

PAPER DETAILS

TITLE: Çati Üstü PV Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Sanliurfa Örneği

AUTHORS: Erdal YILDIRIM,Mehmet A AKTACIR

PAGES: 69-77

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1507361>



Çatı Üstü PV Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Şanlıurfa Örneği

Determination of Rooftop PV Electricity Generation Potential: The case of Şanlıurfa

Erdal Yıldırım^{1*}, Mehmet A. Aktacir²

¹ Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Şanlıurfa, erdaly@harran.edu.tr

² Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, aktacir@harran.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 17 Haziran 2020
Düzeltilme: 23 Eylül 2020
Kabul: 25 Eylül 2020

Anahtar kelimeler:

Fotovoltaik panel teknolojileri,
çatıya entegre fotovoltaik panel,
elektrik potansiyeli, Şanlıurfa

ÖZET

Şanlıurfa'nın yıl boyunca günlük ortalama güneş ışınım değeri yaklaşık 5.0 kWh/m² 'dir. Bu potansiyeli değerlendirmek amacıyla çatı üstü fotovoltaik panellerin yıllık enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. Bu analiz için Harran Üniversitesine bağlı Şanlıurfa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu binaları seçilmiştir. Hesaplamalarda en yaygın kullanılan üç farklı Fotovoltaik (PV) panel teknolojisi seçilmiştir. Bunlar mono-Si, p-Si ve CdTe 'dir. Ayrıca bu çalışmada, aylık ortalama PV verimleri ve panel yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda; incelenen PV paneller arasında yıllık bazda maksimum elektrik enerjisi üretiminin mono-Si panellerden elde edilebileceği görülmüştür. Mono-Si panelin ortalama birim alanda üretilebileceği maksimum elektrik enerjisi yaklaşık 345 kWh'tir. p-Si ve CdTe PV paneller ile yıllık elektrik enerji üretimi sırasıyla yaklaşık 311 kWh/m² ve 234 kWh/m² olarak bulunmuştur.

Doi: 10.24012/dumf.860242

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 June 2020
Revised: 23 September 2020
Accepted: 25 September 2020

Keywords:

Photovoltaic panel technologies,
roof integrated photovoltaic
panel, electrical energy potential,
Şanlıurfa

ABSTRACT

The average daily solar radiation value of Şanlıurfa throughout the year is about 5.0 kWh/m². In order to evaluate this potential, the annual energy generation values of rooftop photovoltaic panels were calculated. For this analysis, Harran University Şanlıurfa Technical Sciences Vocational School buildings were selected. Three different PV panel Technologies are used for the calculations. These are mono-Si, p-Si and CdTe. In addition, monthly average PV efficiencies and panel surface temperatures were calculated. As a result of the study, it was observed that the maximum electrical energy generation can be obtained by mono-Si panels among the examined PV panels. The maximum electrical energy that mono-Si panel generates, is approximately 345 kWh per unit area. Annual electrical energy generation with p-Si and CdTe PV panels was found to be approximately 311 kW/m² and 234 kWh/m², respectively.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Erdal YILDIRIM
✉ erdaly@harran.edu.tr

Giriş

Günümüzde, binaların elektrik enerji ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla Fotovoltaik panellerin bina cephelerinde kullanılması giderek artmaktadır. Bu amaç için binaların dış duvar yüzeyleri ve çatıları kullanılmaktadır. Türkiye'nin de yer aldığı kuzey yarımkürede, güneş paneli yerleştirmenin en genel kuralı, panellerin güney yönüne bakacak şekilde yerleştirilmesidir. Çünkü güneş panelleri gün boyunca doğrudan ışık alabilir. Ancak yeterli yüzey olmadığı takdirde doğu ve batı cepheleri de kullanılabilir. Bina cephelerine yerleştirilen PV panellerin maksimum oranda elektrik enerjisi üretimi için gelen güneş enerjisini dik doğrultuda alacak şekilde panellerin optimum eğimle yerleştirilmeleri gerekir.

PV panellerin performansı üzerinde etkili olan parametrelerin başında tercih edilen PV teknolojileri gelmektedir. Günümüzde ticari olarak pazarda en fazla bulunan ve satışı yapılan paneller kristalin teknolojiyle üretilen panellerdir. Bunun dışında ince film teknolojisiyle üretilen PV paneller de ticari olarak pazarda bulunmaktadır. Mono ve poli kristalin paneller %20 panel verimine ulaşmaktadır[1]. İnce film teknolojisine sahip PV panellerin verimi daha düşük kalmaktadır. Bunun dışında PV panel performansı üzerinde etkili olan diğer önemli parametre, bölgenin meteorolojik özellikleridir. Bir bölgenin güneş enerji potansiyeli bölgenin güneşlenme süresi ve güneş radyasyon değerine bağlıdır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2482 saat olup [2] yıllık ortalama güneş radyasyon değeri 1583,5 kWh/m²'dir [3]. Bu değer güneye doğru gidildikçe dikkate değer oranda artmaktadır. Bunun dışında dış ortam hava sıcaklığı ve rüzgar hızı panel performansını etkileyen yerel iklim özellikleridir. PV paneller üzerine gelen güneş enerjisinin çok az bir kısmını (max.%20'si kadar) elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Geri kalan kısmı ısı olarak açığa çıkmaktadır. Bundan kaynaklı olarak PV panellerde elektrik enerjisi üretimi esnasında panel yüzey sıcaklığı sürekli olarak artmaktadır. Bu da panel performansını olumsuz olarak etkileyen önemli bir etkidir.

Literatürde, farklı iklim bölgelerinde bina yüzeyine/çatısına monte edilmiş (veya monte edilmesi planlanan) PV panellerin performanslarını tespit etmeyi amaçlayan çalışmalar mevcuttur.

[4]'de İspanya, Endülüs için gerçekleştirilen çalışmada uydu fotoğrafları ve istatistiksel veriler kullanılarak öncelikle bina özellikleri tanımlanmış ve ardından PV panellerin kurulabileceği kullanışlı çatı yüzey alanları hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, uygun olan konut çatılarının tamamına PV paneller kurulması durumunda, binanın tüm enerji ihtiyacının %78.89'unun karşılanabileceği bulunmuştur.

[5]'de bir yurt binasının çatısına kurulacak PV sisteminin uygunluğu ve sistem performansı bir simülasyon yazılımı ile değerlendirilmiştir. Çatıya monte edilmesi hedeflenen sistem için ayrıca kristalin silikon (c-Si), amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indium diselenid (CIS) olmak üzere dört farklı PV teknolojisinin performans oranları karşılaştırılmıştır. En yüksek performans oranı (PR)(Enerji çıktısının standart test koşullarında elde edilen miktara oranı) (a-Si) için %79.50 bulunurken CdTe için bu oran %77 bulunmuştur. c-Si ve CIS için ise performans oranları %75'in altında çıkmıştır. [6]'de ise Singapur'un ilk sıfır enerjili binasının çatısına kurulmuş 142.50 kWp kapasiteli entegre PV panel (BIPV) sisteminin 18 aylık ilk performans değerlendirmesi sunulmuştur. Test şartları altında modül verimi %13.70 verilen polikristalin PV sisteminin verimi %11.20 bulunmuştur.

[7]'de batı Avustralya iklim koşullarında kristalin silikon (c-Si), polikristalin silikon (p-Si), amorf silikon (a-Si) ve bakır indiyum diselenid (CIS) gibi PV modüllerin performansları bir yıldan uzun bir süre için ölçülmüştür. Aynı çalışma koşulları altında enerji üretimleri karşılaştırılmıştır. Diğer kristalin teknolojilerine göre ince film modüllerinin performans oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.

[8]'de sıcak ve nemli Malezya ikliminde polikristalin, monokristal ve amorf silikon PV panellerin verimlerinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

Paneller performanslarını artırmak amacıyla tek eksenli zaman/tarih güneş izleyicisine monte edilmiştir. Polikristalin panellerin performans oranının ve ortalama modül veriminin diğer test edilen PV panellere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Farklı PV teknolojilerinin Hindistan iklim koşullarına uygunluğunun araştırıldığı çalışma [9]'da ise polikristalin (p-Si), heteroeklem (HIT) ve amorf silikon (a-Si) PV teknolojileri, hem simülasyon yazılımı kullanılarak hem de performans ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. HIT ve a-Si teknolojilerinin p-Si teknolojisine göre bu bölge için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. a-Si modülleri p-Si modüllerine göre yaz aylarında %14 daha verimli kış aylarında ise %6 daha az verimli bulunmuştur. HIT modüllerinin ise p-Si modüllerine göre %4-12 daha fazla enerji ürettiği bulunmuştur. Hindistan iklim koşullarında PV teknolojilerinin uygunluğunu araştıran diğer bir çalışma [10]'da ise polikristalin ve CdTe modül teknolojilerinin MPPT (Maximum Power Point Tracker) ve PWM (Pulse Width Modulation) regülatör teknikleri kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Ayrıca polikristalin silikon tipi PV modülleri değişik eğim açılarında incelenmiştir. MPPT şarj regülatörü kullanıldığında CdTe modülü daha iyi bir performans sağlarken PWM şarj regülatörü kullanıldığında ise polikristalin modülü daha iyi sonuç vermiştir. Eğim açısı ve yönlendirme PV modüllerde performansı etkileyen önemli faktörlerdendir. PV modüllerinin optimum eğimi yerel enlem açısına eşittir ve optimum yönü ise güneydir. Çalışma [11]'de de kuzey Şili'nin çöl iklimine sahip Antofagasta bölgesi için on altı ay boyunca PV sistemlerinin performans oranları, güneş ışıınım ve hava sıcaklığı dikkate alınarak incelenmiştir. Araştırmada kullanılan modül teknolojileri amorf/mikrokristal silikon ince film (a-si/ μ c-Si) ve monokristal silikon (mono-Si)'dur. PV panellerin yüzeylerinin temiz olması koşuluyla performans oranlarındaki mevsimsel düşüş, ince film ve mono-Si teknolojileri için sırasıyla %80-78 ve %82-73 olarak gözlemlenmiştir. İklimsel etkilerin incelendiği bir diğer çalışma [12]'da Nijerya'da ticari olarak mevcut polikristalin silikon (p-Si), amorf silikon (a-Si), mono kristalin silikon (mono-Si) ve bakır indium diselenid (CIS) PV modüllerinin

performansı incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Araştırma üç gün boyunca dış hava koşullarında yapılmıştır. Modül verimleri ve performans oranları matematiksel bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Güneş ışıınım ve modül sıcaklıklarının bu parametrelere etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, sabit yöndeki panel için sıcak günlerde c-Si ve p-Si modülleri daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu panellerin ortalama modül verimleri sırasıyla %11.83 ve %9.16 olarak bulunmuştur. Bulutlu günlerde ise CIS ve a-Si modülleri daha iyi performans göstermişlerdir ve ortalama modül verimleri sırasıyla %7.12 ve %3.61 olarak bulunmuştur.

[13]'te Bursa'da yer alan, mono-kristal, polikristal ve ince film üç fotovoltaik teknoloji ile oluşturulan 1 MW şebekeye bağlı fotovoltaik santralin aylık ve yıllık performans analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, mono-kristal, poli-kristal ve ince film (CIS) sistemlerinin, sırasıyla yılda 1416 MWh, 1202 MWh ve 1150 MWh elektrik üreteceği, yıllık ortalama performans oranlarının %85, %72.1 ve %70 olacağı ön görülmüştür. [14]'teki çalışmada ise Süleyman Demirel Üniversitesi fotovoltaik enerjiden yararlanma şansı uygun görülen fakülte bina çatılarına fotovoltaik çatı sistemleri modeli göz önünde bulundurularak araştırılmıştır. Yapılan analiz ve araştırmalarda proje yatırımın öz sermaye ile gerçekleşmesi durumunda yatırımdan yıllık %96 kazanç elde edileceği görülmüştür.

Genel olarak binaya entegre edilen PV sistem uygulamalarında sistem performansını üzerinde etkili olan tüm parametrelerin incelenmesi gerekir. Sunulan bu çalışmada, Şanlıurfa ilinde bulunan üniversite kampüs alanında bulunan eğitim binaları seçilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, seçilen binaların toplam çatı alanı ve azimut açıları belirlenmiştir. Sonraki bölümde, çatı yüzeyine düşen güneş ışıınım değerleri hesaplanarak mono-Si, p-Si ve CdTe PV teknolojileri ile elektrik üretilmesi durumunda mevcut toplam elektrik enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Son bölümde, hava sıcaklığı, rüzgar ve ışıınınım gibi çevresel etkilerin PV teknolojilerinin verimine etkisi incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, 37.70 K ve 38.49 D konumunda bulunan Şanlıurfa Teknik Bilimler MYO'nun eğitim binaları dikkate alınmıştır. Şekil 1'de

Çalışmanın ilk bölümünde uydu fotoğrafı üzerinde çatı yüzeyleri ölçeklendirilerek toplam yüzey alanları ve bu yüzeylerin azimut açıları tespit edilmiştir. PV panellerin eğim açıları

Tablo 1. PV panel özellikleri

Table 1. PV panel features

Teknoloji tipi	Model	Sıcaklık Katsayısı (%/°C)	Panel Boyutları (mm)	Panel Verimi (%)
İnce film CdTe panel	FS Series 3 Black PV Module	-0.25	1200 / 600	12.20
Multikristalin silikon p-Si	YGE 72 Hücre Serisi 2	-0.42	1960 / 990	16.70
Monokristalin silikon Mono-Si	Panda 60 Hücre Serisi 2	-0.38	1640 / 990	18.50

incelenen binalarının yer aldığı uydu fotoğrafı gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi MYO'nun toplam 7 adet bağımsız binası bulunmaktadır. Binaların çatı eğimleri ve güneye yönelmelerinde farklılıklar görülmektedir.



Şekil 1. Teknik Bilimler MYO'nun PV sistem ile elektrik üretimi için kullanılabilir çatı yüzeyleri

Figure 1. Roof surfaces that can be used for electricity generation with PV system of Technical Sciences Vocational School

çatının eğim açısına eşit olarak kabul edilmiştir. Kuzeybatı, kuzeydoğu ve kuzey cepheli çatılar PV montajına uygun olmadığı kabul edilmiştir. Çatı yüzeylerinde kenarlardan en az 30 cm servis için boşluk bırakılmıştır. Bu çalışmada, ticari olarak en fazla kullanılan mono-kristalin silikon, multi-kristalin silikon ve ince film CdTe panel olmak üzere 3 farklı fotovoltaik (PV) panel teknolojisi dikkate alınmıştır. Seçilen bu PV panellerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde Şanlıurfa meteorolojik koşullarında çatıya entegre edilen PV sisteminin performans değerleri tespit edilmiştir. PV panellerin performanslarının elektrik güç çıktısı olarak elde edilmesine yönelik olarak aşağıdaki formül kullanılmıştır [15],

$$P = \eta_{Tref} A I_T [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref}) + \gamma_I \log_{10} I_T] \quad (1)$$

Modül verimi aşağıdaki gibi ifade edilir [16]

$$\eta = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref}) + \gamma_I \log_{10} I_T] \quad (2)$$

η_{Tref} ise 1000 W/m^2 güneş ışınımında ve T_{ref} (25°C) referans sıcaklığındaki modülün elektrik verimidir. β_{ref} sıcaklık katsayısıdır ($^\circ\text{C}^{-1}$) ve γ_I ise güneş ışınım katsayısıdır. I_T ifadesi modül yüzeyine düşen güneş ışınımıdır (W/m^2). Parantez içindeki son değerler genellikle sıfır

olarak kabul edilir [17] ve modül verimi eşitlik 3'e dönüşür,

$$\eta = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref})] \quad (3)$$

T_c modül çalışma sıcaklığıdır. T_c %3'den daha az bir hata oranıyla eşitlik 4 ile hesaplanır [18],

$$T_c = 0.943 T_a + 0.195 I_T - 1.528 U + 0.352 \quad (4)$$

Bu eşitlikte, T_a çevre sıcaklığını, I_T güneş ışınımını ve U rüzgar hızını göstermektedir.

Bu çalışmada, Şanlıurfa'ya ait çevre sıcaklığı (T_a), rüzgar hızı (U) ve yatay yüzeye

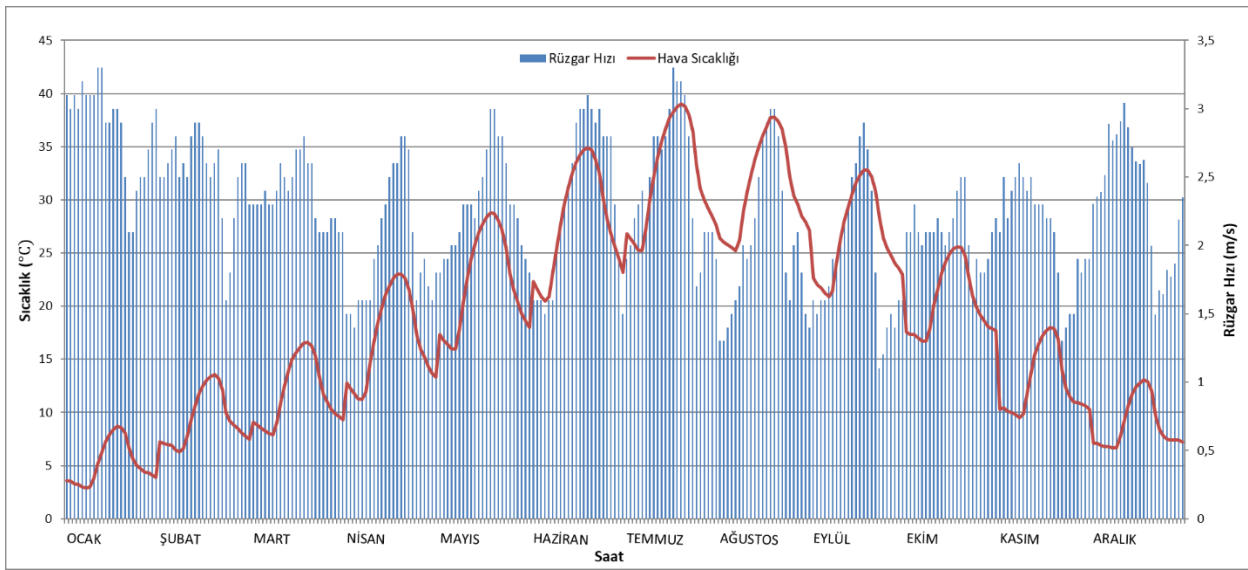
faktör ve toprağın yansımaya katsayısını, β ise yüzeyin eğim açısını göstermektedir.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (5)$$

PV sistemde üretilen elektriği enerjisi (E) eşitlik 6 ile belirlenmiştir.

$$E = A \eta I_T Pr \quad (6)$$

Burada, A fotovoltaik panellerin toplam yüzey alanını, Pr ise kayıpları ifade eden performans oranını göstermektedir. Bu çalışmada 0.85 olarak kabul edilmiştir [20].



Şekil 2. Hava sıcaklığı ve rüzgar hızının aylık ortalama günlük değişimi

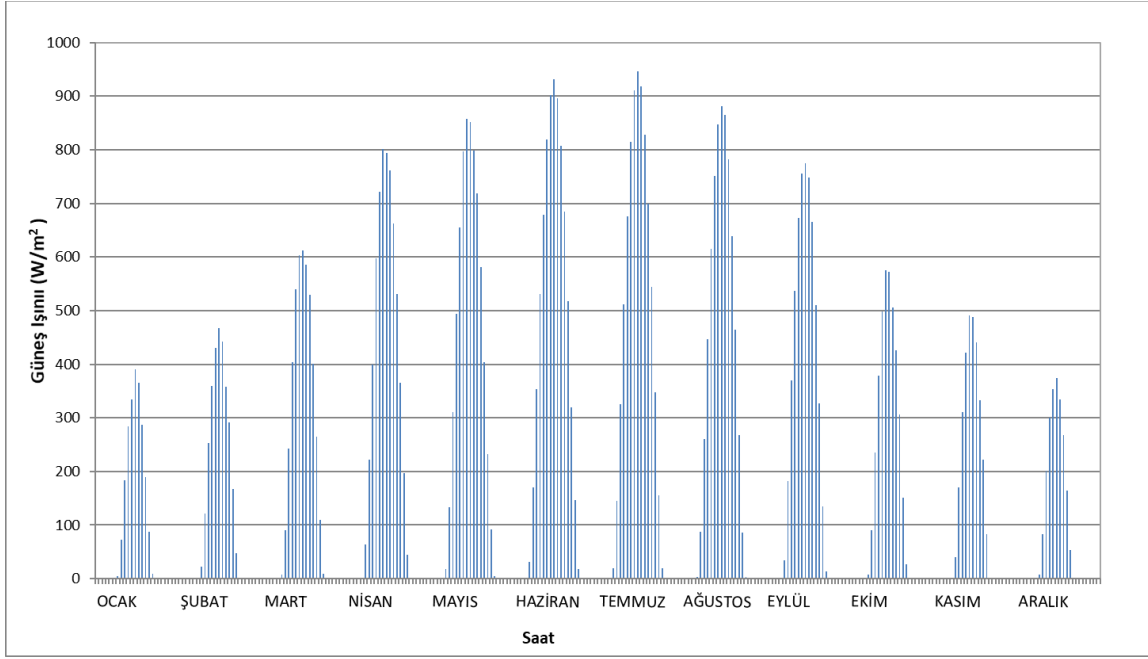
Figure 2. Monthly average daily change of air temperature and wind speed

düşen ışıınım (I) değerleri 2014-2016 arası yılları kapsayan meteorolojik veriler kullanılmıştır. Onar dakikalık aralarla ölçülmüş verilerin ait olduğu saatteki ortalaması alınmış ve saat boyunca sabit değerde olduğu kabul edilmiştir.

Bu çalışmada fotovoltaik paneller çatı eğimine eşit olarak yüzeyine yerleştirildiği kabul edilmiştir. Fotovoltaik panel yüzeyine düşen toplam güneş ışıınımı hesaplanmasında [19]'da verilen izotropik difüz model kullanılmıştır. Bu modele göre eğik yüzeye düşen saatlik toplam güneş ışıınımı eşitlik 5 ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikte I_b ve I_d yatay yüzeye düşen ışıınımın direkt ve difüz elemanını göstermektedir. Eşitlikte verilen R_b ve ρ_g sırasıyla geometrik

Tartışma ve Değerlendirme

2014-2016 arası yılları kapsayan Şanlıurfa'ya ait meteorolojik veriler kullanılarak Şekil 2 ve Şekil 3'deki grafikler elde edilmiştir. Şekil 2'de her bir ay için çevre sıcaklığının ve rüzgar hızının ortalama günlerde [21] saatlik değişimi verilmiştir. Şekil 2'den görüleceği gibi, rüzgar hızı aylara göre yaklaşık olarak 1.5-3 m/s arasında değişirken, dış hava sıcaklığı aylara



Şekil 3. Yatay yüzeye düşen güneş ışınımının aylık ortalama günlük değişimi

Figure 3. Monthly average daily change of solar radiation on horizontal surface

göre yaklaşık olarak 3-39 °C arasında değerlerinin her bir ayın ortalama gününde yerel değişmektedir. Şekil 3’de ise kullanılan ışınlım saate göre değişimi gösterilmiştir.

Tablo 2. Farklı PV teknolojilerinin aylık ortalama modül verimleri ve aylık ortalama panel sıcaklıkları

Table 2. Monthly average module efficiencies and monthly average panel temperatures of different PV Technologies

	Çatı yüzeyine düşen Işınım (kW/m ²)	Rüzgar Hızı (m/s)	Hava Sıcaklığı (°C)	Panel Sıcaklığı (°C)	$\eta_{\text{mono-Si}}$	$\eta_{\text{p-Si}}$	η_{CdTe}
Ocak	74,0	2,9	5,2	6,6	19,8	18,0	13,1
Şubat	91,2	2,5	9,4	11,3	19,5	17,7	12,9
Mart	142,7	2,4	11,8	16,5	19,1	17,3	12,8
Nisan	189,0	2,0	16,9	23,1	18,6	16,8	12,6
Mayıs	214,4	2,3	22,3	31,0	18,1	16,3	12,3
Haziran	232,0	2,3	28,0	35,3	17,8	16,0	12,2
Temmuz	243,1	2,5	32,2	39,2	17,5	15,7	12,1
Ağustos	219,6	2,0	31,2	37,6	17,6	15,8	12,1
Eylül	182,1	1,9	26,5	33,6	17,9	16,1	12,2
Ekim	124,9	2,1	20,5	24,4	18,5	16,7	12,5
Kasım	98,7	2,1	12,8	18,5	19,0	17,2	12,7
Aralık	73,4	2,4	8,9	10,8	19,5	17,7	12,9

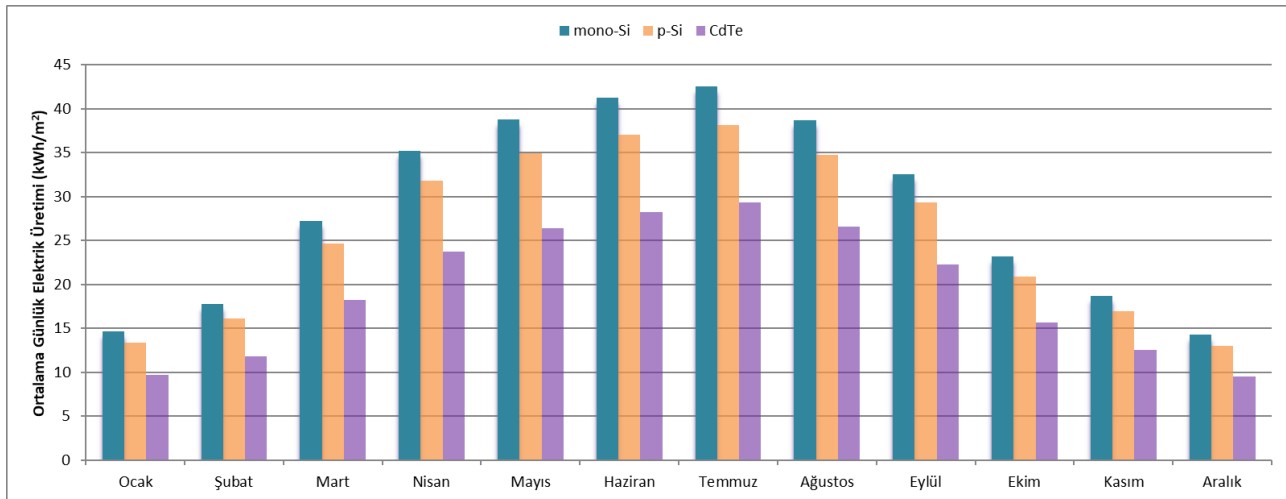
İncelenen binaların uydu görüntülerinden yapılan hesaplama ile toplam çatı alanı 4564 m² olarak bulunmuştur. Bu binaların ortalama çatı eğimi yaklaşık olarak 10°'dir. Mevcut çatıların kullanılabilir çatı yüzeylerinin belirlenmesi için çatıların azimut açıları tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, azimut açıları $\gamma = 52^\circ$ (güneybatı) ile $\gamma = -52^\circ$ (güneydoğu) arasında kalan çatıların yüzeyleri tespit edilmiştir. Buna göre, PV panellerin montajı için kullanılabilir çatı alanı 2020 m² olarak bulunmuştur. Bu sonuç toplam çatı alanının % 44.3'ünü oluşturmaktadır.

Uygun çatı alanlarına PV panel yerleştirilmesi durumunda, 3 farklı PV panel teknolojisi için PV panellerinden elde edilecek elektrik enerjisi miktarı ve panel verimleri eşitlik 1-5 ile hesaplanmıştır. Modül verimleri ve panel sıcaklıkları sırasıyla eşitlik 2 ve 4 yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 2'de hesaplanan ortalama modül verimlerinin ve verime etkisi yüksek bir parametre olan panel sıcaklığının aylık ortalamaları verilmiştir. En verimli modül mono-Si olarak bulunmuştur ve aylık ortalama verimi %18.60 olmakla birlikte en yüksek değeri

39.20 °C'dir. Standart test şartlarındaki 25°C lik çalışma sıcaklığından yaklaşık 14.0 °C daha yüksektir. Tablo 1'de gösterilen üretici firmanın mono-Si PV için verdiği sıcaklık katsayısı -0.38 %/°C'dir. Eşitlik 3 'den hesaplanabileceği gibi 14°C'lik sıcaklık farkı %5.40'lık modül veriminde düşüşe sebep olmuştur. p-Si ve CdTe PV panellerinin aylık maksimum modül verimleri Ocak ayında gözlemlenmekle birlikte sırasıyla %18.0 ve %13.10 'dir. Minimum modül verimleri p-Si için %15.70 ve CdTe için %12.10 olarak Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

Paneller Nisan-Eylül ayları arasında ortalama 26.19°C hava sıcaklığında günlük 6.99 kWh/m² güneş ışıınımı ve Ekim-Mart ayları arasında ise ortalama 11.42°C hava sıcaklığında günlük 3.30 kWh/m² güneş ışıınımı almıştır.

Kış ile yaz mevsimi ortalama panel verimlerinde (%12.98-%12.14) CdTe PV teknolojisi için %6.92'lik bir değişim görülmüştür. mono-Si ve p-Si panellerdeki mevsimsel maksimum değişim ise sırasıyla %10.69 (%19.59-%17.7) ve %11.87 (%17.78-%15.90)'dir.



Şekil 4. Farklı PV teknolojilerine göre aylara göre ortalama günlük elektrik enerjisi üretim değerleri

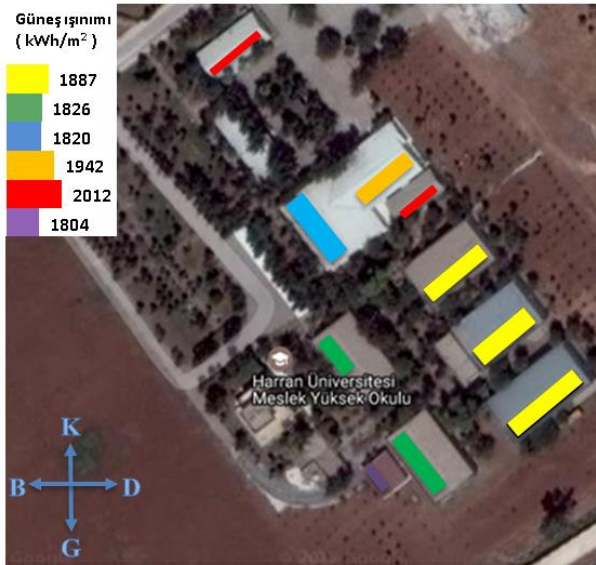
Figure 4. Average daily electricity generation values by months according to different PV technologies.

%19.80 Ocak ayındadır ve modül çalışma sıcaklığı ortalama 6.60 °C'dir. Mono-Si PV panel için en düşük modül verimi %17.50 ile Temmuz ayındadır ve bu ay için ortalama panel sıcaklığı

Şekil 4'de 3 farklı PV teknolojisi için birim alanda elde edilebilecek elektrik enerjisinin aylık miktarları gösterilmiştir. Yıl boyunca birim alanda aylık olarak elde edilebilecek en yüksek elektrik enerjisi Temmuz ayında 42.5 kWh

olarak mono-Si PV panel için bulunmuştur. Temmuz ayı için birim alanda elde edilen elektrik enerjisi p-Si ve CdTe PV paneller için sırasıyla 38.20 kWh ve 29.30 kWh'tir. Yıl boyunca en düşük elektrik üretimi Aralık ayında gerçekleştirilmiştir. Mono-Si PV panelde birim alanda üretim 14.30 kWh'tir. Aralık ayı için p-Si ve CdTe PV panellerdeki üretim ise sırasıyla 13kWh ve 9.50 kWh'tir.

Birim alanda aylık ortalama elektrik enerjisi üretimi ise mono-Si panel için 28.70 kWh, p-Si panel için 25.90 kWh ve CdTe için 19.50 kWh' olarak hesaplanmıştır. Altı aylık ortalamalara göre sıcak aylarda (Nisan-Eylül arası) mono-Si PV panelin birim alanında üretilen elektrik enerjisi (38.20 kWh) soğuk aylarda (Ekim-Mart arası) üretilen elektrik enerjisinden (19.30 kWh) % 98.0 daha fazladır. Mono-Si PV panel teknolojisiyle birim alanda yıllık üretilebilecek elektrik enerjisi yaklaşık 345 kWh'tir. p-Si ve CdTe PV paneller için ise yıllık üretim sırasıyla yaklaşık 311 kWh ve 234 kWh'tir.



Şekil 5. İncelen binaların birim çatı yüzeyi başına yıllık toplam güneş ışınlım değerleri

Figure 5. Annual solar irradiance values per unit roof area of the studied buildings.

İncelenen binaların kullanılabilir çatı yüzeylerinin birim alan başına yıllık güneş ışınlım değerleri eşitlik 5 ile hesaplanarak Şekil 5'de

sunulmuştur. Şekilde görüleceği gibi aynı yön ve eğime sahip binalarda eşit olmakla beraber birim alan başına yıllık güneş ışınlım değerleri 1804 ile 2012 kWh/m² arasında bulunmuştur.

Buna bağlı olarak tüm çatıya entegre PV sistemden elde edilecek toplam elektrik miktarı eşitlik 6 ile hesaplanmıştır. Buna göre, MYO binalarında kullanılabilir çatı alanları dikkate alındığında yıl boyunca maksimum üretilecek elektrik enerjisi mono-Si panellerle mümkün olmuştur ve yaklaşık 0.70 GWh'tır. p-Si ve CdTe panellerle yıllık üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı sırasıyla yaklaşık 0.64 GWh ve 0.48 GWh olarak bulunmuştur.

Sonuçlar

Şanlıurfa meteorolojik koşullarında kamu binaları çatılarının güneş enerji potansiyelinin belirlenmesi için sıklıkla kullanılan 3 farklı (mono-Si, p-Si ve CdTe) PV teknolojilerinin verimleri hava sıcaklığı, güneş ışınlımı ve rüzgar hızı gibi iklim parametrelerine bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Karşılaştırılan PV teknolojileri için ortalama birim alanda yıl boyunca üretilebilecek maksimum elektrik enerjisi mono-Si teknolojisiyle mümkündür ve yaklaşık 345 kWh'tir. p-Si ve CdTe PV paneller ile yıllık üretim sırasıyla yaklaşık 311 kWh/m² ve 234 kWh/m²'dir.
- 2016 yılı için Teknik Bilimler MYO'nun yıllık enerji tüketimi yaklaşık 0.120 GWh'tır. Teknik Bilimler MYO'nun 2020 m²'lik kullanılabilir çatı yüzeyine mono-Si panellerden oluşan bir PV sistemi (Pr=0.85) monte edilmiş olması durumunda yıllık elektrik enerji üretim kapasitesi 0.595 GWh'tır. Bu sonuç okulun yıllık enerji ihtiyacının yaklaşık 5 katını PV sistemle elde edilecek enerjiden karşılanabileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Green, M. A. et al. (2019). Solar cell efficiency tables (Version 53). *Prog Photovolt Res Appl.*, 27: 3– 12.
- [2] <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Gunluk->

- Guneslenme-Suresi.pdf
- [3] <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Yillik-G%C3%BCnes-Radyasyonu.pdf>
- [4] Ordóñez J., Jadraque E., Alegre J., ve Martínez G., (2010). Analysis of the Photovoltaic Solar Energy Capacity of Residential Rooftops in Andalusia (Spain), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp.2122–30
- [5] Shukla A. K., Sudhakar K., Baredar P., (2016). Simulation and performance analysis of 110 kWp grid-connected photovoltaic system for residential building in India: A comparative analysis of various PV technology, *Energy Reports*, vol.2, pp.82–88
- [6] Wittkopf S., Valliappan S., Liu L., Ang K. S., Cheng S. C. J., (2012). Analytical performance monitoring of a 142.5 kWp grid connected rooftop BIPV system in Singapore, *Renew. Energy*, vol.47, pp.9–20.
- [7] Carr A., Pryor T., (2004). A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates, *J Solar Energy*, 285: 76.
- [8] Ghazali M. A. and Abdul Rahman A.M., (2012). The Performance of Three Different Solar Panels for Solar Electricity Applying Solar Tracking Device under the Malaysian Climate Condition, *Energy and Environment Research*, 2:1
- [9] Sharma V., Kumar A., Sastry O.S., Chandel S.S., (2013). Performance assessment of different solar photovoltaic technologies under similar outdoor conditions, *Energy*, vol. 58, pp.511-518
- [10] Baharwani V., Meena N., Sharma A., Stephen R. B., Mohanty P., (2015). Comparative Performance Assessment of different Solar PV Module Technologies, *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, vol. 5 Issue 1
- [11] Ferrada P., Araya F., Marzo A., Fuentealba E., (2015). Performance analysis of photovoltaic systems of two different technologies in a coastal desert climate zone of Chile, *Solar Energy*, vol. 114, pp. 356–363
- [12] Chukwu G. U., Chigbo N. I., Onyenonachi F. C., Udoinyang I. E., (2016) Comparative Study of Photovoltaic Modules and Their Performance in the Tropics: A Case Study in Nigeria, *International Journal of Innovative Environmental Studies Research*, 4(4):21-28,
- [13] Özcan, Ö , İzgi, E . (2020). Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi . *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 23 (3) , 127-140 .
- [14] Üçgül, İ., Tüysüzöğlü, E., Yakut, M. Z. (2014) PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 1-6
- [15] Cristofari C., Poggi P., Notton G., Muselli M. Thermal modeling of a photovoltaic module. In: Proceedings of Sixth IASTED International Conference on “Modeling, Simulation, and Optimization”, 2006. “September 11–13, Gaborone, Botswana, pp. 273–278.
- [16] Skoplaki E. and Palyvos J. A., (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/ power correlations, *Solar Energy*, vol. 83, pp. 614-624
- [17] Evans D.L., 1981. “Simplified method for predicting photovoltaic array output”, *Solar Energy*, vol. 27, pp.555–560.
- [18] Muzathik A. M., (2014). Photovoltaic modules operating temperature estimation using a simple correlation, *International Journal of Energy Engineering*, vol. 4, Iss.4, pp. 151-158
- [19] Duffie J.A., Beckman W.A., (1991). *Solar Engineering Thermal Process*. Wiley-Interscience, New York.
- [20] Vasisht M. S., Srinivasan J., Ramasesha S.K., (2016). Performance of solar photovoltaic installations: Effect of seasonal variations, *Solar Energy* 131: 39-46
- [21] Klein, S. A., (1977). Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces, *Solar Energy*, 19, 325