



**Araştırma Makalesi**

**Fotovoltaik Piller Kullanılarak Güneş Işınım Şiddetinin Beş Farklı Doğrultuda Ölçülmesi**

Muhittin ŞAHAN<sup>\*1</sup>, Ramazan KAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 80000, Osmaniye, Türkiye

\*yazışılan yazar e-posta: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

(Alınış / Received: 14.01.2022, Kabul / Accepted: 04.04.2022, Yayımlanma / Published: 27.05.2022)

**Öz:** Bu çalışmada, farklı yönlerden gelen güneş radyasyonunu ölçmek için bir tane yatay (“ÜST”) ve dört tane farklı dikey (“DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY”) yüzeye yerleştirilmiş bir fotovoltaik sistem kurulmuştur. Volt biriminde dakikalık olarak ölçülen tüm veriler bir yıl boyunca (Nisan 2020 - Mart 2021) toplanmıştır. Fotovoltaik veriler eş zamanlı olarak 8-48 Model B&W piranometre ile ölçülen veriler kullanılarak W/m<sup>2</sup> biriminde kalibre edilmiştir. R<sup>2</sup> ve RMSE istatistiksel yöntemleri kullanılarak “ÜST” FV pilden ve piranometreden alınan güneş enerjisi verileri karşılaştırılmış ve R<sup>2</sup> = % 95 ve RMSE = 40.10 W/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. ÜST, “DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY” yönlerinde aylık olarak yıllık toplam (ortalama) güneş enerjileri sırasıyla 4210.98 W/m<sup>2</sup> (ortalama 350.92 W/m<sup>2</sup>), 1345.79 W/m<sup>2</sup> (ortalama 192.26 W/m<sup>2</sup>), 2780.92W/m<sup>2</sup> (ortalama 231.74 W/m<sup>2</sup>), 3577.94 W/m<sup>2</sup> (ortalama 298.16 W/m<sup>2</sup>) ve 1200.93 W/m<sup>2</sup> (ortalama 100.08 W/m<sup>2</sup>) olarak ölçülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Piranometreler, Güneş radyasyonu, Güneş pili, Yayılı güneş radyasyonu, Direkt güneş radyasyonu

**Measurements of Solar Radiation Intensity in Five Different Orientations Using Photovoltaics**

**Abstract:** In this study, a photovoltaic system located in on one horizontal (“UPPER”) and four different vertical surfaces (“EAST”, “WEST”, “SOUTH”, and “NORTH”) surfaces has been established to measure the solar radiation coming from different directions. All data measured in unit of volt were collected minutely during one year (April 2020 to March 2021). Photovoltaic data were calibrated in unit of W/m<sup>2</sup> with using the data measured simultaneously from 8-48 Model B&W Pyranometer. Using the R<sup>2</sup> and RMSE statistical methods, the solar energy data from the “UPPER” photovoltaic and the pyranometer were compared with each other and it was found that R<sup>2</sup>=95 % and RMSE=40.10 W/m<sup>2</sup>. The monthly annual total (mean) solar radiation components in the “UPPER”, “EAST”, “WEST”, “SOUTH”, and “NORTH” orientations were measured to be 4210.98 W/m<sup>2</sup> (mean 350.92 W/m<sup>2</sup>), 1345.79 W/m<sup>2</sup> (mean 192.26 W/m<sup>2</sup>), 2780.92 W/m<sup>2</sup> (mean 231.74 W/m<sup>2</sup>), 3577.94 W/m<sup>2</sup> (mean 298.16W/m<sup>2</sup>) ve 1200.93W/m<sup>2</sup> (mean 100.08W/m<sup>2</sup>), respectively.

**Key words:** Pyranometers, Solar radiation, Photovoltaic, Diffuse solar radiation, Direct solar radiation

## 1. Giriş

Güneşin yapısı ve özellikleri onun uzaya yaydığı enerjinin doğasını belirler. Dünyadan yaklaşık olarak  $1.5 \times 10^8$  km uzaklıkta,  $1.39 \times 10^6$  km çapında (Dünyanın  $10^9$  katı) ve  $1.99 \times 10^{30}$  kg kütleyle sahip olan güneş, küre şeklinde yoğun bir gaz bulutudur. Güneşin merkezindeki çekirdeğin sıcaklığı  $15 \times 10^6$  K iken yüzeyindeki ektin kara cisim sıcaklığı yaklaşık  $5777$  °C’de olup sarı renkte bir yıldızdır [1]. Güneş enerjisi, güneş merkezinde meydana gelen nükleer reaksiyonlar sonucu güneşin yüzeyine ulaşan ve daha sonra elektromanyetik radyasyon şeklinde uzaya yayılarak yeryüzüne ulaşır. Güneşin birim yüzeyinden yayılan enerji  $6.29 \times 10^7$  W/m<sup>2</sup> iken tüm yüzeyinden yayılan enerji yaklaşık  $3.83 \times 10^{26}$  W kadardır. Güneşten uzaya yayılan enerji, dünyanın üst atmosferine geldiğinde yaklaşık  $1367$  W/m<sup>2</sup> (güneş sabiti) değerine kadar azalır ve atmosferden geçerken soğrulma ve saçılmalarından dolayı bu enerjinin sadece  $0-1100$  W/m<sup>2</sup> arasında değişen miktarı yeryüzüne ulaşır [1-3]. Yeryüzüne ulaşan bu enerji tüm canlılar için ısı ve ışık kaynağıdır.

Son birkaç on yılda, teknolojinin gelişmesine bağlı olarak pek çok alanda enerji tüketimi hızla artmıştır. Buna paralel olarak da sanayileşmeyle birlikte çevre ile ilgili endişeler de artmıştır. Artan enerji taleplerini karşılamak ve bunun yanında çevreye olan olumsuz etkilerini de azaltmak ancak yenilenebilir enerji kaynaklarıyla mümkün olduğu görülmektedir. Rüzgar, biyokütle, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için yaygın olarak kullanılan alternatif enerji kaynaklarıdır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla temiz ve güvenilir enerji kaynağı olan güneş enerjisine yönelim de artmıştır [4]. Yenilenebilir enerji sistemleri, dünyanın ekolojisi, ekonomisi ve siyasi meseleleri üzerinde önemli bir avantaja sahiptir [5, 6]. Geleneksel enerji kaynaklarından daha çevre dostu olan güneş enerjisi, şu anda dünyada artan elektrik enerjisi taleplerini karşılamaya katkıda bulunmak için kullanılan en umut verici yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak düşünülmektedir. Dünya’ya gelen güneş enerjisi, Dünya’da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır. Buna rağmen, bir yıl boyunca yeryüzüne gelen güneş enerjisi, dünyada tüketilen enerji miktarının milyarlarca katıdır [7]. Yeryüzüne gelen güneş enerjisinin temiz ve güvenilir olması ve aynı zamanda ülkelerin ekonomik olarak kalkınmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisi, sera gazı emisyonlarını azaltma, küresel ısınmayı en aza indirme ve enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir [8, 9].

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş kuşağı adı verilen ve oldukça fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip olan bir coğrafyada yer almaktadır (Şekil 1). Şekil 1’de verilen Türkiye haritasından da görüleceği gibi güneş ışınım değerlerine göre Türkiye dört kuşağa ayrılmıştır. Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri birinci kuşakta olup güneş enerjisi bakımından en yüksek değere sahipken, Karadeniz bölgesi dördüncü kuşakta olup en düşük enerji almaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, Türkiye’nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi yaklaşık olarak 2640 saat (günlük toplam 7.5 saat), yıllık olarak ortalama güneş enerjisi ise yaklaşık  $1311$  KWh/m<sup>2</sup>/yıl (günlük toplam  $3.6$  KWh/m<sup>2</sup>) olarak verilmiştir. Yıllık olarak ortalama güneş enerjisi potansiyeli ise yaklaşık 380 milyar KWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Şekil 1’de görüldüğü gibi Türkiye’nin güney bölgesinde bulunan Osmaniye ili güneş enerjisi bakımından oldukça zengin olan birinci kuşakta yer almaktadır. Bu nedenle, bu bölgede güneş enerjisinin yıllık olarak takip edilmesi, bu enerjiden ekonomik olarak yararlanılması oldukça önemlidir. Bu amaçla, Osmaniye Korkut Ata üniversitesi merkez yerleşkesinde (Enlem:  $37^{\circ}.04227$ , Boylam:  $36^{\circ}.22134$ ) bulunan 8-48 Model Black and White (B&W) piranometre ölçüm cihazı kullanılarak 2014 tarihinden beri toplam güneş radyasyon verileri sürekli olarak ölçülmekte ve günlük, aylık ve yıllık değişimleri

incelenmektedir. Piranometreler, yatay yüzeye gelen toplam (küresel: global) radyasyon şiddetini ölçen cihazlardır [10-13]. Ayrıca, Çukurova Üniversitesi'nde 8-48 Model B&W piranometre kullanılarak 1978 yılından beri güneş enerjisi sürekli olarak ölçülmektedir [7, 11, 14].

Güneş enerjisinin ölçülmesi ve tahmin edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Güneş enerjisini ölçen sistemlerin olmadığı bölgelerdeki toplam güneş enerjisini tahmin etmek için bazı meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağı (YSA) modeli gibi veya Angström tipi yarı ampirik eşitlikler kullanılmaktadır [15-20].



Şekil 1. Türkiye Güneş Kuşağı Atlası

Güneş enerjisi teknolojilerinden biri de fotovoltaik hücreler ile yapılan fotovoltaik (FV) güneş pili sistemlerdir. Son yıllarda, pek çok ülkede gelişen teknolojiye bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, fotovoltaik güneş enerjisi üretimine yatırımlar artmaya başlamıştır. Bazen güneş pilleri olarak da adlandırılan fotovoltaik sistemler, biri pozitif yük ve diğeri negatif yük olmak üzere en az iki kat yarı iletken (Si, GaAs, CdTe gibi) malzemelerden oluşmaktadır. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan güneş hücreleri, üzerlerine düşen güneş ışığını atomik düzeyde fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilirler [5, 8, 9]. Fotoelektrik olay güneşten gelen güneş ışığı bir yarı iletken madde üzerine düşürüldüğünde, ışınım enerjisi madde atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları hareket ettirir ve iletken üzerinde bir elektrik akımına neden olur. Oluşan elektrik akımı atomların bu gevşek elektronlarının hareketleri sayesinde ortaya çıkarlar. Elektronlar taşıdıkları enerjilerini karşılaştıkları engeller (direnc veya yük) üzerinde bırakarak iş yapmış dolayısıyla enerji üretmiş olurlar. FV hücreleri, bir voltaj kaynağından çok bir akım kaynağı gibi davranır [5]. Karakteristik özelliklerinden dolayı her bir güneş pilinin maksimum güç noktası bulunmaktadır. Bu maksimum güç noktası güneşlenme, sıcaklık, kısmi gölgelenme, gölgelenme ve pilin açısına göre de değişebilmektedir. FV sistemler ilk olarak 1950'lerin sonlarında uydulara enerji sağlamak için kullanılmıştır. Dünya çapında ortaya çıkan enerji krizlerinden dolayı ve doğaya zarar vermeyen temiz bir enerji kaynağı olmalarından dolayı, 1970'li yıllardan itibaren FV sistemlerin pek çok alanda kullanımları hızla artmaya başlamıştır. Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan FV cihazlar, evlerdeki suyun ısıtılması ve evlerdeki elektrik ihtiyacının karşılanması gibi enerji maliyetlerini azaltan pek çok amaç için kullanılmaktadır [8, 9, 21-23].

Literatürde, farklı düzey yönlerdeki güneş ışınımını izlemek için her doğrultuda piranometreler kullanılarak pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, her

doğrultudaki toplam (global) ışımanın yanı sıra kuzeye ve güneye bakan yönler için yayılı ve yansıyan güneş enerjilerinin bileşenleri ölçülmüş ve eş zamanlı olarak farklı doğrultularda ölçtükleri güneş enerjisi miktarlarının karşılaştırmaları yapılmıştır [24,25]. Benzer şekilde, Nguyen ve Lauwaer [26] farklı spektrumlarda güneş pilinin günlük, aylık ve yıllık enerji verimini hesaplamak amacıyla dört farklı azimut açısında çalışan bir panele bağlı silisyum tabanlı bir FV model tasarlamışlar ve güneş enerjisi ölçümlerini yapmışlardır. Sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla yerinde ölçülen yatay yüzeye gelen toplam ışıma ve güneşlenme süresini içeren meteorolojik veriler kullanılmışlardır.

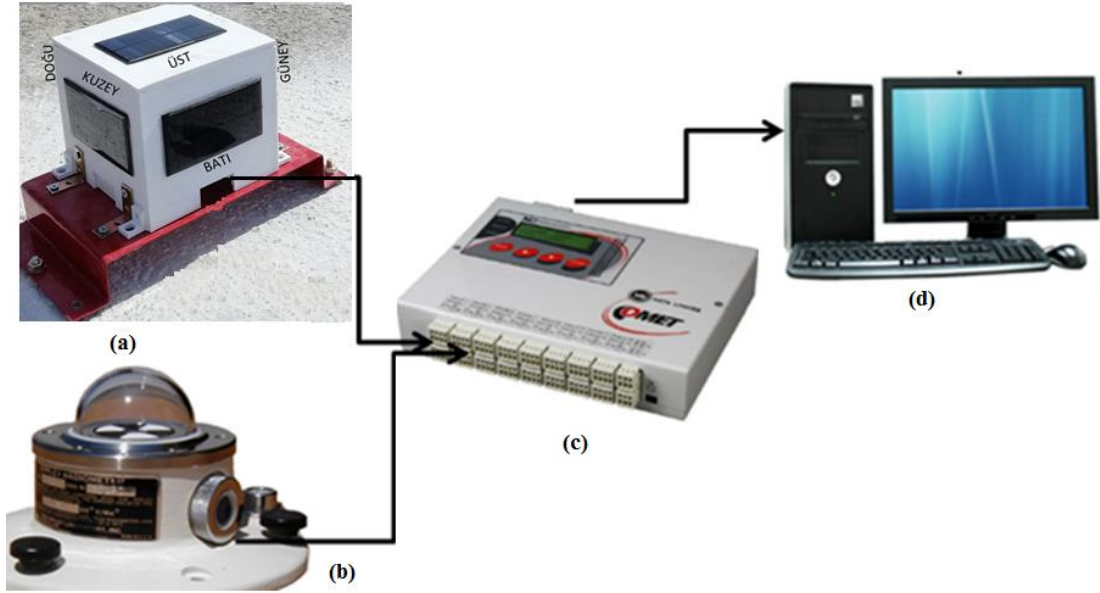
## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, güneşten gelen toplam, direkt, yayılı ve yansımış ışıma şiddetlerini beş farklı yönde (Üst, Doğu, Batı, Güney ve Kuzey) dakikalık olarak ölçmek amaçlanmıştır. Ancak, mevcutta her doğrultuda ölçüm yapacak yeterli piranometre olmadığından, farklı yönlerdeki güneş enerjisini ölçmek için bir FV güneş pil sistemi tasarlanmıştır. FV güneş pillerinin her biri  $60 \times 110 \text{ mm}^2$  boyutunda,  $1 \text{ Wp}$  (maksimum güç),  $6 \text{ Voc}$  (açık devre voltajı),  $200 \text{ mA Isc}$  (kısa devre akımı: short circuit current) parametre özelliklerine sahiptir (Şekil 2). Şekil 2a'da gösterildiği gibi üç boyutlu yazıcı ile  $150 \times 150 \text{ mm}^2$  boyutunda küp şeklinde bir FV güneş pil sistemi yapılmış ve her yüzeyine bir FV pil yerleştirilerek Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi binasının çatı katına (Enlem:  $37^\circ.04227$ , Boylam:  $36^\circ.22134$ ) yerleştirilmiştir.

Fotovoltaik hücreler ile kurulan sistemlerinde güneş pillerinin çıkışlarında bulunan pozitif (+) ve negatif (-) uçları arasına yük olarak (güneş pillerinin parametrelerine göre değişir)  $1 \Omega$ ,  $2 \Omega$ 'luk veya daha yüksek değerlerde bir direnç bağlanırsa mevcut direnç üzerinde bir potansiyel düşmesi meydana gelir. Potansiyel düşmesi volt cinsinden bir yerde depolanabilir. Bu çalışmada, tasarlanan her bir FV güneş pilinin çıkış uçlarına  $1 \Omega$ 'luk dirençler bağlanmış ve yükün üzerinde oluşan potansiyel farkı "volt" biriminde ölçülerek gerekli test çalışmaları yapılarak 2020 tarihinden itibaren veri alımına başlanmıştır. 1 yıl boyunca (Nisan 2020- Mart 2021 tarihleri arasında) 16 kanallı MS6D Data Logger'a (Şekil 2c) dakikalık olarak kaydedilmiş ve daha sonra kişisel bilgisayara (Şekil 2d) aktarılmıştır.

FV güneş pillerinden volt biriminde alınan verilerin  $\text{W/m}^2$  cinsinden kalibrasyonlarının yapılması için eş zamanlı olarak aynı yerde toplam güneş enerjisi ölçümlerini yaptığımız 8-48 Model B&W piranometresi kullanılmıştır (Şekil 2b). Piranometre direkt başucu doğrultusundan gelen toplam ışımasını "milivolt" cinsinden ölçtüğünden ilk önce piranometreden alınan global (toplam) güneş ışıma değerlerini Eppley Laboratuvarı tarafından yapılmış olan  $114.41 \text{ W/m}^2$  kalibrasyon değeri ile çarparak  $\text{W/m}^2$  birimine dönüştürülmüştür.

Daha sonra, beş farklı doğrultuda (Şekil 2a) FV güneş pillerini kalibrasyonu yapılmıştır. Bunun için başlangıçta küpün en üst yüzeyine yerleştirilen ve başucu (zenit) doğrultusuna bakan ("ÜST", piranometre ile aynı doğrultuda) FV güneş pili kullanılmıştır. Aynı doğrultuda ve eş zamanlı olarak ölçüm yapan "ÜST" FV güneş pili ve piranometre ile farklı hava koşullarına sahip değişik günlerde dakikalık olarak alınan veriler karşılaştırılmış ve yapılan karşılaştırma sonucunda, "ÜST" FV güneş pil ile alınan veriler  $\text{W/m}^2$  birimine dönüştürülmüştür.

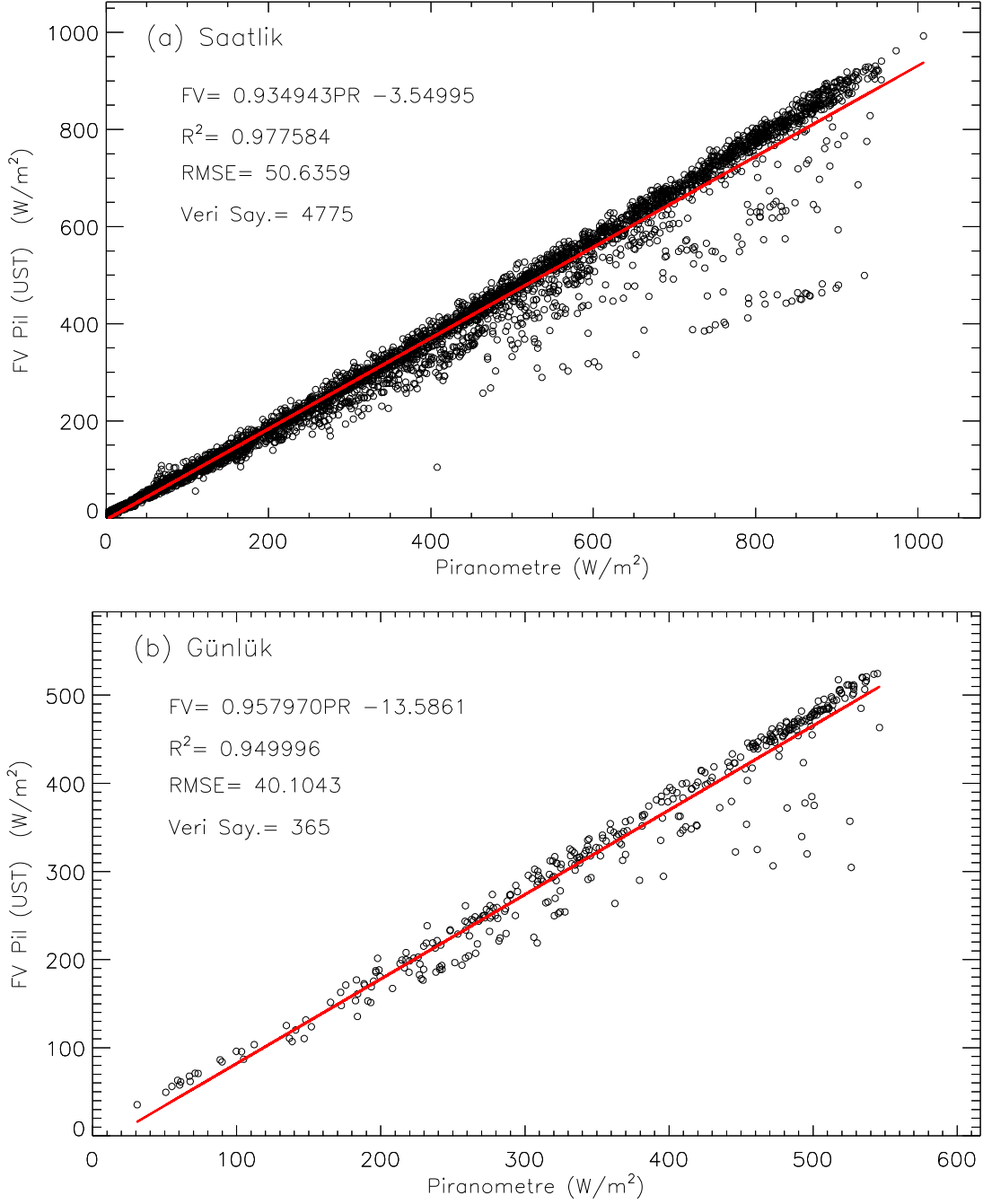


**Şekil 2.** a) Küp şeklinde tasarlanan FV pil sistemi, b) Kalibrasyon için kullanılan Eppley 8-48 B&W Piranometre [10], c) 16 kanallı MS6D Data Logger, d) Verilen depolandığı kişisel bilgisayar.

Literatürde, belirli yöntemler kullanılarak ölçülen güneş enerjisi verilerinin doğruluğunu test etmek amacıyla değişik test yöntemleri kullanılmaktadır. 8-48 B&W piranometresinden ölçülen ve “ÜST” FV güneş pilinden ölçülen toplam ışınlamalar arasındaki ilişkiye bakmak amacıyla,  $R^2$  (Korelasyon Katsayısı) ve RMSE (Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü) istatistiksel hata yöntemi kullanılmıştır [13, 20, 27].

Piranometre ve “ÜST” FV güneş pili ile ölçülen toplam ışınlamalar arasındaki ilişkiyi görmek amacıyla (Şekil 2a, Şekil 2b) bir yıl süreyle (Nisan 2020-Mart 2021) ölçülen veriler kullanılarak hem saatlik (Şekil 3a) hem de günlük (Şekil 3b) değişimleri incelenmiş ve aralarındaki korelasyon ilişkisine bakılmıştır. Şekil 3’de yatay eksenler “ÜST” FV güneş pil verilerini ve dikey eksenler ise piranometre verilerini göstermektedir. Şekil 3a’da toplam 4775 adet saatlik veri kullanılmıştır. Grafiklerin sol üst köşelerinde, piranometre ve “ÜST” FV güneş pilinden ölçülen toplam ışınlamalar arasındaki ilişkiye gösteren ( $FV=aPR+b$ ) denklemi,  $R^2$  ve RMSE istatistiksel hata değerleri ve veri sayıları verilmiştir. Buna göre, regresyon analizi sonucunda, saatlik olarak piranometreden ve “ÜST” FV güneş pilinden ölçülen güneş enerjisi arasındaki istatistiksel değerlere bakıldığında ( $R^2 = \% 97.75$  ve  $RMSE = 50.64 \text{ W/m}^2$ ) iki değer uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 3b’de verilen grafikte toplam 365 adet günlük veri kullanılmıştır. Günlük olarak ölçülen güneş enerjisi değerleri arasındaki ilişkiye bakıldığında ise istatistiksel hata değerleri  $R^2 = \% 95$  ve  $RMSE = 40.10 \text{ W/m}^2$  olduğu ve iki değer uyumlu olduğu görülmektedir.

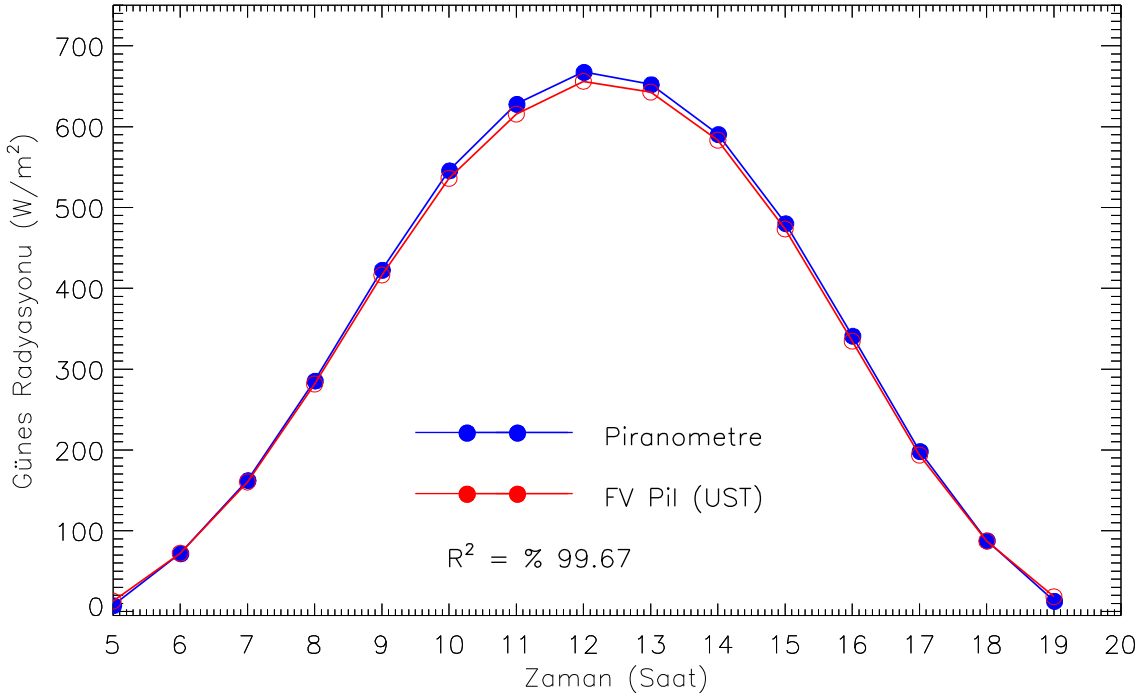
Sonuç olarak, piranometre ile “ÜST” FV güneş pilinden (Şekil 2a) ölçülen saatlik (Şekil 3a) ve günlük (Şekil 3b) sonuçlara göre “ÜST” yüzeyindeki FV pilden elde edilen güneş enerjisi değerlerinin  $\text{W/m}^2$  cinsinden kalibrasyonunun oldukça iyi olduğuna karar verilmiştir. Böylece, “ÜST” FV güneş pili için yapılan kalibrasyon çarpanı kullanılarak aynı özelliklere sahip olan diğer “Doğu”, “Batı”, “Güney” ve “Kuzey” yüzeylerindeki verilerinin her birinin de kalibrasyonları yapılmıştır.



**Şekil 3.** Piranometre ile FV pil sisteminin “ÜST” yüzeyindeki pilden ölçülen toplam ışının a) saatlik b) günlük değerleri arasındaki korelasyon ilişkisi

Kalibrasyon sonucu piranometre ve “ÜST” FV pil yüzeyinden ölçülen toplam ışınım verileri saatlik olarak ayrı ayrı  $W/m^2$  biriminde bir yıl boyunca aylara göre elde edilmiş ve saatlik değişimler Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi, piranometre ile ölçülen saatlik değerler içi dolu çember ve mavi renkle temsil edilirken, “ÜST” FV pil ile ölçülen saatlik değerler ise içi boş ve kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Piranometre ve “ÜST” FV pil ile ölçülen yıllık olarak saatlik verilerden görüldüğü gibi arasındaki ilişkiyi görmek için grafik üzerinde  $R^2$  değerleri de verilmiştir. Buna göre  $R^2$  değeri yaklaşık olarak 0.9967 (% 99.67) olduğu görülmektedir. Böylece, yaklaşık piranometre ve FV pilden ölçülen toplam ışınım değerleri oldukça benzerlik gösterdiği ve dolayısıyla yapılan kalibrasyonun oldukça iyi olduğu açıkça görülmektedir.





**Şekil 4.** Piranometreye ve “ÜST” FV pil sisteminin yüzeye gelen toplam ışınım yıllık olarak saatlik değişimi

Beş farklı yönde dakikalık olarak “volt biriminde ölçülen FV güneş pillerinden elde edilen güneş enerjisi verilerinin tamamı  $W/m^2$  biriminde dakikalık, saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

FV güneş pilleriyle ölçülen güneş enerjisi verilerinden havanın açık (bulutsuz) (28.6.2020) ve kapalı (bulutlu) (05.04.2020) olduğu iki gün seçilmiştir. Dakikalık olarak volt cinsinden ölçülen havanın açık ve kapalı olduğu iki günlük verinin günlük olarak dakikalık ve saatlik değişimleri Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’de yatay eksenler zamanı (dakika/saat), dikey eksenleri ise güneş ışınım şiddetlerini  $W/m^2$  cinsinden göstermektedir. “ÜST” FV pile gelen güneş ışınım şiddetleri siyah çizgi ile “DOĞU” ve “BATI” yönlerinde gelen güneş ışınım şiddetleri sırasıyla kırmızı ve mavi çizgi ile gösterilirken, “GÜNEY” ve “KUZEY” yönlerinde gelen güneş ışınım şiddetleri sırasıyla mor ve yeşil çizgiler ile gösterilmektedir.

Şekil 5a ve Şekil 5b’de görüldüğü gibi ÜST” FV pile gelen güneş ışınım şiddeti (siyah çizgi) güneşten gelen dakikalık ve saatlik toplam ışınımı (global = diffüze + direkt + yansımış) içerdiğinden en yüksek ışınım şiddetine sahiptir. Hava açık olduğundan güneşin konumuna göre başucu (“ÜST”) doğrultusunda ışınım düzgün sinüzoidal bir değişim görülmektedir. Gün boyunca alınan veriler sabah ve akşam saatlerinde minimum, öğle saatlerinde güneş tam tepedeyken maksimum olmaktadır.

“DOĞU” yönündeki FV pil üzerine gelen güneş ışınım şiddeti (kırmızı çizgi) güneş doğduğunda artmaya başladığı ve saat 08:30 civarında en yüksek değere ulaştıktan sonra pil yavaş yavaş gölgelenmeye başladığından gelen güneş ışınım şiddeti azalmaya başlayarak saat 12:20’de en düşük değere ulaşmıştır. Saat 12:20’den itibaren akşam güneş batıncaya kadar pil tamamen gölgede kaldığından bundan sonra sadece çevredeki

yansımış ışıınımdan kaynaklanan güneş enerjisi pil yüzeyine gelmiş ve yavaş yavaş sıfır düzeyine düşmüştür.

“BATI” yönündeki FV pil üzerine gelen güneş ışıını şiddeti (mavi çizgi) güneş doğduğunda pil tamamen gölgede kaldığından güneş doğduktan sonra sadece çevredeki yansımış ışıınımdan kaynaklanan güneş enerjisi pil yüzeyine gelmiş ve saat 12:20’den sonra artmaya başlamış ve saat 16:10’da maksimum değere ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlayarak saat 20:00 civarında en düşük değere ulaşmıştır.

“GÜNEY” yönündeki pil üzerine gelen güneş ışıını şiddeti (mor çizgi) “ÜST” yüzeyine bakan pil haricinde diğerlerine göre daha yüksek ışıını şiddetine sahiptir [24]. Ölçüm tarihinde (28.6.2020) güneş ışıınımları yer yüzene dik geldiğinden “GÜNEY” yönüne bakan pildeki ışıının şiddeti “ÜST” yüzeyine bakan pil üzerine gelen ışıınımla karşılaştırıldığında oldukça düşük enerji değerine sahiptir.

“GÜNEY” yönündeki FV pil üzerine gelen güneşin konumuna göre gelen ışıını düzgün sinüzoidal bir değişim görülmektedir. Gün boyunca pil yüzeyine düşen güneş ışıını şiddeti sabah güneş doğduğunda minimum iken saat 11:20’de maksimum değere ulaştığı ve tekrar azalmaya başlayarak tekrar en düşük değere düştüğü görülmektedir.

“KUZEY” yönündeki FV pil üzerine gelen güneş ışıını şiddeti (yeşil çizgi) gün boyunca gölgede kaldığından doğrudan güneş ışıını almamakta ve sadece çevredeki yansıyan ışıınımlar pil üzerine gelmektedir [24]. Bu nedenle diğer pillere göre en düşük enerji “KUZEY” yönündeki pil üzerine gelmiştir.

FV pillerle havanın bulutlu olduğu örnek bir günde (05.04.2020) alınan verinin günlük değişimi Şekil 5c’de verilmiştir. Hava gün boyunca değişken ve çoğunlukla bulutlu olduğundan tüm verilerde sürekli düşüş ve artış olduğu görülmektedir. Ayrıca, hava gün boyunca bulutlu olduğundan genellikle atmosferden saçılan yayılı (diffüze) ışıını tüm piller üzerine gelmektedir. Dolayısıyla, gün boyunca bütün pillerde sabah saatlerinde en düşük enerji ölçülürken, öğle saatlerine doğru artarak maksimum düzeye ulaşmış ve daha sonra tekrar azalmaya başlayarak akşam saatlerinde en düşük değere düşmektedir.

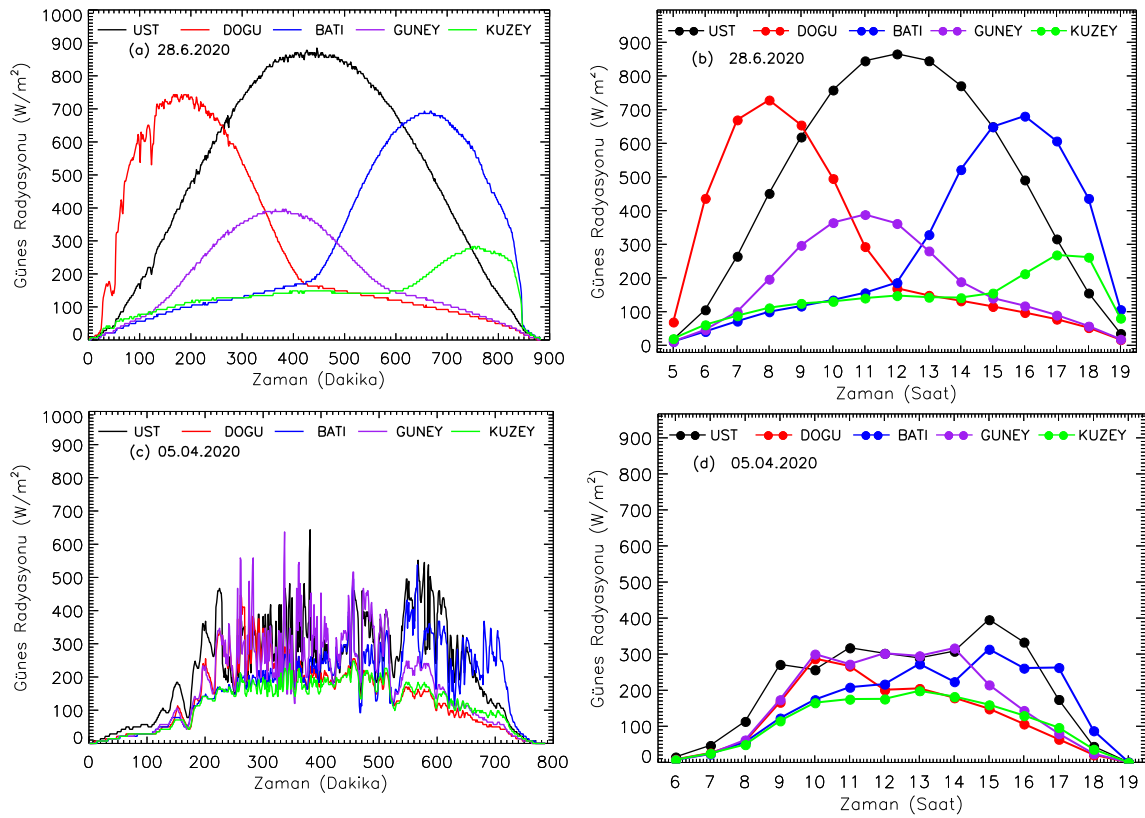
FV piller için havanın Şekil 5a’da bulutsuz ve Şekil 5c’de bulutlu olduğu günler için verilen  $W/m^2$  cinsinden dakikalık olarak hesaplanan verilerin saatlik olarak ortalama günlük değişimi elde edilmiş ve sonuçlar sırasıyla Şekil 5b ve Şekil 5d’de verilmiştir.

Şekil 5b’den görüldüğü gibi, başucu (“ÜST”) doğrultusunda ölçülen ortalama güneş ışıını şiddeti sabah saat 05:00-06:00 aralığında minimum ( $18.84 W/m^2$ ) değerinden artmaya başlayarak saat 12:00-13:00 aralığında en yüksek değere ( $909.00 W/m^2$ ) ulaşmış ve daha sonra tekrar azalmaya başlayarak saat 19:00-20:00 aralığında tekrar en düşük değere ( $36.90 W/m^2$ ) düşmüştür. Gün boyunca dakikalık olarak gelen güneş enerjisi toplam  $7551.64 W/m^2$  (ortalama  $503.44 W/m^2$ ) olarak ölçülmüştür.

Şekil 5b’den görüldüğü gibi, “DOĞU” yönündeki FV pil üzerine gelen güneş ışıını şiddeti sabah saat 05:00-06:00 aralığında  $72.75 W/m^2$  değerinden artmaya başlayarak saat 08:00-09:00 aralığında en yüksek değere ( $765.10 W/m^2$ ) ulaşarak bir pik (tepe) yapmıştır. Daha sonra tekrar azalmaya başlayarak pik saat 12:00-13:00 aralığında yaklaşık en düşük ( $171.71 W/m^2$ ) düzeye ulaşmıştır. Saat 12:00-13:00’dan itibaren pil tamamen gölgelenmeye maruz kalmış ve akşam güneş batıncaya kadar sadece çevredeki yansımış ışıınımdan kaynaklanan güneş ışıını pil yüzeyine gelmiş ve yavaş yavaş



17.76 W/m<sup>2</sup> düzeyine düşmüştür. Gün boyunca saatlik olarak ölçülen toplam ve ortalama değerleri ise sırasıyla 4365.90 W/m<sup>2</sup> ve 291.06 W/m<sup>2</sup>'dir.



Şekil 5. Havanın açık olduğu bir günde (28.06.2020) gün boyunca dakikalık (a) ve (b) değişimleri ve Havanın bulutlu/kapalı olduğu bir günde (05.04.2020) gün boyunca dakikalık (c) ve (d) değişimleri.

“BATI” yönündeki FV pil üzerine gelen güneş ışınım şiddeti saat 12:20’ye kadar yavaş yavaş artmaya başlayarak saat 16:00-17:00 aralığında en yüksek değere ulaşarak (714.94 W/m<sup>2</sup>) bir pik yapmıştır. Saat 17:00-18:00’dan itibaren tekrar azalmaya başlayarak saat 19:00-20:00’da en düşük (111.58 W/m<sup>2</sup>) değere ulaşmıştır. Gün boyunca saatlik olarak ölçülen toplam ve ortalama değerleri ise sırasıyla 4355.14 W/m<sup>2</sup> ve 290.34 W/m<sup>2</sup>’dir.

Şekil 5b’de görüldüğü gibi “GÜNEY” yönündeki FV pil üzerine gün boyunca gelen güneş ışınım şiddeti sabah 05:00-06:00 aralığında en düşük (11.92 W/m<sup>2</sup>) değerden itibaren artmaya başlayarak saat 12:00-13:00 aralığında en yüksek değere (379.95 W/m<sup>2</sup>) ulaşmış ve daha sonra tekrar azalmaya başlayarak saat 19:00-20:00 aralığında tekrar en düşük değere (19.14 W/m<sup>2</sup>) düşmüştür. Gün boyunca dakikalık olarak gelen güneş enerjisi toplam 2792.00 W/m<sup>2</sup> (ortalama 186.13 W/m<sup>2</sup>) olarak ölçülmüştür.

“KUZEY” yönündeki FV pil üzerine sadece yansımış durumda olan güneş ışınım şiddeti saatlik olarak gelen toplam 2191.83 W/m<sup>2</sup> (ortalama 146.12 W/m<sup>2</sup>) olarak ölçülmüştür. Saat 17:00-18:00 aralığında 281.99 W/m<sup>2</sup> ile en yüksek olarak ölçülmüştür.

Şekil 5a ve Şekil 5b’deki grafikler incelendiğinde FV pillerin “DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY” yönlerindeki yüzeylerine gelen güneş ışınım şiddetleri başucu doğrultusundaki (“ÜST”, Global) pile gelen güneş ışınım şiddeti ile karşılaştırıldığında,

“ÜST” güneş ışınım şiddetine göre oranları sırasıyla %57.81, %57.67, %36.97 ve %29.02 olarak hesaplanmıştır. “DOĞU” ve “BATI” yönlerindeki ışınımların başucu doğrultusundaki ışınım şiddetine göre yaklaşık yarısı kadar olduğu ve “DOĞU” ve “BATI” yönlerindeki ışınımların toplamları ise başucu doğrultusundaki ışınım şiddetine eşit olduğu görülmüştür.

Şekil 5d’de verilen havanın kapalı olduğu bir günde (05.04.2020) ölçülen saatlik değerler incelendiğinde, “ÜST” doğrultudaki FV güneş pilden ölçülen toplam güneş ışınım şiddeti  $3014.75 \text{ W/m}^2$  (ort.  $231.90 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçülmüştür. “DOĞU” ve “BATI” yönlerindeki FV pillerden ölçülen saatlik olarak günlük toplam enerji sırasıyla  $1827.50 \text{ W/m}^2$  (ort.  $140.58 \text{ W/m}^2$ ) ve  $2344.17 \text{ W/m}^2$  (ort.  $180.32 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçülmüştür. “GÜNEY” ve “KUZEY” yönlerindeki FV pillerden ölçülen günlük toplam enerji değerleri ise sırasıyla  $2329.83 \text{ W/m}^2$  (ort.  $179.22 \text{ W/m}^2$ ) ve  $1594.13 \text{ W/m}^2$  (ort.  $122.36 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçülmüştür.

FV pillerin “ÜST”, “DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY” yönlerinde (Şekil 2a) Nisan 2020 - Mart 2021 tarihleri arasında alınan günlük olarak saatlik ortalama güneş ışınım verileri kullanılarak aylara göre yıllık ortalama değerleri elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 1’de ve Şekil 6’da verilmiştir. Tablo 1’de ve Şekil 6’da görüldüğü gibi, Eylül 2020 - Ocak 2021 tarihleri arasında “DOĞU” yönündeki pilin kablolarında meydana gelen arıza nedeniyle, bu tarihler arasında bu pil ile hiçbir veri alınamamıştır. Dolayısıyla “DOĞU” yönündeki pil için sütunlar boş bırakılmıştır.

**Tablo 1.** FV piller kullanılarak beş farklı yönde alınan verilerin aylık olarak yıllık (Nisan 2020-Mart 2021) ortalama değerleri

Aylar	ÜST (W/m <sup>2</sup> )	DOĞU (W/m <sup>2</sup> )	BATI (W/m <sup>2</sup> )	GÜNEY (W/m <sup>2</sup> )	KUZEY (W/m <sup>2</sup> )
Nis.20	354.26	198.68	215.95	223.25	111.99
May.20	460.44	244.47	244.00	196.98	133.42
Haz.20	468.36	238.41	270.94	183.87	150.09
Tem.20	462.26	241.32	248.28	192.57	143.46
Ağu.20	482.99	-	253.02	248.89	118.96
Eyl.20	422.66	-	282.59	338.30	101.45
Eki.20	334.09	-	248.82	404.92	84.63
Kas.20	247.86	-	202.91	380.62	67.77
Ara.20	219.15	-	190.68	405.84	62.85
Oca.21	179.46	-	159.30	322.10	60.60
Şub.21	283.35	150.55	238.98	390.45	74.48
Mar.21	296.11	173.00	225.45	290.16	91.21
<b>Toplam</b>	<b>4210.98</b>	<b>1345.79</b>	<b>2780.92</b>	<b>3577.94</b>	<b>1200.93</b>
<b>Min</b>	<b>179.46</b>	<b>99.36</b>	<b>159.30</b>	<b>183.87</b>	<b>60.60</b>
<b>Mak</b>	<b>482.99</b>	<b>244.47</b>	<b>282.59</b>	<b>405.84</b>	<b>150.09</b>
<b>Ort.</b>	<b>350.92</b>	<b>192.26</b>	<b>231.74</b>	<b>298.16</b>	<b>100.08</b>

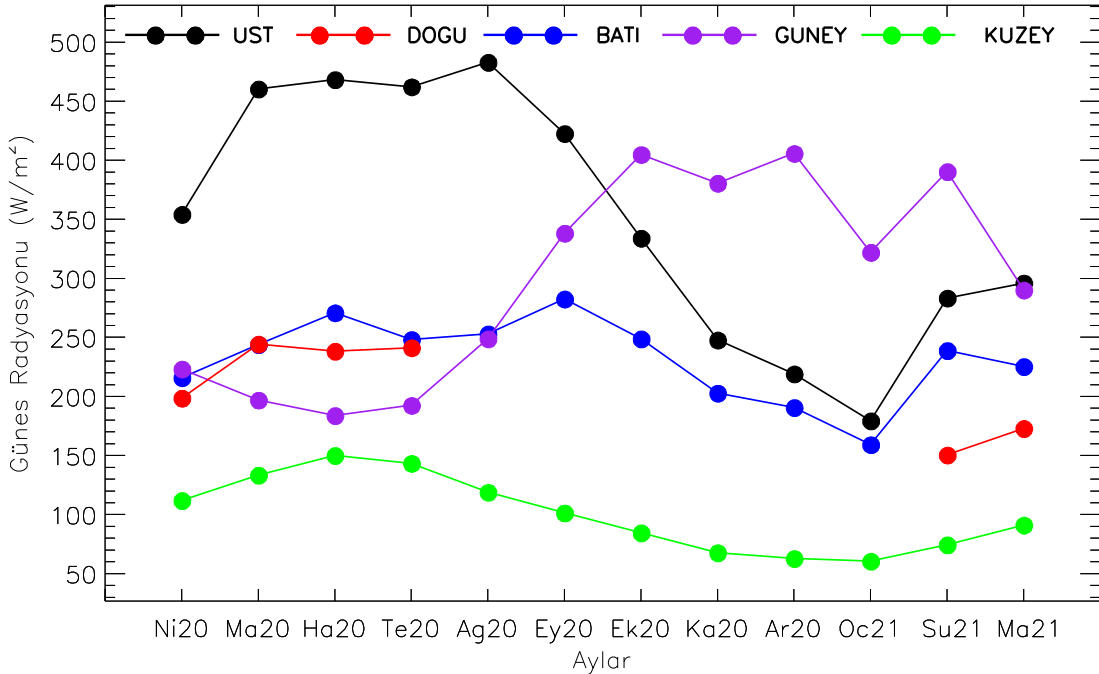
Tablo 1 ve Şekil 6’da görüldüğü gibi başucu “ÜST” doğrultudaki FV güneş pil için aylık olarak ortalama değişimler  $179.46 \text{ W/m}^2$  (Ocak 2021) ile  $482.99 \text{ W/m}^2$  (Ağustos 2020) arasında değiştiği ve toplamı  $4210.98 \text{ W/m}^2$  ve (ort.  $350.92 \text{ W/m}^2$ ) olduğu görülmektedir. “DOĞU” yönündeki FV pil ile aylık olarak yıllık ortalama değişimi  $99.36 \text{ W/m}^2$  (Ağustos 2020) ile en düşük ve  $244.47 \text{ W/m}^2$  (Mayıs 2020) ile en yüksek güneş ışınımı ölçülürken yıllık olarak toplam  $1345.79 \text{ W/m}^2$  (ortalama  $192.26 \text{ W/m}^2$ )

güneş enerjisi elde edilmiştir. “BATI” yönüne FV pil ile Ocak 2021 ayında en düşük ( $159.30 \text{ W/m}^2$ ) ölçülürken Eylül 2020 ayında en yüksek ( $282.59 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçülürken, yıllık olarak toplam  $2780.92 \text{ W/m}^2$  ve (ort.  $231.74 \text{ W/m}^2$ ) olarak elde edilmiştir. “GÜNEY” yönündeki FV pil ile yıllık ölçüm sonucunda yıllık olarak en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla  $183.87 \text{ W/m}^2$  (Haziran 2020) ve  $405.84 \text{ W/m}^2$  (Aralık 2020) olarak ölçülürken, yıllık toplam  $3577.94 \text{ W/m}^2$  (ort.  $298.16 \text{ W/m}^2$ ) olduğu görülmüştür.

FV pillerin beş farklı yüzeyi için bir yıl boyunca alınan verilerin saatlik olarak ortalama değerleri kullanılarak yıllık olarak saatlik ortalama değerleri elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 2’de ve Şekil 7’de verilmiştir.

Buna göre, Tablo 2’de ve Şekil 7 incelendiğinde, “ÜST” pil yüzeyine gelen güneş enerjisinin en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla  $12.79 \text{ W/m}^2$  ve  $605.56 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülürken yıllık olarak toplam  $4504.23 \text{ W/m}^2$  (ort.  $300.28 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçülmüştür. “DOĞU” yönündeki FV güneş pil yüzeyine gelen güneş enerjisinin en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla  $10.72 \text{ W/m}^2$  ve  $453.78 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülürken yıllık olarak toplam  $2941.98 \text{ W/m}^2$  (ort.  $196.13 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçüldüğü görülmektedir. “BATI” yönündeki FV güneş piline gelen güneş enerjisinin en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla  $8.96 \text{ W/m}^2$  ve  $474.29 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülürken yıllık olarak toplam  $2941.40 \text{ W/m}^2$  (ort.  $196.09 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçüldüğü görülmektedir.

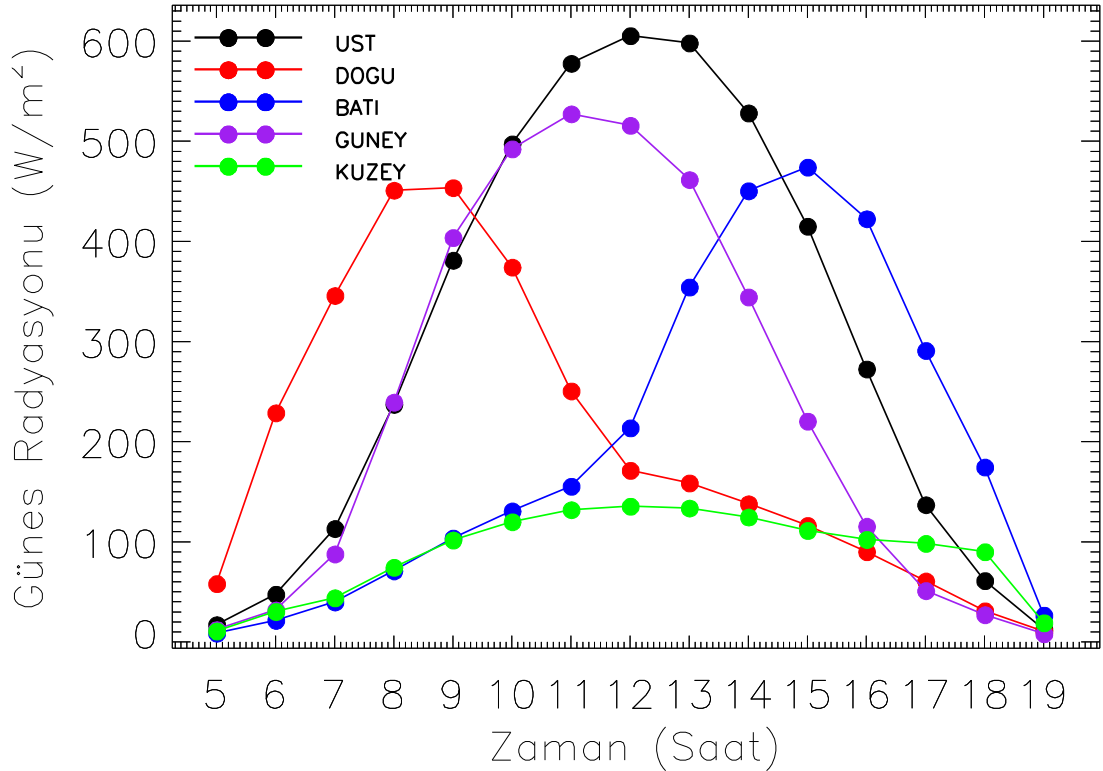
“GÜNEY” yönündeki pil üzerine gelen güneş enerjisinin en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla  $8.33 \text{ W/m}^2$  ve  $527.44 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülürken, yıllık olarak toplam  $3542.06 \text{ W/m}^2$  (ort.  $236.14 \text{ W/m}^2$ ) olarak ölçülmüştür. “KUZAY” yönündeki pilden ölçülen en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla  $11.08 \text{ W/m}^2$  ve  $135.75 \text{ W/m}^2$  ve yıllık olarak toplam  $1331.27 \text{ W/m}^2$  (ort.  $88.75 \text{ W/m}^2$ ) olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. FV piller kullanılarak beş farklı yönde alınan verilerin aylık olarak yıllık (Nisan 2020-Mart 2021) ortalama değerleri

**Tablo 2.** FV pillerin tüm yüzeylerine gelen güneş ışımının aylara göre saatlik değişimi

Zaman (saat)	ÜST (W/m <sup>2</sup> )	DOĞU (W/m <sup>2</sup> )	BATI (W/m <sup>2</sup> )	GÜNEY (W/m <sup>2</sup> )	KUZEY (W/m <sup>2</sup> )
5	17.43	58.38	8.96	12.54	11.08
6	47.75	228.98	21.7	32.08	30.47
7	113.36	346.08	40.05	88.05	44.23
8	237.39	451.23	71.18	239.6	74.63
9	381.29	453.78	103.91	404	101.96
10	497.48	374.4	130.93	492.52	120.2
11	577.91	250.83	155.62	527.44	132.18
12	605.56	171.53	214.02	515.95	135.72
13	598.29	158.96	354.54	461.84	133.86
14	528.4	138.19	450.65	344.68	124.88
15	415.29	116.39	474.29	220.63	111.46
16	272.74	90.31	422.77	115.67	102.48
17	137.16	61.02	291.2	51.37	98.58
18	61.37	31.2	174.76	27.36	90.22
19	12.79	10.72	26.83	8.33	19.32
<b>Toplam</b>	<b>4504.21</b>	<b>2942.00</b>	<b>2941.41</b>	<b>3542.06</b>	<b>1331.27</b>
<b>Min</b>	<b>12.79</b>	<b>10.72</b>	<b>8.96</b>	<b>8.33</b>	<b>11.08</b>
<b>Mak</b>	<b>605.56</b>	<b>453.78</b>	<b>474.29</b>	<b>527.44</b>	<b>135.72</b>
<b>Ort.</b>	<b>300.28</b>	<b>196.13</b>	<b>196.09</b>	<b>236.14</b>	<b>88.75</b>



**Şekil 7.** FV pillerin tüm yüzeylerine gelen güneş ışımının yıllık olarak saatlik değişimi

#### 4. Sonuç ve Yorum

Ülkelerin artan enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla dünya ekolojisi ve ekosistemi üzerinde pozitif yönde yararları olan temiz ve yenilenebilir güneş enerjisinden

faydalanmak oldukça önemlidir. Gerekli enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, son on yıllarda fotovoltaik güneş enerjisine yatırımlar artmaya başlamıştır. Bu nedenle, farklı doğrultulardaki yüzeylere gelen güneş enerjisi ölçülmesi, depolanması, verilerinin analiz edilmesi ve güneş enerjisi ölçüm sistemlerinin tasarlanması (özellikle FV sistemler gibi) çok önemlidir.

Bu çalışmada, Osmaniye ili (Enlem: 37°.04227, Boylam: 36°.22134) için farklı doğrultulardan (“ÜST”, “DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY”) gelen güneş ışınım şiddetini ölçmek için bir FV güneş pili sistemi (60 x110 mm<sup>2</sup>, 1Wp, 6 Voc ve 200 mA Isc) tasarlanmıştır. Tasarlanan FV sistem kullanılarak volt birimlerinde ölçülen dakikalık tüm veriler 16 kanallı MS6D Data Logger veri kayıt sistemi kullanılarak bir yıl boyunca (Nisan 2020 - Mart 2021) depolanmıştır 8-48 Model B&W piraometresi kullanılarak volt birimindeki FV verilerin W/m<sup>2</sup> biriminde kalibrasyonları yapılmıştır. Başlangıç olarak, “ÜST” FV pilden elde edilen veriler piraometre verilerine göre kalibre edilmiştir. Kalibre edilen verilerin performansını görmek için R<sup>2</sup> ve RMSE istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. “ÜST” FV pil için belirlenen bu kalibrasyon değeri kullanılarak diğer dört yöndeki ( “DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY”) FV pillerden alınan veriler de kalibre edilmiştir. Böylece, FV pil sistemi kullanılarak güneşten birim yüzeye gelen her doğrultudaki yansımış (diffuse), direkt (beam) ve toplam (global) ışınımının değişimleri bir yıl boyunca beş farklı doğrultuda dakikalık olarak ölçülen güneş enerji verileri, W/m<sup>2</sup> biriminde saatlik, günlük, aylık ve yıllık değişimleri hesaplanmıştır.

Günlük verilerden yıllık olarak beş farklı yöndeki (“ÜST”, “DOĞU”, “BATI”, “GÜNEY” ve “KUZEY”) toplam güneş radyasyon bileşenleri sırasıyla 122092.604 W/m<sup>2</sup>, 38886.30 W/m<sup>2</sup>, 80494.43 W/m<sup>2</sup>, 103446.57 W/m<sup>2</sup> ve 34832.45 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Aylık olarak beş farklı yöndeki ortalama toplam güneş radyasyonu sırasıyla 350.92 W/m<sup>2</sup>, 207.74 W/m<sup>2</sup>, 231.74 W/m<sup>2</sup>, 298.16 W/m<sup>2</sup> ve 100.08 W/m<sup>2</sup> olarak da elde edilmiştir. Günlük verilerden “ÜST” yüzeyde ölçülen en yüksek güneş radyasyonu 550.80 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilirken, en düşük 266.84 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. “DOĞU” ve “BATI” yüzeylerindeki en yüksek güneş radyasyonu sırasıyla 322.71 W/m<sup>2</sup> ve 360,94 W/m<sup>2</sup> olarak en düşük radyasyon değerleri ise 29.52 W/m<sup>2</sup> ve 25.21 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Ayrıca, “GÜNEY” ve “KUZEY” yüzeylerindeki en yüksek güneş radyasyonu sırasıyla 616.58 W/m<sup>2</sup> ve 170.17 W/m<sup>2</sup> olarak, en düşük radyasyon değerleri ise 29.52 W/m<sup>2</sup> ve 0.53 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Geliştirilen FV pil sisteminin benzer iklime sahip bölgelerde kullanılabileceğini ve benzer çalışmalar yapacak araştırmacılara yol göstereceğini düşünmekteyiz. Mevcut sonuçların daha güvenilir, kapsamlı bir güneş radyasyonu veri tabanı oluşturmaya yardımcı olabileceğine inanıyoruz.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Muhittin ŞAHAN: Araştırma, Veri Temini, Veri Analizi, Orjinal Taslak Yazımı, İnceleme ve Düzenleme, Görselleştirme.

Ramazan KAYA: Araştırma, Veri Temini, Veri Analizi, Kaynak, Materyal, Analiz, Araştırma.

### **Çatışma Beyanı**

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çatışma beyanımız bulunmadığını bildiririz.

## Etik Kurul Onayı ve Aydınlatılmış Onam Bilgileri

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onayı ve/veya aydınlatılmış onam bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

### Kaynakça

- [1] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, (4th ed.), John Wiley and Sons, Inc., New York, 2013.
- [2] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*. London: Academic Press, 1983.
- [3] Q. Schiermeier, J. Tollefson, T. Scully, A. Witze, and O. Morton, "Energy alternatives: electricity without carbon," *Nature*, 454, 816–23, 2008.
- [4] S. Thotakura, S. C. Kondamudi, J. F. Xavier, M. Quanjin, G. R. Reddy, P. Gangwar, and S. L. Davuluri, "Operational performance of megawatt-scale grid integrated rooftop solar PV system in tropical wet and dry climates of India," *Case Stud. Therm. Eng.*, 18, 100602, 2020.
- [5] E. M. Salilih and Y. T. Birhane, "Modeling and analysis of photo-voltaic solar panel under constant electric load," *J. Renew. Energy*, 1-10, 2019.
- [6] A. A. W. Sayigh, "Renewable energy: Gobar progress and examples", *Renew. Energ.*, WREN, 15-17, 2001.
- [7] M. Şahan, "Toplam ve ultraviyole (UV) güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi değerlendirilmesi ve değişiminin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 67, 1996.
- [8] K. Mahmoud, I. Alfaleh, and J. K. Yoo, "New facility for primary calibration of differential spectral responsivity of solar cells using LDLS-based monochromatic source," *Journal of Physics: Conference Series*, 2149 (2022) 012003, NEWRAD 2021
- [9] A. Le Donne, A. Scaccabarozzi, S. Tombolato, S. Binetti, M. Acciarri, and A. Abboto, "Solar photovoltaics: A review", *Rev. Adv. Sci. Eng.*, 2, 1–9, 2013.
- [10] M. Şahan, "Measurement of daily solar radiation with Eppley Black and White pyranometer in Osmaniye Region, Turkey", *AIP Conference Proceedings, Turkish Physical Society 34th International Physics Congress – TPS34*, Bodrum / Muğla, 2018, 2042, pp. 020005–1–0200054.
- [11] M. Şahan, H. Şahan ve İ. Yeğingil, "Yıllık toplam ve ultraviyole (UV) güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi," *SDÜ Fen Bil. Enst. Der.*, 14 (1), 10–16, 2010.
- [12] M. Şahan, Ö. Tokat ve Y. Okur, "Osmaniye'de günlük toplam güneş ışınım ölçümleri", *SDÜ. Fen-Edebiyat Fakültesi - Fen Dergisi*, 10 (2), 97–105, 2015.
- [13] M. Şahan ve N. Emrahoğlu, "Osmaniye'de yedi yıllık dönemde yatay yüzeydeki global güneş radyasyonu ölçümleri ve yeni ampirik modeller kullanılarak global güneş radyasyonunun tahmini," *SDÜ. Fen-Edebiyat Fakültesi - Fen Dergisi*, 16 (2), 349–367, 2021.
- [14] N. Emrahoğlu and İ. Yeğingil, "Çukurova Üniversitesi'nde ölçülen güneş ışınım verileri analizi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 87–96, 2019.
- [15] A. Angström, "Solar and terrestrial radiation," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50 (210), 121–126, 1924.
- [16] J. A. Prescott, "Evaporation from a water surface in relation to solar radiation," *Trans. R. Soc. S. Aust.*, 64, 114–148, 1940.
- [17] E.A. Ahmed and M. El-Nouby Adam, "Estimate of global solar radiation by using artificial neural network in Qena, upper Egypt," *J. Clean Energy*, 1, 2, 2013.
- [18] M. A. AbdulAzeez, "Artificial neural network estimation of global solar radiation using meteorological parameters in Gusau, Nigeria," *Arch. Appl. Sci. Res*, 3 (2), 586–595, 2011.
- [19] M. Şahan ve Y. Okur, "Akdeniz bölgesine ait meteorolojik veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla güneş enerjisinin tahmini," *SDÜ. Fen-Edebiyat Fakültesi - Fen Dergisi*, 11 (1), 361–71, 2016.
- [20] M. Şahan, "Yapay sinir ağları ve Angström-Prescott denklemleri kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş için global güneş radyasyonu tahmini," *SDÜ. Fen-Edebiyat Fakültesi - Fen Dergisi*, 16 (2), 368–384, 2021.
- [21] I. H. Altas and A. M. Sharaf, "A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems," *Renew. Energ.*, 33, 388–399, 2008.
- [22] T. P. Chang, "Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system," *Appl. Energy*, 86, 2071–2078, 2009.
- [23] S. B. Skretas and D. P. Papadopoulos, "Efficient design and simulation of an expandable hybrid (wind– photovoltaic) power system with MPPT and inverter input voltage regulation features in compliance with electric grid requirements," *Electr. Power Syst. Res.*, 79, 1271–1285, 2009.
- [24] E. L. Maxwell, T. L. Stoffel, and R. E. Bird, "Measuring and modeling solar irradiance on vertical

- surfaces,” *Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA)*, 1986.
- [25] M. A. Budiyantha and T. Shinodab, “The effect of solar radiation on the energy consumption of refrigerated container,” *Case Stud. Therm. Eng.*, 12, 687–695, 2018.
- [26] D. P. N. Nguyen and J. Lauwaer, “Calculating the energy yield of Si-based solar cells for Belgium and Vietnam regions at arbitrary tilt and orientation under actual weather conditions,” *Energies*, 13, 3180 (17 pages), 2020.
- [27] M. Despotovic, V. Nedic, D. Despotovic, and S. Cvetanovic, “Review and statistical analysis of different global solar radiation sunshine models,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 52, 1869–1880, 2015.