

## Osmaniye’de Güney Yönünde Altı Farklı Eğim Açısında (0°, 30°, 37°, 45°, 60° ve 90°) Fotovoltaik Kolektörler Kullanılarak Toplam Güneş Radyasyonun Ölçülmesi

Muhittin ŞAHAN<sup>1\*</sup>, Hasan KÜÇÜK<sup>2</sup>, Ramazan KAYA<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6716-8463>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3150-8037>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-3150-8037>

\*Sorumlu yazar: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.02.2024

Kabul tarihi: 22.04.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Toplam güneş radyasyonu

Güneş enerjisi

Güneş kolektörü

Eğim açısı

Yüzey yönelimi

### ÖZ

Bu çalışma, Eylül 2022 - Ağustos 2023 döneminde Osmaniye’de (37°.04 D, 36°.22 K) ölçülen güneş radyasyon verilerinin bir incelemesini sunmaktadır. Ölçümler, beşi güneşe ( $\beta=30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) ve biri başucu doğrultusuna ( $\beta=0^\circ$ ) doğru yönlendirilmiş toplam altı farklı fotovoltaik (PV) güneş pili sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dakikalık olarak volt biriminde ölçülen veriler  $W/m^2$  biriminde saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık olarak analiz edilmiştir.  $\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$  yönlerinde ölçülen günlük toplam güneş ışınımının aylık ortalamaları sırasıyla  $327.92 W/m^2, 400.05 W/m^2, 406.20 W/m^2, 401.37 W/m^2, 374.80 W/m^2$  ve  $279.37 W/m^2$  olarak belirlenmiştir. Tüm yönlerde ( $\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) ölçülen yıllık ortalama güneş enerjisi sırasıyla  $310.99 W/m^2, 355.93 W/m^2, 359.23 W/m^2, 351.60 W/m^2, 317.57 W/m^2$  ve  $221.99 W/m^2$  olduğunu görülmüştür. Günlük, aylık ve yıllık değişimleri incelendiğinde, Osmaniye’nin enlem açısına ( $37^\circ.04$ ) yakın olan  $\beta=30^\circ, 37^\circ$  ve  $45^\circ$  yönlerindeki FV güneş panellerinden daha yüksek güneş enerjisinin elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar, “ $\beta=37^\circ$ ” yönünde ölçülen ortalama güneş radyasyonunun,  $\beta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 0^\circ$  ve  $90^\circ$  yönlerinde ölçülenlerden sırasıyla %0.93, %2.17, %13.12, %15.51 ve %61.82 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın eğimli yüzeylerde kullanılacak olan FV güneş panellerinin tasarlanması ve kurulumu için yardımcı olacağını düşünmekteyiz.

### Measurement of Global Solar Radiation Using Photovoltaic Collectors at Six Different Tilt Angles (0°, 30°, 37°, 45°, 60° and 90°) in the South Direction in Osmaniye

### Research Article

#### Article History:

Received: 21.02.2024

Accepted: 22.04.2024

Published online: 10.12.2024

#### Keywords:

Global solar radiation

Solar energy

Solar collector

Tilt angle

Surface orientation

### ABSTRACT

This paper presents a study of the solar radiation data measured in Osmaniye ( $37^\circ.04 E, 36^\circ.22 N$ ) during September 2022 - August 2023. Measurements were carried out using total six different solar Photovoltaic (PV) systems, which five oriented towards the south ( $\beta=30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  and  $90^\circ$ ) and one towards the zenith direction ( $\beta=0^\circ$ ). Data measured in volts per minute were analyzed hourly, daily, monthly, seasonally and annually in  $W/m^2$ . The monthly averages of daily total solar radiation measured at  $\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  and  $90^\circ$  directions were determined to be  $327.92 W/m^2, 400.05 W/m^2, 406.20 W/m^2, 401.37 W/m^2, 374.80 W/m^2$  and  $279.37 W/m^2$ , respectively. The average annual solar energy measured in all directions ( $\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  and  $90^\circ$ ) was  $310.99 W/m^2, 355.93 W/m^2, 359.23 W/m^2, 351.60 W/m^2, 317.57 W/m^2$ , and  $221.99 W/m^2$ , respectively. When the daily, monthly and annual variations are

examined, it is seen that higher solar energy is obtained from PV solar panels in the  $\beta= 30^\circ, 37^\circ$  and  $45^\circ$  directions, which are close to the latitude angle of Osmaniye ( $37^\circ.04$ ). The results showed that the average solar radiation measured in the “ $\beta=37^\circ$ ” direction was 0.93%, 2.17%, 13.12%, 15.51% and 61.82% higher than those measured in the  $\beta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 0^\circ$  and  $90^\circ$  directions. We think that this study will be helpful for the design and installation of PV solar panels to be used on inclined surfaces.

---

**To Cite:** Şahan M., Küçük H., Kaya R. Osmaniye’de Güney Yönünde Altı Farklı Eğim Açısında ( $0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) Fotovoltaik Kolektörler Kullanılarak Toplam Güneş Radyasyonun Ölçülmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 1948-1969.

## 1. Giriş

Tüm dünyada ekonominin temel itici güçlerinden biri olan enerji, sosyal ve ekonomik kalkınmada her zaman çok önemli bir rol oynamıştır (Kaygusuz, 2007; Gairaa ve Bakelli, 2011; Toklu 2013; Bilgili ve ark., 2015). Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ve ekonomik olarak kalkınmasıyla birlikte enerjinin çok fazla tüketilmesine ve daha fazla enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur (Xingang ve ark., 2011; Bilgili ve ark., 2015; Raza ve ark., 2016). Hızlı ve bilinçsiz olarak tüketilen fosil yakıtlar atmosferde sera gazı emisyonlarının artmasına, CO<sub>2</sub> emisyon oranının artmasına, asit yağmurlarına, ozon tabakasının incelmeye, küresel iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak da tüm canlıların zarar görmesine yol açmaktadır (Bilgili ve ark., 2015; Jaszczur ve ark., 2018; Alshahrani ve ark., 2019).

Genel olarak, yapılan çalışmalar, dünyada var olan fosil yakıtların yakın zamanda tükeneceğini ve buna bağlı olarak da küresel enerji talebinin hızla artacağını göstermektedir. Bu nedenle, tüm dünyada sera gazı salınımını azaltacak çevreye duyarlı, temiz, güvenilir ve yenilenebilir yeni enerji kaynakları (güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyo-kütle ve jeotermal enerji gibi) için giderek daha yoğun araştırmalar yapılmakta ve bu alanda büyük yatırımlar yapılmaktadır. Güneş radyasyonu, onu kullanan uygulamaların çeşitlenmesi nedeniyle şu anda üzerinde en çok araştırma yapılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Artan küresel enerji talebi göz önüne alındığında, fosil kaynakların aksine güneş enerjisi küresel ısınmanın azaltılmasında ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili olarak yenilenebilir enerji üretiminde merkezi bir rol oynayan temiz, tükenmez ve ücretsiz bir enerji kaynağıdır (Faranda ve Leva, 2008; Laricoa ve Gutierrez, 2022; Suki, 2022; Vernet ve Fabregat, 2023). Güneş, uzaya sürekli olarak saniyede  $3.8 \times 10^{23}$  kW oranında enerji yayar. Güneşten yayılan bu enerji dünyanın dış atmosferine kadar ulaşır. Güneş enerjisi, atmosferden geçerken atmosferdeki gaz molekülleri, su buharı, toz zerrecikleri gibi değişik partiküller tarafından soğurulması, saçılması, yansıtılması sonucu, enerjinin yaklaşık %70’lik kısmını kaybederek sadece  $1.8 \times 10^{18}$  kWh kadarlık küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşır. Buna rağmen bu enerji Dünya’nın yıllık enerji tüketiminden on binlerce kat daha fazladır (Raza ve ark., 2016). Bu nedenle, tarım, sanayi, konut gibi pek çok alanda ihtiyaç duyulan toplam enerji talebinin önemli bir kısmının güneş enerjisinden sağlanması gerekiyorsa, güneş enerjisinin uygun maliyetli bir şekilde toplanması, depolanması ve bu alanlarda kullanılması kritik önem taşımaktadır (Zhang ve ark., 2013).

Yatay yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı bulut, hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgarın hızı ve yönü gibi pek çok bölgesel hava şartlarına (Qing ve Niu 2018; Wojtkiewicz ve ark., 2019) ve coğrafik konuma bağlı olarak ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Ekvator çizgisinin yaklaşık 45° altındaki güney bölgesinden 45° üstündeki kuzeye bölgesine kadar olan bölgeler oldukça yoğun güneş enerjisi almaktadır (Maxwell ve ark., 1986; Malik ve ark., 2006; Gairaa ve Bakelli, 2011; Abdullah ve ark., 2002; Zhang ve ark., 2013; Raza ve ark., 2016). Türkiye coğrafyası, 26°-45° doğu boylamları ile 36°-42° kuzey enlemleri arasında bulunduğundan güneş enerjisi bakımından oldukça iyi durumdadır. Osmaniye (37°.04 D, 36°.22 K) güneş ışınımı bakımından oldukça zengin bir konumda yer aldığından fotovoltaik teknolojisi ile enerji üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle, güneş enerjisinin bu bölgede yıllık olarak takip edilmesi, bu enerjiden en verimli şekilde yararlanılması ve bölge ekonomisine sağlayacağı katkı için oldukça önemlidir (Şahan ve Kaya, 2022).

Bir bölgede toplam güneş enerjisinin düzenli olarak ölçülmesi veya tahmin edilmesi fotovoltaik (FV) sistemlerle enerji üretimi için önemli bir faktördür. Çünkü FV tesislerinin belirli bir zamanda üretilen güç miktarını tahmin edilmesine ve zaman içindeki FV performansını modellemesine olanak sağlamaktadır (Yang ve ark., 2012; Marquez ve Coimbra 2013; Law ve ark., 2014; Wojtkiewicz ve ark., 2019). Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınımının doğru bir şekilde ölçülmesi veya tahmin edilmesi sadece enerji üretimi açısından ilgi çekici olmakla kalmaz, aynı zamanda mimarlık, kentsel gelişim ve tarım alanları, ısınma ve aydınlanma gibi diğer alanlar için de önem taşımaktadır (Vernet ve Fabregat, 2023). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi merkez yerleşkesinde (Enlem: 37°.04, Boylam: 36°.22) Mayıs 2013 tarihinden itibaren Eppley Black & White Pronometresi (8-48 Model) kullanılarak toplam güneş enerjisi ölçümleri düzenli olarak yapılmaktadır (Şahan ve ark., 2015; Şahan, 2018, 2019; Şahan ve Emrahoğlu, 2021). Ayrıca, FV piller kullanılarak “Üst”, “Doğu”, “Batı”, “Güney” ve “Kuzey” doğrultularında bir yıl boyunca (Nisan 2020 - Mart 2021) güneş radyasyonunu ölçülmüş ve analizleri yapılmıştır (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya, 2022).

Bu çalışmada, yukarıda verilen çalışmalara ek olarak güneye doğru altı farklı eğim açılarında ( $\beta=0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) yönlendirilmiş bir FV güneş pili sistemi tasarlanmış ve bir yıl boyunca (1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023) birim yüzeye gelen toplam güneş enerjisi dakikalık olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisinin saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık değişimlerinin araştırılması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yeryüzündeki her hangi bir yere her hangi bir zamanda yeryüzüne göre belirli bir yönelime sahip bir düzlem ile gelen güneş ışınımı arasındaki geometrik ilişkiler bir kaç açı cinsinden tanımlanabilir. Şekil 1a’da eğik yüzeye gelen güneş ışınlarının zenit açısına (tepe açısı), eğim açısına, yüzey azimut açısına ve güneş azimut açısına göre konumu verilmiştir (Duffie ve Beckman, 1991). Burada  $\alpha_s$  ve  $\theta_z$  sırasıyla güneşin yükseklik ve zenit açılarıdır. Güneşin dünyaya göre konumu,

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\phi \sin\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos w \\ &+ \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos w + \cos\delta \sin\gamma \sin w \end{aligned} \quad (1)$$

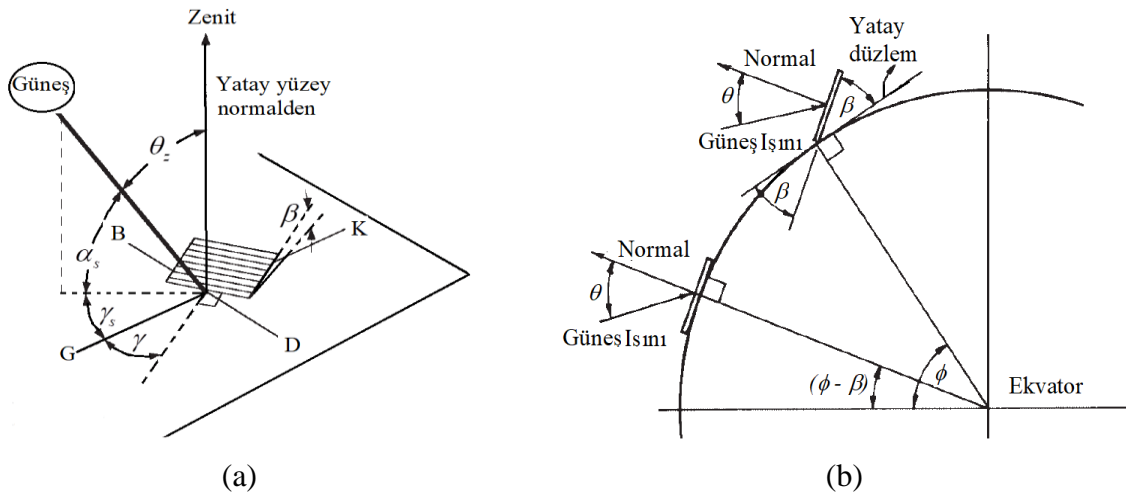
ile verilen trigonometrik eşitlikle belirlenir. Burada  $\theta$  Güneş ışınlarının yüzeye gelme açısıdır (bir yüzeydeki güneş radyasyonu ile o yüzeyin normal arasındaki açı).  $\delta$  güneşin öğle vakti ekvator düzlemine göre açısal konumunu gösteren deklinasyon açısıdır ve

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (2)$$

ile hesaplanır. Burada,  $N$  yılın günleridir (1 Ocak – 31 Aralık arası) ve deklinasyon açısı  $-23^\circ.45 \leq \delta \leq +23^\circ.45$  arasında değerler alır.  $\phi$  ölçüm yapılan yerin enlemini ( $-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ );  $\beta$  eğimli bir yüzeyin yüzey eğim açısını (yüzey düzlemi ile yatay arasındaki açı) ( $0^\circ \leq \beta \leq +180^\circ$ ),  $\gamma$  yüzey azimut açısını ( $-180^\circ \leq \gamma \leq +180^\circ$ ),  $w$  güneşin saat açısını ( $w = 15^\circ [\text{saat} - 12]$ ) göstermektedir (Düz plakalı bir yüzey için Kuzey yarımkürede  $0^\circ$ , Güney yarımkürede ise  $180^\circ$  derecedir.) (Cooper 1969; Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014). Yatay bir yüzey üzerindeki güneş ışınlarının gelme açısı ya da güneşin zenit açısı ( $\theta_z$ , tepe açısı) ile güneşin yükseklik açısının ( $\alpha_s$ ) toplamı  $90^\circ$ 'dir ( $\theta_z = \pi/2 - \alpha_s$ ). Eşitlik 1'de eğimli yüzeyin  $\beta$  eğim açısı  $0^\circ$  olarak göz önüne alındığında (yatay yüzey) herhangi bir konum için yılın herhangi bir zamanında zenit açısı ( $\theta_z$ );

$$\cos\theta_z = \cos\phi \cos\delta \cos w + \sin\phi \sin\delta \quad (3)$$

olarak elde edilir. Bu  $\theta_z$  açısı, gök küre üzerinde Güneş'in yatay bir yüzeye dikey düzlemde saat 12 yönündeki konumunu belirtir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991).



**Şekil 1.** a) Eğik bir yüzey için zenit açısı, eğim, yüzey azimut açısı ve güneş azimut açısını gösteren plan görünümü, b) Güneye bakan bir yüzey için  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $\phi$  ve  $\phi - \beta$ 'yi gösteren dünyanın kesiti (Duffie ve Beckman, 1991)

Kuzey yarım kürede güneye doğru  $\beta$  eğim açısı ile güneş ışınlarının eğimli yüzeylere  $\theta$  gelme açısı, gelen ışın radyasyonu  $\phi$ - $\beta$  enlemindeki yatay bir yüzeye aynı açısal ilişkiye sahip olmasından türetilir (Şekil 1b). Buna göre Eşitlik 3 aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$\cos\theta = \cos(\phi - \beta) \cos\delta \cos w + \sin(\phi - \beta) \sin\delta \quad (4)$$

Kuzey yarımkürede güneye bakan eğimli yüzey için güneşin öğle vakti özel durumu için,

$$\theta_{\text{öğlen}} = |\phi - \delta - \beta| \quad (5)$$

Burada  $\beta = 0$ , geliş açısı zenit açısıdır ve kuzey yarımküre için

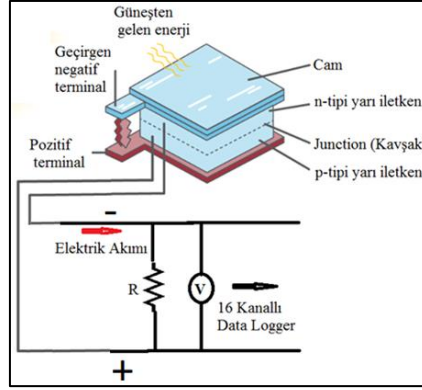
$$\theta_{z,\text{öğlen}} = |\phi - \delta| \quad (6)$$

olur.

Bir bölgede güneş enerjisini en üst düzeyde elde etmek için o bölgeye fotovoltaik (PV) panel sistemleri kurulmalıdır. Optimum FV eğimi ve yönelimi enleme, yerel iklime ve yük tüketiminin zamansal profiline bağlıdır. Fotovoltaik sistemlerin performansı, güneşe göre yönelimi ve eğimi de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Genel olarak, ölçüm yapılacak coğrafik konumun enlemine eşit olan bir eğim açısına sahip yüzeyler maksimum güneş ışığı alır (Mondola ve ark., 2007). Normalde, yaz aylarında güneş ışığı,  $15^\circ$  daha az eğimli bir yüzeyde ve kış aylarında  $15^\circ$  daha fazla eğime sahip bir yüzey için maksimuma çıkar. Benzer şekilde, güneş ışığı ve PV çıkışı, güneye doğru  $30^\circ$  ile yönlendirilmiş eğimli bir yüzey için maksimum ve güneyden  $90^\circ$  doğuya veya batıya doğru yönlendirilmiş dikey yüzeyler için minimumdur (Mondola ve ark., 2007; Duffie ve Beckman, 2013; Hua ve ark., 2019).

Bu çalışmada, Fotovoltaik (FV) güneş pilleri kullanılarak altı farklı doğrultuda yıllık güneş enerjisi ölçümleri yapılmıştır. FV piller, üzerlerine düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren maddeler olup Si, Ga, As, CdTe gibi yarı iletken malzemelerden elde edilirler. Şekil 2’de gösterildiği gibi FV güneş pilleri temelde üst yüzeye yakın konumlandırılmış birleşme noktasına sahip geniş alanlı bir P-N tipi maddeden yapılmıştır. Genel olarak, N tipi yarı iletkenlerde serbest elektronlar fazla olduğundan elektron vermeye daha yatkın ve P tipi yarı iletkenlerde serbest holler daha fazla olduğundan elektron almaya daha yatkındır. P ve N tipi yarı iletkenlerin birleşim yerlerinde verici atomların elektronları alıcı atomların hollerine eşlenir. Alıcı atomlar elektron aldıkları için negatif (-) iyon durumuna verici atomlar ise elektron verdikleri için pozitif (+) iyon durumuna geçerler. N tipi yarı iletkenlerde serbest elektronlar akım taşıyıcısı olarak görev yaparlar. P ve N tipi malzeme bir arada kullanılırsa, bu birleşime PN birleşimi (junction) denir. P-N yarı iletkenlerin birlikte kullanımı diyotların, transistörlerin ve diğer katkı hal devrelerinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü gibi Güneş ışınları N tipi yarı iletkenin kontak noktasına düştüğünde elektronlar P tipi yarı iletken yüzeyine doğru akarlar. Geçen iletkenlik elektronları holler ile birleşirler. Valans elektronları boşluklara

taşınırken boşluklar da N tipi yarı iletken bölgesine taşınırlar ve sürekli bir akım meydana gelir ve dolayısıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Elektrik akımı atomların bu gevşek elektronlarının hareketleri sayesinde ortaya çıkarlar. Elektronlar taşıdıkları enerjilerini karşılaştıkları engeller (direnç veya yük) üzerinde bırakarak iş yapmış ve dolayısıyla enerji üretmiş olurlar. P ve N tabakaları arasında tel çekilerek güneş hücresi (+) ve (-) kutuplara sahip bir pil halini alır ve böylelikle bir sisteme güç sağlamak için kullanılabilir. FV pil sistemleri, kurulum ve tasarım bakımından oldukça basit, elektrik üretim açısından ideal teknolojilere sahiptirler.



Şekil 2. Fotovoltaik güneş pili Sistem Şeması

FV piller ile ölçülen toplam güneş radyasyon değerlerinin kalibrasyonları piranometreler kullanılarak yapılmıştır. Piranometreler, 300 nm ile 2800 nm arasında değişen dalga boyundaki ışımaya akılarından kaynaklanan toplam güneş ışınımını düz bir yüzey üzerinde ölçmek için tasarlanmıştır (Şahan ve ark., 2015; Şahan, 2018, 2019; Şahan ve Emrahoğlu, 2021). Bazı ülkeler gerekli güneş enerjisi veri tabanlarına sahip olmadıklarından, bu ülkelerde özellikle eğimli yüzeylerde toplam güneş enerjisinin mevsimsel ve yıllık olarak tahmin edilmesi için bazı sayısal modellerin tasarlanması, geliştirilmesi ve kullanılmasını önerilmektedir. Geliştirilen sayısal modellerden elde edilen sonuçlar kurulacak güneş enerjisi ölçüm tesislerinin tasarlanmasında önemli bir etkiye sahip olacaktır (Othman ve ark., 2008).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Osmaniye’de günlük olarak toplam güneş enerjisini ölçmek için güneye doğru farklı eğim açılarındaki ( $\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) yönlendirilmiş toplam altı farklı bir FV güneş pil sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2). Özellikle “ $\beta=37^\circ$ ” eğim açılı FV pil sistemi ölçüm yapılan yerin enlemine ( $\phi=37^\circ.04$ ) yakın olarak ayarlanmıştır. Tasarlanan FV pil sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi merkez yerleşkesine (Enlem:  $37^\circ.04$ , Boylam:  $36^\circ.22$ ) yerleştirilmiş ve gerekli test çalışmaları tamamlandıktan sonra ölçümlerine başlanılmıştır. Ölçümler yapılırken eş zamanlı olarak Eppley B&W Piranometresi (8-48 Model) ile de toplam güneş enerjisi ölçümleri yapılmıştır. Altı farklı eğimli ( $\beta$ )

yüzeyle sahip FV güneş piller ve piranometre ile alınan günlük ölçümler 24 saat boyunca dakikalık olarak 16 kanallı MS6D Data Logger'a kaydedilmiştir.

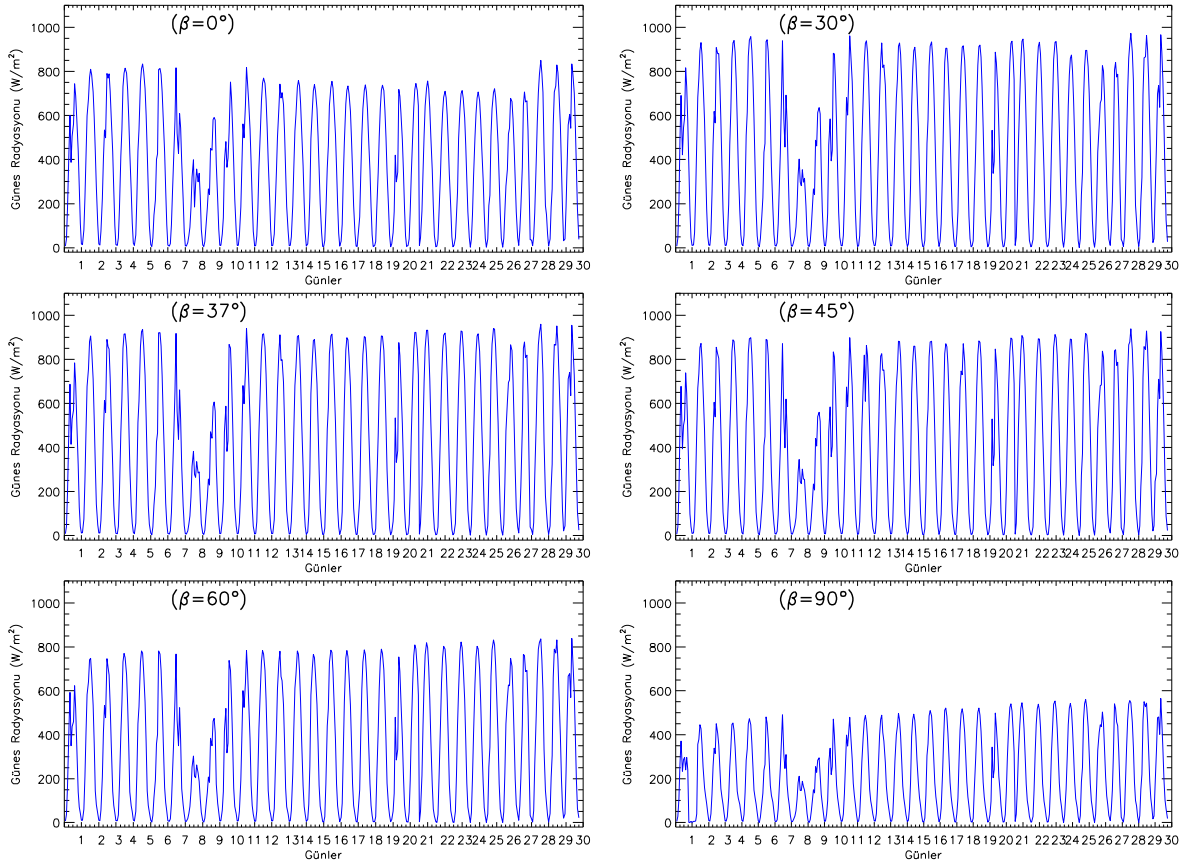
Güneş radyasyonu 1 Eylül 2022-31 Ağustos 2023 tarihleri arasında bir yıl boyunca altı farklı doğrultuda dakikalık olarak "volt" biriminde ölçülmüştür. Ölçülen güneş radyasyon verileri piranometre verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon için başlangıçta piranometre ile aynı doğrultudaki ( $\beta=0^\circ$ ) FV pil ile ölçülen güneş ışınım verileri kullanılmıştır. FV pil sistemden ölçülen verilerin kalibrasyonları yapılırken havanın açık ve kapalı olduğu farklı zaman aralıklarındaki birden fazla günlük veri kullanılmış ve enerji birimine ( $W/m^2$ ) dönüştürülmüştür (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022). " $\beta=0^\circ$ " doğrultusundaki kalibre edilmiş olan FV güneş enerjisi verilerinin doğruluğunu test etmek amacıyla regresyon analizleri yapılmış ve  $R^2$  değerlerine bakılmıştır.  $R^2$  değerinin yaklaşık % 98 oranında iyi bir sonuç elde edilinceye kadar kalibrasyon belirleme işlemleri tekrarlanmıştır. Daha sonra, belirlenen kalibrasyon katsayısı kullanılarak diğer beş farklı doğrultuda ( $\beta=30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) ölçülen güneş ışınım verilerinin kalibrasyonları da  $W/m^2$  biriminde yapılmıştır (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022).

Altı farklı eğimli ( $\beta=0^\circ, \beta=30^\circ, \beta=37^\circ, \beta=45^\circ, \beta=60^\circ$  ve  $\beta=90^\circ$ ) yüzeydeki FV güneş pilleri (Şekil 2) kullanılarak bir yıl süreyle (1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023 arası) ölçülen toplam güneş enerjisi verilerinin dakikalık, saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık olarak ortalamalarının ve toplamalarının değişimleri  $W/m^2$  biriminde elde edilmiştir. Veri analizlerinde IDL (Interactive Data Language) bilgisayar yazılım kodları kullanılmıştır. Aşağıda yapılan analizler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Ağustos 2023 ayı boyunca günlük olarak  $W/m^2$  biriminde ölçülen güneş enerjisinin saatlik değişimleri Şekil 3'de verilmiştir. Güneş ışınları güneş ufuk düzleminden itibaren yükselmeye başladığında yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı da artmaya başlar ve öğle saatlerinde maksimum düzeye ulaşır. Öğleden sonra güneş ufuk düzlemine doğru inmeye başladığında ise güneş enerjisi de azalarak tekrar en düşük seviyesine ulaşır. Analizler yapılırken, IDL'de yazılan kodlar kullanılarak sabah güneşin doğuş saati ile akşam batış saatleri belirlenmiş ve güneşin ufuk düzleminin altında kaldığı zamanlardaki alınan veriler günlük verilerden çıkartılmıştır. Örneğin, güneş 15 Ağustos 2023 tarihinde güneş sabah saat 05.51'de doğup akşam 19.27'de batmıştır ve bu sürede toplam 14 saatlik veri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Ağustos ayı boyunca her doğrultudaki FV pillerden toplam 447 tane dakikalık güneş enerjisi verisi elde edilmiştir. Şekil 3'de tüm yönlerde ölçülen güneş enerjisi değerleri incelendiğinde 7-8 Ağustos tarihlerinde havanın kapalı olması nedeniyle bu tarihte elde edilen güneş enerjisi değerleri diğer günlerde ölçülen değerlere göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 3'de yatay eksenler dakika biriminde zamanı, düşey eksenler ise  $W/m^2$  biriminde günlük güneş enerjisini göstermektedir. " $\beta=0^\circ$ " doğrultusunda Ağustos ayında ölçülen aylık toplam ve ortalama güneş radyasyon değerleri sırasıyla  $167411.94 W/m^2$  ve  $375.36 W/m^2$  olarak elde edilmiştir. Akşam saat 19.00-20.00'da  $2.06 W/m^2$  ile en düşük (25.08.2023), ve öğle saat 12.00-13.00'da  $849.89 W/m^2$  ile en düşük değer (29.08.2023) ölçülmüştür. " $\beta=30^\circ$ " doğrultusunda aylık olarak hesaplanan toplam ve ortalama değerleri sırasıyla  $191554.41 W/m^2$  ve  $429.49 W/m^2$  olarak ölçülmüştür. 25.08.2023 tarihinde akşam

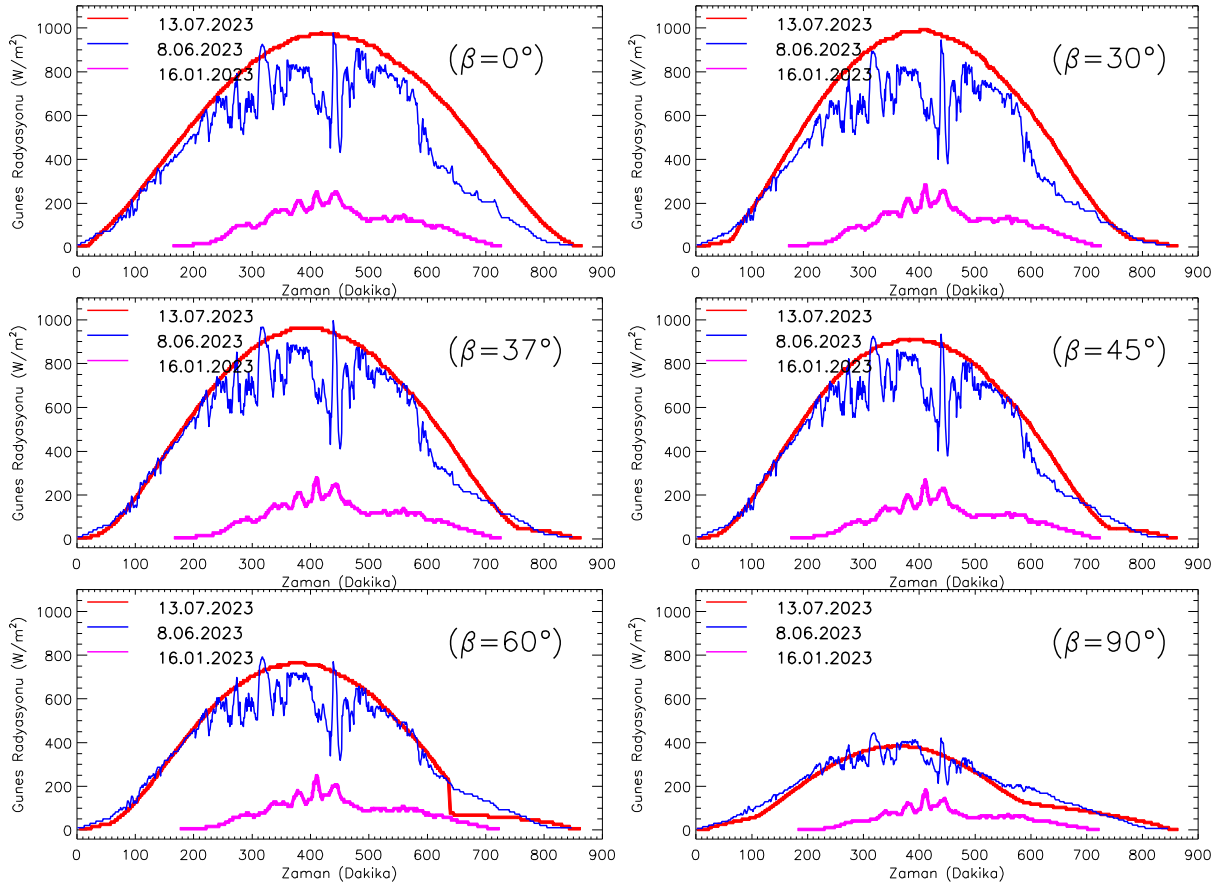
saat 19.00-20.00'da 1.37 W/m<sup>2</sup> ile en düşük ve 29.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 972.30 W/m<sup>2</sup> ile en yüksek değer ölçülmüştür. Ölçüm yapılan yerin enlemiyle yaklaşık aynı eğimde olan “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile Ağustos ayı boyunca aylık olarak hesaplanan toplam ve ortalama değerleri sırasıyla 187405.29 W/m<sup>2</sup> ve 420.19 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. 25.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 1.37 W/m<sup>2</sup> ile en düşük ve 29.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 959.97 W/m<sup>2</sup> ile en yüksek değer ölçülmüştür. “ $\beta=45^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile ölçülen aylık toplam ve ortalama güneş enerji değerleri sırasıyla 178646.87 W/m<sup>2</sup> ve 400.55 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülürken 25.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 0.69 W/m<sup>2</sup> ile minimum ve 29.08.2023 tarihinde öğle saat 12.00-13.00'da 937.72 W/m<sup>2</sup> ile en maksimum enerji değeri ölçülmüştür. “ $\beta=60^\circ$ ” doğrultusunda aylık olarak hesaplanan toplam ve ortalama değerleri sırasıyla 154811.15 W/m<sup>2</sup> ve 347.11 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. 26.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 0.79 W/m<sup>2</sup> ile en düşük ve 31.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 839.27 W/m<sup>2</sup> ile en yüksek değer ölçülmüştür. Benzer şekilde ölçüm yapılan yerin enlem açısına en yakın eğikliğe sahip olan “ $\beta=90^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile aylık olarak ölçülen toplam ve ortalama değerleri sırasıyla 97868.54 W/m<sup>2</sup> ve 219.44 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. 25.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 0.51 W/m<sup>2</sup> ile en düşük, ve 31.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 564.89 W/m<sup>2</sup> ile en yüksek değer ölçülmüştür.



**Şekil 3.** Ağustos 2023 ayı boyunca günlük olarak altı farklı doğrultuda ölçülen güneş enerjisinin saatlik değişimleri



Bir yüzeye gelen güneş ışınları, ölçüm yapılan yerin coğrafi koordinatlarına bağlı olmasının yanı sıra hava durumuna göre havanın bulutsuz (açık), kısmen bulutlu ve çok bulutlu (kapalı) koşullarına bağlı olarak düşük veya yüksek değerler göstermektedir. Genel olarak, havanın bulutsuz olduğu bir günde, güneş ışınımının günlük değişim eğrisi, yüzey güneş ışınımı esas olarak güneş yükseklik açısına bağlı olarak değişir. Kışın Dünya yüzeyine çok az güneş enerjisi ulaşır. İlkbaharda güneş açısı artar ve gün uzar, dolayısıyla gelen güneş enerjisi miktarı kışa göre daha fazla olur. Yaz aylarında, güneş radyasyonu akışı en fazla olur ve sonbahara doğru tekrar düşmeye başlar. FV pillerin tüm yüzeylerinden ölçülen bulutlu bir günde güneş radyasyonu, bulut nedeniyle açık bir güne göre daha fazla değiştiği gözlenmiştir. Bu amaçla, ölçülen günlük güneş enerjisi verilerinden bir tane gökyüzünün çok bulutlu olduğu gün (1 Ocak 2023), bir tane kısmen bulutlu olduğu gün (24 Mayıs 2023) ve bir tane de havanın tamamen açık olduğu bir gün (13 Temmuz 2023) seçilmiş ve her doğrultuda alınan güneş ışınım verilerinin dakikalık değişim grafikleri Şekil 4’de verilmiştir. Havanın açık ve kısmen bulutlu olduğu günler yaz mevsiminden seçilirken, çok bulutlu olduğu gün ise kış mevsiminden seçilmiştir. Bu nedenle havanın kısmen bulutlu olduğu gündeki güneş enerjisi verilerinin günlük değişimi havanın açık olduğu gündeki değişimine oldukça yakın olduğu açıkça görülmektedir. Havanın tamamen kapalı olduğu günde, gelen güneş enerjisi miktarı atmosferdeki bulutlar tarafından tamamen soğrulması veya saçılması sonucu oldukça düşüktür.



**Şekil 4.** Havanın açık, kısmen bulutlu ve çok bulutlu olduğu günlerde altı farklı doğrultuda ölçülen güneş ışınımının dakikalık değişimi.

Genel olarak havanın kısmen bulutlu olduğu günde ölçülen toplam enerji açık olduğu güne göre ortalama %20 daha düşük iken bulutlu olan günlerin yaklaşık %80 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Sadece “ $\beta=90^\circ$ ” FV pili ile ölçülen değerler arasındaki kısmen bulutlu günde ölçülen güneş enerjisinin açık havada ölçülene göre yaklaşık %10 daha yüksek, bulutlu olduğu günde %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, açık günde ölçülen ortalama güneş enerjisi kısmen bulutlu ve bulutlu günlere göre daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Genel olarak bulutlu bir yaz gününde bile dünya yüzeyinde açık bir kış gününe göre daha fazla güneş ışığının ölçülür. Ayrıca, bulutlu günlerde güneş ışınımındaki değişim açık ve kısmen bulutlu güne göre daha yüksek seviyede dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Bulutlu bir günde tüm FV pillerden ölçülen güneş ışınımı gün boyunca  $225.31 \text{ W/m}^2$ 'nin altında kaldığı görülürken, kısmen bulutlu bir günde gün boyunca yaklaşık  $1032.43 \text{ W/m}^2$ 'nin altında kaldığı görülmüştür. Havanın açık olduğu günlerde ise  $979.66 \text{ W/m}^2$  ( $\beta=30^\circ$ ) ile  $973.50 \text{ W/m}^2$  ( $\beta=0^\circ$ ) arasında ölçüldüğü görülmüştür. Güneş ışınımı günün büyük bölümü saat 11.00'dan 13.00'a kadar en yüksek görülürken bu saatlerin dışında kalan zamanlarda en düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 4'de dakikalık olarak üç farklı hava şartlarında alınan güneş enerjisi verilerinin saatlik değişimleri de Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, havanın açık, kısmen bulutlu ve çok bulutlu olduğu günlerde hesaplanan saatlik ortalama günlük güneş enerjisi değerleri “ $\beta=0^\circ$ ” için sırasıyla  $537.48 \text{ W/m}^2$ ,  $483.35 \text{ W/m}^2$  ve  $103.24 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir. “ $\beta=30^\circ$ ” için sırasıyla  $491.63 \text{ W/m}^2$ ,  $418.60 \text{ W/m}^2$  ve  $100.68 \text{ W/m}^2$  olarak, “ $\beta=37^\circ$ ” için sırasıyla  $475.51 \text{ W/m}^2$ ,  $456.55 \text{ W/m}^2$  ve  $96.29 \text{ W/m}^2$  olarak, “ $\beta=45^\circ$ ” için sırasıyla  $447.13 \text{ W/m}^2$ ,  $430.94 \text{ W/m}^2$  ve  $87.91 \text{ W/m}^2$ , “ $\beta=60^\circ$ ” için sırasıyla  $359.95 \text{ W/m}^2$ ,  $348.47 \text{ W/m}^2$  ve  $77.25 \text{ W/m}^2$  olarak ve “ $\beta=90^\circ$ ”  $175.07 \text{ W/m}^2$ ,  $194.53 \text{ W/m}^2$  ve  $51.75 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu günlerde hesaplanan günlük en yüksek güneş enerjisi değerleri  $\beta=0^\circ$  için sırasıyla  $973.50 \text{ W/m}^2$ ,  $943.03 \text{ W/m}^2$  ve  $220.01 \text{ W/m}^2$  olarak, “ $\beta=30^\circ$ ” için  $979.66 \text{ W/m}^2$ ,  $889.09 \text{ W/m}^2$  ve  $225.31 \text{ W/m}^2$  olarak, “ $\beta=37^\circ$ ” için  $954.84 \text{ W/m}^2$ ,  $1003.98 \text{ W/m}^2$  ve  $217.95 \text{ W/m}^2$  olarak, “ $\beta=45^\circ$ ” için  $907.24 \text{ W/m}^2$ ,  $963.57 \text{ W/m}^2$  ve  $202.54 \text{ W/m}^2$ , “ $\beta=60^\circ$ ” için  $763.43 \text{ W/m}^2$ ,  $826.94 \text{ W/m}^2$  ve  $181.14 \text{ W/m}^2$  olarak ve “ $\beta=90^\circ$ ” için de  $386.83 \text{ W/m}^2$ ,  $467.89 \text{ W/m}^2$  ve  $125.93 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir.

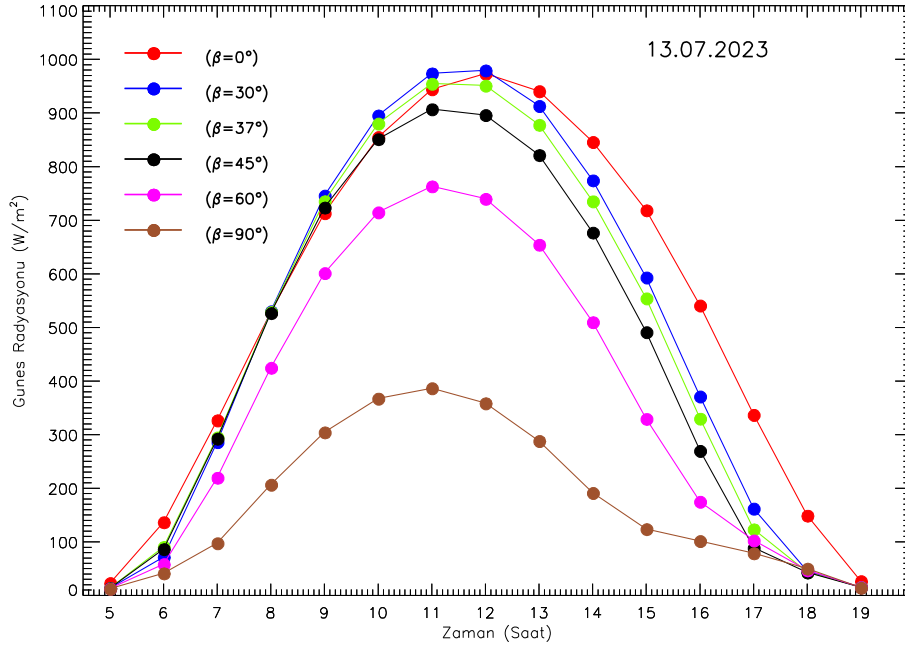
**Tablo 1.** FV piller ile altı farklı doğrultuda havanın açık, kısmen bulutlu ve bulutlu olduğu günlerde ölçülen güneş ışınımının saatlik değişimi.

13 Temmuz 2023 (Açık)							24 Mayıs 2023 (Kısmen Bulutlu)						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$	Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5	23.19	14.09	14.09	13.80	13.21	12.67	5	23.63	18.75	20.29	18.75	16.95	12.43
6	136.97	71.91	90.74	86.63	58.55	41.55	6	96.22	72.08	83.89	76.70	69.17	49.20
7	327.01	286.43	295.17	292.77	219.83	97.76	7	237.81	225.48	270.51	264.18	223.94	134.47
8	528.70	530.41	529.04	526.98	424.94	206.99	8	471.17	430.59	523.56	521.51	440.70	244.21
9	713.26	746.13	735.69	723.88	601.63	304.49	9	672.17	620.29	724.56	717.03	610.19	342.09
10	855.19	895.60	880.53	851.43	714.97	367.46	10	812.39	761.54	873.69	852.11	729.87	414.87
11	944.57	974.01	954.84	907.24	763.43	386.83	11	943.03	889.09	1003.98	963.57	826.94	467.89
12	973.50	979.66	951.24	896.28	740.14	358.79	12	708.64	653.00	725.59	688.61	583.66	331.13
13	940.80	913.41	878.14	821.81	654.54	288.43	13	895.60	793.90	859.30	804.00	653.34	327.44
14	846.29	774.55	735.52	677.14	510.04	191.57	14	805.03	693.91	723.88	668.23	514.49	210.05
15	718.74	593.41	554.38	491.37	329.58	124.02	15	660.53	536.23	529.21	470.66	325.30	135.23
16	541.02	371.35	330.09	270.00	174.99	101.71	16	485.55	350.98	316.91	261.44	95.36	108.85
17	337.11	162.14	123.61	89.03	102.83	79.02	17	295.34	166.93	128.41	95.88	75.16	81.83
18	149.12	45.71	43.66	43.15	47.25	50.22	18	121.39	51.53	49.99	47.94	48.97	47.03
19	26.78	15.59	15.96	15.41	15.59	14.61	19	21.71	14.71	14.48	13.54	13.07	11.30

1 Ocak 2023 (Çok Bulutlu)						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5						
6						
7						
8	12.16	11.64	10.96	9.25	7.02	4.59
9	52.56	46.74	44.00	40.23	34.07	21.29
10	114.71	108.89	103.58	94.68	83.04	53.40
11	178.40	174.98	169.50	154.60	137.48	93.04
12	220.01	225.31	217.95	202.54	181.14	125.93
13	150.84	145.36	137.31	123.96	108.55	70.36
14	133.72	130.98	125.16	112.83	99.30	66.40
15	105.64	102.04	96.91	88.69	76.36	52.00
16	53.42	50.85	47.77	43.49	37.67	25.49
17	10.99	10.03	9.80	8.84	7.88	4.98
18						
19						

Tablo 1’de verilen havanın açık olduğu günde (13 Temmuz 2023) ölçülen güneş ışınımının günlük olarak saatlik değişim grafiği Şekil 5’de verilmiştir. 23 Eylül sonbahar ekinoksunda güneş öğle saatlerinde yaklaşık tepededir ( $\delta=0$ ). Yani, yaz aylarında öğle saatlerinde güneş tam tepededir ve yeryüzüne gelen güneş ışınları zenit doğrultusunda en yüksek düzeye ulaşır. Buna göre Tablo 1’de görüldüğü gibi “ $\beta=0^\circ$ ” FV pilinden ölçülen güneş ışınları saat 12.00-13.00 arasında  $973.50 \text{ W/m}^2$  olarak ey yüksek değerindedir. Osmaniye’nin enlemine eşit olan “ $\beta=37^\circ$ ” FV pilinden ölçülen güneş ışınları saat 11.00-12.00 arasında  $954.84 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. “ $\beta=37^\circ$ ” yönündeki FV pile en yakın eğim açısına sahip olan “ $\beta=30^\circ$ ” ve “ $\beta=45^\circ$ ” FV pillerden alınan güneş enerjisi değerleri ise sırasıyla saat

12.00-13.00'da 9979.66 W/m<sup>2</sup> ve saat 11.00-12.00 arasında 896.28 W/m<sup>2</sup> olduğu açıkça görülmektedir. Tablo 1 ve Şekil 5'de görüldüğü gibi yaz aylarında güneş ışınlarının dik gelmesi ve güney yönünde gölgelemenin fazla olması nedeniyle güneye doğru daha yüksek açılarda ölçüm yapılan “β=60°” ve “β=90°” FV pillerinden ise saat 11.00-12.00 arasında sırasıyla 763.43 W/m<sup>2</sup> ve 386.83 W/m<sup>2</sup> değerinde güneş enerjisi ölçülmüştür.

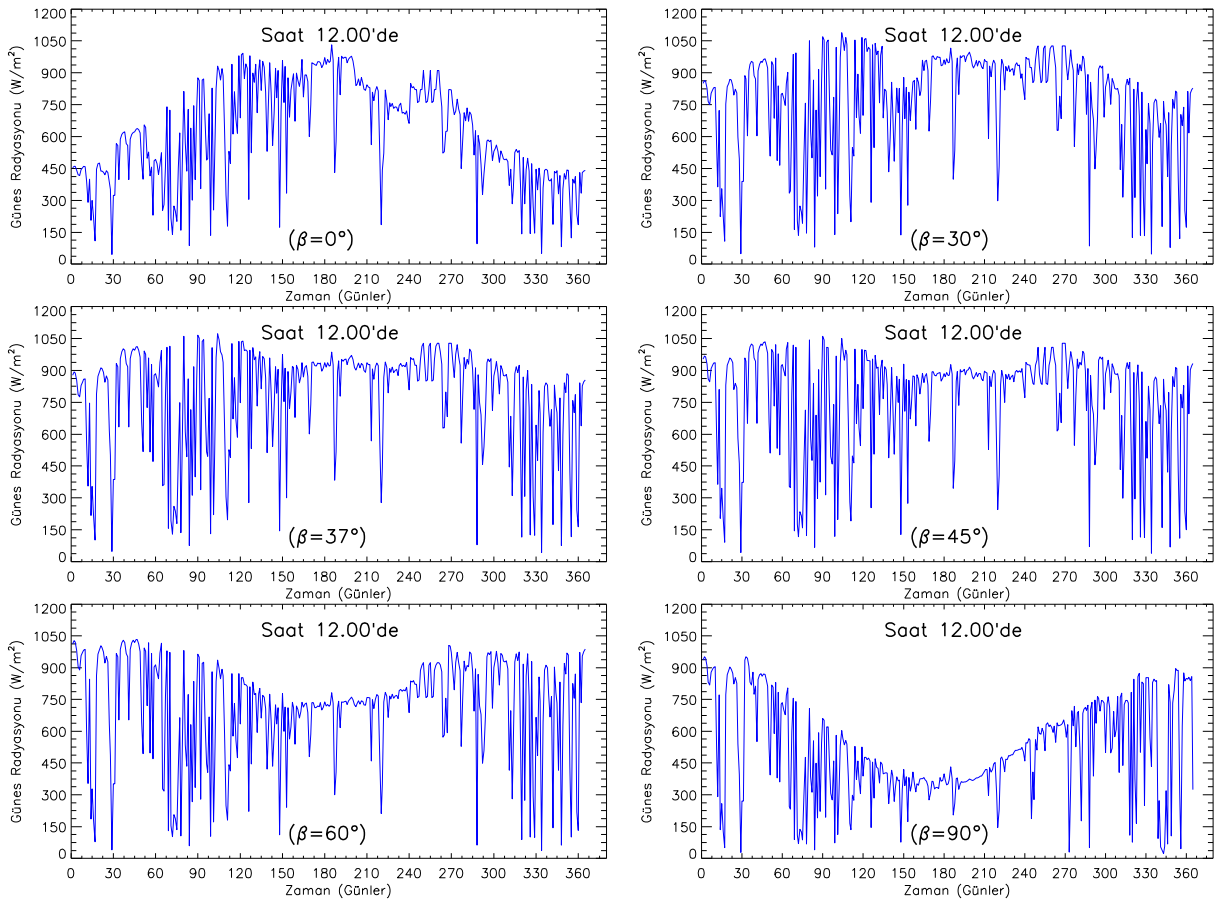


**Şekil 5.** Gökyüzünün açık olduğu 13.07.2023 tarihinde altı farklı doğrultuda ölçülen günlük güneş ışınımının saatlik değişimleri

FV güneş pili sistemi ile bir yıl boyunca ölçülen yıllık ortalama toplam günlük güneş ışınım şiddetinin sadece saat 12.00-13.00 arasındaki ölçüm sonuçlarının yıllık değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Öğle saatlerinde her doğrultuda ölçülen güneş enerjisi değerlerinin kış aylarında yaz aylarına göre çok daha fazla değişiklik gösterdiği açıkça görülmektedir. Şekil 6'da incelendiğinde doğrudan zenit yönüne bakan “β=0°” FV pili ile elde edilen değerlerin genel olarak kış aylarında en düşük iken yaz aylarında en yüksek oranda değişim gösterdiği belirgin olarak görülmektedir. Yüze gelen güneş ışınım şiddeti dünyanın eğikliğine bağlı olarak değiştiğinden öğle saatlerinde ölçülen güneş ışınımının değişimleri yüzey eğim açalarına bağlı olarak “β=0°” eğimli yüzeydekenden “β=90°” eğimli yüzeye doğru azaldığı açıkça görülmektedir. Buna göre, yaz aylarında (Haziran, Temmuz ve Ağustos) “β=0°”, “β=30°”, “β=37°”, “β=45°”, “β=60°” ve “β=90°” yönlerindeki FV piller ile saat 12.00-13.00 arasında ölçülen ortalama güneş enerjisi değerlerinin en yüksek olarak ölçüldüğü Ağustos ayında sırasıyla 707.68 W/m<sup>2</sup>, 858.82 W/m<sup>2</sup>, 847.87 W/m<sup>2</sup>, 815.23 W/m<sup>2</sup>, 717.62 W/m<sup>2</sup> ve 452.65 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Genel olarak yaz mevsiminde ölçülen güneş enerjilerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 816.04 W/m<sup>2</sup>, 879.29 W/m<sup>2</sup>, 867.16 W/m<sup>2</sup>, 826.47 W/m<sup>2</sup>, 700.59 W/m<sup>2</sup> ve 390.18 W/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Kış mevsiminde (Aralık, Ocak ve Şubat) “β=0°”, “β=30°”, “β=37°”, “β=45°”, “β=60°” ve “β=90°” yönlerinde saat 12.00-13.00 arasında en yüksek olarak ölçüldüğü Şubat ayında sırasıyla 544.42 W/m<sup>2</sup>, 832.52 W/m<sup>2</sup>,

872.79 W/m<sup>2</sup>, 895.22 W/m<sup>2</sup>, 892.76 W/m<sup>2</sup>, 766.54 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Bu üç ayda ölçülen güneş enerjilerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 426.85 W/m<sup>2</sup>, 692.50 W/m<sup>2</sup>, 725.91 W/m<sup>2</sup>, 751.13 W/m<sup>2</sup>, 772.11 W/m<sup>2</sup>, 657.55 W/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. İlkbahar (Mart, Nisan ve Mayıs) mevsiminde ölçülen toplam güneş enerjisi değerleri 638.74 W/m<sup>2</sup>, 702.65 W/m<sup>2</sup>, 712.82 W/m<sup>2</sup>, 690.50 W/m<sup>2</sup>, 614.69 W/m<sup>2</sup> ve 398.36 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenirken sonbahar (Eylül, Ekim ve Kasım) mevsiminde ise 582.06 W/m<sup>2</sup>, 777.49 W/m<sup>2</sup>, 792.79 W/m<sup>2</sup>, 787. W/m<sup>2</sup>, 772.25 W/m<sup>2</sup> 599.64 W/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Tüm mevsimlerde saat 12.00-13.00 arasında ölçülen ortalama güneş enerjisi değerleri ise  $\beta=0^\circ$ ,  $\beta=30^\circ$ ,  $\beta=37^\circ$ ,  $\beta=45^\circ$ ,  $\beta=60^\circ$  ve  $\beta=90^\circ$  yönlerinde sırasıyla 617.05 W/m<sup>2</sup>, 763.33 W/m<sup>2</sup>, 774.89 W/m<sup>2</sup>, 763.84 W/m<sup>2</sup>, 714.44 W/m<sup>2</sup> ve 510.39 W/m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür.

FV güneş pili sistemi (Şekil 2) ile farklı yönlerde bir yıl boyunca saat 12.00-13.00 arasında ölçülen toplam güneş enerjisi verilerinin en yüksek, en düşük, yıllık toplam ve ortalama değerlerine de bakılmıştır. Mayıs-Eylül ayları arasında genellikle havanın açık olduğu güneşli günler olması nedeniyle saat 12.00-13.00 arasında ölçülen güneş enerjilerinin değerleri  $\beta=0^\circ$ ,  $\beta=30^\circ$ ,  $\beta=37^\circ$ ,  $\beta=45^\circ$ ,  $\beta=60^\circ$  ve  $\beta=90^\circ$  yönlerinde sırasıyla 1031.03 W/m<sup>2</sup>, 1061.33 W/m<sup>2</sup>, 1038.39 W/m<sup>2</sup>, 1027.26 W/m<sup>2</sup>, 1005.00 W/m<sup>2</sup>, 654.11 W/m<sup>2</sup> arasında değişen yüksek oranda güneş ışımasını görülürken, bunun dışında kalan diğer günlerde havanın parçalı bulutlu, bulutlu ya da çok bulutlu olmasından dolayı güneş ışımasını dalgalanmalar ve azalmalar görülmektedir.



Şekil 6. Pronometre ve altı farklı doğrultudaki ( $\beta=0^\circ$ ,  $\beta=30^\circ$ ,  $\beta=37^\circ$ ,  $\beta=45^\circ$ ,  $\beta=60^\circ$  ve  $\beta=90^\circ$ ) FV pil ile saat 12:00'da ölçülen güneş enerjisi verileri

Yıl boyunca güneşin doğuşundan batışına kadar geçen sürelerde ölçülen güneş enerjisi değerlerinin günlük olarak saatlik değişimleri elde edilmiş ve günlük değişimleri incelenmiştir. Elde edilen saatlik güneş enerjisi verilerin yıllık toplam ve ortalama değerleri sırasıyla “ $\beta=0^\circ$ ” ile 1616377.24 W/m<sup>2</sup> ve 342.16 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=30^\circ$ ” ile 1920360.25 W/m<sup>2</sup> ve 406.43 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=37^\circ$ ” ile 1943405.70 W/m<sup>2</sup> ve 412.09 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=45^\circ$ ” ile 1911356.96 W/m<sup>2</sup> ve 405.89 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=60^\circ$ ” ile 1762994.95 W/m<sup>2</sup> ve 375.03 W/m<sup>2</sup> ve “ $\beta=90^\circ$ ” ile 1275190.44 W/m<sup>2</sup> ve 271.61 W/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Buna göre ölçüm yapılan yerin enlemine (Enlem: 37°.04) yakın yönlerdeki “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ” ve “ $\beta=45^\circ$ ” eğim açılarında yıllık olarak en yüksek güneş enerjisi elde edilmiştir. Ayrıca, yıl boyunca günlük olarak ölçülen saatlik güneş enerjisi değerlerinin en yüksek ve en düşük değerleri ise sırasıyla “ $\beta=0^\circ$ ” ile 1031.03 W/m<sup>2</sup> ve 2.57 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=30^\circ$ ” ile 1089.41 W/m<sup>2</sup> ve 1.89 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=37^\circ$ ” ile 1072.46 W/m<sup>2</sup> ve 1.87 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=45^\circ$ ” ile 1065.44 W/m<sup>2</sup> ve 1.62 W/m<sup>2</sup>, “ $\beta=60^\circ$ ” ile 1033.77 W/m<sup>2</sup> ve 0.69 W/m<sup>2</sup> ve “ $\beta=90^\circ$ ” ile 971.35 W/m<sup>2</sup> ve 0.38 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Toplam güneş radyasyonunun günlük değişimi mevsimsel ve yerel hava koşullarındaki değişime bağlı olarak da değiştiğinden, yıllık olarak mevsimsel güneş enerjisinin saatlik değişimleri de incelenmiştir. Tüm FV pillerin yüzeyleri için kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında elde edilen mevsimsel güneş enerjisinin dağılımı Tablo 2 ve Şekil 7’de verilmiştir. Osmaniye bölgesi kışın ılık ve yağışlı, yazın sıcak ve kurak geçtiği ılgın bir Akdeniz iklimine sahiptir. Güneşlenme süresinin kıaldığı kış aylarında Güneş ışınları yeryüzüne eğik gelirken, güneşlenme süresinin arttığı yaz aylarında ise dik gelmektedir. Buna bağlı olarak farklı eğim açılarına sahip olan FV pillerin yüzeylerine gelen güneş ışınım şiddetlerinin değerleri mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, kış aylarında güneşe doğru farklı açılarda (özellikle “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ”) yönlendirilmiş FV piller ile daha yüksek güneş enerjisi elde edilirken, “ $\beta=0^\circ$ ” yönündeki FV pil ile en düşük güneş enerjisi elde edilmiştir (Şekil 7). Yaz aylarında ise güneş ışınları yüzeye dik geldiğinden “ $\beta=0^\circ$ ” ve buna yakın yönlerdeki FV piller ile en yüksek güneş enerjisi elde edilirken, “ $\beta=90^\circ$ ” yönündeki FV pil ile en düşük güneş enerjisi elde edilmiştir.

Güneş ışınlarının eğik geldiği kış aylarında (Aralık-Ocak-Şubat) güneşe bakan “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” eğimli FV pil ile elde edilen güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel ortalamaları sırasıyla 357.46 W/m<sup>2</sup>, 377.42 W/m<sup>2</sup>, 392.32 W/m<sup>2</sup>, 406.59 W/m<sup>2</sup> ve 354.38 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Ayrıca, doğrudan zenit yönüne bakan “ $\beta=0^\circ$ ” eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 212.96 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Güneş ışınlarının dik olarak geldiği yaz aylarında (Haziran-Temmuz-Ağustos) güneşe bakan ( $\beta=30^\circ$ , “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ”) eğimli FV pil ile elde edilen güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel ortalamaları sırasıyla 429.01 W/m<sup>2</sup>, 419.18 W/m<sup>2</sup>, 396.12 W/m<sup>2</sup>, 325.46 W/m<sup>2</sup> ve 186.07 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir “ $\beta=0^\circ$ ” eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 428.01 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. İlkbaharda (Mart-Nisan-Mayıs) güneşe bakan ( $\beta=30^\circ$ , “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ”) FV pil ile elde edilen ortalama güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel sırasıyla 347.80 W/m<sup>2</sup>, 351.16 W/m<sup>2</sup>, 339.67 W/m<sup>2</sup>, 297.57 W/m<sup>2</sup> ve 193.25 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Doğrudan zenite bakan  $\beta=0^\circ$  eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 328.22 W/m<sup>2</sup> elde edilmiştir. Benzer şekilde

sonbaharda güneye bakan ( $\beta=30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) FV pil ile elde edilen güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel ortalamaları sırasıyla  $396.69 \text{ W/m}^2, 405.22 \text{ W/m}^2, 404.47 \text{ W/m}^2, 396.74 \text{ W/m}^2$  ve  $322.57 \text{ W/m}^2$  olarak elde edilmiştir. Doğrudan zenite bakan  $\beta=0^\circ$  eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama  $296.64 \text{ W/m}^2$  elde edilmiştir.

Tablo 2’de verilen her mevsim için üç aylık ortalama değerleri incelendiğinde, yazın güneş enerjisinin kış mevsimine göre “ $\beta=0^\circ$ ” için %100.98, “ $\beta=30^\circ$ ” için % 20.02, “ $\beta=37^\circ$ ” için %11.60, “ $\beta=45^\circ$  için %0.97 kadar daha yüksek olduğu görülürken, “ $\beta=60^\circ$  için %19.95 ve “ $\beta=90^\circ$  için %47.49 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yaz aylarındaki “ $\beta=0^\circ$ ”, “ $\beta=30^\circ$ ” ve “ $\beta=37^\circ$ ” yönlerindeki güneş ışınım değerleri sonbahar aylarına göre sırasıyla % 44.29, % 8.15 ve % 3.44 oranında daha yüksek iken “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” yönlerindeki güneş ışınım değerleri ise sırasıyla %2.06, %17.97 ve %42.32 oranında daha düşüktür. Benzer şekilde, yaz aylarındaki “ $\beta=0^\circ$ ”, “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ” ve  $\beta=60^\circ$  yönlerindeki güneş ışınım değerleri ilkbahar aylarına göre sırasıyla %30.40, %23.35, %19.37, %16.62 ve %9.37 daha fazla olduğu görülürken, “ $\beta=90^\circ$ ” yönündeki güneş ışınım değeri ise %3.71 daha oranında düşüktür. Buna göre yıl boyunca yüzde olarak en büyük değişiklik “ $\beta=0^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” yönlerinde gözlenirken, Osmaniye’nin enlemine yakın eğim açılarındaki ( $\beta=30, 37^\circ$ ve  $45^\circ$ ) FV pillerde en düşük oranda değişiklik gözlenmiştir. Bu sonuç da beklenildiği gibi gözlem yapılan yerin enlem açısına en yakın olan eğim açılarındaki yıllık olarak en yüksek oranda verim alındığı görülmektedir.

**Tablo 2.** Tüm FV pillerin yüzeyleri için elde edilen Güneş enerjisinin ( $\text{W/m}^2$ ) kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerindeki değişimleri

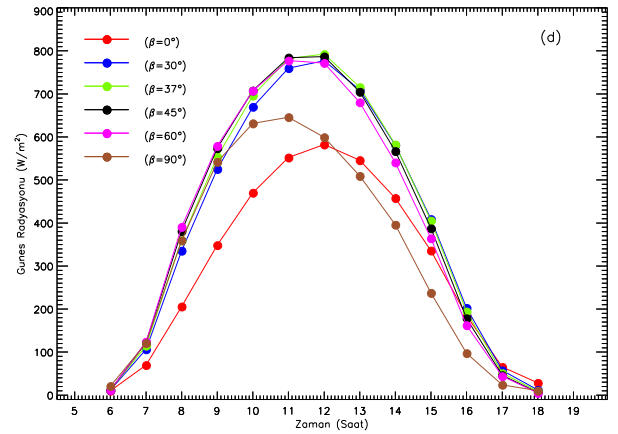
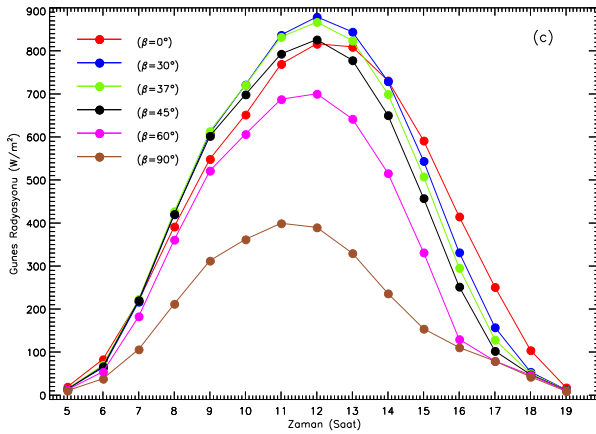
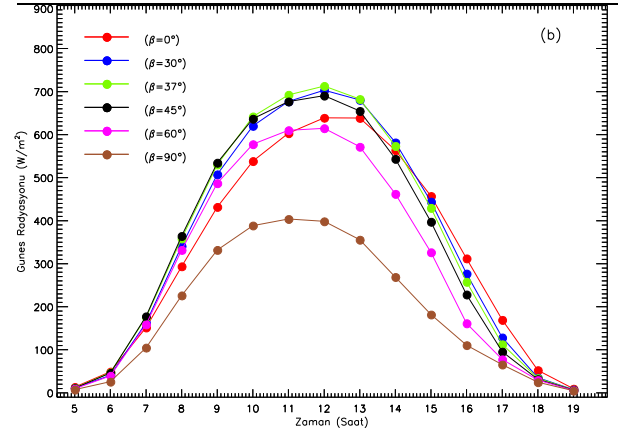
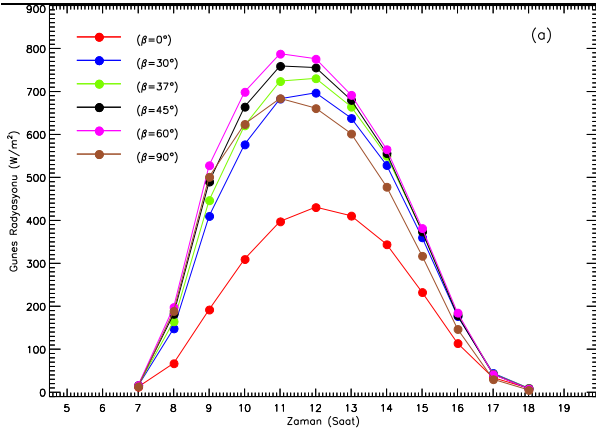
Aralık-Ocak-Şubat							Mart-Nisan-Mayıs						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$	Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5							5	13.29	11.15	11.37	10.59	9.48	7.34
6							6	49.03	40.40	46.84	46.13	39.37	25.78
7	12.62	15.50	16.04	16.35	16.20	13.44	7	151.74	162.54	175.64	177.61	158.86	104.84
8	67.21	148.49	164.89	182.31	198.13	188.93	8	293.79	341.01	358.57	364.40	331.86	226.17
9	192.39	410.15	446.81	490.14	528.15	501.26	9	431.89	507.58	530.49	534.63	486.95	331.97
10	309.83	576.77	621.06	664.42	699.07	624.28	10	538.40	620.23	642.02	636.76	577.59	388.68
11	397.67	683.26	724.06	759.33	787.83	684.09	11	603.20	677.00	692.52	676.81	610.08	403.82
12	430.65	697.02	730.65	755.78	776.00	661.07	12	638.99	703.07	712.89	690.57	614.78	398.43
13	410.73	638.09	664.61	680.23	691.98	601.91	13	638.62	680.60	682.54	654.89	571.66	355.60
14	344.21	528.78	550.43	556.43	565.37	478.06	14	563.83	581.76	573.49	543.57	462.21	269.01
15	232.91	360.39	375.58	374.05	381.88	317.33	15	457.25	444.17	429.62	397.33	326.40	181.77
16	114.15	177.36	182.94	178.79	184.96	147.01	16	312.13	276.89	257.79	228.28	161.42	110.64
17	33.70	44.29	42.70	41.61	41.46	30.06	17	169.31	128.25	112.68	95.42	77.55	65.54
18	9.44	9.44	9.32	8.43	8.09	5.07	18	52.48	35.07	33.93	31.49	29.43	24.39
19							19	9.38	7.23	7.05	6.54	5.91	4.75
<b>Ort.</b>	<b>212.96</b>	<b>357.46</b>	<b>377.42</b>	<b>392.32</b>	<b>406.59</b>	<b>354.38</b>	<b>Ort.</b>	<b>328.22</b>	<b>347.80</b>	<b>351.16</b>	<b>339.67</b>	<b>297.57</b>	<b>193.25</b>

Haziran-Temmuz-Ağustos							Eylül-Ekim-Kasım						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$	Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5	19.31	14.57	14.62	13.63	12.49	10.11	5						
6	83.16	64.00	70.02	66.54	54.16	37.85	6	10.07	11.55	11.92	11.62	11.27	20.94
7	219.71	216.82	223.56	220.42	182.96	106.27	7	69.68	106.34	114.73	122.30	123.93	120.72
8	391.62	420.05	427.23	420.72	361.03	212.06	8	205.74	335.53	359.84	381.23	390.89	359.36
9	548.63	609.16	613.35	602.16	521.52	312.29	9	348.42	525.31	553.59	573.89	578.88	541.86
10	651.84	721.35	720.73	698.72	606.56	361.93	10	470.19	669.82	696.00	707.74	707.37	631.45
11	769.56	837.04	832.30	793.24	687.60	399.26	11	552.02	759.85	781.97	784.34	777.44	645.84
12	816.47	879.06	867.05	826.32	700.30	389.74	12	582.19	777.20	792.45	786.86	771.80	599.34
13	809.24	844.25	823.86	778.26	642.07	329.75	13	545.80	709.56	715.78	704.85	680.32	509.24
14	730.97	729.29	699.64	650.36	515.61	236.16	14	457.84	581.01	582.10	566.84	540.59	395.83
15	591.57	543.95	507.93	457.54	331.42	154.20	15	335.73	408.94	405.37	387.44	364.31	237.39
16	415.06	331.72	295.74	252.01	129.83	110.76	16	185.12	202.46	194.06	178.43	162.27	97.33

17	251.13	157.46	128.71	102.61	79.12	79.13
18	104.23	53.85	50.71	47.73	46.55	42.49
19	17.58	12.62	12.23	11.47	10.71	9.08
<b>Ort.</b>	<b>428.01</b>	<b>429.01</b>	<b>419.18</b>	<b>396.12</b>	<b>325.46</b>	<b>186.07</b>

17	65.24	57.30	50.85	46.19	43.73	23.88
18	28.24	12.13	9.26	6.33	4.80	10.29
19						
<b>Ort.</b>	<b>296.64</b>	<b>396.69</b>	<b>405.22</b>	<b>404.47</b>	<b>396.74</b>	<b>322.57</b>



**Şekil 7.** FV pillerin tüm yüzeyler için güneş enerjisinin ( $W/m^2$ ): (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimlerinde saatlik değişimleri.

FV pillerden (Şekil 2) bir yıl boyunca (Eylül 2022 - Ağustos 2023) ölçülen güneş enerjisi verilerinin yıllık olarak saatlik ortalama değişimleri de elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 8’de verilmiştir. Tablo 3 ve Şekil 8’de “ $\beta=0^\circ$ ” doğrultusundaki FV pilden saatlik güneş enerjilerinin toplamı ve ortalamaları  $4664.92 W/m^2$  ve  $310.99 W/m^2$  olarak elde edilirken saat 12.00-13.00 arasında  $628.70 W/m^2$  en yüksek değerlerde ölçülmüştür. “ $\beta=30^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile ölçülen güneş radyasyonun en yüksek değerleri saat 12.00-13.00 arasında  $759.71 W/m^2$  olarak elde edilmiştir. Saatlik olarak yıllık ortalama değerlerin toplamı ve ortalamaları ise sırasıyla  $5338.88 W/m^2$  ve  $355.93 W/m^2$  olarak elde edilmiştir. Osmaniye’nin enlemiyle (enlemi:  $37^\circ.04$ ) aynı olan doğrultusundaki “ $\beta=37^\circ$ ” ile en yüksek değerleri 12.00-13.00 arasında  $770.20 W/m^2$  olduğu görülmekte ve saatlik olarak yıllık olarak toplam ve ortalama değerleri de  $5388.43 W/m^2$  ve  $359.23 W/m^2$  olarak ölçülmüştür. “ $\beta=45^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile öğle saatlerinde 12.00-13.00 arasında  $757.56 W/m^2$  en yüksek değer olduğu görülmektedir. Benzer şekilde saatlik olarak yıllık ortalama değerlerin toplamı ve ortalamaları ise sırasıyla  $5274.02 W/m^2$  ve  $351.60 W/m^2$  olarak elde edilmiştir. “ $\beta=60^\circ$ ” doğrultusundaki FV pilden ölçülen güneş radyasyonu saat 12.00-13.00’da  $697.03 W/m^2$  ile en yüksek olduğu görülürken, yıllık toplam ve ortalama değerleri sırasıyla  $4763.57 W/m^2$  ve  $317.57 W/m^2$  olarak elde edilmiştir. Doğrudan zenite

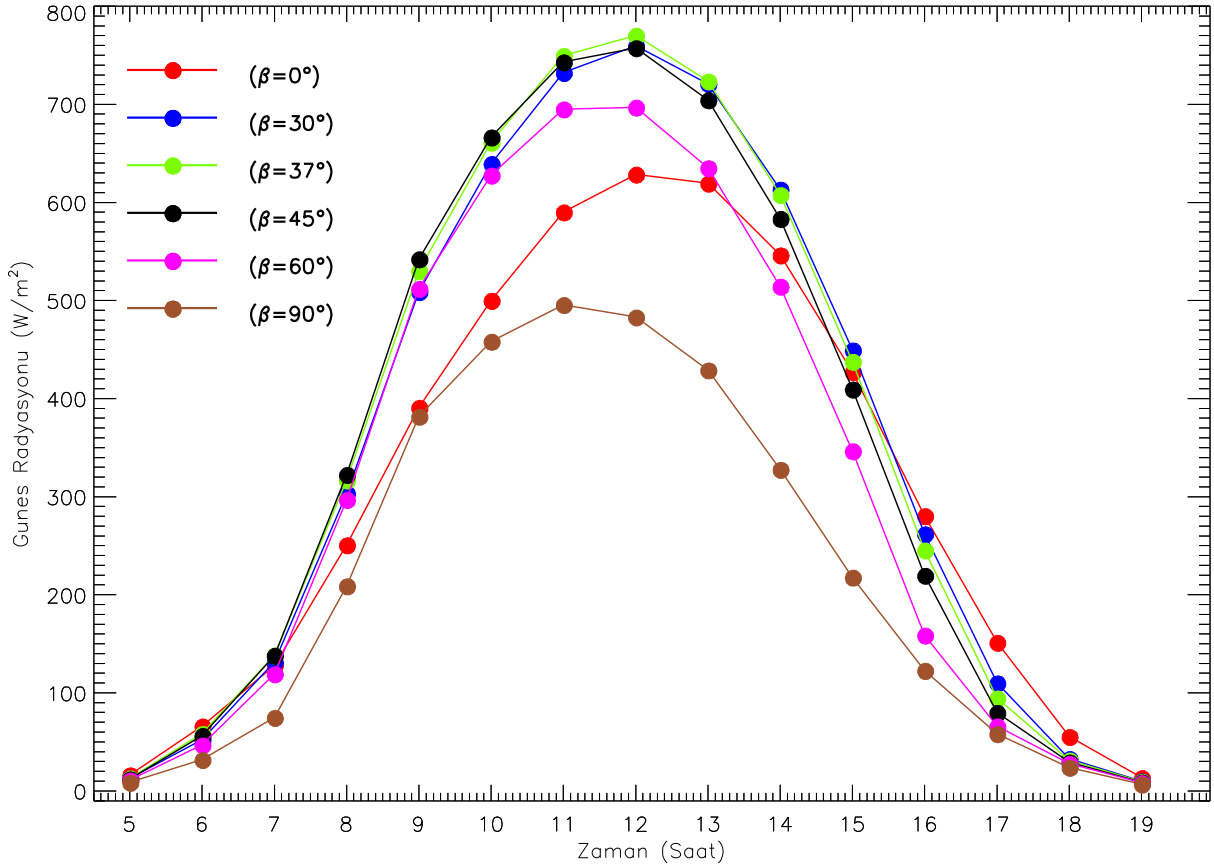


bakan “ $\beta=90^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile öğlen saat 11.00-12.00’da 495.72 en yüksek ve yıllık toplam ve ortalama değerleri de sırasıyla 3329.92 W/m<sup>2</sup> ve 221.99 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Tablo 3 ve Şekil 8 incelendiğinde, yıllık olarak ölçülen ortalama saatlik güneş enerjisi verilerinin en yüksek Osmaniye’nin enlem açısıyla aynı (enlemi: 37°.04) olan “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusundaki FV pili ile alındığı (359.23 W/m<sup>2</sup>) görülmüştür. “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusundaki FV pile göre “ $\beta=30^\circ$ ” FV pil ile %0.9, “ $\beta=45^\circ$ ” FV pil ile %2.2, “ $\beta=60^\circ$ ” FV pil ile %13.1, “ $\beta=0^\circ$ ” FV pil ile %15.5 ve “ $\beta=90^\circ$ ” FV pil ile %61.8 daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.** FV pillerin tüm yüzeylerine gelen güneş ışınımının yıllık olarak saatlik ortalamaları

Zaman (Saat)	$\beta=0^\circ$ (W/m <sup>2</sup> )	$\beta=30^\circ$ (W/m <sup>2</sup> )	$\beta=37^\circ$ (W/m <sup>2</sup> )	$\beta=45^\circ$ (W/m <sup>2</sup> )	$\beta=60^\circ$ (W/m <sup>2</sup> )	$\beta=90^\circ$ (W/m <sup>2</sup> )
05:00	16.30	12.86	12.99	12.11	10.98	8.73
06:00	66.09	52.20	58.43	56.33	46.77	31.82
07:00	128.02	131.62	138.41	138.13	119.34	74.85
08:00	250.87	303.18	316.90	322.48	297.01	209.05
09:00	390.97	508.97	530.22	542.31	512.21	381.84
10:00	500.02	639.45	661.27	666.63	627.74	458.30
11:00	590.15	732.43	749.63	743.12	695.17	495.72
12:00	628.70	759.71	770.20	757.56	697.03	483.08
13:00	619.53	720.98	723.67	704.46	635.24	429.09
14:00	546.34	613.28	607.85	583.45	514.40	327.74
15:00	427.24	449.50	437.71	409.64	346.57	217.77
16:00	280.45	261.99	245.49	219.69	158.74	122.80
17:00	151.38	110.00	94.70	79.88	66.04	58.24
18:00	55.38	32.79	31.32	29.22	28.02	23.98
19:00	13.48	9.92	9.64	9.01	8.31	6.91
<b>Ort.</b>	<b>310.99</b>	<b>355.93</b>	<b>359.23</b>	<b>351.60</b>	<b>317.57</b>	<b>221.99</b>



Şekil 8. FV pillerin tüm yüzeylerine gelen güneş ışınımının yıllık olarak saatlik ortalamaları

## Sonuçlar

Bir yüzeye gelen güneş enerjisi miktarını ölçüm yapılan yerin coğrafik enlemi ve ölçüm cihazlarının eğim açıları önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, güneye doğru beş farklı eğim açısında ( $\beta=30^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) yönlendirilmiş ve bir tane de zenite doğru ( $\beta=0^\circ$ ) yönlendirilmiş toplam altı farklı bir FV güneş pil sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2) ve Osmaniye Korkut Ata üniversitesi merkez yerleşkesine yerleştirilmiştir. Geliştirilen FV güneş pilleri kullanılarak 1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023 tarihleri arasında bir yıl süresince güneş enerjisi dakikalık olarak ölçülmüş ve daha sonra bu veriler kullanılarak güneş enerjisinin saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık değişimleri analiz edilmiş ve incelenmiştir. Osmaniye’de ölçülen yıllık ortalama toplam güneş radyasyonunun;

- Maksimum ve minimum değerleri Osmaniye’nin enlemiyle (enlemi:  $37^\circ.04$ ) aynı olan  $\beta=37^\circ$  ile  $419.18 \text{ W/m}^2$  ve  $377.42 \text{ W/m}^2$  değerleri yaz ve kış mevsiminde,  $\beta=30^\circ$  ile  $429.01 \text{ W/m}^2$  ve  $357.46 \text{ W/m}^2$  değerleri yaz ve kış mevsiminde,  $\beta=45^\circ$  ile  $404.47 \text{ W/m}^2$  ve  $339.67 \text{ W/m}^2$  değerleri sonbahar ve ilkbahar mevsiminde,  $\beta=60^\circ$  ile  $406.59 \text{ W/m}^2$  ve  $297.57 \text{ W/m}^2$  değerleri kış ve ilkbahar mevsiminde ve  $\beta=90^\circ$  ile  $354.37 \text{ W/m}^2$  ve  $186.07 \text{ W/m}^2$  değerleri kış ve yaz mevsiminde bulunmuştur.

- Tüm yönlerde ( $\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) yıllık ortalama güneş ışınımının sırasıyla  $310.99 \text{ W/m}^2, 355.93 \text{ W/m}^2, 359.23 \text{ W/m}^2, 351.60 \text{ W/m}^2, 317.57 \text{ W/m}^2$  ve  $221.99 \text{ W/m}^2$  olduğunu göstermektedir.
- “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusunda ortalama güneş ışınım enerjisi diğer yönlerde (“ $\beta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$ ”) ölçülen güneş ışınım enerjisi ile kıyaslanmıştır. Buna göre, “ $\beta=37^\circ$ ” FV pil ile ölçülen güneş enerjisi  $\beta=30^\circ$ ’a göre % 0.75,  $\beta=45^\circ$ ’a göre %2.21,  $\beta=60^\circ$ ’a göre %11.53 ,  $\beta=0^\circ$ ’a göre 13.76 ve  $\beta=90^\circ$ ’a göre %38.01 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir.
- Yıl boyunca yüzeye gelen güneş enerjisi verilerindeki en büyük değişiklikler yüzde olarak “ $\beta=0^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” yönlerinde gözlenirken, Osmaniye’nin enlemine yakın eğim açılarındaki ( $\beta=30, 37^\circ$  ve  $45^\circ$ ) FV pillerde en düşük oranda değişiklik gözlenmiştir. Bu sonuç da beklenildiği gibi gözlem yapılan yerin enlem açısına en yakın olan eğim açılarındaki yıllık olarak en yüksek oranda verim alındığı görülmektedir.
- “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ” ve “ $\beta=45^\circ$ ” ile ölçülen güneş enerjisi değerleri yıl boyunca tüm mevsimlerde en yüksek olduğu görülürken, “ $\beta=0^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” doğrultularında ölçülen enerjiler mevsimlere göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Mevsimsel toplam güneş radyasyonu en yüksek değerlerine yaz aylarında (Haziran-Ağustos), en düşük değerlerine ise kış aylarında (Aralık-Şubat) ulaşmaktadır. Maksimum toplam güneş enerjisi “ $\beta=30^\circ$  ile Temmuz ayında yaklaşık  $921.18 \text{ W/m}^2$  olarak, “ $\beta=37^\circ$  ile Eylül ayında yaklaşık  $915.23 \text{ W/m}^2$  olarak ve “ $\beta=60^\circ$  ile Şubat ayında yaklaşık  $912.22 \text{ W/m}^2$  olarak elde edilmiştir.
- Günlük, aylık ve yıllık değişimleri incelendiğinde FV güneş panellerinin Osmaniye’nin enlem (enlemi:  $37^\circ.04$ ) göre yaklaşık  $\pm 10$  derecelik gerçek eğim açısında ( $\beta=30^\circ, 37^\circ$  ve  $45^\circ$ ) en iyi güneş radyasyonu elde edildiği görülmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanmanın oldukça önemli olduğu günümüzde, FV piller kullanılarak yatay yüzeydeki güneş enerjisinin farklı yönlerde ölçülmesi ve yıllık incelenmesi sonucu elektrik enerjisinin üretilmesi, değerlendirmesi, binalarda ve tarım alanlarında kullanılması ve yapılan bu çalışmanın bilime oldukça önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın belirli eğimli yüzeylerde kullanılacak olan FV güneş panellerinin tasarlanması ve kurulumu için yardımcı olacağına inanmaktayız.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **Kaynakça**

- Abdullah AH., Ghoneim AA., Al-Hasan AY. Assesment of grid-connected photovoltaic systems in the Kuwaiti climate, *Renewable Energy* 2002; 26, 189-199.
- Alshahrani A., Omer S., Su Y., Mohamed E., Alotaibi S. Thetechnical challenges facing the integration of small-scale and large-scale FV systems into the grid: A critical review, *Electronics* 2019; 8, 1443.
- Bilgili M., Ozbek A., Sahin B., Kahraman A. An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015; 49, 323-334.
- Cooper PI. The absorption of solar radiation in solar stills. *Solar Energy* 1969; 12(3): 333-346.
- Duffie JA., Beckman WA. *Solar engineering of thermal processes*, (4th ed.), John WileyandSons, Inc., New York, 2013.
- Faranda R., Leva S. Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems, *WSEAS Transactions On Power Systems* 2008; 6(3): 446-455.
- Gairaa K., Bakelli Y. Anoverview of global solar radiationmeasurements in Ghardaiaarea, South Algeria. *International Journal of Energy and Environment* 2011; 2(2): 255-260.
- Hua Z., Ma C., Lian J., Pang X., Yang W. Optimal capacity allocation of multiple solar trackers and storage capacity for utility-scale photovoltaic plants considering output characteristics and complementary demand. *Applied Energy* 2019; 238, 721-733.
- Iqbal M. *An Introductionto solar radiation*. AcademicPress, Toronto, Canada, 1983.
- Jaszczur M., Hassan Q., Teneta J., Styszko K., Nawrot W., Hanus R. Study of dust deposition and temperature impact on solar photovoltaic modüle. *MATEC Web of Conferences, ICCHMT*, 2018; 240, 04005, 1-6.
- Kalogirou SA. *Solar energy engineering processes and systems*. Second Edition, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, AcademicPress is an imprint of Elsevier, 2014.
- Kaya R. Fotovoltaik piller kullanarak güneş ışınım şiddetinin beş farklı noktada ölçülmesi ve verinin analiz edilmesi. Y. Lisans Tezi, OKU Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, Türkiye, 2021.
- Kaygusuz K. Energy for sustainable development: Key issues and challenges. *Energy Sources Part B*, 2007; 2(1): 73-83.
- Laricoa ERA., Gutierrez AC. Solar tracking system with photovoltaic cells: Experimental analysis at high altitudes. *International Journal of Renewable Energy Development* 2022; 11(3): 630-639.
- Law EW., Prasad AA., Kay M., Taylor RA. Direct normal irradiance forecasting and its application to concentrated solar thermal output forecasting. A review. *Sol. Energy* 2014; 108, 287-307.
- Malik AQ., Ak Abd Malik Abd Raub Pg Ghani. Measurement of global solar radiation over Brunei Darussalam, ISESCO Scienceand Technology, Proceedings of the International Symposium on Renewable Energy: Environment Protection and Energy Solution, Malaysia, 2006; 762.

- Marquez R., Coimbra CF. Intra-hour DNI forecasting based on cloud tracking image analysis. *Sol. Energy* 2013; 91, 327-336.
- Maxwell EL., Stoffel TL., Bird RE. Measuring and modeling solar irradiance on vertical surfaces (No. SERI/TR-215-2525). Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA), 1986.
- Mondola J. Deb, Yohanisa YG., Norton B. The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid-connected photovoltaic system. *Renewable Energy* 2007; 32, 118–140.
- Othman AB., Belkilani K., Besbes M. Global solar radiation on tilted surfaces in Tunisia: Measurement, estimation and gained energy assessments. *Energy Reports* 2018; 4, 101-109.
- Qing X., Niu Y. Hourly day-ahead solar irradiance prediction using weather forecasts by LSTM. *Energy* 2018; 148, 461-468.
- Raza MQ., Nadarajah M., Ekanayake C. On recent advances in PV output power forecast. *Solar Energy* 2016; 136, 125–144.
- Suki NM., Suki NM., Sharif A., Afshan S., Jermsittiparsert K. The role of technology innovation and renewable energy in reducing environmental degradation in Malaysia: A step towards sustainable environment. *Renewable Energy* 2022; 182, 245-253.
- Şahan M., Kaya R. Fotovoltaik piller kullanılarak güneş ışınım şiddetinin beş farklı doğrultuda ölçülmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi* 2022; 17(1): 155-169.
- Şahan M., Tokat Ö., Okur Y. Osmaniye’de günlük toplam güneş ışınım ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi* 2015; 10(2); 97-105.
- Şahan M. 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, 020005–1–0200054.*
- Şahan M. The measurements of the global solar radiation and solar ultraviolet radiation during 2018 year. Cite as: *AIP Conference Proceedings, 2019; 2178, 030016.*
- Şahan M., Emrahoğlu N. 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* 2021; 16(2): 349-367.
- Toklu E. Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey. *Renew Energy* 2013; 50, 456-463.
- Xingang Z., Xiaomeng L., Pingkuo L., Tiantian F. The mechanism and policy on the electricity price of renewable energy in China. *Ren Sustain Energy Rev*, 2011; 15, 4302-4309.
- Vernet A., Fabregat A. Evaluation of empirical daily solar radiation models for the northeast coast of the Iberian peninsula. *Energies* 2023; 16, 2560.
- Wojtkiewicz J., Hosseini M., Gottumukkala R., Chambers TL. Hour-ahead solar irradiance forecasting using multivariate gated recurrent units. *Energies* 2019; 12, 4055.

Yang D., Jirutitjaroen P., Walsh WM. Hourly solar irradiance time series forecasting using cloud cover index. *Sol. Energy* 2012; 86, 3531-3543.

Zhang HL., Baeyens J., Degreve J., Caceres G. Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 22, 466-481.