

KONUT ÇATI VE CEPHELERİNDE FARKLI FOTOVOLTAİK SİSTEM UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülger Bulut KARACA^{1*}, Setenay UÇAR²

¹ İstanbul AREL Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kemal Gözükara Yerleşkesi Büyükdere, İstanbul

² Antalya Bilim Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Döşemealtı, Antalya

Makale Künye Bilgisi:

Karaca, Ü. B., & Uçar, S. (2018). Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 65-76.

Öneçkanlar

- Çatılarda uygulanan FV paneller yer ile olan açı ve güneş ışınım değerinin yüksekliği sonucunda cephede yer alan Fv panellere göre daha fazla elektrik üretir.
- Ek strüktür ile kullanılan FV panellerde, doğal havalandırma olanakları nedeniyle, panelin ısınmadan kaynaklanan verim kaybı azalır.
- FV panel kullanımı, binaların çatı yüzeylerinde cephelere kıyasla daha az mimari kısıtlama getirir.

Makale Bilgileri

Öz

Makale Tarihçesi:

Geliş:
30 Ağustos 2018
Kabul:
29 Kasım 2018

Anahtar Kelimeler:

güneş enerjisi;
fotovoltaik panel;
enerji etkin tasarım;
bina kabuğu.

Güneş ışınlarından elektrik enerjisi elde etme amacıyla geliştirilen fotovoltaik sistemlerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bina kabuğu, geleneksel işlevlerinin yanı sıra, enerji üretiminin sağlanması amacıyla fotovoltaik panel uygulamaları için de uygun bir tesis alanı işlevi yüklenebilmektedir. Mimari ölçütler dikkate alınmaksızın bina kabuğuna yapılan fotovoltaik panel uygulamalarının ciddi sorunlar yaratabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, Burdur ili koşullarında tek katlı bir konutun ortalama günlük enerji gereksiniminin karşılanabilmesi için fotovoltaik sistem gereksinimleri belirlenerek, mimari ölçütler açısından tartışılmak üzere 4 farklı fotovoltaik sistem uygulama alternatifi değerlendirilmiştir.

AN EVALUATION OF DIFFERENT PHOTOVOLTAIC SYSTEM APPLICATIONS IN HOUSING ROOF AND FACADE

Article Info

Abstract

Article History:

Received:
August 30, 2018
Accepted:
November 29, 2018

Keywords:

solar energy;
photovoltaic panel;
energy efficient design;
building envelope.

Photovoltaic systems developed for the purpose of obtaining electricity from sunlight are becoming increasingly widespread. In addition to its traditional functions, the building shell have equipped with a suitable plant area function for a for photovoltaic panel applications in order to provide energy production. It is thought that photovoltaic panel applied to the building shell can cause serious problems without considering architectural criteria. For this reason, photovoltaic system requirements were determined in order to meet the average daily energy requirement of a single story house in Burdur province. 4 different photovoltaic system application alternatives were evaluated for architectural criteria.

1. Giriş

Çevre sorunları ve rezervlerin azalması nedenleriyle, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir ve doğada kirlilik yaratmayan enerji kaynakları kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu kaynaklardan en yaygın olarak kullanılanı güneş enerjisidir.

Güneş enerjisinden binalarda aktif ve pasif olarak yararlanılabilmektedir. Pasif yöntemde binanın yönü, konumu, formu ve kabuğu uygun kriterlerde tasarlanarak güneşten faydalanılırken, aktif yöntemde kabuk ile bütünleşen bileşenler kullanılarak güneş ışığı depolanabilmekte ya da farklı bir enerji türüne dönüştürülebilmektedir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Sözü edilen aktif yöntemler içerisinde yer alan uygulamalardan biri de fotovoltaik (FV) sistemler kullanılarak bina kabuğunda üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasıdır. Bu sistem, günümüzde gerek bina yatay kabuğunda ve gerekse düşey kabuğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina kabuğunda çatı ve cephe elemanı olarak kullanılabilen FV panellerin kapasite ve verimlilikleri değerlendirilerek, her bina için uygun bir çözüm geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, binanın henüz tasarım aşamasında enerji gereksinimleri dikkate alınarak ölçütlerin belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Ancak mevcut binalarda gerekli değişiklikler ile çözümler geliştirilmesi de mümkündür.

Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, günlük toplam 7,2 saat, ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl, günlük toplam 3,6 kWh/m²-gün olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (BAKA, 2011).

Özsoy (2015)'a göre, "ülkemizdeki konutların %20'sinde güneşli sıcak su hazırlama sistemi bulunmaktadır. Türkiye güneş kolektörü üretiminde dünyada ikinci, kullanımında ise üçüncü durumdadır." Güneş kolektörleri gibi FV sistemlerin de

yaygınlaşmasının, enerji alanındaki sorunların çözümüne katkıda bulunacağı açıktır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı enerji etkin binaların tasarlanması önem kazanmaktadır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, güneşlenme süresi ve iklimsel özelliklerinin uygun olmasına karşın FV sistemlerin yaygın olmadığı Burdur ili koşullarında tasarlanacak bir binada elektrik enerjisi gereksiniminin FV sistemler ile karşılanması kurgulanmış ve bu sistem bileşenlerinin bina kabuğunda uygun mimari ölçütler çerçevesinde değerlendirilmesi sağlanmıştır.

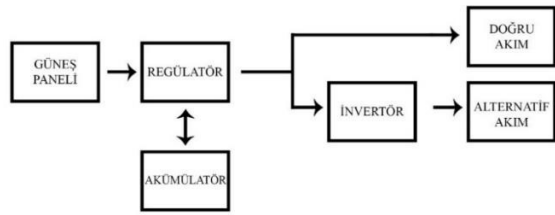
Bu amaçla, literatür taraması yapılarak çalışmada esas alınacak FV panel sistemi ve güneş hücreleri belirlenmiş; çalışmaya konu olan örnek konut için ortalama günlük enerji gereksinimi saptanmış; FV panellerin bina kabuğunda kullanım olanakları araştırılmıştır. Belirlenen enerji gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, örnek konut çatı ve cephesinde her farklı uygulama alternatifleri için gerekli FV panel sayısının belirlenmesi ve sistem bileşenlerinin enerji üretimleri için hesaplama yapılmıştır; maliyetler dikkate alınmamıştır.

2.1. Fotovoltaik Sistemler

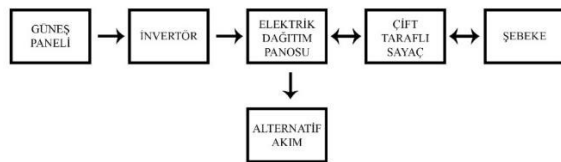
FV paneller, yaklaşık 25-30 cm²'lik kare bir alana sahip hücrelerden (güneş hücresi, FV hücresi) meydana gelir. Tipik bir FV hücre yaklaşık 1W'lık güç üretir. Yüksek güçler elde edebilmek için birçok FV hücre seri ve paralel olarak bağlanır ve büyük bir alana sahip bir modül elde edilir. Modüller birleşerek panelleri, paneller ise dizileri oluşturur.

Hücrelerin seri bağlanmasıyla modül gerilimi artırılır. Modüllerin paralel bağlanmasıyla, modülün sağlayacağı akımın miktarı ayarlanır. Modüllerin seri-paralel bağlanmasıyla, arzu edilen güç seviyesi elde edilmiş olur (Zengin, 2018).

FV sistemin kurgusunda, panellerden başka akü (batarya), invertör, blok diyotlar, devre kesiciler gibi bileşenlere gereksinim vardır. Bu bileşenler FV sistemin elektrik şebekesine bağlı olup olmamasına göre değişiklik gösterir. Şebekeye bağlı olmayan FV sistemlerde, yeterli enerji üretilmediği durumlarda güç sağlayabilmek için daha önce enerjinin depolanmış olduğu akü (batarya) grubu sisteme dahil olur (Şekil 1). Şebekeye bağlı FV sistemlerde ise, Şebekeye bağlı olmayan sistemlerden farklı olarak akü bulunmaz. Şebekeye bağlı olmayan sistemlerde, FV panellerin gereksinimden fazla enerji üretmesi durumunda, enerji fazlası depolanamaz; şebekeye verilir. Enerji üretiminin yetersiz olması durumunda ise şebekeden enerji alınır (Şekil 2).



Şekil 1. Genel Hali İle Şebekeye Bağlı Olmayan FV Sistem Kurgusu



Şekil 2. Genel Hali İle Şebekeye Bağlı FV Sistem Kurgusu

2.2. Bina Kabuğunda Fotovoltaik Panel Kullanımı

FV paneller, binaların çatı ve cephelerinde, tasarım aşamasında veya mevcut binaya uygulanabilir. FV panel uygulanacak bina kabuğunun tasarımında FV panelin modül boyutu, formu ve rengi gibi unsurlar etkilidir. FV panellerin performansında ise, binanın konumu, yönü, FV panel uygulanacak yüzeyin açısı,

gölge alıp almama durumu, panel tipi, panel bakımı ve temizliği, nem ve sıcaklık gibi unsurlar etkilidir.

Bir FV güç sisteminin ömrünü FV panellerin ömrü belirlediğinden mümkün olduğunca uzun ömürlü güneş panelleri tercih edilmelidir. Genel olarak çoğu üretici 25 yılda %80 panel gücünü garanti etmektedir (Boztepe, 2018).

Binalarda en çok güneş ışığı alan yüzeyin çatı olması ve binanın diğer bölümlerine kıyasla, performanslarını olumsuz etkileyen unsurların az olması nedenleriyle, FV paneller birim başına daha fazla enerji üretimi için yaygın olarak çatı yüzeylerinde kullanılmaktadır. Ancak, çatının şekli, eğimi, farklı fonksiyonlar için kullanılabilmesi, alan olarak yeterli büyüklükte olmaması gibi durumlarda FV paneller cephelerde kullanılabilir.

Güneş panel sistemlerinin cephe uygulamaları, çatı uygulamalarında söz konusu olmayan ve ek maliyet oluşturan ilave iskele ve güvenlik teçhizatı nedeniyle büyük olasılıkla daha pahalı olacaktır (Haroldson, 2017). Çalışma kapsamında kullanılan farklı yöntemler alt başlıklara bölünerek açıklanmalıdır.

2.2.1. Çatı Yüzeylerinde Fotovoltaik Panel Kullanılma Olanakları

Çatı yüzeylerinin kış mevsiminde kar ile örtülmesi, FV panellerin verimini düşürür. Gerek güneşlenme süresinin artması gerekse yağışın yüzeyden uzaklaşması gibi nedenlerle eğimli çatı yüzeyi; FV panellerin kullanımı için en uygun olan çatı tipidir. Çatı eğiminin yetersiz olduğu durumlarda profiller kullanılarak oluşturulan ek strüktür aracılığıyla FV paneller yeterli eğim ile yerleştirilebilirler. Türkiye’de PV panellerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum yerleştirme açısı 30°’dir (Turhan ve Çetiner, 2012).

Çatılara kurulan FV paneller “çatıdan bağımsız kullanılan” ve “çatı yüzeyi ile bütünleşik (entegre)” olmak üzere 2 şekilde uygulanmaktadır



Şekil 3. Çatıda Ek Strüktür ile Uygulanan Fotovoltaik Paneller



Şekil 4. Çatı İle Bütünleşik Fotovoltaik Paneller

Çatıda ek strüktür ile uygulanan FV sistemler bu çalışmada “Çatı-1” olarak anılmıştır. Bu strüktürlü uygulama ile FV panel doğal havalanabilir olacağından aşırı ısınmadan kaynaklanabilecek verim kaybı kontrol altına alınmış olur. Öte yandan bu tür uygulamalarda kullanılan strüktür, çatıya ek yük bindirmektedir. Çatıda ek strüktür ile uygulanan FV sistemlerde (Çatı-1) genellikle kristal silisyum hücreli güneş panelleri kullanılır; elektrik üretim verimleri daha yüksektir.

Çatı ile bütünleşik kullanılan paneller, bu çalışmada “Çatı-2” olarak anılmıştır. Çatı ile bütünleşik kullanılan paneller, çatı düzlemi ile uyumlu görünüp; çatı kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler. Bu tür FV paneller daha hafif olmalarından dolayı, yapıya eklenen yük daha az olacaktır. Diğer yandan, ince filmlerden oluşan çatı ile bütünleşik FV panellerin (solar halı gibi) verimleri, kristal silisyum hücrelerden oluşan çatıdan bağımsız kullanılan panellere kıyasla daha düşüktür. Çatı ile bütünleşik kullanılan panellerde havalandırma problemi bulunmaktadır. Doğal havalandırma ile FV panelin ısınmasının önüne geçilemeyebilir. Bu sistemin uygulanacağı binaların tasarımı sürecinde, bir soğutma veya havalandırma sisteminin de eklenmesi, aşırı ısınma kaynaklı verim kaybını da ortadan kaldıracaktır.

Çatı-2 uygulamalarında yağmur gibi atmosferik unsurlarda sızdırmazlık sorunları ile karşılaşılabilir.

2.2.2. Cephede FV Panel Kullanılma Olanakları

Tasarıma bağlı olmakla birlikte, bina kabuğunda cephe yüzeyi önemli bir alan tutabilir. Albedo (yerden ve bir yüzeyden yansıyan güneş ışığının miktarı) hesaba katılınca, cephede uygulanan güneş panellerinin, çatı panellerine kıyasla avantajlı olduğu görülecektir (Haroldson, 2017).

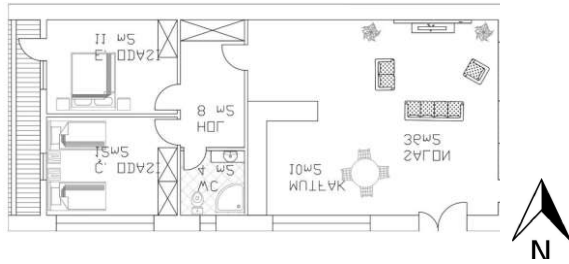
Gölgeleme yapan ağaç veya başka bina gibi unsurlar cepheleri çatılara oranla güneşlenme bakımından olumsuz etkiler. Mevsimlere göre güneş ışınlarının farklı açılarla dünyaya, dolayısıyla FV panel yüzeylerine ulaşması, FV panel verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Diğer yandan, FV paneller cephede uygun eğimle konumlandırıldıklarında ve önlerine bina veya ağaç gölgeleri gelmediği sürece verimlilikleri düşmemektedir (bulutlar, nem gibi bölgelerin hava koşulları hariç tutulmuştur).

FV panellerden oluşan cephe sistemlerinde paneller, modüler metal çerçeveler ile taşınarak ya da doğrudan binanın taşıyıcı sistemine yükleri aktararak uygulanır. Bu sistem ile FV paneller, giydirme cam cephe sistemi olarak binaya uygulanabildiği gibi binanın saydam yüzeyleri için de kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda FV panelin iç mekan konforu ile ilgili ısı ve ışık geçirgenliği, mahremiyet gibi unsurlar önem kazanmaktadır. Diğer yandan bina ile FV panel arasındaki boşluktan hem havalandırma, hem de kabloların geçişleri sağlanmaktadır. Giydirme cephelerde FV panel kullanımında en önemli sorun fazla ısı kazanımıdır. Bir FV panelin ısınması halinde elektrik üretiminin azalmaması için panelde soğutmanın yapılması gerekmektedir. Bunları dikkate alarak tasarım halinde iken düşünmek ve olabilecek sorunları göz önüne almak gerekmektedir (Uçar, 2018).

Bu çalışma kapsamında, cephede modüler metal çerçeveler ile taşınarak uygulanan sistem “Cephe-1”; doğrudan binanın taşıyıcı sistemine yükleri aktararak, bina düşey kabuğu ile bütünleşik uygulanan sistem “Cephe-2” olarak anılmıştır.

2.3. Burdur İli Şartlarında Bir Konut İçin FV Panel Sistem Tasarımı

Bu çalışma kapsamında, ılıman bir bölge olan Burdur ilinde, 37°19'26.57"K 30°42'34.66"D konumunda, 90 m2 alana sahip, 4 kişilik bir aile için, müstakil bir konut modellenmiştir. Konutun ortalama günlük enerji gereksiniminin karşılaması amacıyla, çatı ve cephelerde farklı sistemler ile uygulanacak FV sistemlerin enerji üretimlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.



Şekil 5. Hesaplamalar için baz alınan konut planı

Konutun çatısı, 82 m2 alan büyüklüğünde, tek yüzeyli olarak, güney yönünde, 30° açı ile tasarlanmıştır. Böylece çatı yüzeyi temizliği için yağmur suyunun akışından yararlanılması, hem de güneş ışınlarının FV panellere dik açıyla en fazla gelebilmesi sağlanmıştır. FV panellerin çatıya uygulanmasında 2 farklı yöntem için (çatı ile bütünleşik kullanılan ve çatıda ek strüktür ile kullanılan) hesaplama yapılmıştır.

Konutun güney cephesi 63 m2 olup, FV panel kullanılacağı düşünülerek pencere kullanılmamıştır. FV paneller konutun güney cephesinde 90° açı ile yerleştirilerek elektrik üretimleri incelenmiştir. FV panellerin cepheye uygulanmasında 2 farklı yöntem (ek strüktür ile kullanılan ve cephe ile bütünleşik kullanılan) ele alınmıştır.

FV sistemin verimliliği hesaplanırken, sıcaklık ve bulutlu günler nedeniyle olabilecek tahmini kayıplar, açısal yansıma etkilerine bağlı olarak tahmini kayıp, FV panelin sistem kaybı “PVGIS Estimation” (PVGIS – Interactive Maps, 2018) adlı program yardımı ile elde edilmiştir.



Şekil 6: Çatıda ek strüktür ile kullanılan FV panel uygulaması (Çatı-1)



Şekil 7: Çatı ile bütünleşik kullanılan FV panel uygulaması (Çatı-2)



Şekil 8: Cephede ek strüktür ile kullanılan FV panel uygulaması (Cephe-1)



Şekil 9: Cephe ile bütünleşik kullanılan FV panel uygulaması (Cephe-2)

Çizelge 1: Bir Konutun Elektrikli Eşyaları Ve Elektrik Enerjisi Gereksinimi Çizelgesi

Ürün	Tüketim (W)	Çalışma Süresi (Saat)	Haftalık Kullanım (Defa)	Haftalık Kullanım (Wh)
Buzdolabı	26	24	7	4368
Klima	600	5	7	21000
Elektrik Süpürgesi	900	0,5	3	1350
Televizyon	65	4	7	1820
Bilgisayar	75	3	7	1575
Çamaşır Makinesi	196	2	1	392
Ütü	1000	1	1	1000
Saç Kurutma Makinesi	2000	0,2	3	1200
Aydınlatma (3 Adet)	60	5	7	2100
Fırın	1300	1,5	2	3900
Bulaşık Makinesi	290	2,5	2	1450
Toplam				40155

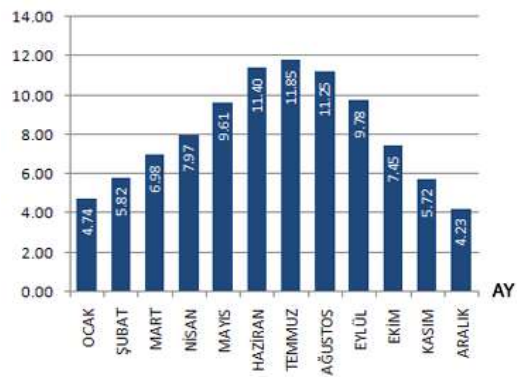
Kaynak: (http://www.enerjihesapla.com/#enerji_hesap_dcev, 2018) (<https://www.ckbogazici.com.tr/tr/tuketim-hesaplama>, 2018)

Konutun günlük enerji kullanımı haftanın her gününde farklılık gösterebilir. Bu nedenle çalışmada, haftalık toplam enerji kullanımı belirlendikten sonra, bir günlük ortalama enerji kullanımı belirlenmiştir. Çizelge 1’de bir konutun haftalık enerji ihtiyaç değerleri yer almaktadır. Elektrikli eşyaların seçiminde A++ enerji sınıfı tercih edilmiştir.

Çizelge 2: Kullanılan FV panelin özellikleri

Maksimum Güç (Pmax)	280Wp
Modül Verimliliği (%)	17,08
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	32,9
Maksimum Güç Akımı (Imp)	8,52
Açık Devre Gerilimi (Voc)	38,7
Kısa Devre Akımı(Isc)	9,24
Güç Toleransı	0~+5W
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40 - +85 °C
Sıcaklığa Katsayısı Isc	0.05 % /°C
Sıcaklığa Katsayısı Voc	-0.29 % /°C
Sıcaklığa Katsayısı Pmax	-0.39 % /°C
Hücre Tipi (mm)	156,75 x 156,75
Hücre Sayısı	60 (6 x10)
Ağırlık (kg)	13
Maksimum Boyut (mm)	1648 x 995 x 35

Çizelge 1’e göre haftalık elektrik kullanımı 40,155 Wh değerine ulaşılmaktadır. Bu durumda günlük enerji kullanımı = $40155/7 \approx 5736$ Wh olarak belirlenmiştir. FV panel sayısı, 280 W gücünde kristal silisyum hücreli FV panellerin kullanımına göre belirlenmiştir. Aylara göre Burdur ilinin güneşlenme süreleri incelenmiş olup en düşük güneşlenme süresi, 4,23 saat ile aralık ayına ait olup, bu nedenle pik güneşlenme süresi (PSH) 4,23 saat kabul edilmiştir (Şekil 10).

GÜNEŞLENME SÜRESİ (SAAT)**Şekil 10.** Burdur ili yıl boyu güneşlenme süreleri

Kaynak: (BAKA, 2011)

Dolayısıyla daha uzun güneşlenme süresinin olduğu dönemler, gereksinimden fazla üretilen enerjinin şebekeye verileceği; bulutlu gün sayısının fazla olduğu ve enerji gereksiniminin arttığı durumlarda şebekeden enerji alınacağı düşünülmüştür.

FV sistemlerde üretilen gücün tamamı yüke aktarılamaz. Sistemde kullanılan cihazların verimliliklerine bağlı olarak enerji kaybı meydana gelir. Bundan dolayı üretilecek hesabın da bu enerji kaybı dikkate alınması gerekir (Alkan vd., 2014).

Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar için güneş panelinin verimliliği (η_{pv}) “PVGIS Estimation” (PVGIS – Interactive Maps, 2018) adlı program yardımı ile elde edilmiştir. Binada uygulaması incelenecek 4 farklı FV sistem uygulaması için panel sayısı hesaplanmıştır. Üretilmesi gereken enerji Denklem 1; panel sayısının belirlenmesi ise Denklem 2 ile belirlenmiş; değerler Çizelge 3’te sunulmuştur.

$$\text{Günlük Enerji İhtiyacı} = \text{Üretilmesi Gereken Enerji} * \eta_{\text{sistem}} \quad (1)$$

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{\text{Üretilmesi Gereken Enerji}}{\text{Bir panelin Gücü} * \text{PSH}} \quad (2)$$

Çizelge 3: FV sistem için sistem verimleri, üretilmesi gereken güç değerleri ve uygulanacak panel sayıları

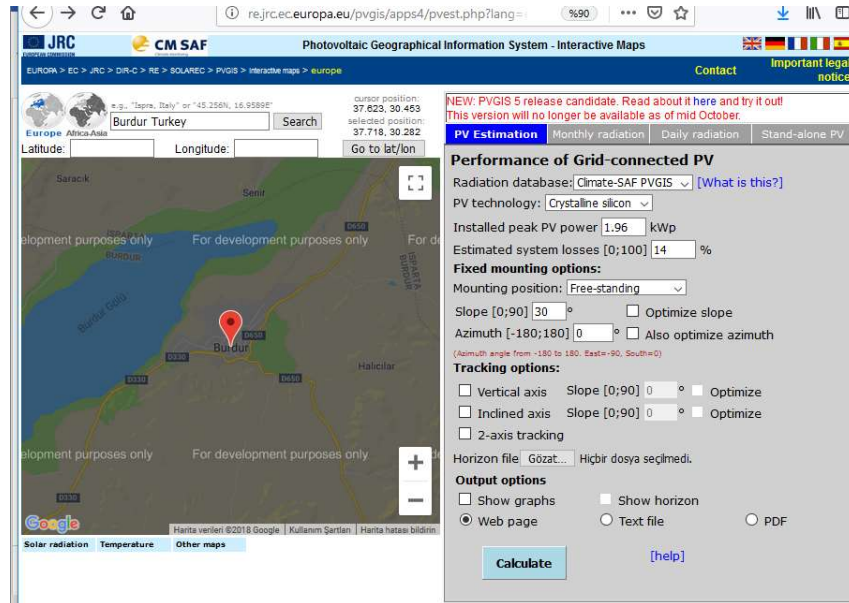
	Çatı-1	Çatı-2	Cephe-1	Cephe-2
η_{sistem}	%75,1	%71	%75,2	%72,2
Günlük enerji ihtiyacı (Wh-gün)	5736	5736	5736	5736
Üretilmesi gereken enerji (Wh-gün)	7637,81	8078,87	7627,65	7944,59
Panel sayısı	7	7	7	7
FV sistemin nominal gücü (kristal silisyum) Kw			2,0	
Sıcaklık ve düşük ışınlama nedeniyle tahmini kayıplar	%10,4	%15,2	%7,4	%10,9
Açısal yansıma etkileri nedeniyle tahmini kayıp	%2,6	%2,6	%6	%6
Diğer kayıplar (kablo, invertör vb.)			%14	
Bütünleşik FV sistem kaybı	%24,9	%29	%25,2	%28

Çizelge 4: FV panellerin bina kabuğuna farklı uygulamalarındaki alan, çevre ve ek yük

	Çatı-1 (7 panel)	Çatı-2 (7 panel)	Cephe-1 (7 panel)	Cephe-2 (7 panel)
FV panelin uygulanacağı bina yüzeyinin büyüklüğü (m ²)	82	82	63	63
FV panellerin kaplayacağı alan (m ²)	12,74	11,34	12,74	11,34
FV panellerin kaplayacağı alanın çevresi (m)	17,76	17,76	16,20	16,20
FV panellerin bina yüküne etkisi (kg)	136,5	91	136,5	91

Çizelge 5: Farklı uygulamalarda FV panellerin elektrik üretimleri ve güneş ışınlamaları

Ay	Sistemin Verdiği Günlük Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)				Sistemin Verdiği Aylık Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)				Ortalama Aylık Güneş Işınımı (kWh/m ²)	
	Çatı-1 (7 panel)	Çatı-2 (7 panel)	Cephe-1 (7 panel)	Cephe-2 (7 panel)	Çatı-1 (7 panel)	Çatı-2 (7 panel)	Cephe-1 (7 panel)	Cephe-2 (7 panel)	30° eğim için	90° eğim için
Ocak	4,90	4,65	4,80	4,55	152	144	149	141	96,2	94,0
Şubat	6,20	5,85	5,47	5,20	173	164	153	146	112	97,4
Mart	8,22	7,75	5,95	5,71	255	240	184	177	168	120
Nisan	8,63	8,15	4,66	4,52	259	244	140	136	173	95,4
Mayıs	9,35	8,82	3,59	3,51	290	274	111	109	200	82,5
Haziran	10,20	9,67	2,92	2,87	307	290	87,7	86,2	216	69,7
Temmuz	10,50	9,87	3,15	3,08	324	306	97,6	95,6	232	78,2
Ağustos	10,40	9,80	4,51	4,38	322	304	140	136	231	105
Eylül	9,64	9,07	6,20	5,97	289	272	186	179	203	131
Ekim	7,82	7,38	6,56	6,26	242	229	203	194	163	135
Kasım	6,55	6,20	6,49	6,16	196	186	195	185	129	127
Aralık	4,68	4,44	4,77	4,50	145	138	148	139	92,9	94,7
Yıllık Ort.	8,10	7,65	4,92	4,72	246	233	150	144	168	103
Toplam					2960	2790	1790	1720	2020	1230

**Şekil 11.** PVgis Calculator web sayfasında Çatı-1 hesaplaması**Kaynak:** PVGIS – Interactive Maps, 2018

Bina çatı ve cephesindeki farklı uygulamalar için panellerin tutabilecekleri alan ve panellerin bina yüküne etkisi Çizelge 4'te yer almaktadır.

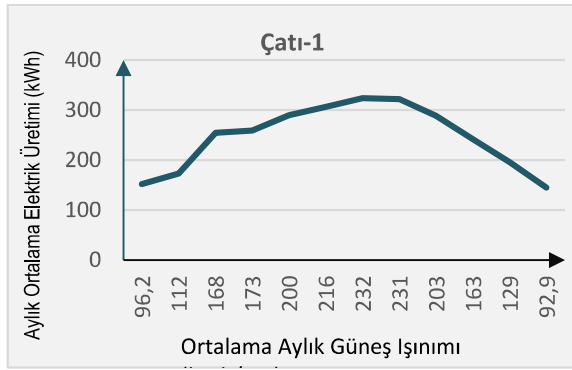
Çalışma kapsamında değerlendirilen çatı ve cephede uygulanan FV panellerin yıl boyunca ortalama aylık

elektrik enerjisi üretimi “PVgis Calculator” (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> 2018) programından yararlanılarak belirlenmiş ve Çizelge 5'te sunulmuştur. Hesaplamalarda azimut, panelin yere dik normal düzlemi ile güney ekseninin aralarında yaptığı açı olarak 0° alınmıştır.

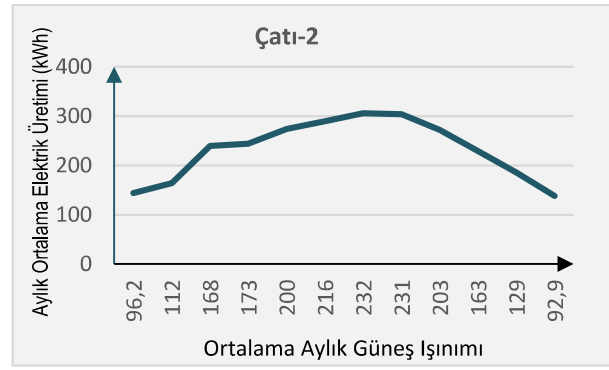
3. Bulgular ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında ele alınan 4 farklı uygulama alternatifinde, söz konusu konutun enerji gereksinimini karşılayacak panel sayılarında farklılık görülmemiştir. Bu nedenle, panellerin bina kabuğundaki konumu ve dolayısıyla açıları, bina kabuğuna uygulanma şekillerinin verimlilikleri üzerine etkilerinin belirlendiği söylenebilir.

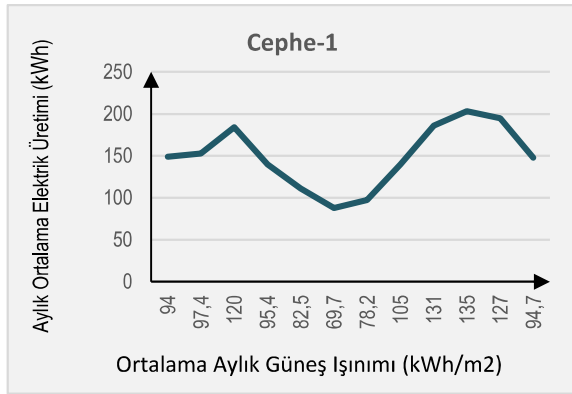
Çatıda FV panellerin ek strüktür ile uygulanmasında panellerin binaya eklediği yük miktarı yaklaşık 136,5 kg iken çatı yüzeyi ile bütünleşik olarak uygulanan sistemlerde yaklaşık 91 kg'dır. Her dört uygulamada da panel sayılarının eşit olmasına karşın strüktürlü uygulamalardaki çatı/ cephe yüzeyindeki alan, paneller arasındaki derz mesafesi nedeniyle bütünleşik uygulamalardan %12 civarında daha fazladır.



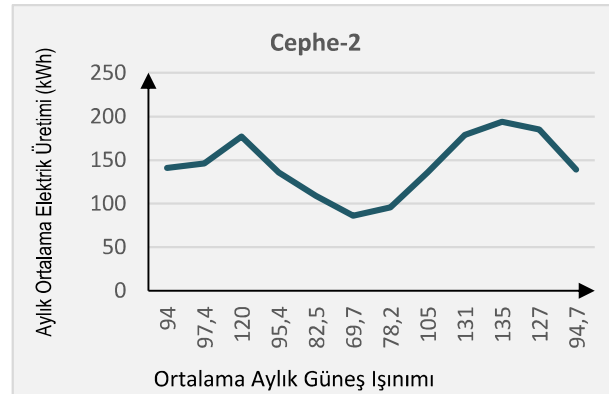
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 12. a) Çatı-1 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınlamı ilişkisi.
 b) Çatı-2 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınlamı ilişkisi
 c) Cephe-1 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınlamı ilişkisi
 d) Cephe-2 uygulamasının aylık elektrik üretimi ve panel yüzeyindeki ortalama aylık güneş ışınlamı ilişkisi .

Çizelge 5'te görüleceği üzere, Çatı-1 yıl boyunca günlük ortalama 8,10 kWh, aylık ortalama 246 kWh enerji üretimi ile çalışma kapsamındaki alternatifler arasında en yüksek enerji sağlayan uygulama olmuştur.

Bu sistemin temmuz ayında 10,50 kWh ile en yüksek günlük, 324 kWh ile en yüksek aylık ortalama enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi aralık ayında günlük 4,68

kWh ve aylık 145 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Veriminin en düşük olduğu aralık ayı dışında Çatı-1'in yıl boyu diğer alternatiflerden daha yüksek enerji sağladığı söylenebilir. Çatı-1, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii aralık ve ocak ayları haricinde tüm yıl karşılayabilmektedir. Çatı-1'deki en yüksek enerji üretiminin olduğu temmuz ayında, 30° eğimli yüzeyde aylık güneş ışıınının da en yüksek; en düşük olduğu aralık ayında ise aylık güneş ışıınının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 a).

Çatı-2, yıl boyunca günlük ortalama 7,65 kWh, aylık ortalama 233 kWh enerji üretimi ile çalışma kapsamındaki alternatifler arasında ikinci verimli uygulama olmuştur. Çatı-2'nin temmuz ayında 9,87 kWh ile en yüksek günlük, 306 kWh ile en yüksek aylık ortalama enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi aralık ayında günlük 4,44 kWh ve aylık 138 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Çatı-2, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii aralık ve ocak ayları haricinde tüm yıl karşılayabilmektedir. Çatı-1'deki en yüksek enerji üretiminin olduğu temmuz ayında, 30° eğimli yüzeyde aylık güneş ışıınının da en yüksek; en düşük olduğu aralık ayında ise aylık güneş ışıınının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 b).

Cephe-1, yıl boyunca günlük ortalama 4,92 kWh, aylık ortalama 150 kWh enerji üretimi ile çalışma kapsamındaki alternatifler arasında üçüncü verimli uygulama olmuştur. Cephe-1'in ekim ayında 6,56 kWh ile en yüksek günlük, 203 kWh ile en yüksek aylık ortalama enerji üretimi yapabileceği belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi haziran ayında günlük 2,92 kWh ve aylık 87,7 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Cephe-1, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii mart, eylül, ekim ve kasım

aylarında karşılayabilmekte; diğer aylarda şebekeden takviye alması gerekmektedir. Cephe-1'deki en yüksek enerji üretiminin elde edildiği mart, eylül, ekim ve kasım aylarında, 90° eğimli yüzeyde aylık güneş ışıınının da en yüksek; en düşük olduğu haziran ayında ise aylık güneş ışıınının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 c).

Cephe-2 yıl boyunca günlük ortalama 4,72 kWh, aylık ortalama 144 kWh enerji üreterek, alternatifler içinde en düşük verimli uygulama olmuştur. Cephe-2'den en yüksek verim, günlük ortalama 6,26 kWh, aylık ortalama 194 kWh enerji üretilen ekim ayı olarak belirlenmiştir. Bu sistem yıl boyunca en düşük üretimi haziran ayında günlük 2,87 kWh ve aylık 86,2 kWh ortalama enerji ile gerçekleştireceği görülmektedir. Cephe-2, çalışma için belirlenmiş olan ortalama günlük enerji gereksinimi olan 5,736 kWh enerjii eylül, ekim ve kasım aylarında karşılayabilmekte; diğer aylarda şebekeden takviye alması gerekmektedir. Cephe-2'deki en yüksek enerji üretiminin elde edildiği mart, eylül, ekim ve kasım aylarında, 90° eğimli yüzeyde aylık güneş ışıınının da en yüksek; en düşük olduğu haziran ayında ise aylık güneş ışıınının da en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 12 d).

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Burdur ili koşulları ile düşünülmüş, 4 kişilik, tek katlı bir konutun çatı ve cephesinde kullanılan FV panellerin elektrik üretimi ele alınmıştır. Ek strüktür yardımı ile çatıdan bağımsız kullanılan (Çatı-1); örtü malzemesi halinde çatı sistemi ile bütünleşik olarak kullanılan (Çatı-2); ek strüktür yardımı ile cepheden bağımsız kullanılan (Cephe-1); cephe kaplaması halinde cephe ile bütünleşik olarak kullanılan (Cephe-2) olmak üzere, bina kabuğunda 4 farklı şekilde FV panel yerleşmesi incelenmiştir. Ek strüktür ile çatıda uygulanan FV sistemin en yüksek enerji ürettiği tespit edilmiştir.

Güneş ışınlarının FV panel yüzeyine dik gelmesinin FV panelin verimliliğini artırdığı bilinmektedir. Çatı yüzeylerinde FV panellerin mevsime bağlı olarak güneş ışınlarının geliş açısına göre konumlandırılabilmesi, verimliliği olumlu etkileyecektir. FV panellerin 10°-30° arasında eğim ile konumlandırılması, yıl boyu güneş ışınlarının geliş açısı bakımından verimliliği artırmasının yanı sıra, panel yüzeyinde birikebilecek toz, yaprak gibi verimi düşürebilecek unsurların yağmur suları ile temizlenmesine yardımcı olur; kar yağışında ise panel yüzeyinde kar birikmesini güçleştirir.

Çatı yüzeylerinin görünürlüğünün cepheye göre daha az olmasından ötürü çatı uygulamalarının mimari tasarım açısından daha az kısıtlama getirdiği söylenebilir.

Bir cepheye FV panel uygulama kararının binanın tasarımı aşamasında verilmesi yararlıdır. Mevcut bina kabuğuna sonradan uygulanacak FV paneller, cephe bütünlüğünün bozulmasına neden olabilir. Opak veya saydam alternatifleri olan FV panellerin cephede kullanımında mekanın gün ışığı gereksinimi kontrol edilebilir. Diğer yandan, FV panellerin binanın güney cephesinin tasarımını kısıtlayıcı bir etkisi olduğu söylenebilir.

Hava sıcaklığının 40 derece olduğu durumda FV panellerin sıcaklığı 85 dereceye kadar çıkabilmektedir (Uçar, 2018). Bu durum, FV panel uygulanacak cephelerin bina kullanımında geçiş alanı olmamasını gerektirir. Ayrıca, panellerin yüzey sıcaklıklarının artması, fotovoltaik mekanizmasını olumsuz etkileyerek verimi düşürür. Cepheye strüktür ile uygulanan FV panellerin arkalarındaki boşlukta gerçekleşecek hava sirkülasyonu, panel yüzey sıcaklığının düşmesine yardımcı olarak verim kaybını azaltabilir veya önüne geçebilir. Cepheye uygulanan FV panellerin arkalarında yeterli boşluk olmaması ya da panellerin bütünleşik sistem ile uygulanmış olması durumunda ise, soğutucu fan kullanılarak FV panel

yüzeylerinin aşırı ısınmasının önüne geçilebilir. Ancak bu durumda binanın soğutma amaçlı enerji tüketimi de artmış olacaktır. FV panellerin yüzey sıcaklıklarının yükselmemesi/ düşürülmesi için alınabilecek önlemlerden bir başkası ise, jüt bitkisinin liflerinden örülen dokumanın panel yüzeylerine serilmesidir. %25-%75 arasında farklı ışık geçirgenliğine sahip jüt türlerinin temmuz-ağustos aylarında kullanılması, panellerin aşırı ısınmasını engeller ancak, enerji üretimlerini de azaltır.

Bir binanın kullanım ömrü, birçok unsura bağlıdır; FV panellerin yaklaşık ömürleri 25-30 yıl kadar kabul edilebilir. Bina ömrünün FV panel ömründen uzun olacağı açıktır. Bu nedenle, FV panel uygulanmış binalarda, paneller ömürlerini tamamladıktan sonra özellikle cepheler için yeni düzenlemeler yapılması kaçınılmaz olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bilimsel çalışmamız ile kişisel durumumuz arasında potansiyel veya mevcut bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

ALKAN, S., ÖZTÜRK, A., ZAVRAK, S., TOSUN, S., & AVCI, E. (2014). Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistem Kurulumu. *Elektrik- Elektronik- Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*. Bursa.

ALTUNTOP, N., & ERDEMİR, D. (2013). Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 69-77.

BAKA. (2011). *Güneş Enerjisi Sektör Raporu*. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Antalya. 04 17, 2018 tarihinde

<http://baka.org.tr/uploads/1303486512GUNES-TURKCE-KATALOG.pdf> adresinden alındı

BOZTEPE, M. (2018, mayıs 20). http://www.emo.org.tr/ekler/65eb10e64749410_ek.pdf

ÇELEBİ, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17(3), 17-33.

- ETKB. (2015). <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>. Mart 04, 2015 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi Potansiyeli. adresinden alındı
- HAROLDSON, C. (2017, july 31). *Wall-Mounted Solar: A Rising Trend or Barely Hanging on*. Mayıs 2018 tarihinde <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/07/wall-mounted-solar-trend/>. adresinden alındı
- http://www.enerjihesapla.com/#enerji_hesap_dcev. (2018, nisan).
- <https://www.ckbogazici.com.tr/tr/tuketim-hesaplama>. (2018, nisan).
- <https://www.dunyaenerji.org.tr/>. (2009). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. adresinden alındı
- ÖZSOY, A. (2015). Güneş Enerjisinin Isıtma Amaçlı Mevsimlik Depolanması ve Isı Pompası Destekli Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 54-59.
- Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. (2018, mayıs 20). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>.
- TURHAN S., ÇETİNER. İ. (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi. 6. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*. Bursa.
- UÇAR, S. (2018). *Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ZENGİN, E. (2018, mayıs 10). http://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20_ek.pdf.