerin cephede kullanımı

Fotovoltaik sistemlerin giydirme cephe ya da perde duvarlarda kullanımı, uygulandıkları bina cephesinin bir parçası oldukları anlamına gelir. Uygulama aşamasında, geçirgen paneller ile bina arasında boşluk bırakılması, drenaj ve havalandırma olanağı sağlarken bina için gerekli boru, kablo geçişleri de bu boşluktan kolayca sağlanmaktadır.

İsviçre’de, 2012 yılında mevcut MFH Alleestrasse binası fotovoltaik paneller ile kaplanmıştır. Bina kabuğunda, cephe ve parapetler 295 m<sup>2</sup>, çatıda 110 m<sup>2</sup> c-Si fotovoltaik modül kullanılmıştır (Şekil 8). Tüketiminden daha fazla enerji üretimi yapan bina bu değişimiyle 2013 yılında Artı Enerji Binaları ve Norman Foster Güneşli ödülleri kazanmıştır. Aynı zamanda bina FV modül uygulanması ile eskisinden daha estetik ve modern bir görünüme kavuşmuştur (Corti ve ark., 2020, s.21, URL-6).



Şekil 8. Binaya sonradan entegre edilen FV sistem (BAPV), MFH Alleestrasse binası, İsviçre (URL-6)

Farklı hücre malzemeleri ve renklerde üretilen yarı saydam fotovoltaik modüller binaların cephelerinde bir yandan elektrik üretirken bir yandan cephede estetik bir görünüm yaratabilirler. İsveç'de Mölnlycke otopark binasının cephesi 60 kW'lık enerji üretebilen dört farklı renkte ve yarı şeffaf solar paneller ile 300 şarj noktasına ve binanın aydınlatılması için gerekli elektrik üretimine yardımcı olmaktadır (Şekil 9, sağda). 2018 yılında, FV cephe kaplamaları ile yenilenen Kuijpers binası yılda ortalama 4500 kWh enerji üretebilmektedir. Yine bu yenilenen sistemle saldıdığı karbondioksit miktarı yıllık 1.940 kg/CO<sup>2</sup> azalmıştır (Şekil 9).

FV modüllerin renklendirilmesi camın rengine göre verimliliğini ve güç çıkışını etkilemektedir. Örneğin, renksiz veya çok açık renkli bir panel 110 Wp/m<sup>2</sup> güç üretebiliyorken, mavi ve mavi-yeşil panel 176 Wp/m<sup>2</sup>, siyah panel 190 Wp/m<sup>2</sup> enerji üretebilmektedir. Bu durum camın renginin koyulaştıkça güneş ışınlarını daha fazla soğurmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Solda, SwissTech kongre merkezi ve öğrenci konutları (İsviçre), ortada Kuijpers binası (Hollanda), sağda, Mölnlycke Fabriker otoparkı, İsveç, (URL-17, URL-18, URL-19)

### 3.2.2. Fotovoltaik sistemlerin pencere camı olarak kullanımı

Pencere camı olarak kullanılan yarı saydam geleneksel güneş FV cam sistemleri daha iyi aydınlatma performansı sağladıkları için ağırlıklı olarak c-Si (Kristal silikon) hücrelerden üretilir. Ancak daha fazla elektrik üretmek için bir fotovoltaik camdaki hücre alanını genişletmek yaz aylarında aşırı güneş ısı kazanımına neden olarak binaların soğutma talebinde kayda değer bir artışa neden olabilir (Karasu ve ark., 2020).

Pencere camı olarak fotovoltaik paneller BIPV olarak kullanıldığında gün ışığının iç mekana geçmesine izin verdikleri için geleneksel FV paneller ile karşılaştırıldığında avantajlıdır. Sonuç olarak, giren güneş ısı kazanımını ve rahatsız edici kamaşmayı kontrol eden yarı saydam bir BIPV cam, elektrik üretiminin yanı sıra uygun gün ışığını da sağlar.

BIPV pencere camı için FV hücre olarak, 1. nesil Si, 2. nesil a-Si, Kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum galyum-selenid (CIGS) ve 3. nesil renk (boyaya) duyarlı güneş pili (DSSC) ve perovskite daha fazla kullanılmaktadır. 2. ve 3. nesil FV panelleri, şeffaflığın kalınlık modülasyonunu mümkün kıldıkları için Si'ye kıyasla avantajlara sahiptir. Öte yandan, DSSC ve perovskite stabilite sorunları göstererek dış ortam koşullarında pratik cam olarak kullanılmalarını engeller. Kristal Silikon, bahsedilen tüm bu fotovoltaiklere göre dış ortam koşulları altında yüksek verimlilik ve kararlılık sağladığı için daha fazla tercih edilir (Karasu ve ark., 2020, s.550).

### 3.2.3. Fotovoltaiklerin gölgelik ögesi olarak kullanımı

Fotovoltaik güneşkiran (Photovoltaic Shading Device-PVSD), cephe entegrasyonunun bir bölümünü oluşturmakta ve istenmeyen ısı enerjilerini dönüştürerek güç üretmede ve soğutma enerjisi tüketimini azaltmada rol oynamaktadır. Binanın cephesinde sabit ya da hareketli olarak konumlanabilen güneş kırıcılar, gölge, ısı kontrolü ve görsel konforun sağlanması işlevlerinin yanısıra kimi zaman da mimari kimliğin bir parçası olarak işlev görürler. Güvenlik nedeniyle bu elemanların lamine camlardan ya da telli camlardan yapılması gerekmektedir (Şekil 10, ortada).

### 3.2.4. Fotovoltaiklerin parapet/korkuluk ögesi olarak kullanımı

Bina kabuğunun bir başka elemanı da korkuluk ve parapetlerdir. Balkon ve teraslarda kullanılan korkuluk ve parapetlerin yerini FV modüller rahatlıkla alabilmekte ve binaya enerji sağlayabilmektedirler. Korkuluk ürünleri mimariye uygun ölçülerde ve biçimde üreticiler tarafından üretilmektedir (Şekil 10, sağda).



Şekil 10. Fotovoltaik balkon korkuluğu, güneşkiran ve pencere camı (URL-20, URL-21, URL-22)

### 3.3. Fotovoltaiklerin Dış Çevrede Kullanımı

Fotovoltaik sistemlerden bina dışı çevrede faydalanmak, fonksiyonlarını kamu yararına kullanmak ve toplumun bu teknolojiye karşı farkındalığını arttırmak amacıyla çeşitli uygulamaların kullanıldığı görülmektedir. Otoparkların üzerinde kullanılan gölgelikler, yaya yolları, şarj istasyonları vb. gibi bir çok farklı işlevde fotovoltaik sistemler kullanılmaktadır (Şekil 11). Kamusal alanların çoğunlukla kent meydanları gibi çevresi güneş etkilerine açık konumda oldukları düşünülürse fotovoltaiklerden yararlanma konusunda avantajlı oldukları da anlaşılmaktadır.



Şekil 11. Solda FV şarj istasyonu (a-Si hücre), İsviçre, Gölge ve yaya yolu olarak FV panel kullanımları (Peharz, 2019, URL-23, URL-24)

Şekil 11' de solda, İsviçre'de a-Si hücreden üretilmiş renkli PV modüller kullanılarak tasarlanmış şarj istasyonu görülmektedir. ortada otopark gölgeliği, sağda yaya yürüme yolu olarak çift işlevli kullanılmıştır.

#### 4. Değerlendirme ve Sonuç

Enerjinin önemli bir miktarının binalar tarafından tüketildiği göz önüne alındığında, sonraki nesillere daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir dünya teslim etmek için mevcut yapı stokunu ve yeni tasarlanacak yapıları yenilenebilir kaynaklar kullanarak enerji etkin hale getirmek, artan çevre sorunlarına engel olmak artık sadece bir sorumluluk değil aynı zamanda bir gereklilik olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte yıllık güneşlenme süresi açısından avantajlı bir durumda olan ülkemizdeki yapıların güneş enerjisinden etkin yararlanması için devlet politikaları geliştirilerek gerekli yasaların oluşturulması, çeşitli teşviklerin verilmesi fotovoltaik panellerin binalarda kullanımını daha da yaygınlaştıracaktır.

Fotovoltaik özellikli yapı elemanlarının çeşitliliği gün geçtikçe artmakta daha önce belirtilen elektrik üretmek dışındaki çatı örtme, cephe giydirme, pencere camı, gölgeleme elemanı olarak kullanımları da öne çıkmaktadır. Temiz enerji elde etmek ve daha az karbon salınımı ile iklim krizinin önlenmesine katkıda bulunmak için fotovoltaik sistemlerin bina kullanımında artık çatının ötesine geçmek gerekiyor. Bu geline durum, FV panellerin cephe mimari biçimlenişine de yön verebileceğini göstermektedir.

Bu çalışma ile binalarda çatı, cephe, gölgelik ve bina dışı olarak kullanılan fotovoltaik paneller, biçim, boyut, verimlilik ve ürün çeşitliliği olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Fotovoltaik sistemlerin yapı elemanı olarak kullanılması, yapı ile bütünleşmesi, teknolojinin estetik değerlerden uzaklaşmadan başarılı bir şekilde yorumlanmasının mümkün olduğu aktarılmaya çalışılmıştır. Verilmiş örnekler, fotovoltaik sistemlerin mimaride çok geniş uygulama alanına ve potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, teknolojinin ve ürün çeşitliğinin hızla geliştiği fotovoltaik panellerin sürdürülebilir tasarım çerçevesinde bir yapı malzemesi olarak mimari tasarımda kendine yer edinmeye başladığı artık söylenebilir.

#### Kaynaklar

Corti, Paolo., Bonomo, Pierluigi., Frontini, Francesco. (2020). "Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings" stakeholders. SUPSI Status Report. URI: <http://repository.supsi.ch/id/eprint/12186>.

Çelik, Ali, Koçak, Fatih. (2020). "Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin I-V Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Doğrulanması". Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (2020), 2491-2515. DOI: 10.29130/dubited.789691.

Djurišić, Aleksandra, Liu, Fankzou, Tam, Hho-won, Wong, ManKwong, Ng, Annie, Surya, Charles, Chen, Wei, He, Zuhubing. (2017). "Perovskite solar cells - An overview of critical issues". Progress in Quantum Electronics, ol:53, 1-37. DOI: 10.1016/j.pquantelec.2017.05.002.

Gaspar, Hugo, Figueira, Flavio, Pereira, Luiz, Mendes, Adalio, Viana, Julio, Bernardo, Gabriel. (2018). "Recent Developments in the Optimization of the Bulk Heterojunction

Morphology of Polymer: Fullerene Solar Cells". *Materials*, Vol: 11(12), 2560. doi.org/10.3390/ma11122560

Gong, Jiawei, Liang, Jing & Sumathy, Krishnan. (2012). "Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5848-5860, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.044>.

Green, Martin, Hishikawa, Yoshihiro, Warta, Wilhelm, Dunlop, Ewan, Levi, Dean. (2017). "Solar cell efficiency tables". *Progress in Photovoltaics*, Vol:25(7). DOI: 10.1002/pip.2788

Karasu, Bekir, Oytaç, Zehra, Ergani, Elif, Buluç, Ahmet. (2020). "Solar Glass Panels: A Review". *European Journal of Science and Technology* No. 20, pp. 548-56. doi.org/10.31590/ejosat.746056. DOI: 10.31590/ejosat.746056.

Kaymak, M. K. (2007). "Güneş Pillerinin Tarihiçesi". <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html>

Luceño-Sánchez, Jose, Díez-Pascual, Ana Maria, Capilla, Rafael. (2019). "Materials for Photovoltaics: State of Art and Recent Developments". *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (4), 976. <http://ijms-20-00976.pdf>

Mittag, Max, Pfreundt, Andrea, Shahid, Jibrán. (2020). "Impact of Solar Cell Dimensions on Module Power, Efficiency and Cell-To-Module Losses". 30th PV Solar Energy Conference, 08th-13th November, Jeju, South Korea. <http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://public-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/3d70c693-e5af-4593-8b03-69aad4337c33/content>

Öztürk, Hüseyin. (2019). "Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler". EMO (Elektrik Mühendisleri Odası) Kongresi, İzmir. [https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0\\_ek.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf)

Peharz, Gerhard, Bonomo, Pierluigi, Saretta, Erika, Frontini, Francesco...Chivelet, Nuria, Martin. (2019). *Coloured BIPV Market, Research and Development*. IEA PVPS Task 15, Subtask E. Technical Report, Report number: Report IEA-PVPS T15-07.

Sampaio, Priscilia Gonçalves, González, Mario Orestes. (2017). "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.74, Issue:C, 590-601. <http://dx.doi.org.10.1016/j.rser.2017.02.081>.

Shalini, S., Balasundaraprabhu, R., Kumar, T. & Senthilarasu, S. (2016). "Status and outlook of sensitizers/dyes used in dye sensitized solar cells (DSSC): a review". *International Journal of Energy Research*, Volume: 40 (10), 1303-1320. DOI: 10.1002/er.3538.

Ünver, E. 2013. *Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerin Mimaride Kullanımları*. *Ekoyapı Dergisi*. Erişim adresi (2 Şubat 2022): <https://www.ekoyapidergisi.org/binaya-entegre-fotovoltaik-sistemlerin-mimaride-kullanimlari>

## İnternet Kaynakları

URL-1. <https://www.archdaily.com/972553/net-zero-energy-and-net-zero-carbon-design-strategies-to-reach-performance-goals> (erişim tarihi: 16.05.2022)

URL-2. <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019> (erişim tarihi: 22.03.2022)

URL-3. <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021> (erişim tarihi: 28.03.2022)

URL-4. <https://www.greensolarnetwork.org/bilgi-bankasi/fotovoltaik-sistemlerde-h%C3%BCcre-%C3%A7e%C5%9Fitleri> (erişim tarihi: 29.03.2022)

URL-5. <https://www.greentechmedia.com>, (erişim tarihi: 12.01.2022)

URL-6. <https://tr.pinterest.com/pin/401383385534756371>, (erişim tarihi: 12.08.2022)

URL-7. [www.pearl-pv-cost.eu/wp-content/uploads/2020/05/Frontini\\_v2\\_publ.pdf](http://www.pearl-pv-cost.eu/wp-content/uploads/2020/05/Frontini_v2_publ.pdf), (erişim tarihi: 17.03.2022)

URL-8. <http://www.solarselections.co.uk/blog/best-solar-panels>, (erişim tarihi: 03.04.2022)

URL- 9- <https://www.keremcilli.com/turkiyede-satilan-en-guclu-gunes-panelleri>, (erişim tarihi: 03.06.2022)

URL-10. <http://www.lofsolar>, (erişim tarihi: 17.07.2022)

URL-11.

[https://www.academia.edu/17603297/SEAC\\_SUPSI\\_report\\_2015\\_BIPV\\_product\\_overview\\_for\\_solar\\_facades\\_and\\_roofs](https://www.academia.edu/17603297/SEAC_SUPSI_report_2015_BIPV_product_overview_for_solar_facades_and_roofs), (erişim tarihi: 17.07.2022)

URL-12. <http://woodme.site>, (erişim tarihi: 22.04.2022)

URL-13. [http://www.pvdatabase.org/projects\\_viewbest.php](http://www.pvdatabase.org/projects_viewbest.php), (erişim tarihi: 22.08.2022)

URL-14. <https://loe.org/shows/segments.html?programID=22-P13-00028&segmentID=1> (erişim tarihi: 22.04.2022)

URL 15. <https://www.archdaily.com/875552/fire-station-in-houten-samyn-and-partners>, (erişim tarihi: 22.06.2022)

URL 16. <https://tr.pinterest.com/pin/726486983624297351>, (erişim tarihi: 08.10.2022)

URL-17. <https://www.solaronix.com/news/inauguration-of-the-swisstech-convention-center/> (erişim tarihi:13.02.2022)

URL-18. <https://twitter.com/kuijpersnl/status/1073303339155251207>, (erişim tarihi: 11.07.2022)

URL-18.<https://soltechenergysolutions.se/molnlycke-fabriker>, (erişim tarihi: 11.08.2022)

URL-20. <https://a2-solar.com/en/building-integrated-pv/solar-railings/> (erişim tarihi: 16.08.2022)

URL-21.

[https://www.kawneer.com/kawneer/north\\_america/en/product\\_category.asp?cat\\_id=1344&desc=sun-control-products](https://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/product_category.asp?cat_id=1344&desc=sun-control-products), (erişim tarihi: 13.08.2022)

URL-22. <https://tr.pinterest.com/pin/338121884539403892/> (erişim tarihi: 12.08.2022)

URL-23. <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-canopies-worth-it> (erişim tarihi: 22.08.2022)

URL-24. <https://www.solarinnova.net/en/products/photovoltaic/modules/bipv/pavement> (erişim tarihi: 03.09.2022)