



Examination of the use of color in photovoltaic cell technologies

Niřah ÖZAR¹, ORCID: 0009-0009-9095-5196
Müjde ALTIN², ORCID: 0000-0001-6948-9463

Abstract

The fact that non-renewable energy sources are limited and damage the environment increases people's interest in photovoltaic solar cells as an alternative and clean energy source. Although silicon-based technologies are widespread today, studies are being carried out on the use of thin-film, organic, perovskite, dye-sensitized, luminescent solar cells. In the study, photovoltaic technologies were divided into 3 generations and these technologies were classified in terms of color production and a table was created. Each cell type is examined with examples and the use of color in cell technology is discussed. In addition, it is aimed to reveal how the use or change of color in photovoltaic cells affects energy production and what opportunities it offers to architecture. As a result, when the examples given in the evaluation table are examined, it is concluded that there is the use of color belonging to each generation, but in addition to providing an aesthetic value to the building, it causes a decrease in the efficiency of the energy produced. But with the integration of color photovoltaics into buildings, architects can make free designs. For this reason, the study aims to guide architects on the use of color in different solar cells that they can use in their designs.

Highlights

- Photovoltaic technologies are divided into 3 generations and color panel production is available for each generation.
- Color or tone difference in photovoltaic panels affects the efficiency of the energy produced.
- The designer is free to design the facade thanks to the integration of colored panels into buildings.

Keywords

Photovoltaic panels, Solar cell,
Colored solar panels, Solar energy,
Building integrated photovoltaics

Article Information

Received:
29.12.2023
Received in Revised Form:
23.06.2024
Accepted:
05.09.2024
Available Online:
29.04.2025

Article Category

Review Article

Contact

1. Institute of Science, Dokuz Eylül
University, Izmir, Türkiye
nilsahozar@gmail.com
2. Department of Architecture,
Dokuz Eylül University, Izmir,
Türkiye
mujde.altin@deu.edu.tr



Fotovoltaik hücre teknolojilerinde renk kullanımının irdelenmesi

Nilşah ÖZAR¹, ORCID: 0009-0009-9095-5196
Müjde ALTIN², ORCID: 0000-0001-6948-9463

Öz

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve fosil yakıtların yanmasıyla karbondioksit açığa çıkması ile çevreye zarar vermesi insanların alternatif ve temiz bir enerji kaynağı olan fotovoltaik güneş hücrelerine olan ilgisini artırmaktadır. Günümüzde silisyum tabanlı teknolojiler yaygın olmakla birlikte; ince film, organik, perovskite, boya duyarlı, lüminesan güneş hücrelerinin kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmada fotovoltaik teknolojileri 3 nesile ayrılmış ve bu teknolojiler renkli üretim açısından sınıflandırılarak tablo oluşturulmuştur. Buradaki her bir hücre tipi örneklerle incelenmiş ve hücre teknolojisinde renk kullanımı irdelenmiştir. Bununla birlikte fotovoltaik hücrelerde renk kullanımının ya da değişiminin enerji üretimini nasıl etkilediği ve mimariye ne gibi fırsatlar sunduğunu ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak değerlendirme tablosunda verilen örnekler incelendiğinde, her bir teknolojiye ait renk kullanımının olduğu fakat renk kullanımının binaya estetik bir değer kazandırmasının yanı sıra üretilen enerjide verim düşmesine neden olduğu çıkarılmıştır. Fakat renkli fotovoltaiklerin binalara entegrasyonu ile sürdürülebilir, kendi enerjisini üreten binaların tasarımında, mimarların özgür tasarımlar yapabileceği çıkarılmıştır. Bu sebeple çalışmanın, mimarlara tasarımlarında kullanabilecekleri farklı teknolojilere ait güneş hücrelerinde renk kullanımlarının rehber olması hedeflenmiştir.

Öne Çıkanlar

- Fotovoltaik teknolojileri 3 nesile ayrılmaktadır ve her bir nesile ait renkli panel üretimi mevcuttur.
- Fotovoltaik panellerde renk kullanımı ya da ton farkı üretilen enerjideki verimi etkilemektedir.
- Renkli panellerin binalara entegrasyonu sayesinde tasarımcı cepheyi tasarlamakta özgürdür.

Anahtar Sözcükler

Fotovoltaik panel, Güneş hücresi, Renkli güneş panelleri, Güneş enerjisi, Binaya entegre fotovoltaikler

Makale Bilgileri

Alındı:

29.12.2023

Revizyon Kabul Tarihi:

23.06.2024

Kabul Edildi:

05.09.2024

Erişilebilir:

29.04.2025

Makale Kategorisi

Derleme

İletişim

1. Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

nilsahozar@gmail.com

2. Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

mujde.altin@deu.edu.tr

GİRİŞ

Geçmiş dönemlerden beri önemli bir sorun olan enerji konusu günümüzde daha fazla önem kazanmıştır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve fosil yakıtların yanmasıyla karbondioksit açığa çıkması ile çevreye zarar vermesi insanların alternatif ve temiz bir enerji kaynağı olan fotovoltaik güneş hücrelerine olan ilgisini artırmaktadır. 19. yy'da fotovoltaik etkinin bulunmasıyla güneş hücresi kavramı ortaya çıkmış, farklı alanlarda kullanımının ardından binalara entegrasyonu önem kazanmıştır.

Güneş enerjisinin binalarda kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte farklı ihtiyaçlar ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçlar enerji üretiminin yanı sıra estetik, verim, ekonomik vb. kaygılar taşımaktadır. Bu sebeple fotovoltaikler üzerine çalışmalar geçmişten günümüze hala devam etmektedir. İlk zamanlarda sadece çatılarda kullanımı olan fotovoltaik panellerin cepheye entegrasyonu estetik olmayan görünümünden dolayı mimari tasarımcılar için tercih sebebi değildi. Fakat yeni nesil teknolojilerin ortaya çıkması ya da geleneksel hücre teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte günümüzde fotovoltaik paneller cephe, atriyum, üst örtü gibi binaların farklı alanlarında karşımıza çıkmaktadır.

Özdoğan (2005) yaptığı tez çalışmasında fotovoltaik teknolojilerini ve bina kabuğunda fotovoltaik panellerin kullanımını incelemiş fakat renk konusuna değinmemiştir. Bunoti (2018) çalışmasında geleneksel fotovoltaik teknolojileri üzerine odaklanıldığını belirtmiş, yeni nesil teknolojilerin, özellikle şeffaf güneş enerjisi teknolojilerinin binalara entegrasyonunun önemini vurgulamıştır. Bu sebeple çalışmasında renkli fotovoltaiklere değinmekle birlikte lüminesan teknolojisini ele almış ve örnek bir yapı üzerinden irdelemiştir. Bununla birlikte Corrada vd. (2016) kırmızı renkte olan lüminesan güneş yoğunlaştırıcı panelleri sera yapılarına entegre ederek verimlerini irdelemişlerdir. Cui vd. (2015) ise perovskite panellerde farklı renk kullanımlarının verime etkisini araştırmışlardır.

Duyan ve Bayrakdarlar (2022), fotovoltaik panellerin binalarda çatı, cephe ve gölgelik olarak kullanımlarını incelemiş, hızla gelişen ürün teknolojisi sayesinde panellerin cephe biçimlenişine yön verebileceğine değinmişlerdir. Literatürde fotovoltaik paneller ve binalarda kullanımını elen alan çalışmalar bulunmaktadır. Fakat bütün panel teknolojilerini renk üzerinden bir arada irdeleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple fotovoltaik teknolojilerini renk kavramı üzerinden irdelemek amaçlanmıştır.

Çalışmada günümüzün önemli bir konusu olan fotovoltaik hücre teknolojileri renk kullanımı üzerinden incelenmiştir. Fotovoltaik hücre teknolojileri açıklanarak hücre çeşitleri renk kavramı üzerinden irdelenmiştir. Bu irdelemenin amacı, fotovoltaik güneş hücresi nesillerini kavramak, renk kullanımının gelişimini binalar üzerinden örneklerle birlikte karşılaştırarak araştırmaktır. Çalışma sonunda incelenen örnekler üzerinden fotovoltaik hücrelerde renk kullanımının ya da değişiminin

enerji üretimini nasıl etkilediği ve mimariye ne gibi fırsatlar sunduğunu ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

Çalışmada fotovoltaiik teknolojileri 3 nesile ayrılmış ve tablo haline getirilmiştir. Her bir nesile ait hücre teknolojisi irdelenmiş, sonrasında bunların her birine ait farklı renk uygulama örnekleri incelenmiştir. Son bölümde seçilen bina örneklerinin hücre teknolojisi, uygulama alanı, renk ve güçlerinin yer aldığı tablo yapılmıştır. Bu kapsamda farklı renklerde oluşturulabilen hücre teknolojilerinin binalarda kullanımı irdelenmiştir.

Çalışmada ilk olarak fotovoltaiik hücre kavramı konusunda literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda hücre teknolojileri konusunda tez ve makaleler araştırılmıştır. Daha sonra fotovoltaiik panel üretimi yapan firma araştırmaları yapılmış ve bu firmaların ürünleri ve uygulamaları örnekler üzerinden incelenmiştir.

FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİLERİ

Fotovoltaiik (Photovoltaic) kelimesi Yunanca'da "ışık" anlamına gelen "phōs" ve gerilimin birimi olan "volt" sözcüklerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Fotovoltaiik terimi (photo-voltaic) İngilizce'de 1849 yılından bu yana kullanılmakta ve ışıktan elektrik akımı üretilmesi anlamına gelmektedir (Ünver, 2013, s.2). Fotovoltaiik malzemenin ilk ortaya çıkışı 1839'da olmuştur. O yıl Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel fotovoltaiik etkiyi keşfetmiştir. İlk patenti ise 1954 yılında Bell Laboratuvarları (ABD) tarafından alınmıştır. Fotovoltaiik etki, birbirine eklenmiş iki değişik malzemenin, üzerine ışık ya da başka bir ışıyım enerjisi düşürüldüğünde, elektrik pili davranışı göstermesidir. Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaiik etkiyi bulmuştur (Altın, 2004).

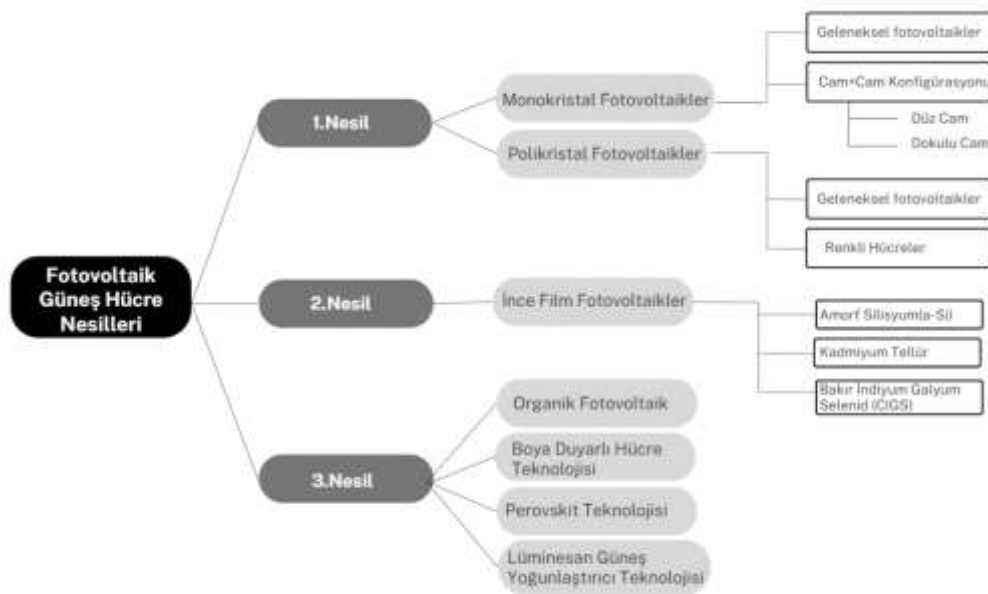
1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ve çalışmalar artış göstermiştir. Enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan binalarda temiz enerji üretmek amacıyla güneş enerjisinin kullanımı da önem kazanmıştır. Bu sebeple fotovoltaiik paneller binalara entegre edilmeye başlanmıştır. İlk kullanım örneklerinde düşük verimliliğe sahip olan paneller laboratuvar şartlarında geliştirilerek daha yüksek verimliliklerde üretilebilmektedir.

Fotovoltaiik panelleri oluşturan güneş hücreleri iki yarı iletkenin birleştirilmesiyle meydana gelmektedir ve güneşten enerji elde etmek için kullanılan en temel elemanlardır. Fotovoltaiik hücrelerde elektrik, elektronların bir yarı iletkenden diğereine 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 (Duyan, Bayrakdarlar, 2022).

Güneş hücrelerini gelişen teknolojiler ile birlikte nesillere ayırmak mümkündür. Günümüzde birinci nesile ait olan silisyum tabanlı teknolojiler yaygın olmakla birlikte; ince film, organik, perovskite, boya duyarlı ve lüminesan güneş yoğunlaştırıcı hücreler kullanılmaktadır. Çalışmada fotovoltaiik teknolojileri 3 nesile ayrılmaktadır (Şekil 1). Birinci nesil fotovoltaiik teknolojileri geleneksel kristal

hücreleri içermektedir. Bu teknolojinin ilk örnekleri olan geleneksel hücre olarak adlandırılan panellerde renk kullanımı bulunmasa da günümüzde devam eden çalışmalarla birlikte kullanılan cam+cam konfigürasyonu geliştirilmiş ve camın renklendirilmesi ya da hücre renginin farklılaştırılması ile bu hücrelerde renk kullanımı gözlemlenmektedir.

İkinci nesil fotovoltaik teknolojilerinde ince film hücreler yer almaktadır. Bu hücrelerde renk kullanımına ek olarak farklı boyutta üretimler de yapılabilmektedir. Özellikle saydam modüllerin kullanıldığı teknolojiler bu grupta yaygın olarak bulunmaktadır. Bu teknolojiye kullanılan farklı yarı iletkenler sayesinde hücre rengi ve verimi değişmektedir. En yaygın kullanılan yarı iletken amorf silisyumdur. Üçüncü nesil fotovoltaik teknolojilerine organik, perovskite, boya duyarlı ve lüminesan güneş yoğunlaştırıcı hücreler dahildir. Bunlardan en yaygın kullanıma sahip olanı, organik fotovoltaik teknolojisidir. Renk kullanımının gözlemlendiği üçüncü nesil teknolojilerde verim üzerine hala çalışmalar yapılmaktadır.

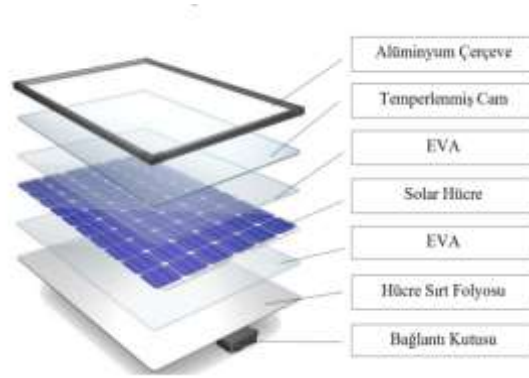


Şekil 1. Fotovoltaik güneş hücre nesilleri.

Üretilen enerji hücrenin yapısına, boyutuna, rengine göre değişebilmektedir. Birinci nesil teknolojiler yüksek verimlilikte oldukları için daha yaygın tercih sebebi olsalar bile diğer teknolojilerde yapılan laboratuvar çalışmaları sayesinde verim oranları giderek artmaktadır. Özellikle son yıllarda bina cephelerinde kullanımın yaygınlaşmasıyla birlikte teknolojik gelişmeler hız kazanmış, firmalar farklı nesillerde fotovoltaik panel üretimlerine başlamışlardır.

BİRİNCİ NESİL FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİLERİ

Fotovoltaik modüller Şekil 2'de gösterildiği gibi temperlenmiş cam, her iki tarafı EVA film ile korunan ve yarı iletken malzemelerden üretilen güneş hücresi, arka kaplama dahil olmak üzere alüminyum malzeme ile çerçevelenmektedir. Her panelin arkasına monte edilen bağlantı kutusu panelleri birbirine bağlamaktadır. Panel içerisinde yer alan EVA film, ana malzeme olan güneş hücrelerini kapsüller ve dış ortamdan korur.



Şekil 2. Birinci nesile ait geleneksel fotovoltaik modül katmanları (Selbaş ve Çetin, 2022).

Birinci nesile ait fotovoltaik hücreler genellikle kristal silikon bazlıdır. Kristal silikon, fotovoltaik modül imalatında en yaygın kullanılan malzemedir. Fotovoltaik hücrelerde kullanılan silikon devre levhası, monokristal silikon ve polikristal silikon olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Monokristali polikristalinden hızlı bir şekilde ayırt etmenin yolu hücre renklerini karşılaştırmaktır. Monokristal hücreler genellikle pürüzsüz siyah bir görünüme sahipken, polikristal hücreler dağınık mavimsi bir görünüme sahiptir (Bunoti, 2022).

Birinci nesil teknolojilerde yer alan monokristal ve polikristal hücreli panellerin renk ve opaklık gibi değerlerini değiştirmek mümkündür. Fakat bu değerlerin değiştirilmesi durumunda hücre verimlerinde düşüş meydana gelecektir. Bununla birlikte bu güneş panelleri genellikle düzlemsel yapıdadırlar. Fakat Şekil 3’de görüldüğü gibi gelişmiş soğuk veya sıcak işlemler yoluyla çok sınırlı eğrilığe sahip kavisli paneller oluşturmak mümkündür.



Şekil 3. Kavisli panel (solda) ve düzlemsel panel (Kişisel Arşiv, 2023).

Monokristal Hücreler

Monokristal silikon levha şekilleri dik veya yuvarlak köşeli olabilirler. Polikristal silikon levha hücreleri genellikle dik köşelidirler. Şekillerindeki bu farklılık, levhaların kesildiği külçelerin şeklinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi monokristal hücreler genellikle silindirik biçimli külçelerden üretilir. Monokristal hücre kullanımlarını geliştiren teknoloji ile kendi içerisinde iki alt kategoriye ayırmak mümkündür. Koyu mavi-siyah renge sahip olan geleneksel fotovoltaik paneller yaygın olmakla birlikte cam+cam konfigürasyonu da günümüzde bina çatı ve cephelerinde kullanılmaktadır.

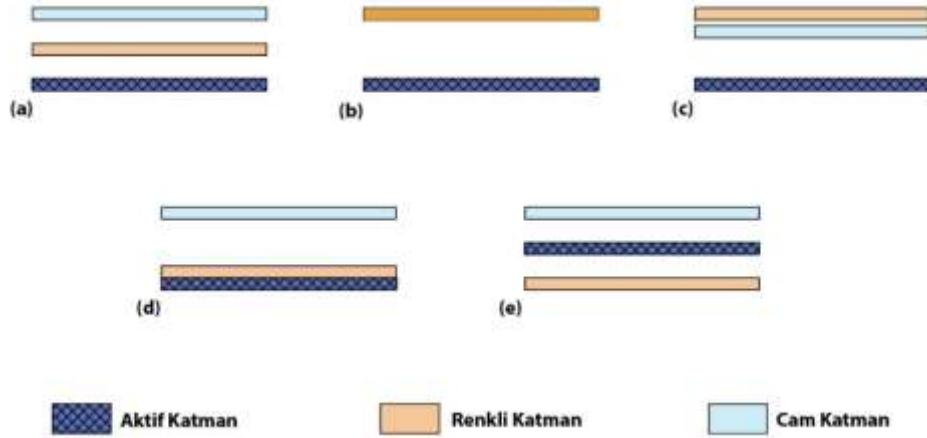


Şekil 4. Mono-Si külçe (Kişisel Arşiv, 2023).

Cam+cam konfigürasyonu modül düzeneğinde katmanların farklı konumlarda kullanımı mevcuttur (Şekil 5). Bununla birlikte renkli camlar da farklı konfigürasyonlarda oluşabilmektedir. Örneğin ara katmanın renkli, camın şeffaf olduğu (a) ya da tam tersi renkli katmanın önde şeffaf camın arada kaldığı (c) konfigürasyonlar olduğu gibi (b)'de görülen renklendirilmiş ön camın olduğu renkli modül alternatifleri bulunmaktadır. Bununla birlikte aktif katmanın renkli kaplanması ya da arka fonun renklendirilmesiyle de modül düzeneği oluşturulmaktadır.

Cam + cam konfigürasyonu modül düzeneğindeki renkli katmanın farklı konumlarda kullanımı;

- a- Renkli ara katman
- b- Renkli kaplamalı ön cam
- c- Ön camın üstündeki renkli katman
- d- Kaplanmış aktif katman
- e- Renkli arka katman



Şekil 5. Renkli katmanın farklı konumlarda kullanımı.

Bir firmanın ürün kataloğundan uyarlanan Tablo 1’de 1680x1005x9 mm ölçülere sahip olan panele ait ön cam üzerine uygulanabilecek renk skalası görülmektedir. Koyu gri, gri, açık gri, mavi, mavimsi yeşil, yeşil, bronz ve turuncu renklerinin yer aldığı tabloda 159x159 mm boyutlarındaki monokristal hücrelerden oluşan panellerdeki maksimum güç ve modül verimliliğinin değişimi anlaşılmaktadır. Aynı rengin üç farklı tonunda (gri) modül verimliliğinin %9 düştüğü (%17,1’den %16,2’ye) gözlenmektedir. Tablodan anlaşılacağı üzere koyu grinin maksimum gücü 289 watt, mavi ve turuncu renklerin ise 263 watt’tır. Bu durumda modül verimliliği %1,5 düşmüştür. Panel tasarımında kullanılan renklerde ton koyulaştıkça maksimum güç ve modül verimliliği artmaktadır.

	KOYU GRİ	GRİ	AÇIK GRİ	MAVİ	MAVİMSİ YEŞİL	YEŞİL	BRONZ	TURUNCU
UZUNLUK	1680 mm							
GENİŞLİK	1005 mm							
KALINLIK	9 mm							
GÜNEŞ HÜCRESİ	60 hücreli, monokristal Si (159x159mm)							
MAKSİMUM GÜÇ	289 W	273 W	274 W	263 W	281 W	279 W	269 W	263 W
MODÜL VERİMLİLİĞİ	%17,1	%16,2	%16,2	%15,6	%16,7	%16,5	%15,9	%15,6

Tablo 1. Üretici bir firmanın kataloğundan uyarlanan monokristal hücreli, farklı cam renklerine sahip fotovoltaik ürünler (URL-1).

Cam+cam konfigürasyonunda üst katmanda bulunan ön cam iki farklı şekilde oluşturulabilmektedir. Düz cam konfigürasyonunda sadece renk kullanımı bulunmaktadır. Dokulu cam konfigürasyonunda ise baskılar ile farklı dokularda renkler oluşturulmaktadır. Şekil 6’da görüldüğü gibi oluklu, pürüzlü, granit görümlü gibi birçok farklı dokularda örnekler bulunmaktadır.

Şekil 7. Panel boyutlarının türetilmesi ve cephede kullanımı (URL-2).

ECN 31 Binası

- Geleneksel Monokristal Fotovoltaik
- Uygulama Alanı: Cephe, Çatı
- Yer: Petten, Hollanda
- Alan: 400 m²
- Toplam Elektrik Gücü: 43kWp
- Yıllık üretim: 56.440kWh
- Modül Sayısı: 570



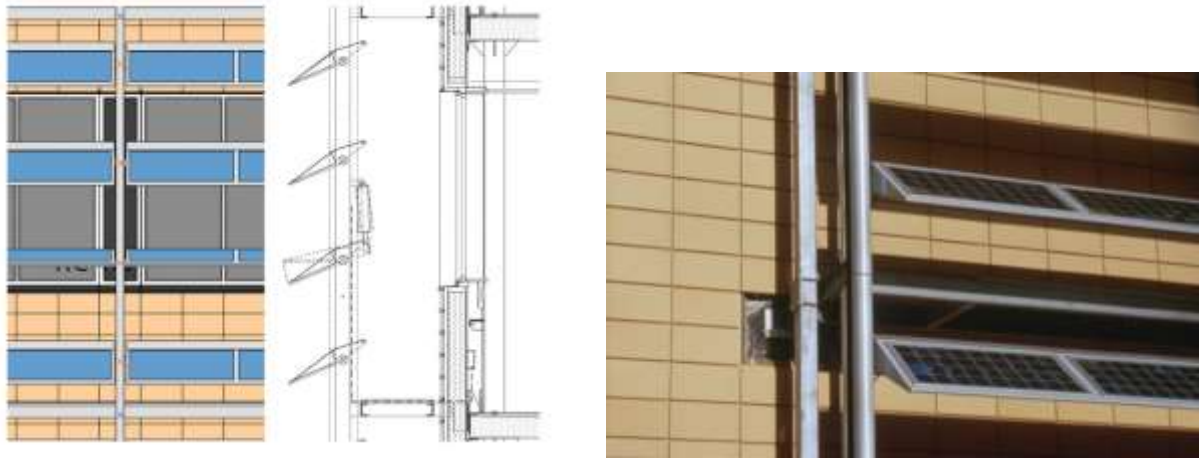
Şekil 8. ECN31 binası cephede kullanılan fotovoltaik paneller (URL-3).

1963 yılında inşa edilen bina 1996 yılında yenilenmiştir. Binanın en temel sorunları kötü yalıtımı, aşırı ısınma ve yetersiz aydınlatma sistemiydi. Buna bağlı olarak enerji talebi fazla olmaktadır. Bu sebeple binanın cephe ve çatısına geleneksel monokristal fotovoltaik paneller entegre edilmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9) (Reijenga, b.t.). Özdoğan'ın (2005) belirttiği üzere binada 16,31 kWp'lık paneller kullanılmıştır. Kullanılan hücreler %16,5 verimlilik değerine sahip monokristal hücrelerdir. Oluklu gömme ızgara şeklindeki hücreler 125 mm x 125 mm ölçülerindedir.



Şekil 9. Binanın eski (solda) ve yenileme sonrası görünümü (URL-3).

Cepheye entegre edilen fotovoltaik paneller güneş kırıcı olarak da kullanılmaktadır. Gölgeleme sistemine entegre edilen fotovoltaik panelleri taşımak için çelik profiller, yatay ve dikey olarak alüminyum profiller yerleştirilmiştir. Güneş enerjisi kazancını optimize etmek için Şekil 10'da görüldüğü gibi sistemin lamelleri arasında belirli bir mesafe olması gerekir. İnce ayar için gölgeleme sistemi, iç kısımda basit bir ikinci sistem yerleştirilmiştir. Erişim, bakım ve temizlik kolaylığı için kırıcının cepheden 80 cm mesafede konumlanmasına karar verilmiştir.



Şekil 10. Cepheye entegre edilen güneş kırıcı fotovoltaiik paneller (URL-3).

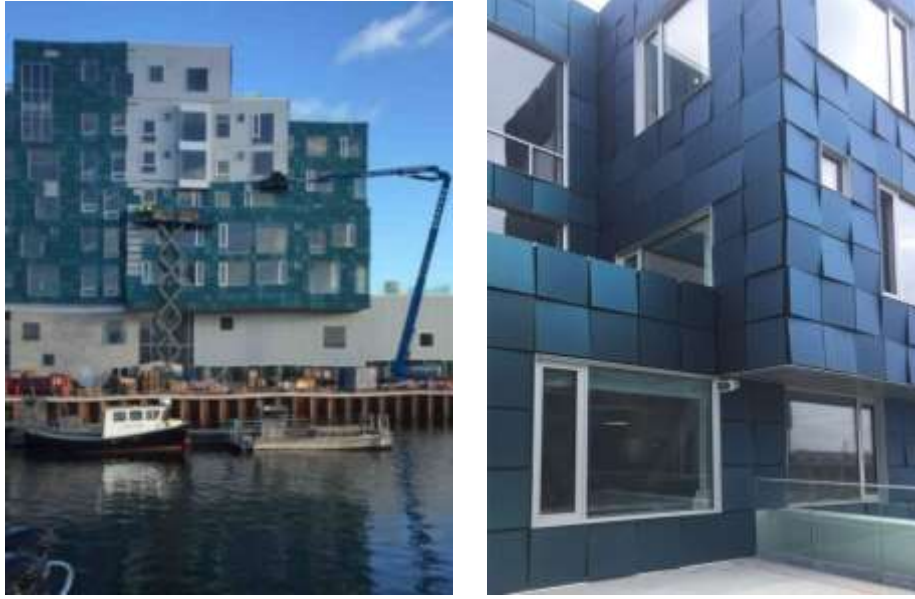
Kopenhag Uluslararası Okulu

- Monokristal Cam+Cam Konfigürasyonu
- Yer: Kopenhag, Danimarka
- Uygulama Alanı: Cephe
- Yüzey alanı: 6.048 m²
- Nominal güç: 720 kWp
- Renk: Deniz yeşili



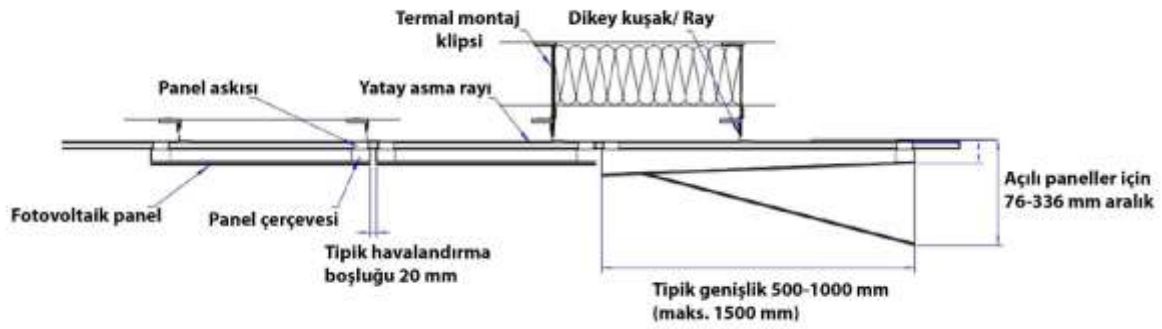
Şekil 11. Kopenhag Uluslararası Okulu (URL-4).

Kopenhag Uluslararası Okulu cephesinde bulunan 12.000 adet güneş paneli (Şekil 11) sayesinde okulun ihtiyacı olan elektriğin %39'u karşılanmaktadır. 6.048 metrekare alanı kaplayan renkli güneş panelleri cam+cam konfigürasyon örneğidir. Danimarka'daki en büyük binaya entegre güneş enerjisi santrallerinden birisidir. Cephe her biri ayrı açıyla konumlandırılmış deniz yeşili renginde panellerle kaplanmıştır (Şekil 12 ve Şekil 13) (URL-5).



Şekil 12. Panel montaj aşaması (solda) ve cephe (URL-5).

Okul cephesi 70 x 70 cm boyutlarında kare şeklindeki panellerle kaplanmıştır (Şekil 14). Paneller, güneş hücresinin yer aldığı ön panel ve montaj sisteminin yer aldığı alüminyum kasadan oluşmaktadır. Yüksek performans gösteren monokristal hücreleri serin tutmak için alüminyum kasa Şekil 12’de görüldüğü gibi panellere eğim vermektedir ve bu sayede hücreler havalandırılmaktadır. Bu havalandırma boşluğu 50mm ya da maksimum 350mm’dir (Şekil 13).



Şekil 13. Tipik yatay kesit (URL-6).



Şekil 14. Panel görünümü ve detayı (URL-5).

Solaris416 Apartmanı

- Monokristal Hücre, Dokulu Cam+Cam Konfigürasyonu
- Yer: Wollishofen, İsviçre
- Yapım yılı: 2017
- Uygulama Alanı: Cephe / Çatı
- Enerji referans alanı: 815 m²
- Özgül güç: Yaklaşık 116 Wp/m²
- Renk: Kahverengi



Şekil 15. Solaris416 cephe (URL-7).

İsviçre’de yer alan 10 dairelik apartmanın planı Şekil 16’te görüldüğü üzere yan çevrilmiş kum saatini andırmaktadır. Bina tasarımı gereği eğimli çatısı ve cephe ayrımı olmaksızın fotovoltaik panellerle kaplanmıştır (Şekil 15). 1300 adet fotovoltaik panel sayesinde yıllık 31.832 kWh üretim yapmaktadır. Bu sayede ihtiyacı olan 68.000 kWh enerjinin 31.832 kWh ile %47’sini karşılamaktadır (URL-7).



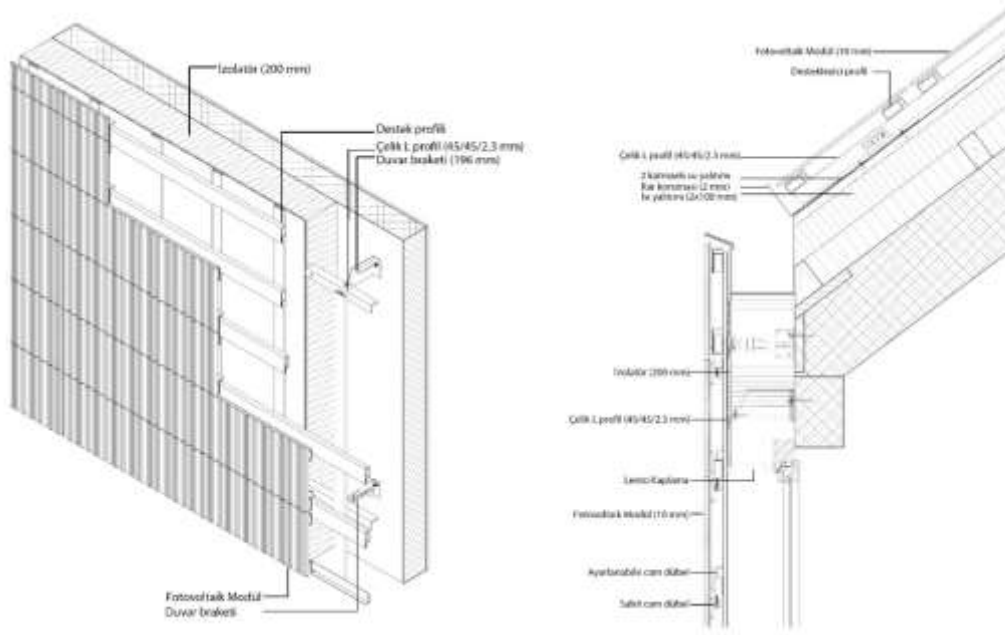
Şekil 16. Kat planı (solda) ve çatı görünümü (URL-7).

Binada kullanılan fotovoltaik paneller dokulu cam+cam konfigürasyon örneğidir. Fotovoltaik modüllerde bulunan ön cam, dijital seramik baskılı bir camdır. Monokristal hücreler siyah renkteyken Şekil 17’de görüldüğü gibi panele kırmızı-kahverengi rengini veren dokulu ön camdır. Bu sistem cephede yaklaşık 17.000 kWh üretim yaparken, çatıda 14.809 kWh elektrik üretmektedir. Çatıya entegre fotovoltaik panellerin U değeri 0,13 W/ m²K iken cephede bu değer 0,15 W/m²K’dır. Montajı yapılan paneller arasında 6 mm boşluk bulunmaktadır.



Şekil 17. Modülde yer alan dokulu renkli cam (solda) ve panel duvar montajı (URL-7).

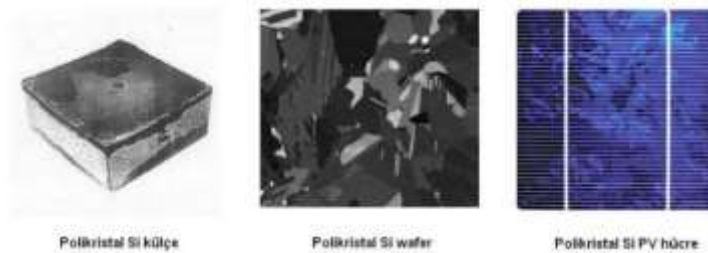
Binanın eğimli çatısı ve cephesi birleşirken özel oluk detayı uygulanmıştır (Şekil 18). Bu şekilde yağmur suyu tahliyesi amaçlanmıştır. Çatı ve cephede yer alan paneller arkasında 20 cm taş yünü ısı yalıtım plakası bulunmaktadır (URL-8). Fotovoltaik modüllerin ağırlığı metrekare başına 40 kg’dır. Bu nedenle panellerin montaj detayı da önem kazanmaktadır.



Şekil 18. Fotovoltaik panel duvar montaj (solda) ve kar oluk detayı (URL-8).

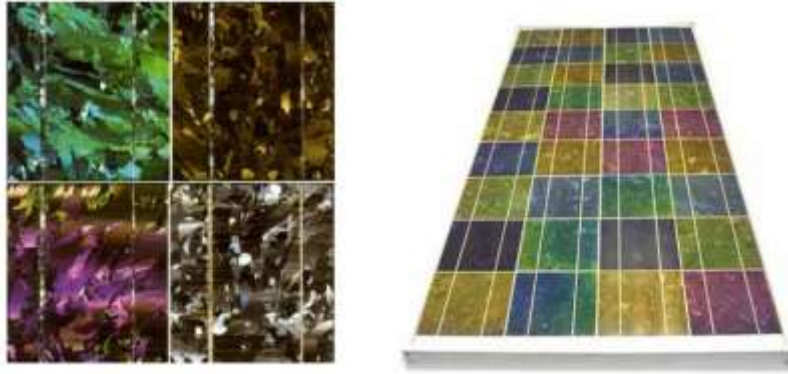
Polikristal Hücreler

Polikristal hücreler, dik kenarlı çok kristalli silikon külçelerden üretilmektedir (Şekil 19). Polikristal hücrelerin üretimi genellikle daha ucuzdur. Bu etken onları tercih sebebi yapmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen hücreler daha düşük verimliliğe sahiptir. Verimleri laboratuvar şartları altında %18'leri bulmaktayken, uygulamalarında ölçülen değer %14'ler civarındadır. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristalli silisyum fotovoltaik hücreler ise daha ucuza üretilmekte olup malzeme kaybı tek kristalli silisyum hücrelere göre yok denecek kadar azdır (Aygün, 2012).



Şekil 19. Polikristal Si külçe (Bunoti, 2022).

1.Nesil teknolojilerde polikristal hücreleri ayıran en büyük fark monokristal hücrelerin tek renkte olmasıdır. Polikristal hücreler genellikle kendini oluşturan kristallerden kaynaklanan parlak mavi bir renkle karakterize edilir. Bununla birlikte çoklu kristal tanelerinin renk değişimine bağlı olarak farklı renklerde oluşturulabilmektedir. Şekil 20'dan anlaşılacağı üzere polikristal hücreler istenilen renklerde üretilebilmektedir.



Şekil 20. Polikristal hücre renkleri (solda) ve panel görünümü (Bunoti, 2022).

Kooperatif Sigorta Topluluğu (CIS) Kulesi

- Geleneksel Polikristal Fotovoltaik
- Yer: Manchester, UK
- Yapım yılı: 1965
- Yenileme: 2004
- Uygulama Alanı: Cephe+Çatı
- Yıllık enerji üretimi: 180.000 kWh
- Hücre Rengi: Koyu Mavi



Şekil 21. Binanın eski (solda) ve yeni hali (URL-9).

Manchester’da bulunan 25 katlı bina 40 yıl kullanımının ardından 2004 yılında yenilenmiştir. Gökdelenin yenileme öncesi penceresi bulunmayan sağır cephesinde kare mozaik kaplamalar bulunmaktaydı. Fakat zamanla karoların dökülmesi ve eskimesi sebebiyle cepheye fotovoltaik panellerin entegre edilmesi kararı alınmıştır. Bu sebeple 7.244 adet geleneksel polikristal panel ile üç cephe kaplanmıştır (Şekil 21) (URL-9).



Şekil 22. Uygulama aşaması (solda) ve kullanılan fotovoltaik paneller (URL-9).

Gökdelenin yenilenmesi ile 120 metre uzunluğundaki üç cephesinin toplam 3972 metrekaresi polikristal fotovoltaiik paneller ile kaplanmıştır (Şekil 22). Kuzey cephesi hariç kaplanan cepheler güneşin doğumundan batımına kadar enerji üretilmesini sağlar. Üretilen enerji binanın ihtiyacı olan enerjinin %10'unu karşılamaktadır. Ayrıca fotovoltaiik uygulamasıyla üretilen temiz enerji sayesinde 100 ton CO₂ emisyonu sağlanmıştır (URL-9).

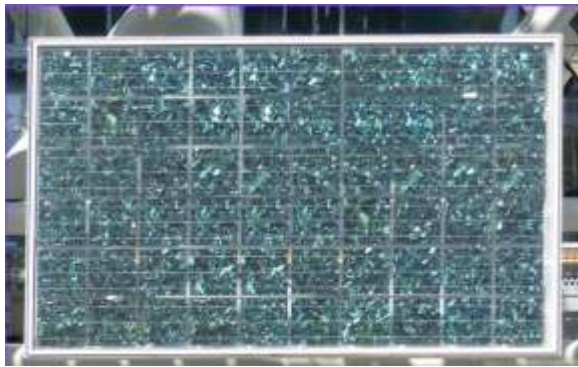
La Seine Musicale

- Renkli Polikristal Fotovoltaiik
- Yer: Paris, Fransa
- Yapım Yılı: 2017
- Uygulama Alanı: Cephe
- Yıllık enerji üretimi: 125 MWh
- Kurulu güç: 115 kWp
- Hücre Rengi: Yeşil



Şekil 23. Hareketli duvar (URL-10).

Paris'te bulunan sahne sanatları binasının ana özelliklerinden biri, elips şeklindeki gövdesi ve mümkün olduğu kadar fazla güneş ışığı toplamak için doğudan batıya her 15 dakikada bir güneşin yolunu takip eden raylar üzerine monte edilmiş hareketli fotovoltaiik duvarıdır (Şekil 23). Gün boyunca, binayı gölgelemek amacıyla tasarlanmıştır. Kavisli duvar için Şekil 24'te görüldüğü gibi 454 adet yeşil renkli polikristal fotovoltaiik panel 1000 m² alana uygulanmıştır. Sistemin kurulu gücü 115 kWp'dir ve binanın ihtiyacı olan elektriğin %65'ini karşılamaktadır (Devetaković ve diğerleri, 2020).



Şekil 24. Yeşil hücreli polikristal panel (solda) ve kavisli duvar (URL-11).

İKİNCİ NESİL FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİLERİ

İkinci nesil fotovoltaiik hücreler ince film hücrelerdir. Geleneksel silikon tabanlı hücrelerden çok daha ince ve hafiftirler. Bu özellikleri sayesinde üretim sürecinde kullanılan malzeme miktarının az oluşu ve yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmaması nedeniyle maliyet etkin olmaları tercih sebebi olmaktadır. Demiroğlu'nun (2019) belirttiği üzere birinci nesil teknolojiye yer alan kristal silisyum güneş panelleri 100 cm² alana sahip güneş hücrelerinden oluşurken, ince film güneş hücrelerinin daha geniş boyutlarda üretimleri yapılmaktadır. Bu sebeple geniş ölçekli projelerde üretimleri kolay ve ucuzdur.

Birinci nesil kristal silikon teknolojilere göre amorf silikon ince film hücrenin farkı yüksek sıcaklık, bulutlu hava koşulları ve gölge gibi faktörlerde hücre verim düşüşünün az olmasıdır. Bununla birlikte lazer işaretleme işlemi uygulandığı için yarı şeffaf hücreler üretmek mümkündür. Kapsüllenmiş polimer eklendiğinde renk çeşitliliği fazladır.

Aygün'ün (2012) belirttiği üzere ince film güneş hücreleri plastik, cam veya metal gibi altlık olabilecek malzemelerin çok ince yarı iletken malzemelerle kaplanması yoluyla üretilirler ve ikinci nesil teknolojilere ait kullanılan yarı iletken malzemeler amorf silisyum, kadmiyum tellür, bakır indiyum galyum diselenid'tir. İkinci nesil hücre teknolojisi sayesinde birçok yarı iletken malzemenin düşük maliyetlerle kaplanabileceği anlaşılmıştır. Şekil 25'te görüldüğü gibi yarı iletken malzemelerin ince kalınlıkta kullanımlarını sağlayan bant aralıkları mevcuttur. Bu bant aralıkları hücreler arası güneş ışığı geçişine de izin vermektedir.



Şekil 25. Bant aralıkları (Bunoti, 2022).

İnce filmlerin aktif katmanı ışığa karşı opak olduğundan, şeffaflığa ulaşmanın tek yolu Bunoti'nin (2022) belirttiği üzere ışığın cam kapsülleyici katmanlardan geçmesine izin verecek şekilde aktif katman kalınlığının azaltılması yoluyla elde edilebilir. Bununla birlikte, hücreyi mikro düzeyde delebilen lazerle çizme işlemi sayesinde, tekdüze homojenlikte şeffaflık elde etmek mümkündür.

Renk görünümü açısından, amorf silisyum filmi tek tip kahverengimsi bir renge sahip olma eğilimindedir. Ancak daha şeffaf ince film çözümlerinde, alt tabaka rengini değiştirerek çeşitli renkler elde etmek mümkündür. Renklerin değişimi aktif hücre tabakasına değil, alt tabakaya yapılır (Bunoti, 2022). Renk değişimi vb. müdahaleler hücrenin verimini doğrudan etkilemektedir. Bu aynı zamanda hücrenin sıcaklık katsayılarını etkilemektedir. Çünkü koyu tonlardaki renkler, şeffaf ya da

açık tonlardaki renklere göre daha fazla ışığı absorbe ettiği için daha fazla ısınır. Bu durum da hücre verimini etkilemektedir.

Tablo 2. Üretici bir firmadan uyarlanan iki farklı ince film panelin karşılaştırması (URL-12).

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
UZUNLUK	1245 mm	UZUNLUK	1245 mm
GENİŞLİK	635 mm	GENİŞLİK	635 mm
KALINLIK	12.7 mm	KALINLIK	12.7 mm
MEKANİK ÖZELLİKLER		MEKANİK ÖZELLİKLER	
HÜCRE TİPİ	İnce film (a-Si)	HÜCRE TİPİ	İnce film (a-Si)
ŞEFFAFLIK	%20	ŞEFFAFLIK	%0
ÖN CAM	4 mm (Renkli Temperli Cam)	ÖN CAM	4 mm (Renkli Temperli Cam)
FOTOVOLTAYİK AKTİF CAM	3.2 mm	FOTOVOLTAYİK AKTİF CAM	3.2 mm
ARKA CAM	4 mm	ARKA CAM	4 mm
NOMİNAL GÜÇ	23 Wp	NOMİNAL GÜÇ	46 Wp



1. Renkli Ön Cam
2. Aktif Cam
3. Arka Cam
4. a-Si Hücre
5. Ara Katman



1. Aktif Cam
2. Arka Cam
3. a-Si Hücre
4. Kapsül

Tablo 2’de üretici bir firmaya ait teknik özelliklerde görüldüğü gibi temperlenmiş ön renkli cam ve arka cam 4 mm kalınlığındayken, hücrelerin yer aldığı aktif cam katman 3.2 mm kalınlığındadır. İnce film panellerde renk kullanımı ön cam üzerine uygulanabildiği gibi alt tabaka rengini değiştirerek farklı renkler elde etmek mümkündür. İnce film panellerin birinci nesil teknolojilere göre en büyük avantajı düşük maliyet ve az malzeme kullanımının yanı sıra istenilen saydamlıkta üretilebilmeleridir. Tablo 3’te görüldüğü gibi renk kullanımının güce etkisini görmek için aynı uzunluk, genişlik ve kalınlığa sahip iki ürün incelenmiştir. Soldaki üründe üst cam renkli ve %20 şeffaflığa sahipken sağdaki ürün renksiz ve %0 şeffaflığa sahiptir. Aynı fiziksel özelliklere ve hücre tipine sahip iki üründe verilen değerler incelendiğinde renk kullanımının nominal gücü yarıya düşürdüğü (46 Wp’den 23 Wp’e) gözlemlenebilir.

DEWA Dubai AR-GE Merkezi

- İnce Film Teknolojisi
- Yer: Dubai
- Yıl: 2015
- Uygulama Alanı: Cephe
- Mimar: Stantec
- Nominal güç: 28Wp/m²
- Renk: Turuncu, sarı, yeşil



Şekil 26. ARGE Merkezi (URL-13).

Dubai’de bulunan AR-GE merkezi cephesine 1000 m²’lik alana sahip ince film fotovoltaik modüller uygulanmıştır (Şekil 26). Amorf silikon ince film hücrelerin kullanıldığı binada turuncu, sarı ve üç tonda yeşil renk olmak üzere 5 farklı renk kullanılmıştır. Bu renklerin ardışık bir araya gelmesiyle Şekil 27’de görüldüğü gibi cephede farklı bir harmoni oluşmuştur. Fotovoltaik sistemle birlikte iklimlendirme için gerekli enerji ihtiyacı %37 azalmıştır (URL-14).



Şekil 27. ARGE Merkezi renkli fotovoltaik kullanımı (URL-14).

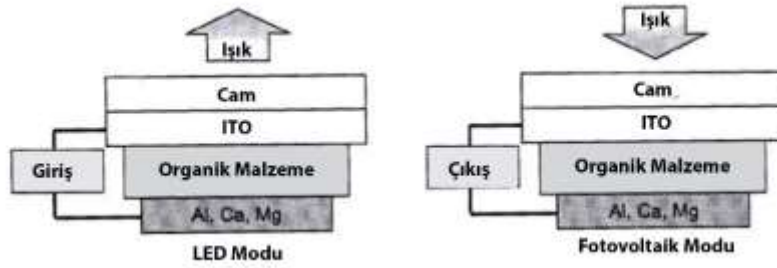
Cepheye eklenen ikincil bir çelik konstrüksiyon üzerine sabitlenen fotovoltaik panellerde ek bir çerçeve yoktur. Modüller yarı şeffaf üç cam katmandan oluşmaktadır. Bu şeffaflık sayesinde %30 güneş ışığı geçişine izin vermektedir. Her modül 800 mm genişliğinde olup farklı uzunluklarda tasarlanmıştır (URL-14). Cephede görsel sürekliliği devam ettirmek için uygulanan kuzey ve batı cephelerindeki renkli camlar aktif değildir.

ÜÇÜNCÜ NESİL FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİLERİ

Organik fotovoltaik hücreler, boya duyarlı güneş hücreleri, perovskite hücreler ve lüminesan güneş yoğunlaştırıcılar üçüncü nesil fotovoltaik teknolojileridir. Hafiflik, esneklik, çok yönlülük, malzemelerin sürdürülebilirliği, maliyet etkinliği gibi nitelikler üçüncü nesil fotovoltaik teknolojilerini bina entegrasyonu için diğer fotovoltaik teknolojilerine göre tercih edilen seçenek haline getirmektedir.

Organik Fotovoltaik Teknolojisi

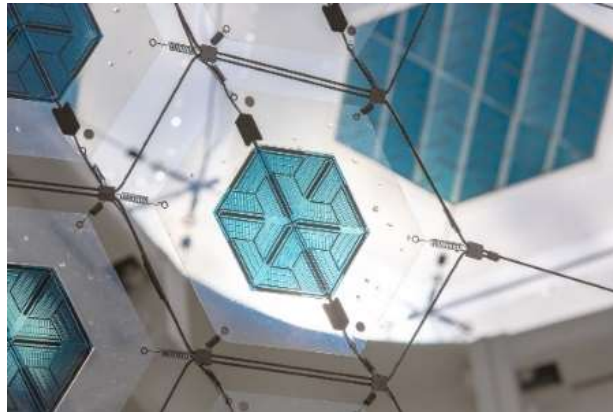
Organik fotovoltaik hücreler iki metal elektrot arasına organik bazlı malzemelerin sıkıştırılmasıyla oluşmaktadır. Kullanılan malzemelerin kimyasal yapılarında değişiklik yaparak verimi değiştirebilmek mümkündür. Organik güneş hücreleri elektron alan ve veren malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşur ve bu yapı ışık yayan diyot yapısına benzer (Şekil 28).



Şekil 28. Genel yapı olarak benzeyen LED (solda) ve fotovoltaik modülleri (Ballıpınar, 2012).

Organik güneş hücrelerinde taban malzemesi iletken elektrodu olarak ITO (indium tin oxide) veya FTO (fluorine tin oxide) kullanılmaktadır. ITO elektriksel iletken ve optik geçirgen bir ince film kaplama çeşididir. ITO ya da FTO kaplı pürüzsüz yüzeyin kalitesini iyileştiren bu yapının yüzeyine p-n junction denilen aktif tabaka diye tabir edilen yapılar kaplanır (Ballıpınar, 2012). Çalışma prensibi olarak iki metal arasında p ve n tipinde iki farklı katman sıkıştırılır ve serbest yük taşıyıcılarına ayrıldıkları elektrik alanı oluşumunu sağlayan yük ayrım bölgesi oluşturur. Organik malzemeler biriyle karıştırılarak ince bir film tabakası halinde sandviçlenir ve böylece tüm hacim ile elektriksel alan oluşturulur (Aydın, 2023).

Organik fotovoltaik teknolojisinde renk kullanımı geniş bir yelpazeye sahiptir. Bununla birlikte şeffaf modüller elde etmek de mümkündür. Organik fotovoltaik modüllerde renk kullanımının diğer hücre teknolojilerinden farkı, hücre şeklinin de farklı konfigürasyonlarda yapılabilmesidir. Baskı teknolojisinin kullanılması renk ve şekil kullanımına özgürlük tanır. Örneğin 2015 yılında EXPO’da yer alan Alman Pavyonu’nda kullanılan organik hücreler şeffaf kar tanelerine benzemektedir (Şekil 29). ‘Fikir Fideleri’ konsepti olan üst örtü tasarımı, kullanılan organik hücreler sayesinde ‘Güneş Ağaçları’ haline gelmektedir.



Şekil 29. 2015 EXPO Alman Pavyonu’nda kullanılan organik fotovoltaik hücresi (URL-15).

Tablo 3. Üretici bir firmadan uyarlanan farklı renk organik fotovoltaiik ürünleri (URL-16).

	MAVİ	YEŞİL	KIRMIZI	GRI
HÜCRE TİPİ	Organik Fotovoltaiik			
KALINLIK	0.3 +/-0.1 mm			
ÇALIŞMA SICAKLIĞI	-20 °C/65°C			
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASINDA AKIM	0.7-7.1 A	0.6 - 5.8 A	0.5 - 5.1 A	0.8 - 7.8 A
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASINDA VOLTAJ	56-5.6 V	55-5.5 V	40-4.0 V	56-5.6 V
MAKSİMUM GÜÇ	35-45 W	35-45 W	20-30 W	35-45 W
AÇIK DEVRE VOLTAJ	0.76 V/Hücre	0.76 V/Hücre	0.55 V/Hücre	0.76 V/Hücre
PMAX SICAKLIK KATSAYISI	+0.02 %/°C	+0.04 %/°C	+0.05 %/°C	+0.04 %/°C

Tablo 3’de organik fotovoltaiik üreticisi bir firmaya ait teknik değerler görülmektedir. Hücre tipi, kalınlığı ve çalışma sıcaklıkları aynı olan; mavi, yeşil, kırmızı ve gri renkteki hücrelerde güç ve voltaj değerlerinin değişimi söz konusudur. Maksimum güç noktasındaki akım değeri 0.5-5.1 A, voltaj değeri 40- 4.0 V, güç 20- 30 W arasında değişen kırmızı renkli hücrelerdeki değerler diğer hücre renklerine göre düşüktür. Bununla birlikte mavi, yeşil ve gri renk hücrelerde 0.76 V olan açık devre voltajı değeri kırmızı renk hücrede 0.55 V değerindedir.

Novartis Pavyonu

- Organik Fotovoltaiik Teknolojisi
- Yer: Basel,İsviçre
- Yıl: 2022
- Uygulama Alanı: Cephe /Çatı
- Toplam Alan: 1333 m²
- Renk: Yarı saydam



Şekil 30. Novartis Pavyonu (URL-17).

Güneş enerjili medya cephesi, destekleyici yapı üzerinde 10.680 adet organik fotovoltaiik modül ve içine gömülü çift taraflı LED’leri bir araya getiren 11.608 düğüm noktasından oluşmaktadır (Şekil 30). Medya cephesi fotovoltaiik modüllerden üretilen enerji kadar tüketim yapmaktadır (URL-17). Üretilen enerji sayesinde LED elemanlardan çıkan ışık yarı saydam olan modüllerden geçerek dinamik bir cephe oluşturmaktadır. Fotovoltaiiklerin yer aldığı metal ikincil cephe 50 cm uzakta yer

almaktadır (URL-18). Binanın halka şeklindeki formu ve cephedeki kıvrımlı yapısı esnek ve bükülebilir olan organik fotovoltaiik modüller ile kaplamasına olanak sağlamıştır (Şekil 31).



Şekil 31. Novartis Pavyonu cephede kullanılan organik fotovoltaiik modüller (URL-17).

Boya Duyarlı Güneş Hücre Teknolojisi

Boya duyarlı güneş hücrelerinde temel olarak prensip organik bir boyayı aydınlatarak elektrik üretmektir. Battal'ın (2020) belirttiği üzere bu hücre teknolojisi hücreleri korumak ve kollektör görevi yapmak için cam ya da reçine benzeri kapsülleyici malzemelerin arasında bulunan boya, elektrolit, karşıt elektrolit, TiO_2 ve iletken oksitten oluşur (Şekil 32). Saydam yüzeyin güneş ışığı geçirimine %80 oranında elverişli olması gerekmektedir.

Panel yapısı incelendiğinde Şekil 33'de görüldüğü gibi aktif olan güneş şeritleri ve şeritler arasında bulunan saydam boşluklar bulunur. Enerji üreten güneş şeritleri farklı renklerde oluşturulabilmektedir. Aktif olmayan saydam boşluklar ise verim kaybının büyük kısmını oluşturur.



Şekil 32. Boya duyarlı güneş hücresi sistematik yapısı (Ballıpınar, 2012).



Şekil 33. Farklı renklerde üretilen boya duyarlı güneş panelleri (Bunoti, 2022).

Boya ile duyarlılaştırılmış güneş hücrelerinin verimliliği tercih edilen boyaya bağlıdır. Boya maddesi iyi emilimli olmalı ki güneş ışığını iyi absorbe etsin ve o kadar elektron ile iş yaparak verimi artırsın. Yaklaşık 20 yıl boyunca doğal ışığa maruz kalarak bozulmaması ekonomik yönden etkili olmasını sağlamaktadır. Bu durumu en iyi Rutenyum (Ru) ve Osmiyum (Os) bazlı boyalar sağlamaktadır (Ballıpınar, 2012). Bununla birlikte organik boya duyarlı güneş hücreleri de bulunmaktadır. Bu hücreler sebze, meyve vb. organik tabanlı malzemelerin doğal boya özlerini veya pigmentlerini kullanmaktadır. Bu pigmentlerin güneş emilim oranları farklılık gösterdiği için verimlilikleri değişmektedir. Hücrede güneş absorpsiyonu arttıkça verimlilik artacaktır.



Şekil 34. Nesil fotovoltaiik panel sistemi (solda) ve boya duyarlı güneş hücre panel tasarımı (URL-19).

Boya duyarlı güneş hücre teknolojisinde Şekil 34'te görüldüğü üzere farklı panelleri tek bir sistem üzerine ayrı ayrı ekleyebilme imkanı vardır. Buna olanak sağlayan mikro dönüştürücüler sayesinde birinci nesil teknolojilerden ayrılmaktadırlar. Panellerin ayrı çalışmasına olanak sağlayan bu sistem, cephede farklı renkleri bir araya getirir ve herhangi bir arızanın kolay ve hızlı bir şekilde çözülmesini sağlar.

SwissTech Kongre Merkezi

- Boya Duyarlı Güneş Hücre Teknolojisi
- Yer: Ecublens, İsviçre
- Uygulama Alanı: Cephe
- Yapım Yılı: 2014
- Renk: Yeşil, kırmızı, turuncu
- Alan: 300 m²
- Yıllık üretim: 8.000 kWh



Şekil 35. SwissTech Kongre Merkezi (URL-20).

2014 yılında İsviçre'de yapılan Swiss Tech Kongre Merkezi boya duyarlı güneş hücre teknolojisinin kullanıldığı büyük ölçekli ilk prototiptir (Şekil 35). Yeni teknoloji renkli hücreler binanın batı cephesinde 300 m²'lik bir alana entegre edilmiştir. Kırmızı, yeşil ve turuncu renklerle kullanılan binada 1500 adet modül kullanılmıştır (URL-21).



Şekil 36. Boya duyarlı hücre panelleri kullanımı (URL-21).

Paneller, aktif işlevi olan enerji üretmenin yanı sıra pasif işlev olarak yarı saydam panelleri sayesinde kontrollü bir şekilde güneş ışığı miktarını azalttığı için binanın soğutma ihtiyacını düşürmektedir (Şekil 36). 35 x 50 cm boyutlarında olan dikey modüller Şekil 35'te görüldüğü gibi binanın çatı tasarımı sebebiyle minimum iki modülün bir araya gelmesiyle oluşan 1 metre ve beş modülün bir araya gelmesiyle oluşan maksimum 2,5 metrelik panellerden oluşmaktadır (URL-20).

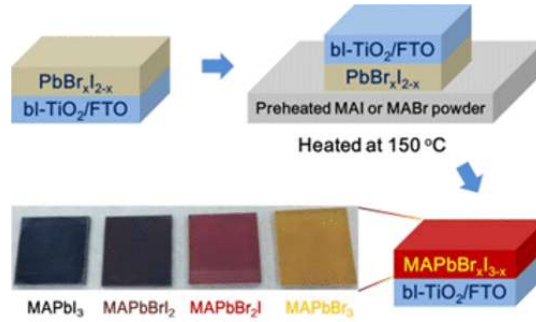
Perovskite Teknolojisi

Perovskite güneş teknolojisinde boya duyarlı güneş hücrelerinde olduğu gibi organik metal halojenür perovskit güneş ışığını absorbe edebilmektedir. Perovskit malzemeler kalsiyum, titanyum ve oksijenden (CaTiO_3) oluşan bir mineraldir. Bunotı'nın (2022) belirttiğine göre bu keşfi yapan Japon bilim adamları, sıvı elektrolit bazlı bir boya hassaslaştırıcı güneş hücresinde hassaslaştırıcı olarak bir perovskit uyguladıklarında ilk olarak %3,8'lik bir verim elde ettiler. Daha sonra 2012'de %9,7'lik, 2016 itibarıyla %22,1'lik bir verime ulaşılmıştır.



Şekil 37. Perovskite panelin tabakaları (Bing ve diğerleri, 2022).

Bir perovskit güneş hücresi; bir foto soğurucu katman, bir elektron taşıma katmanı, bir delik taşıma katmanı, üst ve alt elektrotlar ve bir alt tabakadan oluşur (Şekil36). Foto soğurucu katman genellikle yüksek oranda hibrit metal halojenür perovskitten yapılır. Katmanlarda kullanılan malzemeler bant aralığının belirlenmesi açısından önemlidir. Bununla birlikte yarı şeffaf bir perovskite panel; şeffaf bir soğurucu, şeffaf bir taşıyıcı, şeffaf elektrotlar ve taşıma katmanlarından oluşur. (Bing ve diğerleri, 2022)



Şekil 38. Farklı bileşime sahip, farklı renklerde bulunan perovskite hücreler (Yang ve diğerleri, 2016).

Farklı renklerde oluşturulabilen perovskite güneş hücreleri binalara entegrasyon için yeni bir teknoloji fırsatı sunmaktadır. Yang ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada belirttikleri üzere, koyu gri, gri, koyu kırmızı ve sarı renk olarak belirledikleri dört farklı bileşime sahip perovskite güneş hücrelerinde (Şekil 38) verimlilik aynı sırayla %12,76, %6,84, %4,12 ve %3,53 olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak renk tonu açıldıkça verim azalmaktadır.

Skanska CEE Ofis Birimi

- Perovskite Teknolojisi
- Uygulama Alanı: Cephe
- Yer: Varşova, Polonya
- Bina tipolojisi: Ofis
- Modül Boyutu: 1,3 x 0,9m

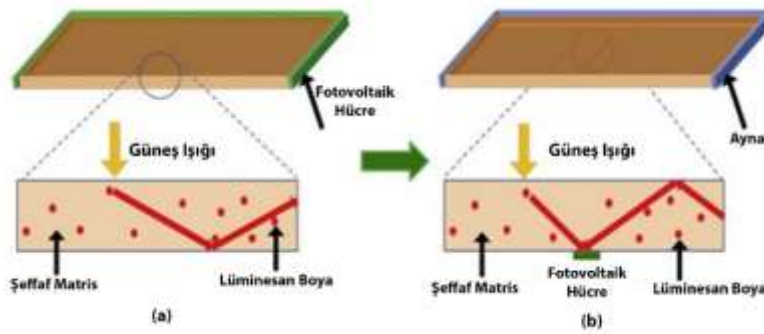


Şekil 39. Perovskite cephe uygulaması (URL-22).

Polonya'da bulunan ofis yapısı perovskite teknolojisinin uygulanabilirliğini kanıtlamak amacıyla uygulanmış bir cepheye entegre uygulanmış ticari ölçekte ilk projedir (Şekil 39). Laboratuvar şartlarında verimlerinin birinci nesil silikon tabanlı teknolojilere yakın olduğu için esneklik, renk ve şeffaflık bağlamında özgür tasarım elde etmek için bu teknoloji tercih edilmiştir. Panel boyutları 1,3 x 0,9 m olan cephede 52 adet panel kullanılmıştır. Uygulanan fotovoltaiik modüllerin bina içindeki ofislerin 8 saatlik enerji ihtiyacını karşılaması hedeflenmektedir (URL-22).

Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı Teknolojisi

Lüminesan güneş yoğunlaştırıcılar güneş ışınımının emilmesinden sonra, bir dalga kılavuzu aracılığıyla radyant enerjiyi elektrığe dönüştüren daha küçük alanlı fotovoltaik hücrelere doğru yayılan görünür ışığı yeniden yayan, floroforlardan yapılmış bir güneş ışınımı toplayıcısına dayanan optoelektronik cihazlardır (Castelletto, Boretti, 2023). Florofor, ışık uyarımı üzerine ışığı yeniden yayan bir floresan kimyasal bileşiktir (URL-23). Florofor türü, malzeme seçimi ve optik verim oldukça önemlidir. Foton toplama verimliliği artırılarak güç verimliliği artırılabilir.



Şekil 40. Kenara fotovoltaik hücre monteli (solda) ve zemine fotovoltaik monteli lüminesan güneş yoğunlaştırıcı panel çalışma prensibi (Zhang ve diğerleri, 2015).

Lüminesan güneş yoğunlaştırıcılar iki farklı türde üretilebilmektedir. Şekil.39’da iki farklı çalışma prensibi görünen teknolojiye, solda (a) kenarlara eklenen fotovoltaik hücre panel tasarımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu prensipte fotonlar toplanan ışığı dağıtarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik hücreli kenarlara taşır. Özellikle üst örtü tasarımlarında Şekil 41’te görüldüğü gibi farklı renklerde kullanımı mevcuttur. Buna ek olarak otoyol kenarlarına gürültü önleyici bariyer olarak kullanımları da bulunmaktadır. Yaygın olan kullanımının dışında kenarları ayna, tabana fotovoltaik hücre monteli panel tasarımları (Şekil 40-b) da mevcuttur. Bu panel tasarımları genelde sera yapılarında karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 41. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı panel üst örtü kullanımı (Zarcone, Brocato, Bernardoni, Vincenzi, 2016).

Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı panellerde farklı renk kullanımları mevcuttur. Rodaminler, kumarinler ve perilen türevleri lüminesan güneş yoğunlaştırıcılar için en çok kullanılan sentetik organik boya türleridir (Castelletto, Boretti, 2023). Bununla birlikte doğal boyalar,

fikobilizomlar, klorofil kullanılabilir fakat verimleri ve panel boyutu oldukça düşüktür (Rodriguez, Correia, Ferreira, Carlos, 2022).

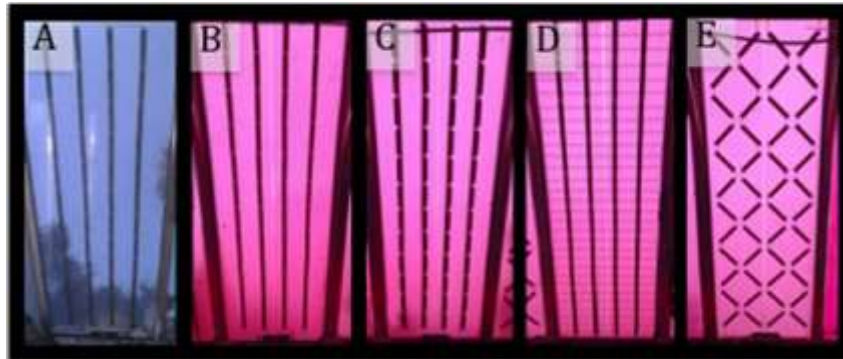
Arcadia Serası

- Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı Teknolojisi
- Yer: Amerika
- Uygulama Alanı: Sera
- Renk: Kırmızı



Şekil 42. Arcadia serası (Corrado ve diğerleri, 2016).

Arcadia Serası örneğinde, 3,05 x 7,32 m boyutlarında aynı malzemelerden yapılmış iki adet sera 12 cam pencerelidir. Seralar birbirlerine gölge bırakmayacak şekilde kuzey-güney yönünde yerleştirilmiştir. Şekil 42’de sağda olan seraya lüminesan güneş yoğunlaştırıcı teknolojisi uygulanmış, diğer sera ise şeffaf camlı olarak bırakılmıştır. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı paneller tabana fotovoltaik hücre montelidir. Tabanın %13,9’unda fotovoltaik hücre bulunmaktadır. Kullanılan hücreler 2 x 12,5 cm boyutlarındadır (Corrado ve diğerleri, 2016).



Şekil 43. Çalışmada kullanılan lüminesan güneş yoğunlaştırıcı paneller (Corrado ve diğerleri, 2016).

Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı teknolojisini kullanan serada 5 çeşit, toplam 22 adet lüminesan fotovoltaik panel kullanılmıştır. En yaygın kullanım olarak eşit aralıklı birbirine paralel 4 şerit sıradan oluşmaktadır. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı olmayan 2 panel (Şekil 42’de solda bulunan) seraya uygulanmıştır. CrissCross olarak adlandırılan düzende (Şekil 43-E) monokristal hücreler kullanılmıştır. Diğer panel çeşitlerinde ise daha ekonomik olması amacıyla polikristal hücreler kullanılmıştır. Ancak verim %20’den %14’e düşmektedir (Corrado ve diğerleri, 2016). Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı teknolojisi seralarda enerji üretmeyi mümkün kılmıştır. Optimize edilmiş ışık spektrumu güç üretimini artırır ve bitki büyümesini kolaylaştırır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada fotovoltaik güneş nesilleri renk kullanımı üzerinden örneklerle irdelenmiştir. Tablo 4’te verilen örnekler incelendiğinde günümüzde artık her nesile ait teknolojiye renk kullanımının olduğu görülmektedir. Fotovoltaik güneş hücrelerinde yeşil, kırmızı, sarı, mavi ve bu renklerin farklı tonlardaki açık veya koyu renkleri bulunmaktadır.

Tablo 4. Değerlendirme tablosu.

Bina Adı	Hücre Teknolojisi	Entegre Alan	Renk	Güç	
ECN31 Binası	Geleneksel Monokristal Fotovoltaik	Cephe/ Çatı	Siyah	72 kWp Yıllık/5 6.440 kWp	
Kopenhag Uluslararası Okulu	Monokristal Cam+Cam Konfigürasyonu-Düz Cam	Cephe	Deniz yeşili	700 kWp	
Solaris416 Binası	Monokristal Cam+Cam Konfigürasyonu-Dokulu Cam	Cephe/ Çatı	Kahverengi	116 Wp/m ²	
Kooperatif Sigorta Topluluğu (CIS) Kulesi	Geleneksel Polikristal	Cephe	Koyu mavi	390 kW	
La Seine Musicale	Renkli Polikristal Hücre	Cephe	Yeşil	115 kWp	
DEWA Dubai AR-GE Merkezi	İnce Film Teknolojisi	Cephe	Yeşil, Kırmızı, Sarı	28 Wp/m ²	
Novartis Pavyonu	Organik Fotovoltaik	Cephe	Yarı Saydam	--	

SwissTech Kongre Merkezi	Boya Duyarlı Hücre Teknolojisi	Cephe	Sarı, kırmızı, turuncu	--	
Skanska CEE Ofis Birimi	Perovskite Teknolojisi	Cephe	Sarı, kırmızı, turuncu	--	
Arcadia Serası	Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı	Cephe	Kırmızı	--	

İncelenen örneklerde fotovoltaik panellerin entegre edildiği alana bakıldığında cephede kullanımının oldukça yaygın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi gelişen teknoloji ile birlikte renkli ve şeffaf panellerin üretilmesidir. Renkli, dokulu ya da şeffaf üretilabilen fotovoltaik paneller son nesil teknolojilerde ekonomiklik ve boyut farklılığı ile tercih sebebi olurken aynı zamanda binaya estetik değer kazandırmaktadır.

Yarı şeffaf fotovoltaik paneller, ışık geçişine izin verdikleri için cephede cam olarak ya da ikincil bir strüktüre yerleştirilmiş cephe elemanı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu paneller; DEWA Dubai AR-GE Merkezi, SwissTech Kongre Merkezi ve Skanska CEE Ofis Birimi örneklerinde olduğu gibi renklendirilerek cepheyi tek düze olmaktan uzaklaştırarak hareketli bir tasarım kazandırır. Bu durum aynı zamanda mekanda ışık-gölge oyunları oluşturarak iç mekan tasarımına zenginlik katmaktadır.

Fotovoltaik paneller, cephe tasarımı ve gerekliliklere göre farklı şekillerde binaya entegre edilmektedir. Örneğin Kopenhag Uluslararası Okulu'nda cepheye entegre edilen deniz yeşili paneller binaya açılı yerleştirilmiştir. Bunun bir sebebi havalandırılan panelleri serin tutmak ve böylece verimin düşmesini engellemektir. Diğer bir sebep ise açılar sayesinde panellerde oluşan gölgelerin tekdüze olmaktan uzak, estetik bir cephe oluşturmaktır. Bununla birlikte La Seine Musicale binasında görüldüğü üzere birinci nesile ait fotovoltaik paneller de açılı yerleştirilerek renk kullanımının da etkisiyle etkileyici cephe tasarımı yapılmıştır.

İncelenen örnekler bakıldığında renkli panel uygulamasının büyük ölçekli kamusal yapılarda daha yaygın olduğu görülmektedir. Eğitim, müze, laboratuvar, sanat gibi fonksiyonlara sahip kamusal yapılarda bu tür uygulamalar sayesinde kullanıcıların farkındalığı artmaktadır. Bu entegrasyonlar sürdürülebilir çevre, enerji etkin bina kavramını topluma estetik yönüyle yansıtmakta ve göz önüne sermektedir.

Solaris416 konut binası ve Arcadia Serası diğer örnekler göre küçük ölçekli yapılardır. Konut yapılarında renkli fotovoltaik panel uygulamaları yaygın değildir. Solaris416 binası, cephe ve çatısında kullandığı kahverengi renkli dokulu monokristal paneller sayesinde homojen ve estetik bir görünüm kazanmanın yanı sıra ihtiyacı olan enerjiyi karşılamaktadır. Bununla birlikte örnek binalarda panellerin rengi, verim ve estetik değer göz önüne alınarak seçilmektedir. Fakat sera

yapıları gibi tarım geliştirici uygulamalarda bitkilerin gelişimi söz konusu olduğu için özellikle kırmızı renkli lüminesan güneş yoğunlaştırıcı paneller kullanılmalıdır. Küçük ölçekli binalarda bu tür entegrasyon örnekleri, renkli fotovoltaik panellerin kent içerisinde kullanımının yaygınlaşmasına öncülük etmektedir.

Kooperatif Sigorta Topluluğu (CIS) Kulesi cephesine geleneksel polikristal paneller yerleştirilmiştir. Bu uygulama uzun ve sağır cephelere sahip binalara fotovoltaik modüllerin entegrasyonu için önemli bir uygulama örneğidir. Bununla birlikte mevcut bir ofis yapısına uygulandığı için, eski laboratuvar yapısı olan ECN31 örnek binası ile yapı stoğuna bir çözüm örneğidir. Bu sayede bahsi geçen sağır cepheler ve mevcut yapılar enerji üretebilmektedir.

Novartis Pavyonu cephesinde yer alan organik fotovoltaik paneller sayesinde gündüz ürettiği enerjiyi gece harcamaktadır. Yarı şeffaf paneller arasında yer alan LED ışıklar sayesinde cephe enstalasyon sanat örneği olmaktadır. Bu uygulama ile geceleri ışık gösterileri yapılmakta, yapı kentin simgesi haline gelmektedir. Bu tür uygulama örnekleri sanat ve enerji ilişkisini de beslemektedir.

Renkli fotovoltaik paneller güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmanın yanı sıra pasif olarak kullanımı da mevcuttur. Örneğin ECN31 binasında kullanılan geleneksel monokristal paneller cephede bulunan ikincil strüktüre yerleştirilirken açılı konumlandırılmıştır. Bu sayede dışarıdan gelen güneş ışığı mekanlara kontrollü bir şekilde alınmaktadır. Bu sayede enerji kazanımına ek olarak aşırı ısınmayı önlediği için ısıtma-soğutma enerjisinden de tasarruf edilmesini sağlamaktadır. La Seine Musicale binasında fotovoltaik paneller güneşi takip ettiği için bu sistemden pasif olarak da faydalanılmaktadır. DEWA Dubai AR-GE Merkezi'nde ve SwissTech binasında da renkli paneller cephede kullanıldığı için güneş ışığını içeriye farklı renklerde alarak (ışınımın bir kısmını yansıttığı için) ısı kazanımını azaltmakta dolayısıyla pasif olarak da kullanılmaktadır. Bu durum aynı zamanda mekanda ışık-gölge oyunları oluşturarak iç mekan tasarımına zenginlik katmaktadır.

İncelenen örneklerde görüldüğü üzere hücrenin hangi teknolojiye ait olduğu ve rengi, buna bağlı olarak kullanılan rengin açık ya da koyu tonlarda olması verimi etkilemektedir. Fakat bu verim kaybı devam eden laboratuvar çalışmaları ile azaltılmaya çalışılmaktadır. Kullanılan farklı renk ve dokudaki fotovoltaik paneller ile binaya kimlik kazandırırken aynı zamanda temiz enerji üretebilmektedir.

SONUÇ

Fosil yakıtların tükenmeye başlaması ve çevreye zarar vermesi toplumun yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş enerjisinin kullanımı teknolojik gelişmelerle birlikte artış göstermiştir. İncelenen örneklerden çıkarıldığı üzere günümüzde fotovoltaik panellerin sadece geleneksel monokristal ve polikristal hücreler olarak kullanımının ötesine geçilmiş; cephe, atriyum ve üst örtülerde kullanılabilen, farklı renk ve boyutlar ile özgür tasarımların yapılabilirdiği, enerji üretilen bir teknoloji haline gelmiştir. Panellerin boyutu ve şekli, rengin koyu ya da açık renk olması verimi etkilemektedir. Bu verim düşmesini engellemek için çalışmalar devam etmektedir.

Hücre verimliliği en yüksek olan monokristal hücreler, cam+cam konfigürasyonu olarak farklı renk ve dokularda karşımıza çıkmaktadır. Özellikle firma-ürün incelemesine bakıldığında her firmanın kendine ait renk kartelası olduğu ve minimum hücre boyutunun türetilmesi ile farklı panel boyutlarının oluşturulabildiği görülmektedir. Verimliliği yüksek polikristal hücrelerin ise hücrenin renklendirilmesi ile farklı renk ve boyutlarda paneller üretilebildiği gözlenmiştir.

Hücre teknolojilerinde renk kullanımları farklı yollarla sağlanabilmektedir. Birinci nesil teknolojilerde polikristal hücrelerde hücrenin kendisi çeşitli renklerde üretilebiliyorken monokristal hücrelerde cam+cam konfigürasyonu ile kullanılan cam renkli seçilerek farklı renklerde paneller üretilebilmektedir. Buna ek olarak monokristal hücrelerde ön camın farklı dokularda üretilebilmesi diğer teknolojilerden en önemli farkı ve avantajıdır. İkinci nesil olan ince film fotovoltaikler şeffaf üretilebildiği için hücrelere kapsüllenmiş polimer eklendiğinde renk çeşitliliği elde edilmiş olur.

Üçüncü nesil fotovoltaik teknolojilerinde yer alan perovskite, boya duyarlı güneş hücreleri ve lüminesan güneş hücrelerinde uygulama örneği diğer teknolojilere göre çok daha azdır. Bunun sebebi diğer hücre teknolojilerinin çok yaygın olması ve üretici firmaların fazlasıyla bulunmasıdır. Bununla birlikte üçüncü nesil teknolojilere ulaşımın kolay olmaması, kullanımının yaygın olmamasının bir sebebidir.

Birinci nesil teknolojilerde bulunan silikon hücreler üzerlerine düşen gölge miktarından etkilenirken özellikle lüminesan güneş teknolojisinde yer alan kenara fotovoltaik hücre monteli panellerde dalga kılavuzunun tüm genişliği boyunca emilen ışıktan dolayı aydınlatma aldığından ciddi verim kayıpları yaşanmamaktadır. Bu nedenle gölge faktörünün olduğu durumlarda lüminesan güneş teknolojisi tercih sebebi olabilmektedir.

Çevreye daha az zarar veren, sürdürülebilir, kendi kendine yeten, enerjisini kendi üreten binalar günümüzde önem kazanmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak enerji üretimi sağlayan güneş hücrelerinin binalara entegrasyonu görünüm açısından önemli hale gelmiştir. Fotovoltaiklerde renk kullanımıyla birlikte cepheye entegre edilen paneller estetik bir görünüm kazanmaktadır. Tasarımcı farklı teknolojilere ait renk ve doku kombinasyonları ile cepheyi tasarlamakta özgürdür. Ayrıca renk kullanımı özellikle mevcut yapıları enerji etkin hale dönüştürürken cepheye entegrasyonda önemli bir gelişmedir. Bununla birlikte fotovoltaik panel boyutlarının minimum hücre boyutlarına göre belirlenebilmesi tasarımcının cepheyi tasarlariken yap-boz gibi farklı boyuttaki panelleri bir araya getirerek tasarlamasına olanak sağlamaktadır. Böylelikle çalışmanın, mimarlara tasarımlarında kullanabilecekleri farklı teknolojilere ait güneş hücrelerinde renk kullanımlarının rehber olması hedeflenmiştir.

Conflict of Interest Statement | Çıkar Çatışması Beyanı

Araştırmanın yürütülmesi ve/veya makalenin hazırlanması hususunda herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

There is no conflict of interest for conducting the research and/or for the preparation of the article.

Financial Statement | Finansman Beyanı

Bu araştırmanın yürütülmesi ve/veya makalenin hazırlanması için herhangi bir mali destek alınmamıştır.

No financial support has been received for conducting the research and/or for the preparation of the article.

Ethical Statement | Etik Beyanı

Araştırma etik standartlara uygun olarak yapılmıştır.

All procedures followed were in accordance with the ethical standards.

Copyright Statement for Intellectual and Artistic Works | Fikir ve Sanat

Eserleri Hakkında Telif Hakkı Beyanı

Makalede kullanılan fikir ve sanat eserleri (şekil, fotoğraf, grafik vb.) için telif hakları düzenlemelerine uyulmuştur.

In the article, copyright regulations have been complied with for intellectual and artistic works (figures, photographs, graphics, etc.).

Author Contribution Statement | Yazar Katkı Beyanı

YAZAR 1: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, Yöntemi, (c) Literatür Taraması, (f) Veri Toplama, İşleme, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma

YAZAR 2: (a) Fikir, (b) Çalışma Tasarısı, Yöntemi, (d) Danışmanlık, (g) Analiz, Yorum, (h) Metin Yazma, (i) Eleştirel İnceleme

REFERANSLAR

- Altın, M. (2004), Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri ve Tarihçesi, 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, 7 Ağustos 2012.
- Aydın, G. (2023) Bina İçi Organik Fotovoltaik Uygulamalar İçin Malzemelerin Değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Aygün, O. D. (2012). Mevcut Konut Yapılarına Fotovoltaik Panel Sistemlerinin Entegre Edilmesi, İzmir Örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Ballıpınar, F. (2012). Çinko Oksit (ZnO) Nano Yapıların Organik Güneş Pillerinde Uygulanması. İstanbul Teknik Üniversitesi. Enerji Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Battal, G. (2020). Organik Boya Duyarlı Güneş Pilleri Üzerine Yapılan Bir Araştırma. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 4(1), 1-6.
- Bing, J., Caro, L. G., Talathi, H. P., Chang, N. L., Mckenzie, D. R., & Ho-Baillie, A. W. (2022). Perovskite solar cells for building integrated photovoltaics—Glazing applications. *Joule*, 6(7), 1446-1474.
- Bunoti, T. (2022). Assessment Of Transparent Luminescent Solar Concentrators For Building Integrated Photovoltaics. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Castelletto, S., & Boretti, A. (2023). Luminescence Solar Concentrators: a technology update. *Nano Energy*, 108269.
- Cui, D., Yang, Z., Yang, D., Ren, X., Liu, Y., Wei, Q., ... & Liu, S. (2016). Color-tuned perovskite films prepared for efficient solar cell applications. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120(1), 42-47.
- Corrado, C., Leow, S. W., Osborn, M., Carbone, I., Hellier, K., Short, M., ... & Carter, S. A. (2016). Power generation study of luminescent solar concentrator greenhouse. *Journal of renewable and sustainable energy*, 8(4).
- Demiroğlu, D. (2019). *Organik yarıiletken tabanlı fotovoltaik aygıtlar için şekilli ince film altlıklarının kullanımı ve etkilerinin incelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Devetaković, M., Djordjević, D., Radojević, M., Krstić-Furundžić, A., Burduhos, B. G., Martinopoulos, G., ... & Lobaccaro, G. (2020). Photovoltaics on landmark buildings with distinctive geometries. *Applied Sciences*, 10(19), 6696.
- Duyan, F., & Bayrakdarlar, K. P. (2022). Enerji Etkin Bina Tasarımında Yapı Elemanı olarak Fotovoltaik Sistemler. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*. 7(3), 965-980.
- Hernández-Rodríguez, M. A., Correia, S. F. H., Ferreira, R. A. S., & Carlos, L. D. (2022). A perspective on sustainable luminescent solar concentrators. *Journal of Applied Physics*, 131(14).

- Kılıç, B. (2021). Yeni Nesil Güneş Hücrelerinde Hibrit Nano-yarıiletkenlerin Sentezlenerek Optoelektronik Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9 (2021) 51-59.
- Özdoğan, H. P. (2005). Ekolojik binalarda bina kabuğunda kullanılan fotovoltaik panellerin tasarımı bağlamında incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Reijenga, T., & Architecten, B. E. A. R. (2001). PV-integration in solar shading (renovation) and PV-integration in atrium glazing (newbuilding), ECN 31 and 42-PETTEN (NL). In *Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference/brokenurl#* http://pvdatabase.net/pdf/Renovatie_ECN-laboratorium_English.pdf
- Selbaş, R., & Çetin, H. (2022). Fotovoltaik güneş sanrallerinin verimlerinin değişiminin incelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 10-17.
- Zafer, C. (2013). Yeni Nesil Organik Fotovoltaik Teknolojiler. 6. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 6-7 Aralık 2013, Mersin.
- Zarcone, R., Brocato, M., Bernardoni, P., & Vincenzi, D. (2016). Building integrated photovoltaic system for a solar infrastructure: Liv-lib'project. *Energy Procedia*, 91, 887-896.
- Zhang, J., Wang, M., Zhang, Y., He, H., Xie, W., Yang, M., ... & Gao, C. (2015). Optimization of large-size glass laminated luminescent solar concentrators. *Solar Energy*, 117, 260-267.
- URL-1 <https://kromatix.com/>
- URL-2 <https://www.suncol.com/>
- URL-3 <https://bear-id.com/projects/ecn-petten-31/>
- URL-4 <https://www.dezeen.com/2017/08/23/copenhagen-international-school-c-f-moller-architects-12000-solar-panels-denmark/>
- URL-5 <https://integratedpv.eurac.edu/en/case-studies/copenhagen-international-school.html>
- URL-6 <https://www.archdaily.com/1009706/renovating-for-the-future-sustainable-and-resilient-solar-facades>
- URL-7 <https://solararchitecture.ch/solaris-416/>
- URL-8 <https://solararchitecture.ch/details-solaris-416/>
- URL-9 [https://www.solaripedia.com/13/117/cis_tower_solar_skyscraper_retrofit_\(manchester_uk\).html](https://www.solaripedia.com/13/117/cis_tower_solar_skyscraper_retrofit_(manchester_uk).html)
- URL-10 <https://www.dezeen.com/2017/10/04/shigeru-ban-la-seine-musicale-music-complex-moving-solar-panel-wall-paris-france/>
- URL-11 <https://www.flickr.com/photos/98609459@N08/36919562335/in/photostream/>
- URL-12 <https://onyxsolar.com/all-you-need>

URL-13 <https://www.zawya.com/en/press-release/companies-news/dewas-r-and-d-centre-registers-a-new-patent-for-a-solar-pv-robotic-carrier-eorgam8c>

URL-14 <https://onyxsolar.com/26-projects/solar-pv-ventilated-facade/394-dewa-dubai>

URL-15 <https://www.archdaily.com/639156/germany-pavilion-nil-milan-expo-2015-schmidhuber>

URL-16 <https://www.asca.com/asca-technology/>

URL-17. <https://iart.ch/en/work/novartis-pavillon-fassade>

URL-18 <https://www.gzt.com/arkitekt/sanatin-bilimle-bulustugu-yer-novartis-pavyonu-3769278>

URL-19 https://www.solaronix.com/documents/solaronix_solar_cells.pdf

URL-20 <https://juanbisquert.wordpress.com/2014/04/08/dye-solar-cell-facade-at-swisstech-covention-center-at-epfl-by-solaronix/>

URL-21 <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>

URL-22 <https://www.skanska.pl/en-us/about-skanska/media/press-releases/227820/Skanska-and-Saule-Technologies-commence-revolutionary-solar-panels-tests-/>

URL-23 <https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorophore>

YAZARLARIN BİYOGRAFİLERİ

Nilşah ÖZAR

Nilşah Özar 1997 yılında Manisa’da doğmuştur. Lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü’nde tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimine Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı’nda devam etmektedir. Aynı zamanda kurucusu olduğu ofiste tasarım ve uygulama projeleri yürütmektedir.

Müjde ALTIN (Prof.Dr.)

Müjde ALTIN (Prof.Dr.) Lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nde, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimlerini Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi programında tamamladı. Doktora tezi fotovoltaik bileşenlerin mimaride kullanımı üzerinedir. Yapım bilgisi, yapı ve taşıyıcı sistemler, güneş enerjisinin mimaride kullanımı, yapı fiziki ve sürdürülebilir mimarlık konuları üzerinde çalışmaları, yayınları ve projeleri bulunmaktadır. Halen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı’nda Profesör olarak çalışmaktadır.