



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan KÜÇÜK

**GÜNEY YÖNÜNDE FARKLI AÇILARDA
YERLEŞTİRİLEN FOTOVOLTAİK PİLLER
KULLANILARAK OSMANİYE'DE TOPLAM
GÜNEŞ IŞINIMIN ÖLÇÜLMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2024

T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEY YÖNÜNDE FARKLI AÇILARDA
YERLEŞTİRİLEN FOTOVOLTAİK PİLLER
KULLANILARAK OSMANİYE'DE TOPLAM GÜNEŞ
İŞİNİMİN ÖLÇÜLMESİ

Hasan KÜÇÜK

FİZİK
ANABİLİM DALI

OSMANİYE
ŞUBAT-2024
TEZ ONAYI

GÜNEY YÖNÜNDE FARKLI AÇILARDA YERLEŞTİRİLEN FOTOVOLTAİK
PİLLER KULLANILARAK OSMANİYE’DE TOPLAM GÜNEŞ İŞİNİMİN
ÖLÇÜLMESİ

Hasan KÜÇÜK tarafından Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN danıőmanlıęında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik** Anabilim Dalı’nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN
Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Prof. Dr. Eyyup TEL
Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

.....

Üye: Doç. Dr. Nuri EMRAHOğLU
Eğitim Fakóltesi, Çukurova Ü.

.....

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun// tarih ve/ sayılı kararı ile onaylanmıőtir.

Prof. Dr. Eyyüp TEL.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Hasan KÜÇÜK



ÖZET

GÜNEY YÖNÜNDE FARKLI AÇILARDA YERLEŞTİRİLEN FOTOVOLTAİK PİLLER KULLANILARAK OSMANİYE’DE TOPLAM GÜNEŞ IŞINIMIN ÖLÇÜLMESİ

Hasan KÜÇÜK
Yüksek Lisans, Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN

Şubat 2024, 101 sayfa

Bu çalışmada, Osmaniye’de ($37^{\circ}.04$ D, $36^{\circ}.22$ K) toplam güneş enerjisini ölçmek için güney yönünde farklı açılarda yönlendirilmiş (“Yön1: $0^{\circ}.0$ ”, “Yön2: $60^{\circ}.0$ ”, “Yön3: $45^{\circ}.0$ ”, “Yön4: $37^{\circ}.0$ ”, ve “Yön5: $30^{\circ}.0$ ”) bir fotovoltaik (FV) sistem tasarlanmış ve 1 Eylül 2022 tarihinde ölçümlere başlanılmıştır. FV pillerin bir tanesinin yönü (“Yön4: 37° ”) özellikle Osmaniye’nin coğrafik enlemiyle yaklaşık aynı açıda seçilmiştir. Dakikada volt cinsinden ölçülen güneş enerjisi verileri, MS6D veri kayıt sistemi kullanılarak bir yıl boyunca (Eylül 2022 - Ağustos 2023) toplanmıştır. PV verileri, Eppley B&W Piranometre ile eş zamanlı olarak ölçülen veriler kullanılarak kalibre edilmiştir. Dakikalık olarak volt biriminde ölçülen tüm FV verileri daha sonra saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak W/m^2 cinsinden analiz edilmiştir. Beş farklı yöndeki (“ $0^{\circ}.0$ ”, “ $60^{\circ}.0$ ”, “ $45^{\circ}.0$ ”, “ $37^{\circ}.0$ ”, ve “ $30^{\circ}.0$ ”) günlük verilerden elde edilen yıllık toplam güneş radyasyon bileşenleri sırasıyla $127207.84 W/m^2$, $146553.52 W/m^2$, $156669.99 W/m^2$, $158409.81 W/m^2$ ve $155931.26 W/m^2$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, aylık olarak ortalama toplam güneş radyasyonu değerleri ise sırasıyla $346.16 W/m^2$, $416.99 W/m^2$, $439.91 W/m^2$, $444.85 W/m^2$ ve $439.03 W/m^2$ olarak da elde edilmiştir. Saatlik, günlük, aylık ve yıllık toplam güneş enerji değerleri incelendiğinde, en yüksek güneş enerjisi sırasıyla “ $37^{\circ}.0$ ”, “ $30^{\circ}.0$ ” ve “ $45^{\circ}.0$ ” yönlerindeki fotovoltaik sistemlerle ölçülürken, en düşük güneş enerjisi “ $30^{\circ}.0$ ” yönünde ölçülmüştür. Bu sonuçların güneş enerjisi ölçümleri için oldukça önemli olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Piranometreler; Güneş Enerjisi; Fotovoltaik Sistem

ABSTRACT

MEASUREMENT OF GLOBAL SOLAR RADIATION IN OSMANIYE USING PHOTOVOLTAIC CELLS PLACED AT DIFFERENT ANGLES IN THE SOUTH DIRECTION.

Hasan KÜÇÜK

M.Sc., Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN

February 2024, 101 pages

In this study, a photovoltaic (PV) system, oriented at different angles with respect to the ground (“Direction1: 0°.0, zenith”, “Direction2: 60°.0”, “Direction3: 45°.0”, “Direction4: 37°.0”, and “Direction5: 30°.0”) in the south direction, was designed to measure the total solar energy in Osmaniye (37°.04 D, 36°.22 K) and measurements have been started on September 1, 2022. In particular, the direction of one of the PVs (“Direction4: 37°.0”) is chosen at approximately the same angle with the geographical latitude of Osmaniye. Solar energy data measured in volt per minute were collected for one year (September 2022 - August 2023) using the MS6D data logging system. The PV data were calibrated with the data measured simultaneously Eppley B&W Pyranometer. All PV data measured in volts per minute were then analyzed hourly, daily, monthly and annually in W/m^2 . Yearly global radiation components obtained from daily data in the five different orientations (“0°.0”, “60°.0”, “45°.0”, “37°.0”, and “30°.0”) were calculated to be 127207.84 W/m^2 , 146553.52 W/m^2 , 156669.99 W/m^2 , 158409.81 W/m^2 and 155931.26 W/m^2 , respectively. In addition, monthly average total global solar radiation values were obtained to be 346.16 W/m^2 , 416.99 W/m^2 , 439.91 W/m^2 , 444.85 W/m^2 ve 439.03 W/m^2 , respectively. Examined the hourly, daily, monthly and yearly total global energy values, the highest solar energy was measured with the photovoltaic systems in the “37°.0”, “30°.0” and “45°.0” directions, respectively, whereas the lowest was measured with the “0°.0” direction. These results are very important for solar energy measurements.

Keywords: Pyranometers; Solar Energy; Photovoltaic System



Çok kıymetli eşime...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütülmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN'a, manevi olarak desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Halide ŞAHAN hocama ve teknik destek ve tecrübesini esirgemeyen üniversitemiz personeli Ramazan Kaya'ya, Sayın eşim Ayşenur Demirci Küçük'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MALZEME ve YÖNTEM.....	19
3.1. Malzeme	19
3.1.1 Güneş	19
3.1.2 Kara Cisim Işınımı	20
3.1.3 Güneş Açıları.....	23
3.1.3.1 Zamanın Hesaplanması	23
3.1.3.2 Zaman Denklemi.....	23
3.1.3.3 Boylam Düzeltme	25
3.1.3.4 Atmosfer dışı (Extraterrestrial) güneş ışıınım şiddeti	26
3.1.3.5 Güneş Açısı.....	28
3.1.3.6 Deklinasyon Açısı	28
3.1.3.7 Enlem Açısı	30
3.1.3.8 Saat Açısı	30
3.1.3.9 Güneş Yükseklik Açısı	32
3.1.3.10 Güneş Azimut Açısı	32
3.1.3.11 Güneşin doğuş ve batış saatleri ve gün uzunluğu	33
3.1.3.12 Gelme Açısı	34
3.1.3.13 Zenit Açısı	35
3.1.3.14 Yüzey Eğim Açısı	36
3.1.4 Hava Kütlesi Olayı	37
3.1.5 Fotovoltaik Piller	40

3.1.5.1 Maksimum Güç Voltajı	43
3.1.5.2 Açık Devre Gerilimi	44
3.1.5.3 Kısa Devre Akımı	44
3.1.5.4 Fotovoltaik Pillerde Güç Karakteristiği	45
3.1.5.5 FV Hücre Akım-Gerilim (I-V) Eğrileri	46
3.2. Yöntem	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	87



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	MGM’den alınan Osmaniye ilineait uzun süreli (1987- 2021) iklim haritası	5
Çizelge 3.1.	Aylara göre ortalama gün sayıları, ayların saatleri ve ayın ortalama günleri ile bunlara karşılık gelen deklinasyon değerleri	30
Çizelge 4.1.	PR ve “Yön1” toplam ışıınım verilerinin aylık olarak saatlik değışimleri	53
Çizelge 4.2.	Havanın açık olduğu (23.08.2023) tarihinde ölçülen verilerin saatlik olarak hesaplanan ortalama günlük değışimi	60
Çizelge 4.3.	Havanın bulutlu/kapalı olduğu (14.01.2023) ölçülen verilerin saatlik olarak hesaplanan ortalama günlük değışimi	61
Çizelge 4.4.	FV piller kullanılarak beş farklı doğrultuda alınan verilerin aylık olarak yıllık toplam	63
Çizelge 4.5.	FV piller kullanılarak beş farklı doğrultuda alınan verilerin aylara göre ölçülen en düşük, ortalama ve en yüksek değerleri	66
Çizelge 4.6.	FV pillerden “Yön1” yüzeyine gelen güneş ışıınımının aylara göre saatlik değışimi (W/m^2)	69
Çizelge 4.7.	FV pillerden “Yön2” yüzeyine gelen güneş ışıınımının aylara göre saatlik değışimi (W/m^2)	71
Çizelge 4.8.	FV pillerden “Yön3” yüzeyine gelen güneş ışıınımının aylara göre saatlik değışimi (W/m^2)	72
Çizelge 4.9.	FV pillerden “Yön4” yüzeyine gelen güneş ışıınımının aylara göre saatlik değışimi	74
Çizelge 4.10.	FV pillerden “Yön5” yüzeyine gelen güneş ışıınımının aylara göre saatlik değışimi (W/m^2)	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Dünya güneş enerjisi haritası (Kannan ve Vakeesan, 2016; Alshahrani vd., 2019)	2
Şekil 1.2.	Türkiye Güneş Kuşağı Atlası	3
Şekil 1.3.	Osmaniye iline ait a) güneş ışıınım haritası, b) aylara göre güneş ışıınım değerleri ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$), c) aylara göre Güneşlenme Süreleri (saat) (GEPA)	4
Şekil 1.4.	Osmaniye iline ait aylara göre ortalama sıcaklık ve ortalama güneşlenme sürelerinin değişimi	6
Şekil 2.1.	Queensland Üniversitesi'nde güneş panel sisteminden alınan bir günlük FV çıkış profili gösterilmektedir (Raza vd., 2016). .	11
Şekil 2.2.	a) Açık, b) parçalı bulutlu ve c) bulutlu günler için FV çıkışı ile Güneş radyasyonu arasındaki ilişki (Raza vd., 2016).	12
Şekil 2.3.	6 aylık (1 Temmuz ve 31 Aralık 2016) olarak ölçülen global radyasyon değeri ile kurulu sabit ve güneş FV sistemlerinin gerçek ortalama elektrik üretim değerleri	14
Şekil 2.4.	a) Gün doğumu konumu b)Yukarı konum için ışık şiddeti değerleri	15
Şekil 3.1.	İdeal bir kara cisme giren ve kara cisimden yayınlanan radyasyon	21
Şekil 3.2.	Kara cisim ışıınım tayfı	22
Şekil 3.3.	Zaman denklemi	24
Şekil 3.4.	Güneş-Dünya ilişkisi	26
Şekil 3.5.	Dünya dışı güneş radyasyonunun yılın zamanına göre değişimi.	27
Şekil 3.6.	Zenit, güneş yükseklik ve azimut gibi türetilmiş açıları (Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014)	29
Şekil 3.7.	Deklinasyon açısının yıl boyunca aylara göre değişimi	31
Şekil 3.8.	Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin gökyüzünde izlediği günlük görünen yolu (Kalogirou, 2014)	33
Şekil 3.9.	Eğik düzlem için güneş açıları diyagramı(Kalogirou, 2014) ...	35
Şekil 3.10.	Hava kütlesi (Air Mass)	38
Şekil 3.11.	Hava kütlesine karşı güneşin zenit ve yükseklik açıları	39

Şekil 3.12.	İdeal bir kara cisim, AM0 ve AM1.5 tayfları	40
Şekil 3.13.	Fotovoltaik Sistem Şeması	42
Şekil 3.14.	Bir fotovoltaik panel için I-V ve P-V eğrileri	45
Şekil 3.15.	Bir FV hücre için tipik I-V karakteristik eğrisi	46
Şekil 3.16.	a) Güney yönünde değişik açılarda (“Yön1: 0°”, “Yön2: 60°”, “Yön3: 45°”, “Yön4: 37°” ve “Yön5: 30°”) tasarlanan FV pil sistemi, b) Kalibrasyon için kullanılan Eppley8-48 Model B&W Piranometre, c) 16 kanallı MS6D Data Logger, d) Verilen depolandığı kişisel bilgisayar.	48
Şekil 4.1.	PR ve “Yön1” doğrultundaki FV pil ile W/m^2 biriminde ölçülen toplam ışıınımların yıllık olarak saatlik değişimleri	51
Şekil 4.2.	PR ve “Yön1” doğrultundaki FV pil ile W/m^2 biriminde ölçülen toplam ışıınımların yıllık olarak günlük değişimleri ...	51
Şekil 4.3.	PR ve “Yön1” toplam ışıınım verilerinin aylık olarak saatlik değişimleri	54
Şekil 4.4.	PR ölçülen ve “Yön1” doğrultusunda ölçülen değerleri arasındaki doğrusal korelasyon ilişkisi	55
Şekil 4.5.	Havanın açık olduğu (23.08.2023) gün için seçilen gün boyunca dakikalık a) volt ve b) W/m^2 birimlerindeki değişimleri	57
Şekil 4.6.	Havanın bulutlu/kapalı olduğu (14.01.2023) gün için seçilen gün boyunca dakikalık a) volt ve b) W/m^2 birimlerindeki değişimleri	58
Şekil 4.7.	Havanın açık olduğu (23.08.2023) gün için seçilen gün boyunca saatlik değişimleri	60
Şekil 4.8.	Havanın bulutlu/kapalı olduğu (14.01.2023) gün için seçilen gün boyunca saatlik değişimleri	61
Şekil 4.9.	FV piller kullanılarak beş farklı yönde alınan verilerin aylık olarak yıllık toplam değerleri ($\times 10^3$)	64
Şekil 4.10.	FV piller kullanılarak beş farklı doğrultuda alınan verilerin aylara göre ölçülen en düşük, ortalamave en yüksek değerleri .	67
Şekil 4.11.	FV pillerden “Yön1” yüzeyine gelen güneş ışıınının aylara göre saatlik değişimi	70

Şekil 4.12.	S FV pillerden “Yön2” yüzeyine gelen güneş ışıınının aylara göre saatlik değışimi	73
Şekil 4.13.	FV pillerden “Yön3” yüzeyine gelen güneş ışıınının aylara göre saatlik değışimi	73
Şekil 4.14.	FV pillerden “Yön4” yüzeyine gelen güneş ışıınının aylara göre saatlik değışimi	76
Şekil 4.15.	FV pillerden “Yön5” yüzeyine gelen güneş ışıınının aylara göre saatlik değışimi	76
Şekil 4.16.	“Yön1” doğrultusundaki FV pil ile ölçülen ortalama günlük güneş enerjisinin δ ve θ_z açlarına göre yıllık değışimi	78
Şekil 4.17.	Şekil 4.16 ile aynı fakat “Yön2” için	79
Şekil 4.18.	Şekil 4.16 ile aynı fakat “Yön3” için	80
Şekil 4.19.	Şekil 4.16 ile aynı fakat “Yön4” için	80
Şekil 4.20.	Şekil 4.16 ile aynı fakat “Yön5” için	81

1. GİRİŞ

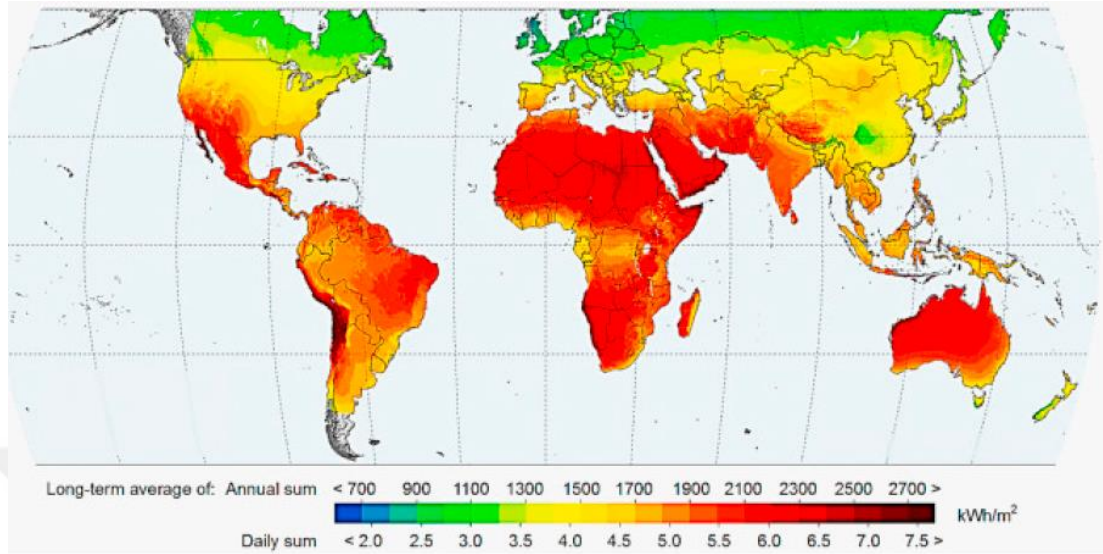
Günümüzde modern uygarlık düzeyine ulaşmak için dünyadaki bütün kurum ve kuruluşlar ucuz, çevre dostu, güvenilir ve alternatif enerji kaynakları için gerekli araştırmalarını sürdürmekte ve bu alanda büyük yatırımlar yapmaktadırlar. Uzun yıllar boyunca güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, nükleer enerji, hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanılması gibi benzer çalışmalar Türkiye’de de yapılmaktadır.

Güneş enerjisi, şu zamanda dünyada en çok ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi taleplerini karşılamak amacıyla en umut verici yenilenebilir kaynaklardan biri olarak gösterilmektedir. Dünya’ya gelen güneş enerjisi, Dünya’da kullanılan bir yıllık enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır (Şahan, 1996).

Dünya nüfusunun gün geçtikçe hızlı bir şekilde artması ve buna paralel olarak da teknolojiye gelişmelerin artışı sonucu enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır (Raza vd., 2016). Teknolojideki hızlı artışın sonucu olarak da günümüze kadar yoğun olarak kullanılan kömür, petrol, doğal gaz gibi doğal kaynakların da hızla tükenmesine yol açmıştır. Günümüze kadar hızlı ve bilinçsiz olarak tüketilen ve nihayetinde tükenme aşamasına gelen çevreye ve tüm canlılara zarar veren olan bu fosil yakıtlar, canlıların yaşam tehdidinden, savaşımlara ve iklim değişimine kadar çok geniş bir alanda etkili olmuştur. Genel olarak, yapılan çalışmalar, dünyada var olan fosil kaynaklı petrolün yaklaşık 43 yıl, doğalgazın 65 yıl ve kömürün ise 228 yıl sonra tükeneceğini göstermektedir. Bu nedenle, son yüzyılda tüm ülkeler temiz, güvenilir ve sınırsız olan güneş enerjisine büyük yatırımlar yapmaktadırlar.

Şekil 1.1’de dünya üzerine gelen güneş enerjisinin ülkelere göre dağılımını gösteren dünya güneş enerjisi haritası verilmektedir. Harita incelendiğinde güneş enerjisinin en çok geldiği bölgeler koyu kırmızı ile temsil edilmiştir. Haritanın altında ise güneş enerjisi değişimleri günlük toplam ve yıllık toplam olmak üzere iki türlü bar ile ifade edilmiştir. Haritadan görüleceği gibi ekvatorun yaklaşık 40°’lik güney bölgesinden başlayarak ekvatorun yaklaşık 40° kuzey bölgesine kadar olan bölgeleri oldukça yoğun güneş enerjisini aldığı görülmektedir. Özellikle, Afrika kıtasındaki pek çok ülke, Orta Doğu ülkeleri, Güney Amerika kıtası ve Avustralya kıtası güneş enerjisi bakımından oldukça verimli olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde güneş enerjisinin

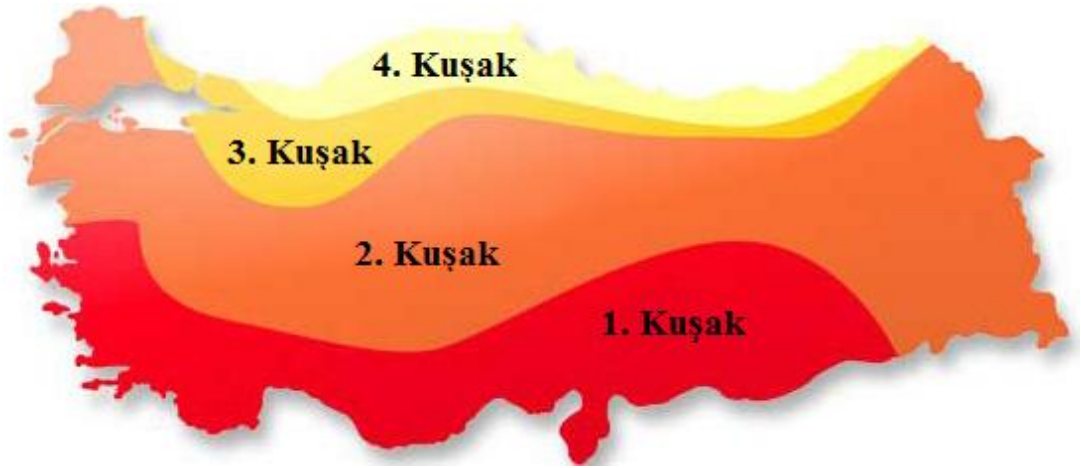
ölçülmesi ve doğrudan enerji üretilmesi bakımından pek çok araştırma yapılmaktadır (Maxwell vd., 1986; Malik vd., 2006; Gairaa ve Bakelli, 2011; Abdullah vd., 2002).



Şekil 1.1. Dünya güneş enerjisi haritası (Kannan ve Vakeesan, 2016; Alshahrani vd., 2019)

Türkiye coğrafyası 36°-42° kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu boylamları arasında bulunduğundan, güneş enerjisi bakımından oldukça iyi durumdadır (Şekil 1.2) (Şahan ve Kaya, 2022). Şekil 1.2’de görüleceği üzere Türkiye haritasında güneş radyasyon değerlerine göre Türkiye dört kuşağa ayrılmıştır. Birinci kuşakta yer alan Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri en fazla güneş ışınlamına sahipken, Dördüncü kuşakta yer alan Karadeniz bölgesi en az güneş enerjisine sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı¹ verilere göre, Türkiye’nin ortalama bir yıl boyunca toplam güneşlenme süresi yaklaşık olarak 2640 saat (günlük toplam 7.5 saat) ve yıllık ortalama güneş enerjisi ise yaklaşık 1311 kWh/m²/yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olarak verilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli bir yıl boyunca ortalama olarak yaklaşık 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıl içerisinde ekonomik ve teknik olarak 10 ay boyunca ülke yüzölçümünün %63’ünde ve tüm yıl boyunca %17’si güneş enerjisinden yararlanılır. Bu durumdan dolayı güneşlenme süresi bakımından orta zenginlikte bir ülkedir.

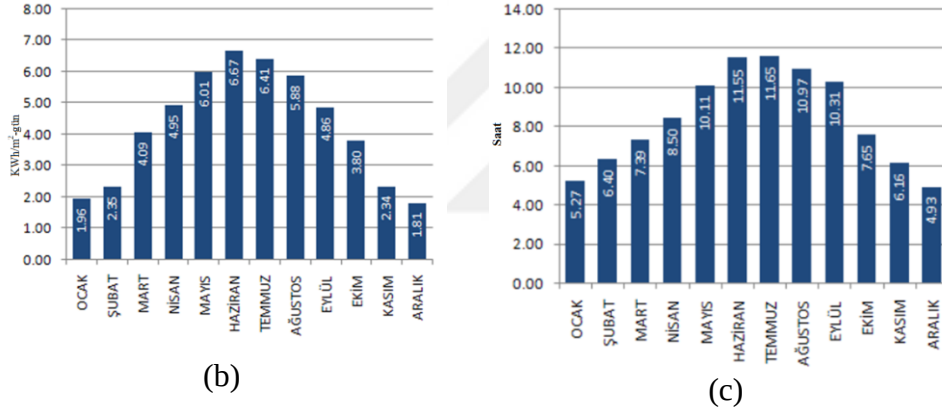
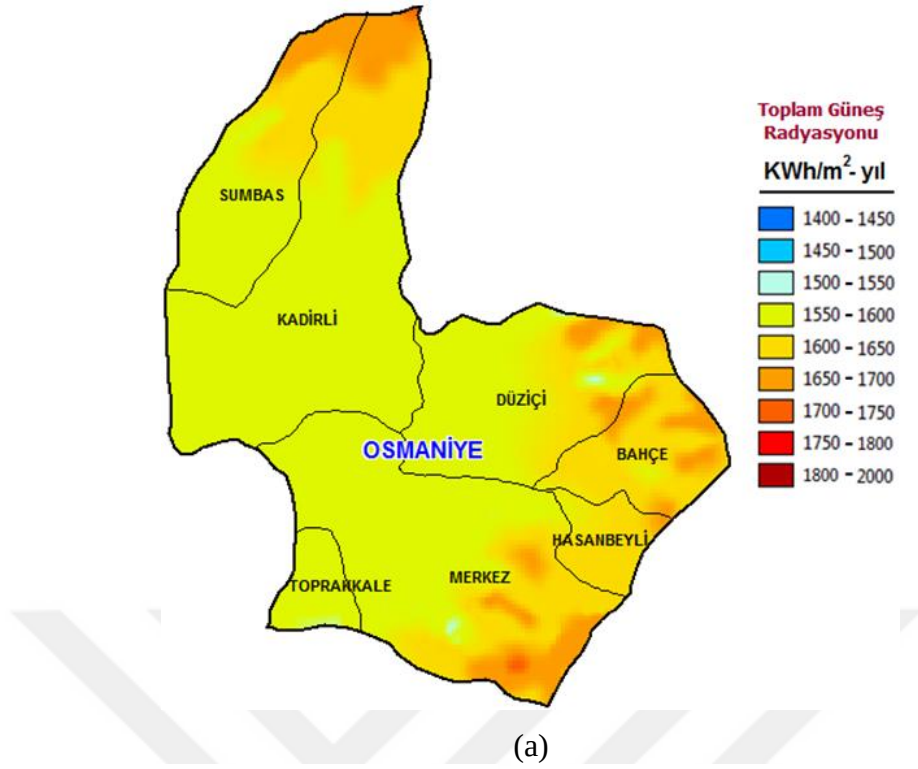
¹ <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>



Şekil 1.2. Türkiye Güneş Kuşağı Atlası

Türkiye'nin en güneyinde bulunan Osmaniye ili güneş enerjisi bakımından oldukça zengin olup 1. kuşakta yer almaktadır (Şekil 1.2). Bu nedenle, güneş enerjisinin bu bölgede yıllık olarak takip edilmesi, bu enerjinin en verimli bir şekilde ekonomiye katkı olarak yararlanılması için oldukça önemlidir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi web sayfasından alınan Osmaniye iline ait güneş enerjisi haritası (GEPA) Şekil 1.3a'da ve Osmaniye iline ait aylık olarak ortalama yıllık güneş ışıınım değerleri ($\text{kWh/m}^2\text{-gün}$) Şekil 1.3b'de verilmiştir. Buna göre, Osmaniye yıllık ortalama $1600\text{-}1750\text{kWh/m}^2$ Güneş radyasyonuna maruz kalan Akdeniz bölgesinde bulunan bir ildir. Şekil 1.3b'de aylık olarak yıllık ortalama güneş ışıınım değeri bakıldığında en fazla ışıınım değerleri grafikte görüldüğü gibi Haziran ayıdır. Yaz aylarında Güneş'in kuzey yarım küreye dik açıyla gelmesi sebebiyle günlerin uzun olması ve dolayısıyla güneşlenme süresinin fazla olmasından Osmaniye ili için Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında güneş ışıınım değerleri maksimum seviyelere ulaşmıştır. Osmaniye ili Şekil 1.3a'da görüldüğü gibi güneş bakımından zengin bir ildir. Buradan da yola çıkarak iklimi yazları kurak ve sıcak kışları yağışlı ve ılık bilgisine varabiliriz.



Şekil 1.3. Osmaniye iline ait a) güneş ışınlm haritası, b) aylara göre güneş ışınlm değeri (kWh/m²-gün), c) aylara göre Güneşlenme Süreleri (saat) (GEPA)

Ayrıca, MGM'den alınan Osmaniye iline ait uzun süreli (1987 - 2021) iklim haritası Çizelge 1.1'de verilmiştir. Çizelge 1.1'de sırasıyla uzun yıllara ait ortalama güneşlenme süresi (saat), ortalama sıcaklık (°C), aylık toplam yağış miktarı ortalaması (mm) ve ortalama yağışlı gün sayısı verilmiştir. Çizelge 1.1 incelendiğinde, en düşük sıcaklık 8.8 °C (en düşük ort. güneşlenme süresi: 2.8 saat) ile Ocak ayı iken en yüksek sıcaklık 28.5 °C (en yüksek ort. güneşlenme süresi: 7.2 saat) ile Temmuz ayı olduğu görülmektedir. Osmaniye ili için yıllık olarak ortalama sıcaklık ve güneşlenme süresi sırasıyla 18.66 °C ve 5.06 saat olduğu ve dolayısıyla güneşlenme süresi bakımından oldukça iyi bir bölge olduğu görülmektedir. Çizelge

1.1'deki verileri kullanarak Osmaniye iline ait aylara göre ortalama sıcaklık ve ortalama güneşlenme sürelerinin değişimi Şekil 1.4'de verilmiştir. Şekil 1.4'de görüldüğü gibi ortalama güneşlenme süresi Temmuz ayına kadar artış gösterirken sıcaklık Ağustos ayına kadar artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun nedeni gelen güneş enerjisinin mevsimlere göre farklı açılarda olduğundan yeryüzüne gelen radyasyonun fazla olmasına rağmen toprağın daha geç soğuması ve geç ısınmasıdır (Şahan, 1996).

Çizelge 1.1. MGM'den alınan Osmaniye iline ait uzun süreli (1987 - 2021) iklim haritası²

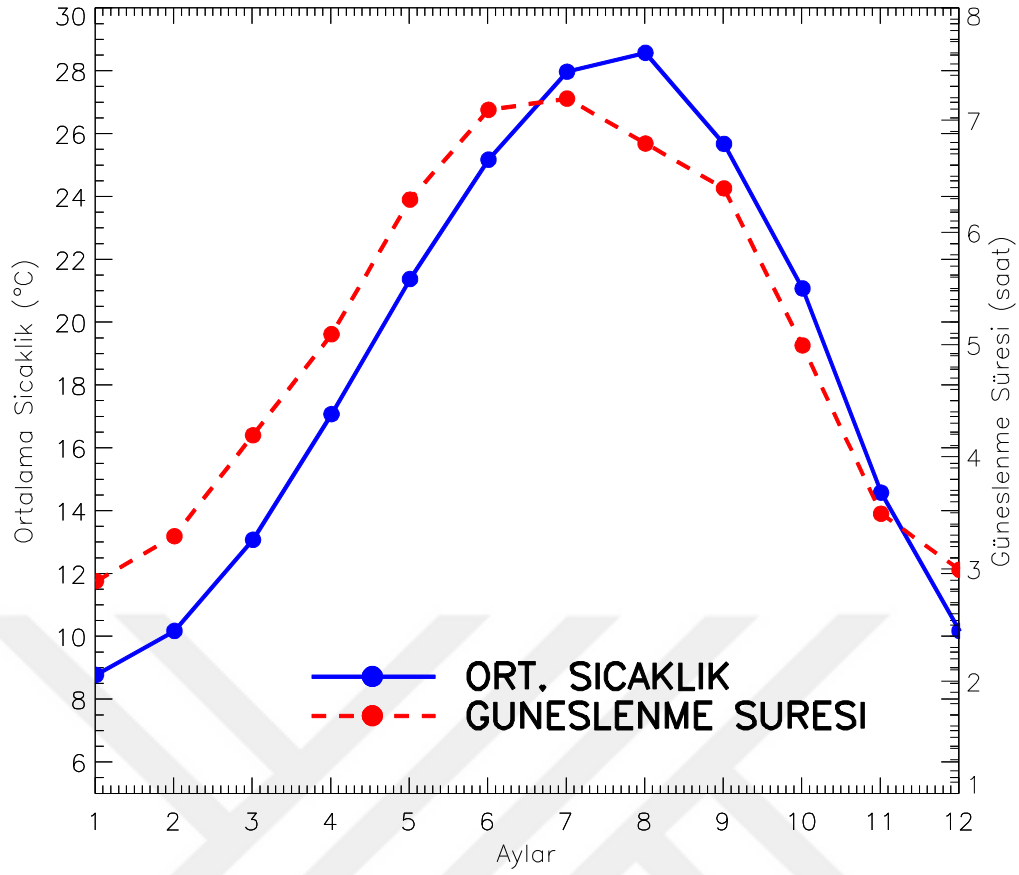
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1987 - 2021)													
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.3	4.2	5.1	6.3	7.1	7.2	6.8	6.4	5	3.5	3	5.1
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.8	10.2	13.1	17.1	21.4	25.2	28	28.6	25.7	21.1	14.6	10.2	18.7

Osmaniye ilinin iklimi hakkında şu bilgileri verebiliriz. Osmaniye ilimizde Akdeniz ikliminde görünen iklim özelliklerini taşımaktadır. Osmaniye ilinin yıllık toplam yağış miktarı ise metrekareye 834.5 mm'dir. Akdeniz ikliminde yazları kurak ve sıcak, kışları yağışlı ve ılık geçmektedir. Osmaniye'nin bitkisi örtüsü ise makidir.

Türkiye'deki ekonomik ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji ihtiyacının hızla artacağı düşünüldüğünde, temiz ve güvenilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanmak için fotovoltaik (FV) enerji sistemlerinin öneminin daha fazla ortaya çıktığı görülmektedir. Özellikle, FV sistemler kullanılarak binalardaki sıcak su kullanımı ve elektrik üretimi bu alanda giderek daha fazla tanınmaya başlamıştır.

²<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=OSMANIYE>

²<https://osmaniye.csb.gov.tr/ilimiz-hakinda-i-100530>



Şekil 1.4. Osmaniye iline ait aylara göre ortalama sıcaklık ve ortalama güneşlenme sürelerinin değişimi

Bu tez çalışmasında, Osmaniye’de günlük olarak toplam güneş enerjisini ölçmek için güney yönünde farklı eğimli yüzeylere sahip (“Yön1: 0°.0”, “Yön2: 60°.0”, “Yön3: 45°.0”, “Yön4: 37°.0” ve “Yön5: 30°.0”) olan bir fotovoltaik pil sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan pil sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi D Blok binasının çatı katına (Enlem: 37°.04, Boylam: 36°.22) yerleştirilmiş ve gerekli test çalışmaları tamamlandıktan sonra farklı açılarda ölçümlerine başlamış ve bir yıl süreyle ölçüm yapmıştır. Elde edilen verilerin saatlik, günlük, aylık ve yıllık değişimleri elde edilmiş ve Araştırma Bulgular ve Sonuç bölümünde detaylı olarak tartışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tiris ve Tiris (1998) yaptıkları bir çalışmada eğimli bir yüzey üzerindeki radyasyonu tahmin etmek için çeşitli modelleri karşılaştırmışlar ve toplam güneş enerjisinin en doğru tahminini sağlayan izotropik bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca, bu modeli kullanarak Gebze için bir yıl boyunca eğimli, güneye bakan yüzeylerin optimum eğimlerini tahmin edebilmek için kullanılabilecek teorik denklemler türetmişlerdir. Optimum eğimler esas olarak enlem, deklinasyon, açıklık indeksi ve yayılma-küresel radyasyon oranına dayandırılmıştır. Geliştirilen genel korelasyonlar Gebze için geçerli olduğunu ve hem doğru hem de pratikte kullanıma uygun olduğunu göstermiştir. Bu korelasyonlar, Gebze'deki TÜBİTAK-M.R.C. istasyonundan 1988 ve 1994 yılları arasında ölçülen verilere dayanmaktadır. Korelasyonlar istatistiksel hata testleri kullanılarak test edilmiştir.

Fotovoltaik tesislerin kurulumunun avantajlarının değerlendirilebilmesi için güneş enerjisi veri kaynakları gereklidir. Fotovoltaik tesislerin kurulumu için güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde çok önemli bir faktör, küresel ışınlama veri ölçümlerinin mevcudiyetidir. Bu tür veriler 11 yıldan daha uzun bir süre boyunca toplanmalı ve doğru olmalıdır. Bazı ülkelerde, bu önlemlerin veritabanlarına sahip olmak zordur. Bu sorunun üstesinden gelmek için, özellikle eğimli yüzeylerde mevsimsel ve yıllık toplam güneş enerjisi ışınlamasını (global yayılı ve direkt güneş ışınlamı) tahmin etmek için sayısal modellerin kullanılmasını önerilmektedir. Sayısal modellerden elde edilen sonuçlar, Tunus'taki üç farklı Meteoroloji istasyonundan (Bizerte, Nabeul ve Djerba) elde edilen gerçek ölçümlerle kullanılmıştır. Üç meteoroloji istasyonunda kWh/m^2 cinsinden ölçülen global güneş radyasyonu verileri, 2015 yılının Ocak ve Aralık ayları arasındaki dönemde toplanmıştır. Ölçümler, 300 ile 2800 nm arasında değişen dalga boyundaki ışınım akılarından kaynaklanan küresel ışınlamı düz bir yüzey üzerinde ölçmek için tasarlanmış olan piranometreler ile yapılır. Alınan radyasyon birer yüzeyi karartılmış yüzey tarafından ısıya dönüştürülür. Aletin karartılmış yüzeyi ile gövdesi arasındaki sıcaklık değişimi, birkaç termokupl tarafından ölçüldüğü gibi, küresel güneş radyasyonunun ışınlamı ile orantılıdır (Othman vd., 2008).

Fotovoltaik (FV) pil sistemleri, yenilenebilir ve pahalı bir sistemlerdir. Kurulum ve tasarım bakımından çok basit elektrik üretim açısından ideal teknolojilerdir. FV

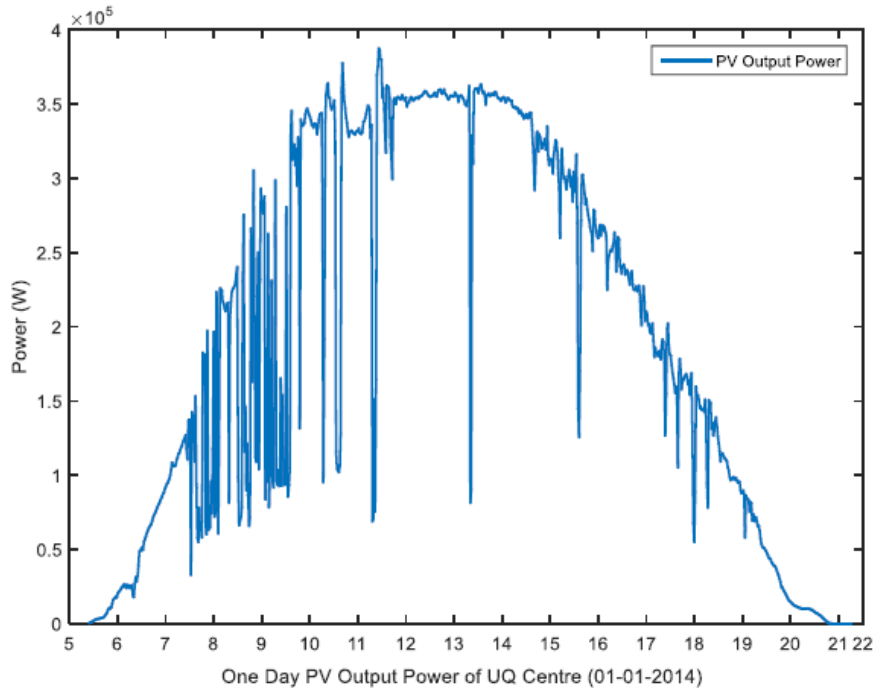
piller, yarı iletken maddeler olup, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler. Bir FV pil sistemi için enerji dönüşümü, verim olarak tanımlanmaktadır. Bunun verim olarak tanımlanması bazı yanlışlıklara neden olmaktadır. Bir FV sistemindeki pilin verimi, sonuç olarak üretilen elektrik enerjisinin toplam güneş enerjisine oranı olarak dikkate alınabilir. Bu tanıma göre bir FV hücrenin ürettiği elektrik enerjisi dikkate alınmalıdır. Bu durumda hücrenin sıcaklığı, ortamın sıcaklığı ve pilin kimyasal bileşenleri gibi pillerin başka özellikleri dikkate alınmamaktadır. FV piller kullanımları durumunda ısınmaktadır. Bulundukları ortamın sıcaklığına göre ısı kazanmakta veya kaybetmektedir. FV sistemdeki pilin ısınmasından dolayı açığa çıkan ısı enerjisinin de, FV pilin toplam veriminin hesaplanmasında dikkate almak gerekir. Bu çalışmada güneşten gelmekte olan foton akımından elektrik akımını oluşturma, akım-gerilim-güç özellikleri, FV pil verimini, dolum faktörünü, enerji dönüşüm verimini ve en yüksek güç noktasını etkileyen etmenlerdir (Öztürk, 2008).

Gairaa ve Bakelli (2011), 2005 yılında Cezayir'in güneyinde ($32^{\circ}.360$ K, $3^{\circ}.810$ D) gerçek güneş enerjisini ve yüzey sıcaklıklarını tam bir yıl boyunca ölçmüş ve analiz etmiştir. Ölçtükları verileri NASA'nın 22 yıllık ortalama verileriyle kıyaslamışlardır. Ölçülen en yüksek günlük ve aylık ortalama güneş ışıınımı değeri 369 W/m^2 ve 326 W/m^2 olup, en yüksek beş dakikalık ortalama güneş ışıınımı değeri yaz sezonunda mayıs-eylül ayları arasında 1268 W/m^2 civarında gözlemlemiş ve yıllık ortalama günlük enerji girişı $21.83 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$ olarak tespit etmiştir. Güney Cezayir'in Ghardaia kentindeki günlük ve aylık ortalama güneş ışıınımı değeri sırasıyla en yüksek en düşük değeri 369 ve 326 W/m^2 olup, en yüksek beş dakikalık ortalama güneş ışıınımı değeri yaz sezonunda mayıs-eylül ayları arasında 1268 W/m^2 civarında gözlemlemiş ve yıllık ortalama günlük enerji girişı $21,83 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$ olarak tespit etmiştir.

Raza vd., (2016) FV sistemlerin doğası gereği çıkış gücünün değışkenliğı, güç sistemi kontrolü ve güvenilirliğı, rezerv maliyeti, dağıtılabilir ve yardımcı üretim, şebeke entegrasyonu ve güç planlaması gibi güç şebekesi için doğrudan veya dolaylı olarak farklı sorunlar yarattığını vurgulamışlar ve farklı ölçeklerde tahmin ufku spektrumu üzerinde FV çıktısının doğru bir şekilde tahmin edilmesine ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, yaptıkları çalışmada, Queensland Üniversitesi (UQ, Avustralya), FV sahalarına, bir dizi FV sistemi farklı konumlara yerleştirilmiş

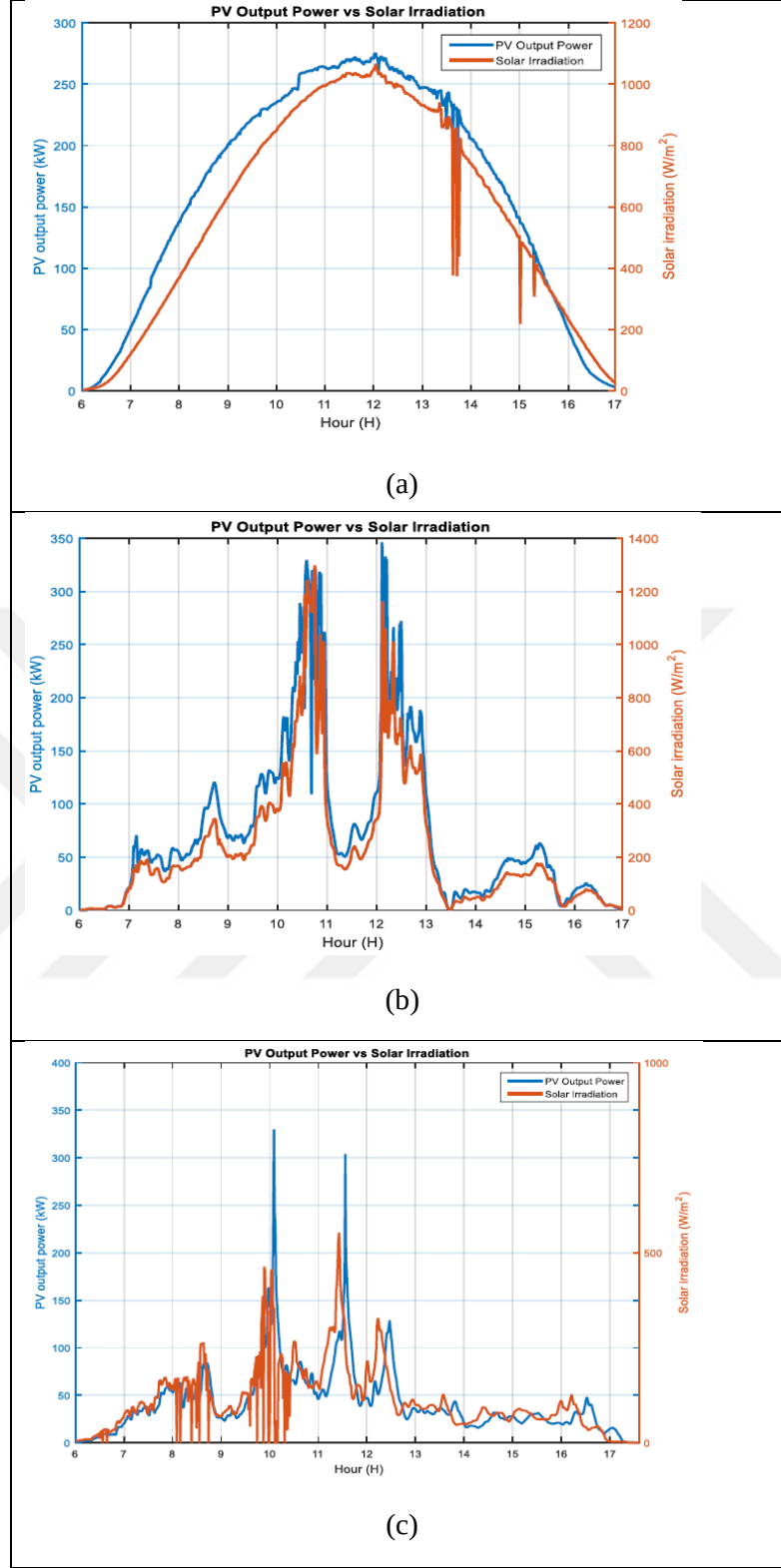
ve FV çıkış gücü tahmin modellerinin kapsamlı ve sistematik bir tahmini incelemesini yapmışlardır. Bu FV sahaları sırasıyla 1.22 MW, 3.525 MW, 54 kW ve 40 kW kurulum kapasitesine sahip UQ St. Lucia kampüsü, UQ Gatton kampüsü, Heron Adası ve Kuzey Stradbroke Adası'dır. FV çıkış gücü modeli, 2014 yılının tamamına ait dakikalarca kaydedilen zaman serisi verileri kullanılarak analiz edilebilir. 2014 yılının FV çıkış veri serisi, farklı parametrelere ait N=525600 değer içerir. Yapılan incelemede, tahmin modelini değerlendirmek için FV tahminini etkileyen farklı faktörleri, FV çıkış gücü profilini ve performans matrislerini kapsamaktadır. Yaptıkları modellerde kritik analiz regresif ve yapay zeka tabanlı tahmin modelleri de sunmuşlardır. Ölçümlerde 24 saatlik zaman süresince 1 dk'lık nem, hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönünü içerir ve 1440 veri kullanmışlardır. Kullandıkları güneş enerjisi verileri sabah 5:00'dan akşam 7:00'a kadar yapılmıştır. Güneş enerjisi çıkışının olmaması nedeniyle güneş enerjisi verilerinin geri kalanı güneş verisi yönetim sisteminde mevcut olmadığından güneş zaman serisi verileri sadece 841 veri noktası içerdiği ve geri kalan değerlerin ise güneş enerjisi çıkış değerlerinin metrolojik verilerle senkronize edilmesi için sıfır olarak kabul edildiğini belirtmişlerdir (Raza vd., 2016).

Queensland Üniversitesi (UQ) merkez dizisinin 01.01.2014 tarihinde alınmış bir günlük FV çıkış profiline bir örnek veri Şekil 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1, sabah 5:00'dan akşam 21:00'e kadar güneş enerjisi çıkış gücüne ilişkin 841 veri örneğini temsil etmektedir. Zaman arttıkça FV çıkış gücünün değerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Grafik, FV çıkışının değerinin sabah saat 5:00 ile 7:00 arasında düzgün olarak değiştiğini, ancak artan metrolojik faktörlerden dolayı sabah 7:00 ile 11:00 arasında büyük bir dalgalanma olduğu gözlemlenebilir. FV çıkış gücü zaman geçtikçe artarak gün ortasında maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir. FV çıkış gücü saat 14:00'dan sonra sıcaklıktaki düşüş nedeniyle azalmaya başlar (Raza vd., 2016).



Şekil 2.1. Queensland Üniversitesi'nde güneş panel sisteminden alınan bir günlük FV çıkış profili gösterilmektedir (Raza vd., 2016).

Şekil 2.2a, Şekil 2.2b, ve Şekil 2.2c, 2014 yılından seçilen açık gün, kısmen bulutlu gün ve tamamen bulutlu günlerde FV çıkış gücü ile güneş ışıınımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Açık gün grafiğinde FV çıkış gücünün güneş ışıınımı eğrisini oldukça takip ettiği görülmektedir. Güneş ışıınımının yüksek artış hızıyla dalgalandığı görülürken, FV çıkış gücü profilinde de benzer bir model gözlenmektedir. Şekil 2.2a'da, gösterildiği gibi kısmen bulutlu günlerde de benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. Güneş ışıınımı saat 10:00'dan 13:00'a kadar olan saatler dışında günün büyük bölümünde 400 W/m^2 'den azdır. Güneş ışıınımı ve FV çıkış gücü saat 10:00 ile 13:00 arasında 1250 W/m^2 'ye kadar artmaktadır. Fakat, FV çıkış gücündeki keskin değişiklikler saat 10:00'dan başlayarak 13:00'a kadar olduğu gözlenmektedir ve güneş ışıınımı modelini FV çıkış gücü takip eder, bu da aralarında güçlü pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir. Şekil 2.2c, güneş ışıınımı zirvesinin, açık günün yarısından az olan bulutlu günde maksimum 400 W/m^2 'ye kadar çıktığı görülmektedir. Bu nedenle ortalama solar FV çıkış gücü, açık ve bulutlu güne göre oldukça düşüktür. Ayrıca bulutlu günlerde güneş ışıınımında açık ve kısmen bulutlu güne göre daha yüksek seviyede dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, güneş enerjisi FV çıkış gücü de gün boyunca değişkendir (Raza vd., 2016).



Şekil 2.2. a) Açık, b) parçalı bulutlu ve c) bulutlu günler için FV çıkışı ile Güneş radyasyonu arasındaki ilişki (Raza vd., 2016).

Son yüzyılda, artan çevresel kaygılar nedeniyle birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede enerji politikalarının uygulanmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) enerji piyasasına daha fazla nüfuz etmesi teşvik edilmiştir. Oldukça geniş

yenilenebilir enerji kaynakları arasında, Fotovoltaik (FV) elektrik üretimi, ekonomik ve çevresel faydaları nedeniyle araştırmacılar, enerji politikalarını belirleyenler ve enerji üretim şirketleri tarafından daha fazla ilgi görmektedir. Bu nedenle, son on yılda hızlı bir büyüme ile enerji pazarında büyük bir FV etkisi gözlemlendi. Sıcaklık, rüzgar hızı, bulut örtüsü, atmosferik aerosol seviyeleri ve nem seviyesi gibi çeşitli metrolojik faktörler nedeniyle FV çıkış gücü oldukça belirsizdir. FV çıkış gücünün doğal değişkenliği, güç sistemi kontrolü ve güvenilirliği, rezerv maliyeti, dağıtılabilir ve yardımcı üretim, şebeke entegrasyonu ve güç planlaması gibi güç şebekesi için doğrudan veya dolaylı olarak farklı sorunlar yaratmaktadır. Bu nedenle, farklı kronolojik ölçeklerde tahmini yatay tayfı üzerinden FV çıktısını doğru bir şekilde tahmin etmeye ihtiyaç vardır. Yapılan bu çalışmada, Avustralya'daki Queensland Üniversitesi, FV panel tesisleri farklı konumlara yerleştirilmiştir. FV tesisleri, sırasıyla 1,22 MW, 3,525 MW, 54 kW ve 40 kW kurulum kapasiteli UQ St. Lucia kampüsü, Queensland Üniversitesi Gatton kampüsü, Heron Adası ve North Stradbroke Adası'dır. Queensland Üniversitesi merkez panellerinden bir günlük FV çıkış profili, grafik, sabah 05:00'dan akşam 19:00'a kadar güneş enerjisi çıkış gücünün 841 veri örneğini temsil etmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi FV 'deki güç çıkışı günün saatlerine bağlı olarak artmakta ve öğle saatlerinde maksimum düzeyine ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlamaktadır. FV çıkış gücü tahmin modellerinin kapsamlı ve sistematik bir incelemesi sağlanmıştır. Bu çalışma, tahmin modelini değerlendirmek için FV tahminini, FV çıkış gücü profilini ve performans matrislerini etkileyen farklı faktörleri kapsar (Raza vd., 2016).

2014 yılından seçilen açık gün, parçalı bulutlu ve bulutlu günler için FV çıkışı ile Güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 2.2'de verilmiştir. Açık gün grafiğinde, FV çıkış gücünün güneş ışıınımı eğrisini oldukça takip ettiği görülmektedir. Güneş ışıınımının yüksek pik hızı ile dalgalandığı gözlemlenebilir. Sonuç olarak, FV çıkış gücü profili için benzer bir model gözlenmektedir. Şekil 2.2'de verilen açık gün eğrisinde gösterildiği gibi kısmen bulutlu bir günde benzer bir eğilim gözlemlenir. Güneş ışıınımı, saat 10:00 ile 13:00 hariç günün büyük bölümünde 400 W/m^2 'den daha azdır. Güneş ışıınımı saat 10:00 ile 13:00 süresince 1250 W/m^2 'ye kadar çıkar ve FV çıkış gücü de aynı modeli izler. FV çıkış gücündeki keskin değişimler, 10:00 ile 13:00 saatlerde gözlenir ve güneş ışıınımı modelini, aralarındaki güçlü pozitif korelasyonu gösteren FV çıkış gücü izler. Şekil 2.2'den

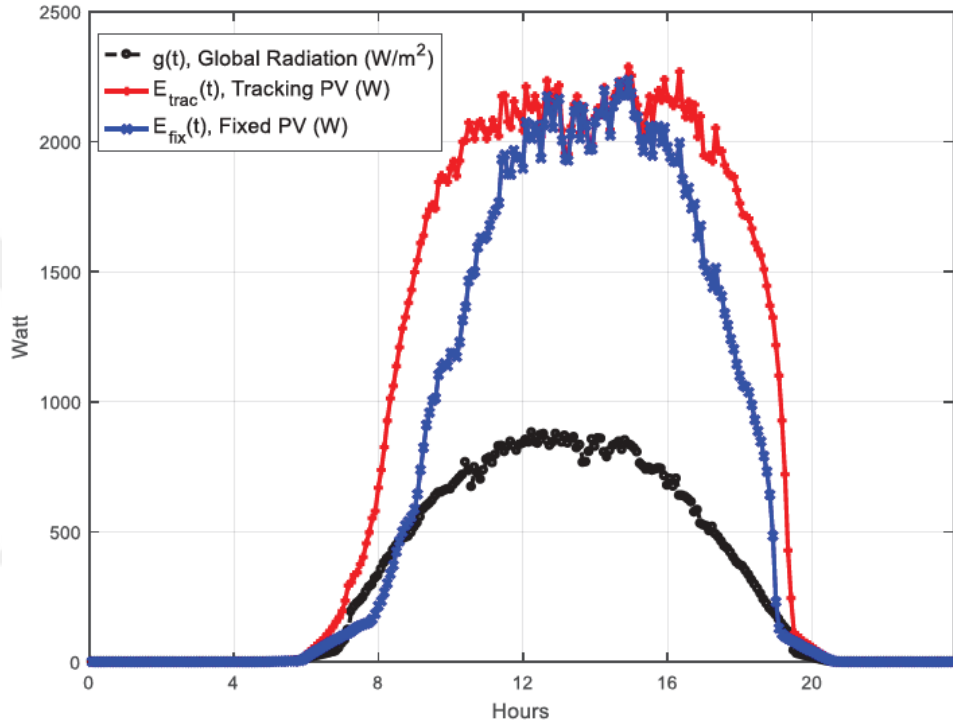
görüldüğü gibi FV çıkış gücünün hava sıcaklığı ve rüzgar hızı ile karşılaştırıldığında güneş ışıınımı ile çok güçlü bir korelasyona sahip olduğu sonucuna varılabilir. Bu nedenle, bu etkili değişkenler, değişken metrolojik koşullarda FV çıkış gücünü doğru bir şekilde tahmin etmek için tahmin modeli olarak önerilmektedir (Raza vd., 2016).

Filik vd., (2017) yaptıkları bir çalışmada, fotovoltaiik (FV) güneş panellerinde saha içi toplam güneş radyasyonu değerlerinin elektriksel güç çıkış değerlerine eşlenmesi için yeni analitik modeller önerilmiştir. Modelin özü, Eskişehir (Türkiye) bölgesindeki her biri 3 kW kapasiteye sabit ve takip sistemli FV panellerinden üretilen gücü ve güneş radyasyonunun eş zamanlı olarak kaydedilmesiyle elde edilmektedir. Deney düzeneği Eskişehir bölgesinde (39°.78 enlem, 30°.52 boylam ve deniz seviyesinden 794 m yükseklikte) Anadolu Üniversitesi 2 Eylül Yerleşkesi içindedir. Kurdukları güneş enerjisi üretim sistemi 260 W kapasiteli 39 adet güneş panelinden oluşmuştur. Aktif güneş takip sistemi, her biri 260 W kapasiteli 12 panel ile 3 kW'a kadar güç katmaktadır. Güneş radyasyonu ve buna karşılık gelen elektrik gücü arasındaki ilişkinin sadece doğrusal olmadığı, aynı zamanda bir histerezis fonksiyonu şeklinde ilginç bir zamanla değişen özellik sergilediği gösterildiğini belirtmişlerdir. Gözlemledikleri güneş radyasyonu ile güç arasındaki ilişki, daha sonra, sabah, öğle ve akşam saatlerine karşılık gelen üç farklı fonksiyonun parçası ile analitik olarak modellemişlerdir. Model, sabit ve güneş takip sistemli paneller için belirlenmiştir. Güneş radyasyonu değerinden elektrik gücü üretimini tahmin için kullanılan klasik modeller tipik olarak ortalama güneş radyasyonu, FV parametrelerinin statik değerleri ve sabit bir ortam sıcaklığı kullanır. Pratik olarak, bir FV sisteminden yıllık güneş enerjisi çıkışının elektrik potansiyelini kabaca hesaplamak için

$$E = A \cdot r \cdot G \cdot \rho \quad (2.1)$$

eşitliği kullanılır. Burada, A , m² cinsinden toplam güneş panelinin alanı, r panelin verimlilik (verim) parametresi, G , eğik panellerdeki yıllık ortalama güneş radyasyonu, ρ ise tüm sistemin performans oranıdır. Bu global formül doğal olarak kabaca bir yıllık elektrik üretim değeri verir ve anlık dönüşüm değerlerini dikkate almaz. Bununla birlikte, güneş radyasyonu, coğrafi konuma ve atmosferik koşullara bağlı dinamik bir süreçtir. Şekil 2.3 'de 6 aylık (1 Temmuz ve 31 Aralık 2016) olarak ölçülen global radyasyon değeri ($g(t)$) ile kurulu sabit ve güneş FV sistemlerinin

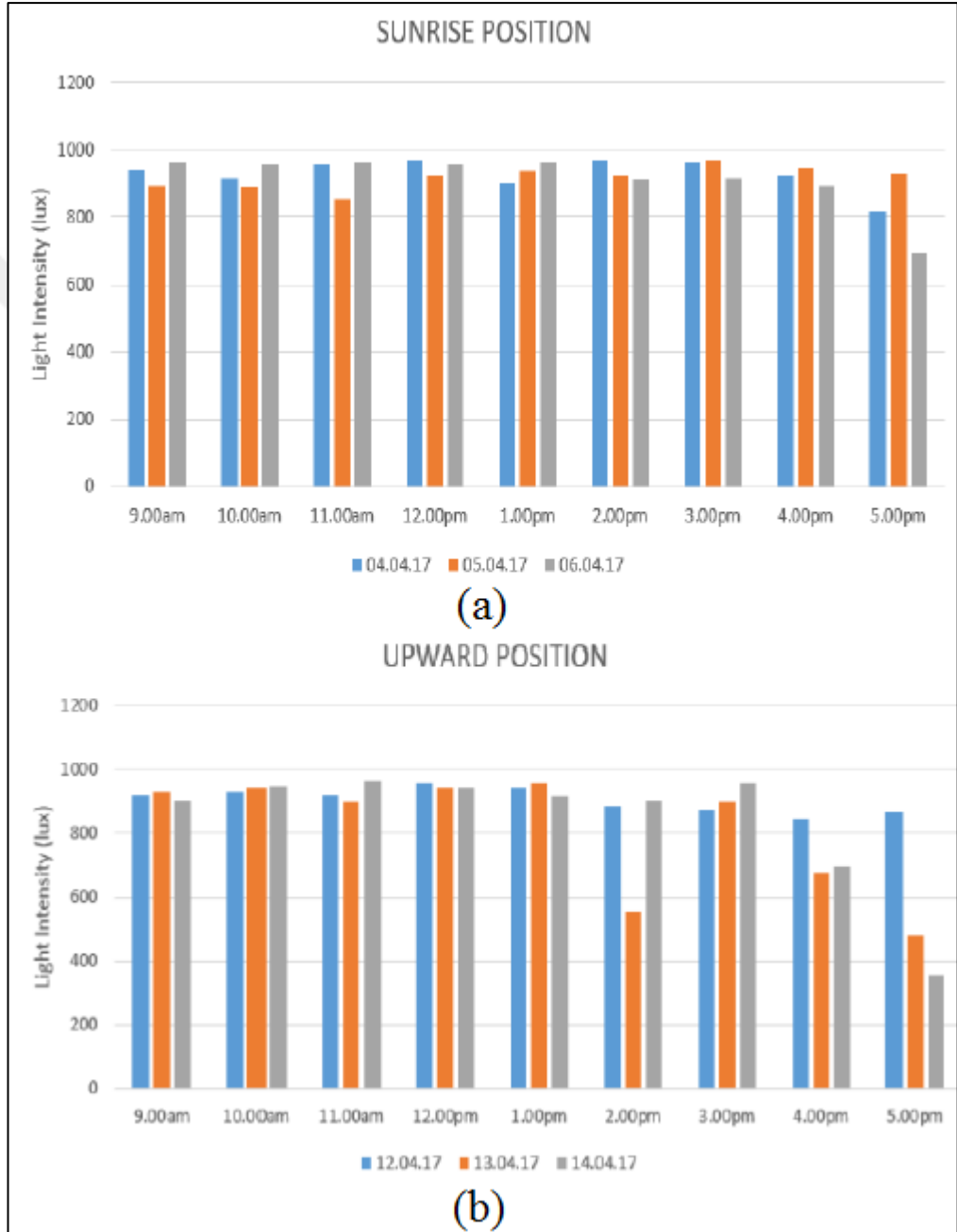
gerçek ortalama elektrik üretim değerlerini göstermektedir. Şekil 2.3'deki siyah etiketli eğri ($g(t)$) ortalama global radyasyon değerlerini, mavi ($E_{fix}(t)$) ve kırmızı ($E_{trac}(t)$) eğrilerle ise sırasıylasabit ve güneş takipli FV panellerden elde edilen anlık elektrik güçlerini gösterir. Çizilen eğriler, 24 saatlik bir süre boyunca zamanın bir fonksiyonu olarak günlük ölçümlerin ortalamalarıdır. Bu global formül doğal olarak kabaca bir yıllık elektrik üretim değeri verir ve anlık dönüşüm değerlerini dikkate almaz.



Şekil 2.3 6 aylık (1 Temmuz ve 31 Aralık 2016) olarak ölçülen global radyasyon değeri ile kurulu sabit ve güneş FV sistemlerinin gerçek ortalama elektrik üretim değerleri

Jumaat ve Othman (2018) yaptıkları bir projede, Arduino Board teknolojisini kullanarak bir güneş enerjisi ölçümü geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, sıcaklık, ışık şiddeti, voltaj ve akımı olmak üzere dört parametre ölçülmüştür. Sıcaklığı, sıcaklık sensörünü ve ışık şiddetini Işığa Bağımlı Direnç (LDR) sensörünü kullanarak ölçmüşlerdir. Voltajı, güneş paneli tarafından üretilen voltaj alıcı olarak Arduino için büyük olduğu için bunun yerine voltaj bölücü kullanılarak ölçmüşlerdir. Güneş paneli ile üretilen akımı algılayabilen akım sensörü modülü kullanılarak da akım ölçmüşlerdir. Araştırmalarında kaynak olarak 12V, 250mA, 3W'lı 145mm X 145mm boyutunda bir polikristal tip güneş paneli kullanmışlardır. Kullandıkları Arduino Uno ise ATmega328 veri sayfasına dayalı bir mikrodenetleyici kartıdır.

Arduino, 14 dijital giriş ve çıkış pinine sahiptir: 6 pin kullanılan PWM çıkışları ve 6 pin, saat hızı 16 MHz, seramik rezonatör, USB bağlantısı, güç girişi, ICSP başlığı ve sıfırlama düğmesi gibi analog girişler. Arduino için giriş değeri olan bu parametreler, LCD ekranında çıktı değerleri olarak görüntülenmiştir. Arduino kullanılmasının amacı, parametrenin analog girişini dijital çıkışa dönüştürmek ve LCD ekran üzerinden görüntülenmektir.



Şekil 2.4. a) Gün doğumu konumu b)Yukarı konum için ışık şiddeti değerleri

Işık şiddetini, Şekil 2.4a'da görüldüğü gibi güneş paneli gün doğumu konumundayken üç gün süreyle kaydetmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ışık yoğunluğu 14:00'da 980 Lux olurken, en düşük ışık yoğunluğu 17:00'da 700 Lux oldu. Işık şiddeti, güneş paneli gün doğumu konumundayken üç gün süreyle Şekil 2.4b'de görüldüğü gibi kaydedilmiştir. Sonuca göre en yüksek ışık yoğunluğu 11:00'da 970 Lux olurken, en düşük ışık yoğunluğu 17:00'da 350 Lux oldu. Sonuca göre en yüksek ışık yoğunluğu 11:00'da 970 Lux olurken, en düşük ışık yoğunluğu 17:00'da 350 Lux olduğunu görmüşlerdir.

Skalik ve Skalikova (2019) yaptıkları çalışmada, Danimarka Lyngby'de bulunan Teknik Üniversitesi'ndeki bir binanın çatısına yerleştirilen iklim istasyonundan, Danimarka'daki Meteoroloji Enstitüsü tarafından yönetilen farklı Danimarka iklim istasyonlarından (Kiruna, Norrköping, Visby, Luleå, Umeå, Östersund, Borlänge, Karlstad, Stockholm, Göteborg, Växjö, Lund) ve İsveç'deki İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü tarafından yönetilen farklı iklim istasyonlarında uzun yıllardır ölçülen toplam güneş ışıının yıllık ve aylık değerlerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları incelediklerinde yıllık toplam güneş radyasyon değerinde artış olduğunu gözlemişlerdir. Bunun da nedeninin büyük olasılıkla atmosferdeki kirliliğin azalmasına, bulutsuz günlerin sayısının artmasına ya da bu etkilerin her ikisinin birleşiminden kaynaklandığını düşünmüşlerdir. Lyngby'deki (Danimarka) iklim istasyonundan yapılan 20 yıllık ölçümler, toplam güneş enerjisi artışının bir yılda yaklaşık 3,5 kWh/m² olduğunu ve son 20 yılda (1990-2010) %7'lik bir büyümeye karşılık geldiğini görmüşlerdir. Toplam güneş radyasyonun en az güneşli geçen yıl ile en fazla güneşli gelen yıl arasındaki yaklaşık %22'lik bir değişim olduğunu görmüşlerdir. İsveç'deki meteoroloji istasyonlarından (1983-2011) 29 yıllık küresel radyasyon ölçümünün incelenmesi sonucunda da yılda 3,1 kWh/m² kadarlık bir artış olduğunu ve bu artışın 87 kWh/m² olup, son 29 yıldaki toplam radyasyon artışının da yaklaşık %9'una karşılık geldiğini gözlemlemişlerdir.

Eker (2019) yaptığı bu çalışmada, Türkiye Bursa ilinde güneş panelleri için optimum eğim açısını belirlenmesi, rüzgarın soğutma etkisinin verime etkisi incelemiştir. Yöntemi bir simülasyon programında günlük, aylık ve yıllık olarak güneş panellerinin eğimli olarak yerleştirilerek güneş panellerinin sıcaklığını, ürettiği elektrik enerjisini ve rüzgarın soğutması etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada güneş panellerinin en fazla elektrik enerji ürettiği ay Temmuz en az elektrik enerji ürettiği

ay Ocak ayı olarak belirlenmiştir. Bursa ili için güneş panelleri eğim açısı doğru tespit edilmiştir.

Türkiye İzmir’de kurulması düşünülen 500 kW’lık güneş enerjisi panellerinin tasarımındaki optimizasyonu ve ekonomik analizi incelenmiştir. Bu çalışmada tasarımın, seçilen panel yapısının ve eğimli bir sistemde enerji verimliliğine etkisi ekonomik açıdan incelenmiş ve gerekli hesaplamalar ile birlikte kurulacak olan sistem içerisinde ne kadar az alan kullanılacağı vetek (mono) kristalli FV hücre ile çok (poli) kristalli FV hücre arasındaki verim incelenmiştir. Güneş panellerindeki yapılan açısal değişiklikler ve panel seçimindeki, sistemin amortisman süresi ise yaklaşık 57 ay olarak belirlenmesini sağlamıştır (Kılınç, 2019).

Seri Iskandar’da (Malezya, Enlem 4° 24’, Boylam 100° 58’ D, Yükseklik: 24m) 2018 yılında bir yıl boyunca global güneş enerjisi ve normal yüzeye gelen direkt güneş enerjisi ölçümleri dakikalık olarak ölçülmüş ve elde edilen bu verilerin günlük ve aylık olarak ortalamaları elde edilmiştir. Ölçümlerde, CMP 11 UTP’de Piranometresi ve EKO Pyrheliometer güneş izleme cihazları kullanılmıştır. Günlük olarak toplam ve direkt güneş radyasyonunun en yüksek değerleri sırasıyla 1068.10 W/m², 915 W/m² (9 Eylül 2018) ve günlük en yüksek ortalama güneş radyasyonu ise 399 W/m² (4 Nisan 2018) olarak ölçülmüştür. Yıl boyunca günlük ortalama 20.29 W/m²/gün olarak tespit edilmiştir. Yıllık olarak günlük ortalama ve maksimum direkt normal güneş ışıınımı 4 Nisan 2018 tarihinde 298.9 W/m² olarak kaydedilmiştir. Maksimum direkt normal güneş ışıınımı 9 Eylül 2018 tarihinde yaklaşık 915 W/m² olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilerin sonuçları, Malezya’dan seçilen diğer şehirlerinden elde edilen verilerle ve NASA Yüzey meteorolojisi ve Güneş Enerjisi modelinin 22 yıllık ortalama küresel güneş radyasyonu elde edilen ilgili verilerle karşılaştırılmış ve en yüksek değer 21.37 W/m²/gün (Şubat ayında) ve en düşük değer 15.08 W/m²/gün (Kasım ayında) elde edilmiştir (Mohammad, vd., 2020).

Kaya (2021) yaptığı bu çalışmada, Türkiye Osmaniye’de bulunan Korkut Ata Üniversitesi çatı katında bulunan güneş panelleri ile güneş radyasyonunu ölçmüştür. Bu çalışmada güneşten gelen radyasyonu beş farklı doğrultuda (Zenit, Doğu, Batı, Güney Ve Kuzey) olmak üzere bir yıl boyunca ölçüm yapmıştır. Güneş’ten gelmekte olan radyasyonun verileri piranometre yardımıyla kalibre ederek toplanan verilerin doğruluğu piranometre yardımı ile doğrulamıştır. Bu verileri dataloggere günlük,

aylık ve yıllık olarak depolayıp enerji birimine çevirerek toplam güneş radyasyon sırasıyla 122092.60 W/m², 38886.30 W/m², 80494.43 W/m², 103446.57 W/m² ve 34832.45 W/m² olarak hesaplanmıştır. Aylık olarak ortalama toplam güneş enerjisi sırasıyla 350.92 W/m², 207.74 W/m², 231.74 W/m², 298.16 W/m² ve 100.08 W/m² olarak da elde edilmiştir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

3.1.1 Güneş

Küre şeklinde yoğun bir gaz bulutundan oluşan Güneş, dünyadan yaklaşık olarak 1.496×10^8 km uzaklıkta olup 1.39 milyon km çapa (Dünyanın 10^9 katı) ve 1.99×10^{30} kg kütleyle (Dünyanın 3.33×10^5 katı) sahiptir. Dünyadaki tüm canlılar için ısı ve ışık kaynağı olan güneş merkezindeki çekirdeğin sıcaklığı 15×10^6 °C iken yüzeyindeki sıcaklığı yaklaşık olarak 5700 °C’de olup sarı renkte bir yıldızdır ve karacisim ışıması yapar (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 2013; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015). Güneş enerjisi, Güneş’in çekirdeğinde meydana gelmekte olan nükleer reaksiyonların sonucu güneş yüzeyine ulaşan ve elektromanyetik radyasyon şeklinde uzaya yayılarak yeryüzüne ulaşır. Güneşin bütün yüzeyinden yayılmakta olan enerji yaklaşık 3.83×10^{23} kW iken birim yüzeyinden yayılan enerji ise 6.29×10^4 kW/m² kadardır. Güneşten uzayda yayılan enerji Dünyanın üst atmosferine geldiğinde yaklaşık 1367 W/m² (güneş sabiti) değerine kadar azalır ve atmosferden geçerken soğrulma ve saçılmalarından sonra bu enerjinin çok küçük kısmı yeryüzüne ulaşır (Iqbal, 1983; Schiermeier, 2008; Duffie ve Beckman, 2013).

Dünya ve diğer gezegenler güneşin yörüngesinde dönerler. Güneş’ten gelen radyasyon şeklindeki enerji, fotosentez yoluyla dünyadaki canlıların hemen hemen tüm canlıların yaşamı destekler ve dünyanın iklimini ve hava durumunu yönlendirir. Güneş kütlelerinin yaklaşık %74’ü hidrojen, %25’i helyum ve geri kalanı eser miktarlarda daha ağır elementlerden oluşur. Güneş, nükleer füzyon yoluyla çekirdeğindeki hidrojenleri helyuma dönüştürerek enerji üretir ($4H \rightarrow He + Enerji$). Bu enerji güneş yüzeyine ulaşarak tüm uzaya yayılır. Güneş ışığı, çeşitli doğal ve sentetik süreçlerle yararlanılabilen, yeryüzünün ana enerji kaynağıdır. En önemlisi, bitkiler tarafından güneş radyasyonunun enerjisini yakalamak ve onu kimyasal forma dönüştürmek için kullanılan fotosentezdir. Genel olarak fotosentez, güneş ışığından, karbondioksitten ve sudan glikozun atık ürün olarak oksijenle sentezidir. Muhtemelen bilinen en önemli biyokimyasal yoldur ve dünyadaki neredeyse tüm yaşam buna bağlıdır.

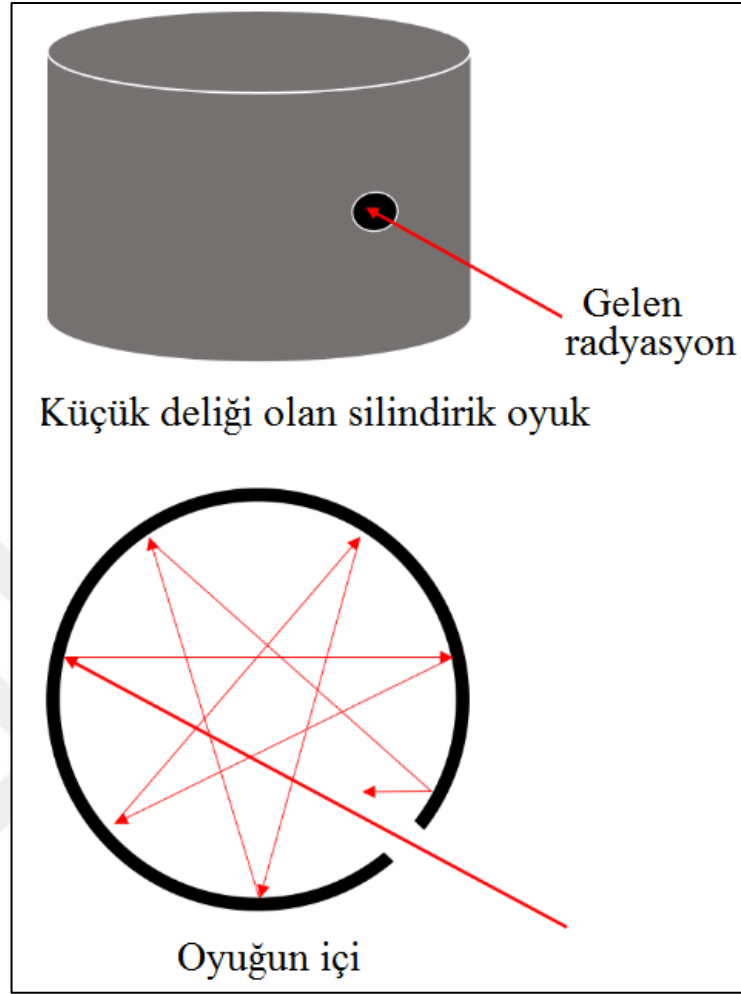
Bilindiği gibi dünyadaki tüm enerji biçimleri güneş kaynaklıdır. Petrol, kömür, doğal gaz ve odun, başlangıçta fotosentetik işlemlerle üretildi, ardından çürüyen bitki örtüsünün uzun bir süre boyunca çok yüksek sıcaklıklara ve basınca maruz kaldığı karmaşık kimyasal reaksiyonlar izledi. Rüzgarın ve gelgitin enerjisi bile güneş kaynaklıdır, çünkü bunlar dünyanın çeşitli bölgelerindeki sıcaklık farklılıklarından kaynaklanır.

Tarih öncesinden beri güneş, insanlığın besinlerini kurutmuş ve korumuştur. Ayrıca tuz elde etmek için deniz suyunu buharlaştırmıştır. İnsanlar akıl yürütmeye başladığından beri, güneşi her doğal fenomenin arkasındaki itici güç olarak kabul ettiler. Tarih öncesi kabilelerin birçoğunun güneşi bir tanrı olarak görmelerinin nedeni budur. Eski Mısır'ın birçok yazısı, insanlığın en büyük mühendislik başarılarından biri olan Büyük Piramit'in güneşe giden bir merdiven olarak inşa edildiğini söyler (Anderson, 1977).

3.1.2 Kara Cisim Işınımı

Bazen kovuk radyasyonu olarak adlandırılan kara cisim radyasyonu, üzerine düşen tüm elektromanyetik radyasyonu soğuran ve daha sonra aldığı enerjiyi kara cismin sıcaklığı tarafından belirlenen dalga boylarında yeniden yayan herhangi bir cisim olarak tanımlanır. Yeniden yayılan bu enerji, büyük ölçüde nesnenin sıcaklığına bağlıdır. Örneğin, siyah cisimler soğukken siyah görünür.

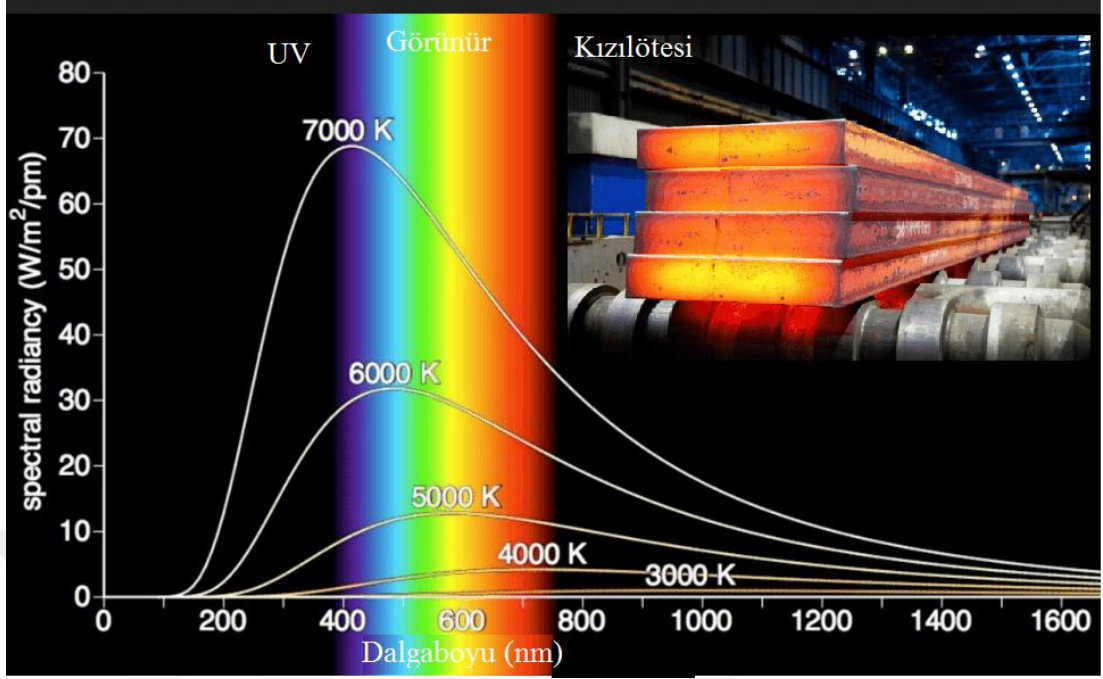
Tüm dalga boylarında eşit olasılıkla enerji soğuran ve soğurduğu bu enerjiyi daha sonra aynı miktarda yayan bir cisim hayal etmek zordur. Doğada ideal kara cisimler yoktur (yani nesneler soğurduğu EM radyasyonun tamamını yansıtmazlar). Fizikçilerin bu cisim Şekil 3.1'de gösterildiği gibi genellikle çok küçük bir delik olan içi boş bir metal oyuk olarak hayal etmektedirler. Bu metal oyuk termal dengededir ve oyuğun içinde seken, yayılan ve metalik duvarlar tarafından yansıtılan radyasyonla doludur. Oyuğun bir duvarındaki küçük delik, oyuktaki radyasyonun bir kısmının kaçmasına izin verir. Oyuğun dışından gelen radyasyon deliğe çarpar ve oyuğun içinde hapsolür ve küçük delikten tekrar yayılması muhtemel değildir. Eğer delik yeterince küçükse, radyasyonun kaçması olası değildir. Eğer delik çok çok küçükse, radyasyon boşluğun girişinde yansıtılacaktır. Delikten çıkan tek radyasyon, oyuğun içinde sıçrayan radyasyonun bir örneğidir. Kara cismin yasaları, kuantum mekaniğinin incelenmesinde oldukça önemlidir.



Şekil 3.1. İdeal bir kara cisme giren ve kara cisimden yayınlanan radyasyon

İdeal olarak düşünülen bir kara cisim olmasa da, çoğu katı cisim, bir kara cisim olmaya yeterince yakındır. Örneğin, Şekil 3.2’de verilen katı cisim ideal bir kara cisimdir. Başlangıçta soğuk olan ve ısıtılarak belirli ısıya ulaştığında önce kızıl ötesi dalga boylarında enerji yaydığından önce kırmızı görünür. Enerji spektrumunda görüldüğü gibi, ısı artışı devam ettikçe görünür ışığın tüm dalga boylarında ve daha sonra yüksek enerjili UV dalga boyunda ışıınım yayar.

Şekil 3.2’de bir kara cisim spektrumu dalga boyuna (nm) göre $\text{watt/m}^2/\text{nm}$ biriminde yayılan spektral ışıınım değişimini verilmektedir. Spektrum, UV, görünür ve kızıl ötesi radyasyon bölgelerini kapsamaktadır. Yüzeyindeki sıcaklık yaklaşık olarak 6000 K olan Güneş de bir kara cisim olarak düşünüldüğünde, görünür bölgede sarı renkli dalga boyunda ışıınım yaptığı Eşitlik 3.1 ile verilen Wien Yasası kullanılarak kolaylıkla belirlenebilir.



Şekil 3.2. Kara cisim ışıma tayfı

Wien Yasası;

$$\lambda \cdot T = 0.898 \times 10^{-3} (mK) \quad (3.1)$$

olarak verilmektedir. Wien Yasasına göre bir cismin sıcaklığı arttıkça bu cisimden yayınlanan radyasyonun dalga boyu azalmakta ve dolayısıyla yaydığı enerji ($E = h\nu = hc/\lambda$) artmaktadır. Buna göre, $T = 6000$ K denklemde yazıldığında $\lambda = 483$ nm olarak bulunur. Bu dalga boyu ise sarı renge karşılık gelmektedir. Wien yasasına göre karan cisim ışıması düşük sıcaklıklarda (ör: $T = 3000$ K) uzun dalga boylarına ($\lambda = 966$ nm) doğru (Kızıl ötesi bölgesi) pik yaparken yüksek sıcaklıklarda (ör: $T = 8000$ K) kısa dalga boylarına ($\lambda = 362$ nm) (UV bölgesi) doğru pik yapmaktadır.

3.1.3 Güneş Açıları

3.1.3.1 Zamanın Hesaplanması

Güneş enerjisi hesaplamalarında günün saatini ifade etmek için görünen güneş zamanı (AST: Apparent Solar Time) kullanılmaktadır. AST güneşin göksel meridyene göre konumu ile ölçülür ve güneşin gökyüzündeki bizler tarafından görünür açısal hareketine dayanır. Güneşin gözlemcinin meridyenini geçtiği zaman yerel güneş öğle vaktidir. Yerel standart saati (LST) AST'ye dönüştürmek için iki düzeltme uygulanır; zaman denklemi (ET) ve boylam düzeltmesidir. Bunlar daha sonra analiz edilir (Kalogirou, 2014).

3.1.3.2 Zaman Denklemi

Zaman denklemi iki tür güneş zamanı arasındaki uyumsuzluğu açıklar. Farklı olan iki zaman, güneşin günlük hareketini doğrudan izleyen görünür güneş zamanı ve gök ekvatoru boyunca tekdüze hareket eden teorik bir ortalama güneş izleyen ortalama güneş zamanıdır. Görünür güneş zamanı, bir güneş saati tarafından (sınırlı doğrulukla) gösterildiği gibi, güneşin mevcut konumunun (saat açısı) ölçülmesiyle elde edilebilir. Aynı yer için ortalama güneş zamanı, yıl boyunca görünen güneş zamanından farkları ortalama sıfır olacak şekilde ayarlanmış sabit bir saat tarafından gösterilen zaman olacaktır.

Görünür Dünyanın güneş etrafındaki yörüngesiyle ilişkili faktörler nedeniyle, dünyanın yörünge hızı yıl boyunca değişir. Bu nedenle AST, tekdüze bir hızda çalışan bir saatin tuttuğu ortalama zamandan biraz farklıdır. Varyasyona Eşitlik (3.2)'de verilen zaman denklemi (ET) denir. ET, bir günün uzunluğunun, yani dünyanın güneşe göre kendi eksenini etrafındaki bir evrimini tamamlaması için gereken sürenin yıl boyunca aynı olmaması nedeniyle ortaya çıkar. Yıl boyunca, bir günün ortalama uzunluğu 24 saattir; bununla birlikte, bir günün uzunluğu, dünyanın yörüngesinin eksantrikliği ve dünyanın ekseninin yörüngesinin normal düzleminden eğikliği nedeniyle değişir. Yörüngenin eliptik olması nedeniyle, dünya 3 Ocak'ta güneşe daha yakın ve 4 Temmuz'da güneşten en uzaktır. Bu nedenle, dünyanın yörünge hızı, yılın yarısında (yaklaşık Ekim'den Mart'a kadar) ortalama hızından daha hızlıdır ve yılın geri kalan yarısındaki (Nisan'dan Eylül'e kadar) ortalama hızından daha yavaştır. Yılın gününün (N) bir fonksiyonu olarak ET değerleri

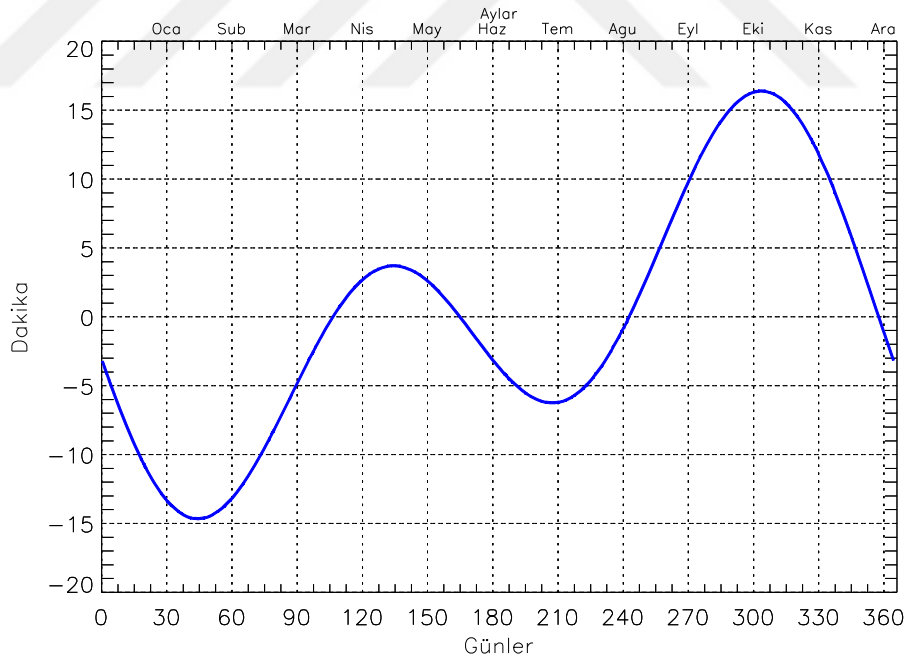
yaklaşık olarak aşağıdaki denklemlerden elde edilebilir. Günün saatini ifade etmek için güneş saati (AST) kullanılmalıdır. AST, güneşin gökyüzündeki görünür açısal hareketine dayanır. Güneşin gözlemcinin meridyenini geçtiği zaman yerel güneş öğle vaktidir. Genellikle bir yerin ekinoks günlerinin haricinde saat 12:00 ile çakışmaz. Yerel standart saati (LST) AST'ye dönüştürmek için iki düzeltme uygulanır; zaman denklemi (ET) ve boylam düzeltmesi. Bunlar daha sonra analiz edilir(Kalogirou, 2014).

$$ET = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B) \quad (3.2)$$

Burada B; yılın günlerine bağlı bir denklemdir ve

$$B = (N - 81) \frac{360}{364} \quad (3.3)$$

ifade edilir. Zaman denklemi Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Zaman denklemi

3.1.3.3 Boylam Düzeltme

Standart saat zamanı, bir zaman diliminin merkezine yakın seçilmiş bir meridyenden veya 0.0 boylamında olan standart meridyen, kabul edilen Greenwich şehriden hesaplanır. Güneş'in 1°'lik boylamı geçmesi 4 dakika sürer.

1° boylam, 4° boylam düzeltme terimi (Standart boylam [S_L] Yerel boylam [L_L]), yerin standart saat zamanına eklenmeli veya çıkarılmalıdır. Bu düzeltme, belirli bir boylam için sabittir ve imza konvansiyonu ile ilgili olarak aşağıdaki kurala uyulmalıdır. Konum standart meridyenin doğusundaysa, düzeltme saate eklenir. Konum batı ise çıkarılır. AST hesaplanması için genel denklemi Eşitlik (3.4)'de verilmiştir.

$$AST = LST \pm 4(S_L - L_L)DS + E_T \quad (3.4)$$

Burada,

LST = Yerel Standart Zaman,

E_T = zaman denklemi,

S_L = standart boylam,

L_L = yerel boylam,

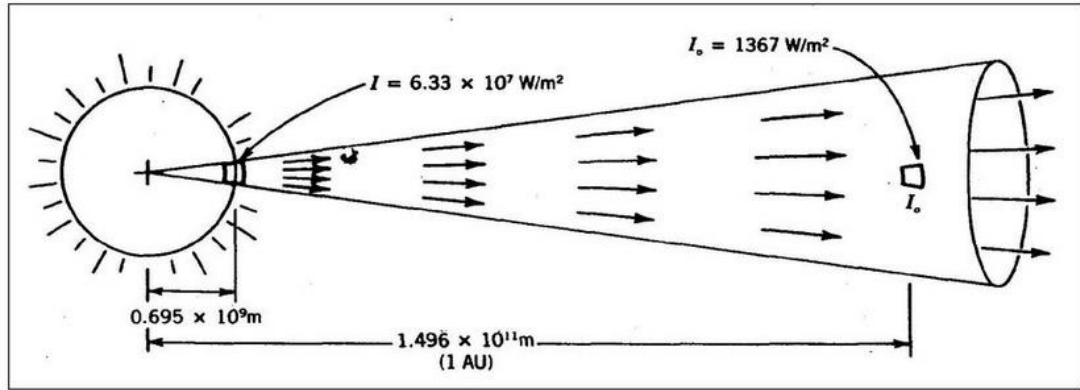
DS = gün ışığından yararlanma (0 veya 60 dakikadır).

Eğer ölçüm yapılan yer Greenwich'in doğusundaysa Eşitlik (3.4)'deki $\pm 4(S_L - L_L)DS$ 'nin işareti eksi (-), batıysa işareti artı (+) dır. Yaz saati uygulaması kullanılıyorsa, bunun LST'den çıkarılması gerekir. DS terimi, yaz saatinin uygulanmasına (genellikle Mart ayının sonundan Ekim ayının sonuna kadar) bağlıdır. Bu terim genellikle bu denklemde göz ardı edilir ve yalnızca DS tahmini edilir durumunda dikkate alınır.

3.1.3.4 Atmosfer dışı (Extraterrestrial) güneş ışıınım şiddeti

Güneş'in parlaklığı yaklaşık 3.86×10^{26} Watt'tır. Dolayısıyla, bu değer güneşten birim zamanda uzaya eşit olarak yayılan toplam güçtür. Bu radyasyonun çoğu elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi kısmındadır ve %1'den daha azı radyo, UV ve X-ışını spektral bantlarında yayılmıştır.

Güneş dünya arası mesafe yaklaşık olarak 1.496×10^{11} m km'dir (1 AB ya da 1 AU). Şekil 3.4'de verildiği gibi, güneşin birim yüzeyinden birim zanda uzaya yayılan enerji yaklaşık olarak 6.33×10^7 W/m²'dir. Dünya güneş etrafında ekliptik yörüngede dolandığından yıl boyunca dünyanın üst atmosferine gelen güneş enerjisinde de değişiklik olmaktadır. Dünyanın güneşe en yakın konumda (3 Ocak) olduğunda üst atmosfere yaklaşık 1400 W/m²'lık, en uzak konumu olduğunda (4 Temmuz) ise 1330 W/m²'lık enerji gelmektedir. Dünyanın üst atmosferine birim zamanda birim yüzeye gelen ortalama enerji ise yaklaşık 1367 W/m²'dir ve bu değer güneş sabiti (G_{sc}) olarak adlandırılır (Iqbal, 1983; Schiermeier, 2008; Duffie ve Beckman, 2013).

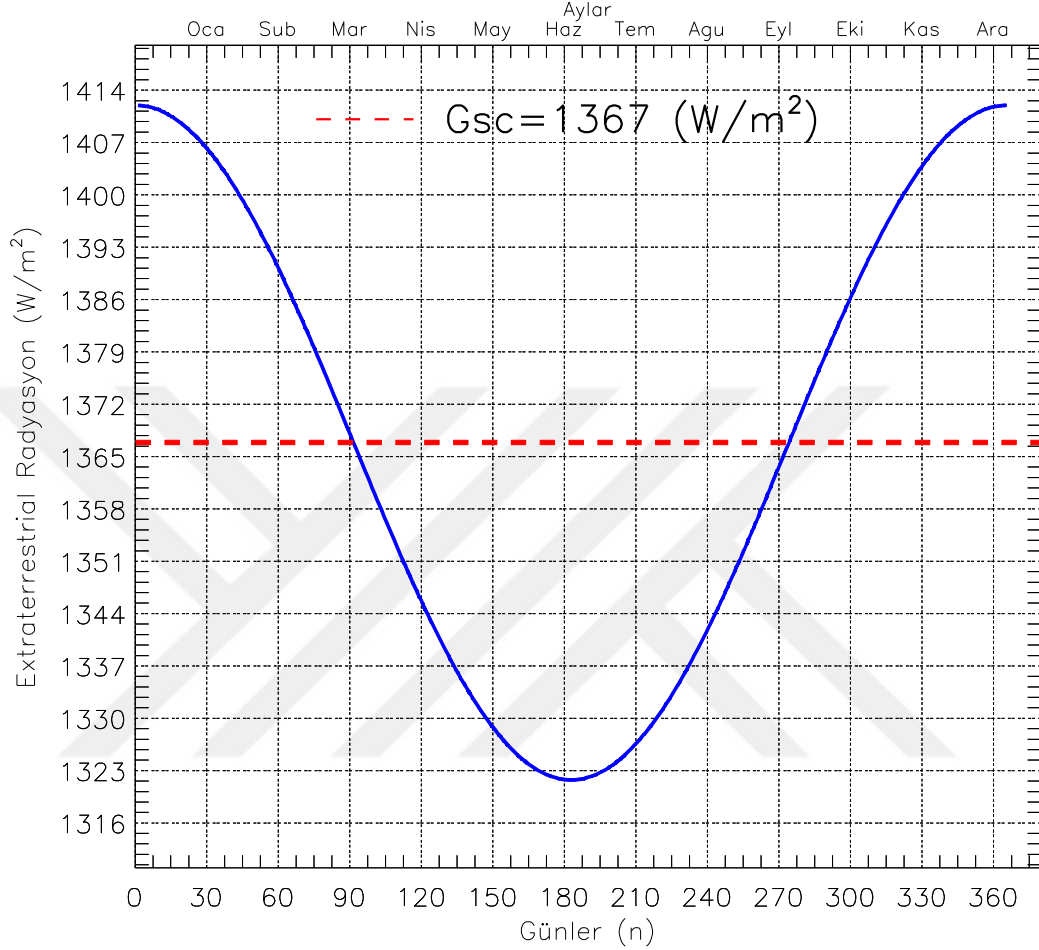


Şekil 3.4. Güneş-Dünya ilişkisi

Normal düzlemde ölçülen atmosfer dışı radyasyon, G_{on} , Eşitlik (3.5)'de verilen denklem yılın N. gününe ($N=1, 2, 3, \dots, 365$) bağlı olarak dünya dışı ışıınımı hesaplanır. Şekil 3.5'de ise belirtildiği gibi, bu sınırlar arasında değişir ve %3.3 aralığında hesaplanabilir.

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 N}{365}\right) \right] \quad (3.5)$$

Burada, G_{on} , yılın N . gününde dünya dışındaki radyasyon normal düzlemdeki W/m^2 biriminde ölçülen radyasyondur.



Şekil 3.5. Dünya dışı güneş radyasyonunun yılın zamanına göre değişimi.

Atmosfer dışına gelen güneş atmosfer dışı ışınlamı (G_{OH}),

$$G_{oH} = G_{on} \cos(\phi) = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 N}{365}\right) \right] \left[\cos(L) \cos(\delta) \cos(h) + \sin(L) \sin(\delta) \right] \quad (3.6)$$

eşitliğinde kullanılarak hesaplanır. Burada, “ G_{sc} ” güneş sabitidir ($1367 W/m^2$), “ N ”, yılın günleri, “ L ” ölçüm yapılan yerin enlemi (derece), “ δ ” deklinasyon açısı (dünyanın eğiklik açısı) (derece), “ h ” güneşin doğuş/batış saat açısıdır (derece)

(Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 2013; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015). Bu açılar hakkında gerekli açıklamalar aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

3.1.3.5 Güneş Açısı

Dünya her 24 saatte bir kendi eksenini etrafında bir dönüş yapar ve yaklaşık 365.25 günde güneş etrafındaki bir dönüşünü tamamlar. Bu dönüş dairesel değildir, ancak odaklarından birinde güneş olan bir elips izler. Dünyanın yörüngesinin eksantrikliği (e) çok küçüktür (0.01673). Bu nedenle, dünyanın güneş etrafındaki yörüngesi neredeyse daireseldir (Şekil 3.6). Günberi (en kısa mesafe, 3 Ocak'ta) ve günötede (4 Temmuz'da en uzun mesafe) güneş-dünya arası mesafesi (R) Eşitlik (3.7)'de verilen Kalogirou (2014) tarafından verilmiştir.

$$R = \alpha(1 \pm e) \quad (3.7)$$

Burada α ortalama güneş-dünya mesafesi ($1.496 \times 10^{11} \text{m}$)

3.1.3.6 Deklinasyon Açısı

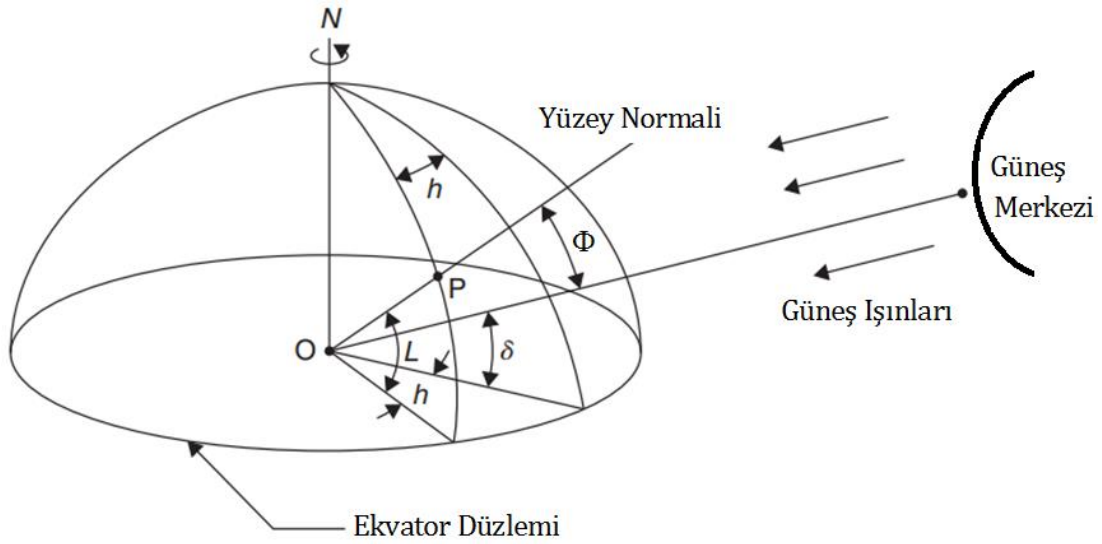
Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, Dünyaya gelen güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıya deklinasyon açısı denir. Şekil 3.6'da enlem " L " ile saat açısı " h " ile ve zenit açısı " Φ " ile gösterilmiştir.

Deklinasyon açısı

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (3.8)$$

ile hesaplanır. Burada N , 1 Ocak tarihinden başlayarak yılın günlerini ifade etmektedir. Deklinasyon açısı Eşitlik (3.9)'deki verilen denklem ile de hesaplanabilir (Kalogirou, 2014).

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) \\ & - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) \\ & - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma) \end{aligned} \quad (3.9)$$



Şekil 3.6. Zenit, güneş yükseklik ve azimut gibi türetilmiş açıları (Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014)

Burada, radyan cinsinden verilen Γ gün açısı olarak adlandırılır ve

$$\Gamma = \frac{2\pi(N-1)}{365} \quad (3.10)$$

ile ifade edilir. Γ sadece yılın günlerine (N) bağlıdır.

Hesaplama yapılırken kolaylık olması açısından aylara göre ortalama gün sayıları kısaca Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelge 3.1’de aylara göre ortalama gün sayıları, ayların saatleri ve ayın ortalama günleri ile bunlara karşılık gelen deklinasyon değerleri verilmiştir. Çizelge 3.1’den görüleceği gibi, i ve k sırasıyla aylardaki gün sayısını ve saat değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 3.1. Aylara göre ortalama gün sayıları, ayların saatleri ve ayın ortalama günleri ile bunlara karşılık gelen deklinasyon değerleri

Aylar	Gün Sayıları	Ayın Saatleri	Ayın Ortalama Günleri		
			Gün	N	δ
Ocak	i	k	17	17	-20.92
Şubat	31 + i	744+k	16	47	-12.95
Mart	59 + i	1416+k	16	75	-2.42
Nisan	90 + i	2160+k	15	105	9.41
Mayıs	120 + i	2880+k	15	135	18.79
Haziran	151 + i	3624+k	11	162	23.09
Temmuz	181 + i	4344+k	17	198	21.18
Ağustos	212 + i	5088+k	16	228	13.45
Eylül	243 + i	5832+k	15	258	2.22
Ekim	273 + i	6552+k	15	288	-9.60
Kasım	304 + i	7296+k	14	318	-18.91
Aralık	334 + i	8016+k	10	344	-23.05

Eşitlik (3.8)'de verilen deklinasyon açısı formülünde Çizelge 3.1'de verilen yılın ortalama gün (N) değerleri kullanılarak aylara göre deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi elde edilmiş ve grafiği Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi deklinasyon değerleri $\pm 23.45^\circ$ aralığında değişmektedir. Güneş ışınları 21 Mart (21 Mart için $59 + i = 59 + 21 = 80$. gün) ve 21 Eylül (21 Eylül için $243 + i = 243 + 21 = 264$. gün) tarihlerinde (gün dönüm noktaları) dünyaya dik ($\theta = 90^\circ$) geldiğinden deklinasyon açısı bu tarihlerde sıfırdır.

3.1.3.7 Enlem Açısı

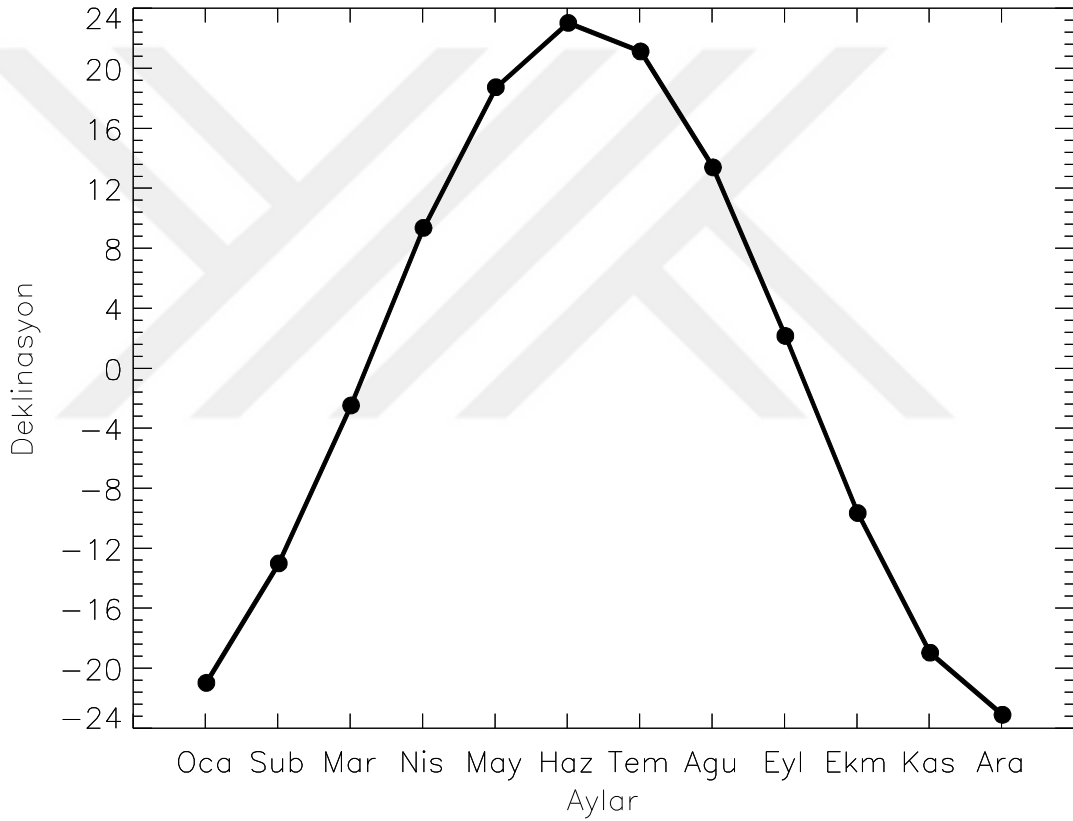
Şekil 3.6'da görüleceği üzere dünyadaki ölçüm yapılan her hangi bir yeri (örneğin, Osmaniye) dünyanın merkezine birleştiren doğru ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Enlem açısı -90° ile 90° arasında değişir ($-90^\circ \leq L \leq 90^\circ$).

3.1.3.8 Saat Açısı

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, güneşin saat açısı (HourAngle: h), Dünya yüzeyindeki herhangi bir noktadaki gözlemcinin meridyeni ile güneş meridyeni arasındaki gök kutbunda ölçülen açıdır. Yerel güneş öğleden sonraki dakika sayısı Eşitlik (3.11)'de verilmiştir.

$$h = \pm 0.25 \quad (3.11)$$

1 saat 15°'ye karşılık geldiğinden 15°'lik açı 60 dakikaya bölündüğünde ($h=15/60=0.25$) dakika cinsinden saat açısı elde edilir. Eşitlik (3.11)'de eksi (-) işareti ise sabah saatleri için kullanılırken artı (+) işareti öğleden sonraki saatler için kullanılmaktadır. Ayrıca, saat açısı Eşitlik (3.12)'de verildiği gibi doğrudan görünür güneş zamanı (AST) (yani düzeltilmiş yerel güneş saati) ile de elde edebilir.



Şekil 3.7. Deklinasyon açısının yıl boyunca aylara göre değişimi

$$h = (AST - 12)15 \quad (3.12)$$

Güneş tam tepede iken $AST=12$ ve saat açısı $h=0$ olur. Bu nedenle, Şekil 3.6’da görüldüğü gibi yerel Güneş saatinde öğle vakti olduğunda saat açısı (h) sıfır olur (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).

3.1.3.9 Güneş Yükseklik Açısı

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, güneşin yükseklik açısı (α), güneş ışınlarının ufuk düzlemi ile yaptığı açıdır. Güneş’in yükseklik açısı matematiksel olarak Eşitlik (3.13)’de verildiği şekilde hesaplanır:

$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \quad (3.13)$$

Güneş ışınları ile yüzey normali arasındaki açı olan güneş zenit açısı (Φ) ile gösterilmiştir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015). Güneşin yükseklik açısı (α) ile zenit açısının (Φ) toplamı Eşitlik (3.14)’de verildiği gibi 90° derecedir.

$$\Phi + \alpha = \pi / 2 = 90^\circ \quad (3.14)$$

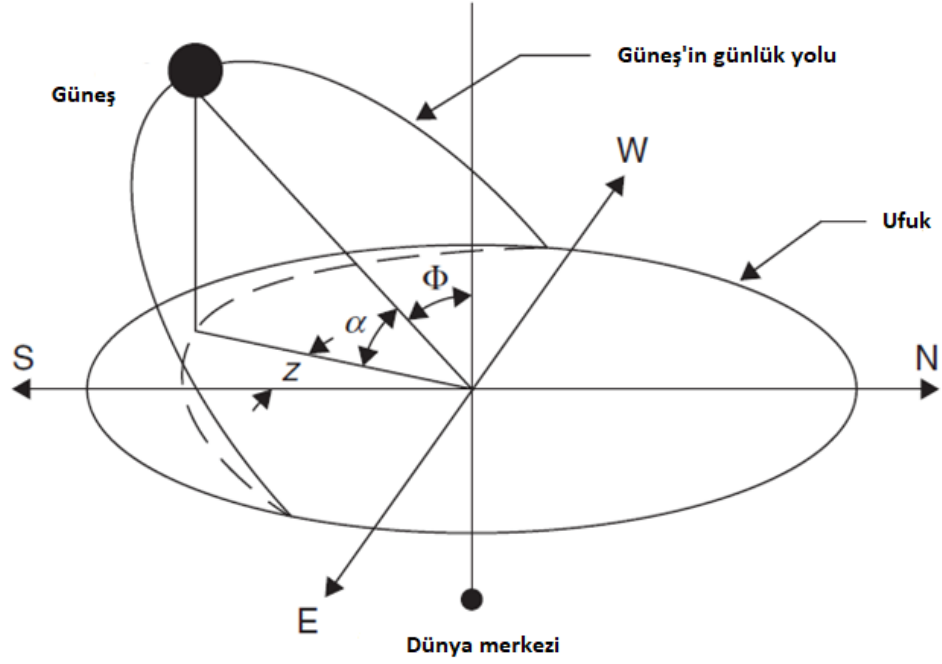
3.1.3.10 Güneş Azimut Açısı

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, güneşin azimut açısı (z) kuzey yarımküre için tam güneyden (gerçek güney) yatay düzlemde ölçülen güneş ışınlarının açısıdır. Benzer şekilde, güney yarımküre için tam kuzeyden(gerçek kuzey) yatay düzlemde ölçülen güneş ışınlarının açısıdır. Azimut açısı batıya doğru pozitif olarak belirlenmiştir. Güneş azimut açısı için matematiksel olarak Eşitlik (3.15)’de

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad (3.15)$$

$$z = \sin^{-1}\left(\frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)}\right)$$

ile edilir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).



Şekil 3.8. Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin gökyüzünde izlediği günlük görünen yolu (Kalogirou, 2014).

3.1.3.11 Güneşin doğuş ve batış saatleri ve gün uzunluğu

Güneş'in yükseklik açısı (α) 0° olduğunda güneşin doğup ve battığı söyleyebiliriz. Böylece, gün batımındaki saat açısı, (h_{ss}) için $\alpha=0^\circ$ olduğunda Eşitlik (3.16)'da şu şekilde çözülebilir.

$$\sin(\alpha) = \sin(0) = 0 = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h_{ss}) \quad (3.16)$$

Ya da Eşitlik (3.17)'de gösterildiği üzere ifade edilir:

$$\cos(h_{ss}) = -\frac{\sin(L) \sin(\delta)}{\cos(L) \cos(\delta)} \quad (3.17)$$

Aynı zamanda bu denklem toparlandığında Eşitlik (3.18)'de gösterildiği üzere şekilde ifade edilir:

$$\cos(h_{ss}) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad (3.18)$$

Burada gün batımında h_{ss} pozitif değer olarak alınmalıdır (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).

Yerel güneş öğle vaktindeki saat açısı 0° olduğundan ve her 15° 'lik boylam 1 saate eşdeğer olduğundan, yerel güneş öğle vaktinden itibaren saat cinsinden gün doğumu ve gün batımı zamanı;

$$h_{ss} = -h_{ss} = \frac{1}{15} \cos^{-1}[-\tan(L) \tan(\delta)] \quad (3.19)$$

ile ifade edilir. Çeşitli enlemler için gün doğumu ve gün batımı saat açıları gösterilmektedir. Güneş öğle vakti, gün doğumu ve gün batımı saatlerinin ortasında olduğundan, gün uzunluğu gün batımı saatinin iki katıdır. Bu nedenle, saat cinsinden günün uzunluğu (GU, day length) Eşitlik (3.20)'de verildiği üzere şu şekilde hesaplanır:

$$GU = \frac{2}{15} \cos^{-1}[\tan(L) \tan(\delta)] \quad (3.20)$$

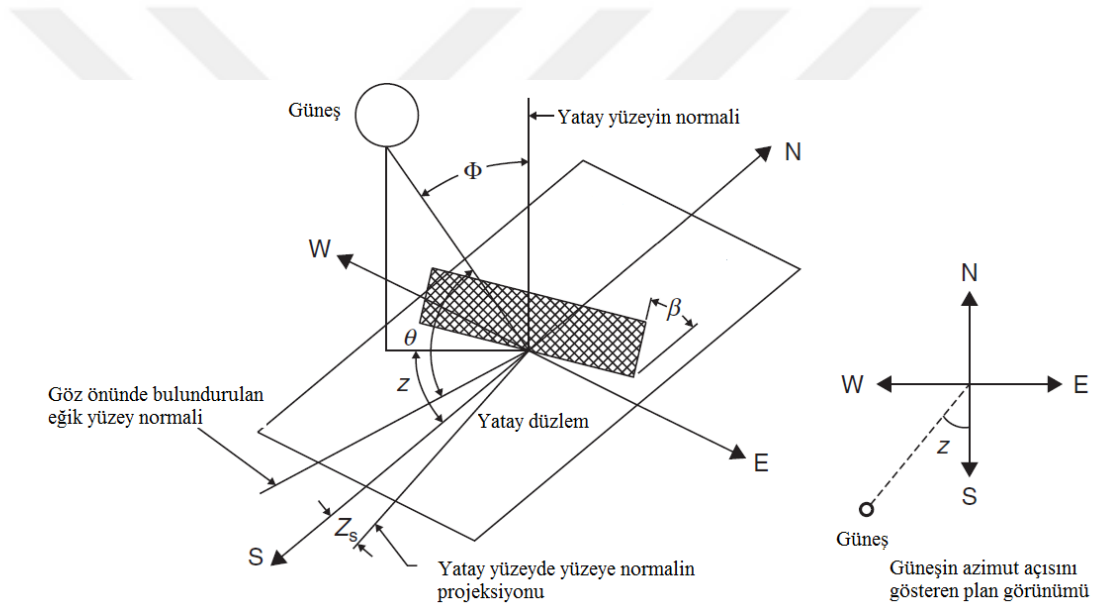
Burada, yukarıda belirtildiği gibi, “ δ ” deklinasyon açısını ve “ L ” ölçüm yapılan yerin enlemini göstermektedir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).

3.1.3.12 Gelme Açısı

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi, güneş geliş açısı (θ) güneş ışınları ile bir yüzeyin normali arasındaki açıdır. Yatay bir düzlem için geliş açısı θ ve zenit açısı Φ aynıdır. Gösterilen açılar, geliş açısı için Eşitlik (3.21)’de genel ifade ile verilmiş olup temel açılarla da ilişkilidir (Duffie ve Beckman, 1991):

$$\begin{aligned}
\cos(\theta) = & \sin(L) \sin(\delta) \cos(\beta) \\
& - \cos(L) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(Z_s) \\
& + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) \\
& + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \sin(\beta) \cos(Z_s) \\
& + \cos(\delta) \sin(h) \sin(\beta) \sin(Z_s)
\end{aligned} \tag{3.21}$$

Şekil 3.9’da “ L ” ölçüm yapılan yerin enlemi, “ h ” saat açısını, “ δ ” deklinasyon açısını, “ Z_s ” yüzey azimut açısı (gerçek güneyden yüzey normali arasındaki açı batıya doğru pozitif olarak belirlenir) ve “ β ” eğimli yüzeyin yatay yüzeyle yaptığı açığı göstermektedir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).



Şekil 3.9. Eğik düzlem için güneş açıları diyagramı (Kalogirou, 2014).

3.1.3.13 Zenit Açısı

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi, yatay düzlem için ($\beta=0$) gelme açısı (θ) zenit açısı ($\theta_z : \Phi$) ile aynı olur. Bu durumda, Eşitlik (3.22) tekrar düzenlendiğinde,

$$\cos(\Phi) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \tag{3.22}$$

ile elde edilir. Güneş, öğle saatinde gökyüzünden yüksek noktada bulunur (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).

3.1.3.14 Yüzey Eğim Açısı

Eğim açısı, piranometre, fotovoltaiik güneş pili gibi ölçüm yapan cihazın yatay düzlem ile yaptığı açıdır ve $0 \leq \beta \leq 180^\circ$ arasında değişir (Şekil 3.9)'da Türkiye'nin coğrafi konumundan dolayı ölçüm yapılacak sistem hareketsiz bir sistem kurulmak istenirse, eğim açısının güneşe doğru ortalama 25° - 27° derece arasında yerleştirilmelidir. Hareketli bir sistem yapılmak istenir ise bulunduğumuz boylama değerinin yaz mevsiminde 15° çıkartıp kalan sonuç değerinde açı ile yerleştirmelidir. Kış ayı için boylam değerine 15° eklenerek toplam sonuç değerinde açı ile güneş pilleri yerleştirilmelidir (Tiris ve Tiris, 1998).

Örneğin Osmaniye $37^\circ.04'$ 'lik kuzey enlemindedir. Eğer güneş pilinin yaz ve kış aylarında sürekli olarak kullanılması isteniyorsa güneş panelinin eğim açısı Osmaniye'nin enlem açısı olan $37^\circ.04'$ olacak şekilde yerleştirilmelidir. Güneş panelini yaz ayı için yüzey eğim açısını 22° derece olarak ayarlamalıdır. Kış ayı için yüzey eğim açısını 52° derece olacak şekilde ayarlanarak güneş pilleri yerleştirilmelidir. Sonuç olarak, en iyi verimi elde etmek için panellerin eğiklik açısı enlem $\pm 15^\circ.0$ olmalıdır. Bu şekilde uygulama yapılarak güneş enerjisinden maksimum seviye yararlanılır ve en verimli şekilde kullanımıdır.

Kuzey Yarımkürede güneşe bakan eğimli bir yüzey için, Şekil 3.9'da verilen " Z_s " yüzey azimut açısı sıfır olur ($Z_s=0^\circ$). Bu durumda, Eşitlik (3.23) tekrar düzenlendiğinde,

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(L) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \sin(\delta) \sin(\beta) \\ & + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \sin(\beta) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Belirli matematiksel dönüşümler yapılarak Eşitlik (3.24)'de daha basit forma dönüştürülebilir.

$$\cos(\theta) = \sin(L - \beta) \sin(\delta) + \cos(L - \beta) \cos(\delta) \cos(h) \quad (3.24)$$

Benzer şekilde, Güney Yarımkürede güneşe bakan eğimli bir yüzey için $Z_s=180^\circ$ olur. Bu durumda, Eşitlik (3.25)'de verildiği üzere ifade edilir.

$$\cos(\theta) = \sin(L + \beta)\sin(\delta) + \cos(L + \beta)\cos(\delta)\cos(h) \quad (3.25)$$

Burada görüldüğü üzere Eşitlik (3.23)'de genel bir durumu gösterirken Eşitlik (3.24)'de ve Eşitlik (3.25) özel bir durumu göstermektedir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014; Goswami, 2015).

3.1.4 Hava Kütlesi Olayı

Hava kütlesi (Air Mass: AM), güneş ışığının Dünya atmosferinden geçerken atmosferde ne kadar ilerlediğinin bir ölçüsüdür. Hava kütlesini hesaplaması Eşitlik (3.26)'de verildiği üzere şu şekilde formül olarak ifade edilir:

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta_z)} \left[\frac{P}{P_0} \right] \quad (3.26)$$

Burada; “ θ_z ” zenit açısı, “P”, ölçüm yapılan yerin yerel basıncı (pascal) ve “ P_0 ” deniz seviyesi basıncı (pascal) göstermektedir. Eğer $P = P_0$ alınırsa, Eşitlik (3.27)'de verilen hava kütlesi

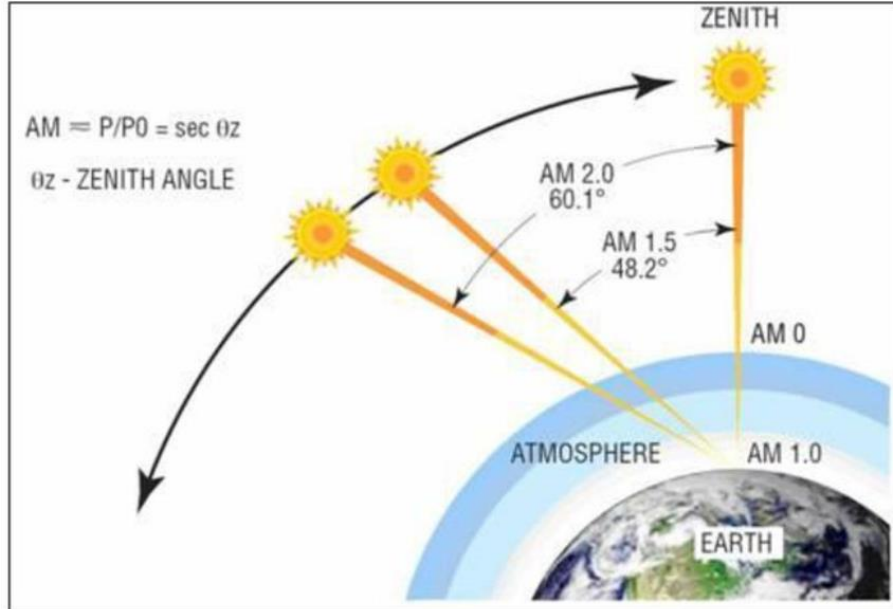
$$AM = \frac{1}{\cos(\theta_z)} = \frac{1}{\sin(h)} \quad (3.27)$$

olur. Eşitlik (3.27)'den görüleceği gibi hava kütlesi tamamen zenit açısına (θ_z) ve dolayısıyla güneşin yükseklik açısına ($\theta_z + h = 90^\circ$) bağlıdır. Eşitlik (3.27) kullanılarak güneşin zenit ve yükseklik açılarına göre hava kütlesinin değişimi Şekil 3.11'de verilmiştir.

Bilindiği gibi, Güneş sürekli olarak uzaya enerji salmaktadır. Bu enerji, dünya atmosferinin dış kısmına metrekareye (m^2) ortalama 1367 W'a (güneş sabiti) ulaşmaktadır. Güneş ışını atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşana kadar atmosfer dışına ulaşan enerjinin bir miktarını kaybederek çok az miktarı yeryüzüne ulaşır. Dünya yüzeyine bir saatte ulaşan Güneş enerjisi, dünya nüfusunun bir yılda kullandığı toplam enerji miktarından çok fazladır. Bu enerji kaybı, Şekil 3.11'de

görüldüğü gibi atmosferin kalınlığına bağlıdır. Açık havada öğle saatlerinde deniz seviyesine ulaşan güneş radyasyonu yaklaşık 1000 W/m^2 'dir ve hava kütlesi 1'e eşit olur (yani $AM=1$). Güneş yalnızca kısa bir süre için tepede olduğu için, hava kütlesi normalde birden büyüktür (yani mevcut enerji 1000 W/m^2 'den azdır). Şekil (3.11)'de görüldüğü gibi Güneş gökyüzünde alçaldıkça yani gün doğum ya da gün batım noktaları olan ufuk düzlemine doğru gittikçe, güneş ışınları atmosferde daha fazla yol kat edeceğinden (zenit açısı artar) daha fazla enerji kaybeder.

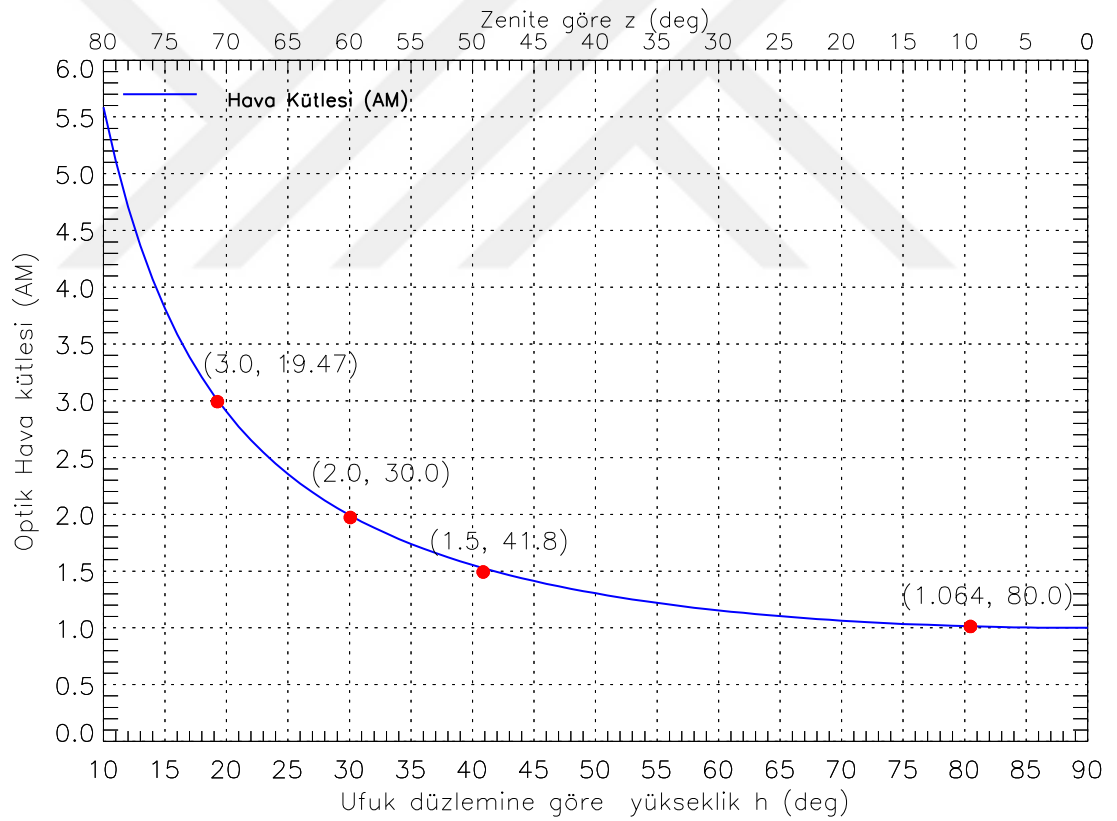
Dünyanın dış atmosferindeki standart tayfı AM_0 ($AM=0$) olarak adlandırılır (Şekil 3.10) ve uzaydaki güneş ışınımını tanımlar. AM_0 , tipik olarak güneş pillerinin uzayda beklenen performansını tahmin etmek için kullanılır. $AM_{1.5}$, atmosferdeki ışık yolunun uzunluğunun, güneş doğrudan tepedeyken daha kısa olan yolun 1.5 katı olduğunu gösterir. $AM_{1.5}$ radyasyonunun yoğunluğu, AM_0 spektrumunu %29 azaltarak yaklaşık olarak tahmin edilir. Güneş radyasyonu atmosferden geçerken %19'i emilir ve kalan %10'u da saçılır. Toplam güneş enerji spektrumu, doğrudan/direkt spektrumdan %10 daha büyüktür. Bu hesaplamalar $AM_{1.5}$ için yaklaşık 970 W/m^2 verir. Bununla birlikte, standart $AM_{1.5}$ spektrumu, gelen güneş radyasyonundaki yapısal farklılıklar nedeniyle 1000 W/m^2 verecek şekilde normalize edilmiştir.



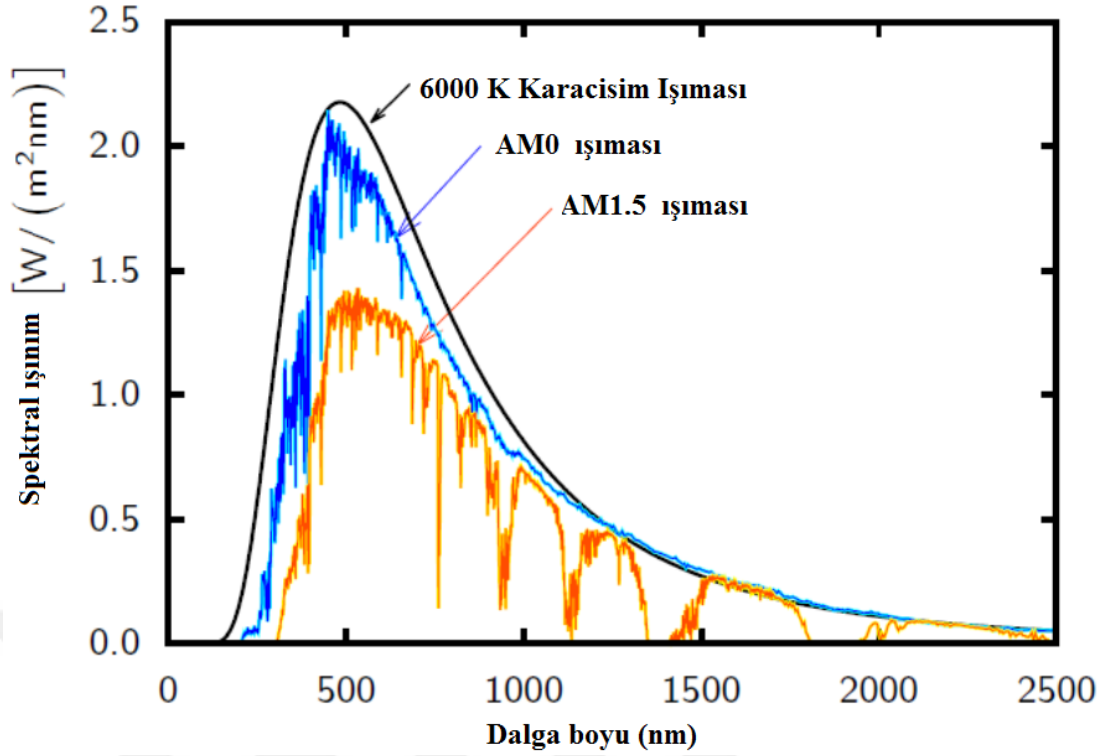
Şekil 3.10. Hava kütlesi (Air Mass)

Eşitlik (3. 27) formül $h > 10^\circ$ olduğu durumlar için geçerlidir ve dolayısıyla çoğu fotovoltaik uygulama için geçerlidir. Daha düşük açılarda, dünyanın yuvarlak olması ve ışığın atmosferin dikey yoğunluk profilindeki kırılma nedeniyle bükülmesi önemlidir. Eşitlik (3. 27) kullanarak optik hava kütesinin Güneş zenitten itibaren θ_z açısına veya ufuk düzleminde itibaren h açısında bağlı olarak değişimini veren grafik Şekil (3.11)'de verilmiştir. Şekil (3.11)'de görüldüğü gibi Güneş ufkun 90 derece üzerinde zenitten parlıyorsa, ışık tanım gereği optik hava kütlesi 1'den geçer.

Şekil 3.12'de ideal bir kara cisim, AM0 ve AM1.5 spektrumları verilmiştir. Dünya atmosferi dışındaki spektruma hava kütlesi sıfır denir (AM0). AM0' de ışıınım yaklaşık 1367 W/m^2 'dir. Güneş pili performansını karşılaştırmak için yaygın olarak kullanılan standart hava kütlesi, toplam 1000 W/m^2 ışıma değerine normalize edilmiş olan AM1.5 spektrumudur.



Şekil 3.11. Hava kütesine karşı güneşin zenit ve yükseklik açıları.



Şekil 3.12. İdeal bir kara cisim, AM0 ve AM1.5 tayfları

3.1.5 Fotovoltaik Piller

Bir fotovoltaik (FV) hücre, fotovoltaik etki adı verilen bir süreçle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir sistemdir. Yüzeylerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Bir fotovoltaik hücrenin en önemli katmanı, özel olarak işlenmiş yarı iletken katmandır. İki ayrı katmandan oluşur ve aslında fotovoltaik etki adı verilen bir süreçle Güneş enerjisini faydalı elektrik enerjisine dönüştüren şeydir. Yarı iletkenin her iki yanında, üretilen elektriği “toplayan” bir iletken malzeme tabakası bulunur.

Bir FV paneli, güneş enerjisini DC elektrik enerjisine dönüştüren paralel veya seri olarak yerleştirilmiş birkaç FV hücresinden oluşur. Bir fotovoltaik hücre, ışıktaki yayılan enerjiyi, cihazlara güç vermek için kullanılabilecek elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmıştır. Genellikle Si, As, CdTe gibi yarı iletkenlerden yapılırlar ve yansıma önleyici bir kaplamaya sahiptirler. FV paneldeki elektronların hareketini gösteren basit bir grafiği Şekil 3.13’de gösterilmektedir. Şekil 3.13’de gösterildiği gibi bir fotovoltaik hücrede, bir taraf pozitif, diğer taraf ise negatif yüke sahiptir. Yarı iletken malzeme yeterince güneş ışığını (güneş enerjisi) emdiğinde,

elektronlar serbest kalırlar. Serbest kalan elektronlar hücreden yansıyabilir, hücreden geçebilir veya yarı iletken malzeme tarafından emilebilirler. Böylece elektronlar doğal olarak hücrenin yüzeyine göç eder. Emilen fotonlar elektrik üretmek için enerji sağlar. Bu gevşek elektronlar, hücrenin pozitif tarafına doğru akarak bir akım oluşturur. Bu akım artık elektrik kaynağı olarak kullanılabilir. İletkenler bir elektrik devresinde pil gibi harici bir yüke bağlandığında, devrede elektrik akar.

FV hücrelerinin güneş ışığını elektriğe dönüştürme verimliliği, yarı iletken malzemenin türüne ve FV hücre teknolojisine göre değişir. Ticari olarak temin edilebilen FV modüllerinin verimliliği 1980'lerin ortalarında ortalama %10'un altındaydı, 2015'te yaklaşık %15'e yükseldi ve şu anda son teknoloji modüller için %20'ye yaklaşıyor. Deneysel FV hücreleri ve uzay uyduları gibi iş pazarları için FV hücreleri yaklaşık %50 verimlilik elde etti.

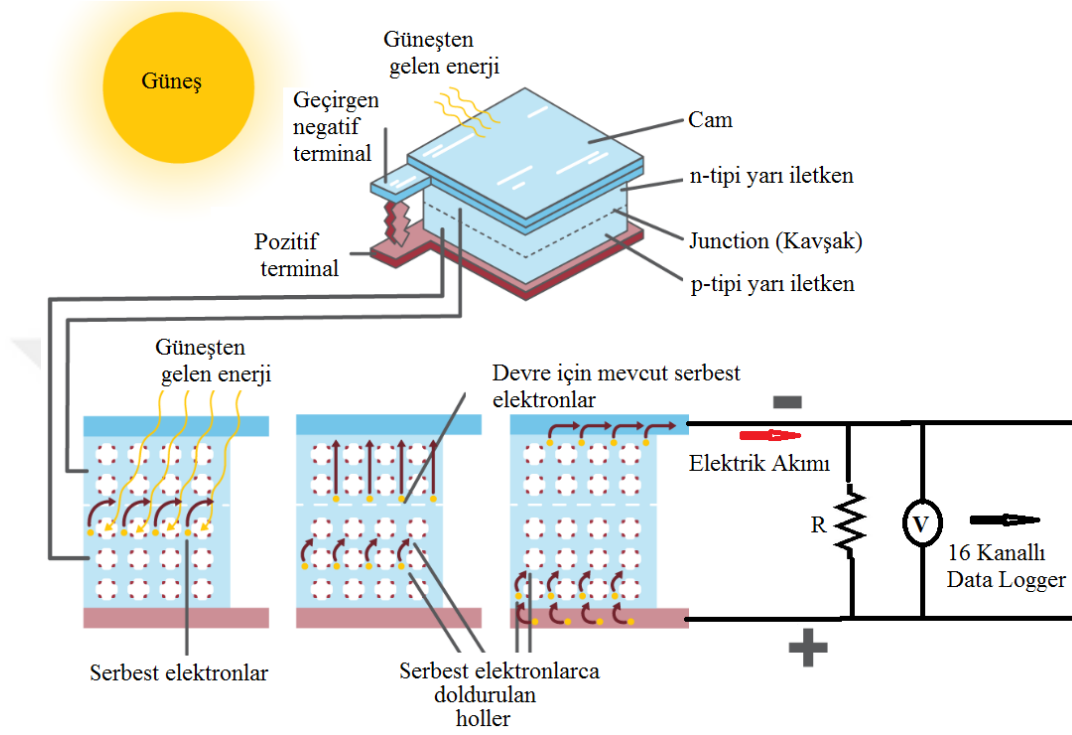
FV hücresi, bir FV sisteminin temel yapı taşıdır. Bireysel hücrelerin boyutu yaklaşık 0.5 inç ila yaklaşık 4 inç arasında değişebilir. Bununla birlikte, bir hücre yalnızca 1 veya 2 Watt üretir. Bu, yalnızca hesap makinelerine veya kol saatlerine güç sağlamak gibi küçük kullanımlar için yeterli elektriktir.

FV hücreleri, paketlenmiş, hava koşullarına dayanıklı bir FV modülü veya paneli içinde elektriksel olarak bağlanır. FV modüllerinin boyutları ve üretebilecekleri elektrik miktarı farklıdır. FV modülü elektrik üretme kapasitesi, modüldeki hücre sayısı veya modülün yüzey alanı ile orantılı olarak artar. FV modülleri, bir FV dizisi oluşturmak için gruplar halinde bağlanabilir. Bir FV dizisi, iki veya yüzlerce FV modülünden oluşabilir. Bir FV dizisine bağlı FV modüllerinin sayısı, dizinin üretebileceği toplam elektrik miktarını belirler.

Fotovoltaik hücreler doğru akım (DC) elektriği üretir. Bu DC elektrik, sırayla doğru akım elektriği kullanan cihazları çalıştıran pilleri şarj etmek için kullanılabilir. Elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde elektriğin neredeyse tamamı alternatif akım (AC) olarak sağlanmaktadır. DC elektriği AC elektriğe dönüştürmek için FV modüllerinde veya dizilerde invertör adı verilen cihazlar kullanılır.

FV hücreleri ve modülleri, doğrudan güneşe baktıklarında en büyük miktarda elektrik üreteceklerdir. FV modülleri ve dizileri, modülleri sürekli güneşe bakacak şekilde hareket ettiren izleme sistemlerini kullanabilir, ancak bu sistemler pahalıdır.

Çoğu FV sistemi, modüller doğrudan güneye (kuzey yarım kürede - güney yarım kürede doğrudan kuzeye) bakan ve sistemin fiziksel ve ekonomik performansını optimize eden bir açıda sabit bir konumda modüllere sahiptir.



Şekil 3.13. Fotovoltaik sistem şeması

Fotovoltaik (FV), basitliği, az bakım gerektirmesi ve çevre dostu olması nedeniyle güneş enerjisinden elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Hem FV'nin I-V (akım-gerilim) hem de P-V (güç-gerilim) Şekil 3.14'de gösterilmiştir. FV, V-I ve P-V eğrisi, belirli sıcaklık ve ışınlamada güç dönüşüm karakteristiğini temsil eder. I-V eğrisi, bir fotovoltaik (FV) cihazın olası akım ve voltaj çıkışı kombinasyonlarını gösterir. Öte yandan, gerilim ve akım çarpımından P-V eğrisi elde edilir. VMP ve IMP sırasıyla FV'nin maksimum güç voltajını ve maksimum güç akımını temsil eder.

Maksimum çıkış gücü (PMP), kısa devre akımı (I_{SC}), açık devre gerilimi (V_{OC}), maksimum güç akımı (I_{MP}) ve maksimum güç gerilimi (V_{MP}) gibi FV elektriksel

özellikleri, sıcaklık dalgalanmalarından büyük ölçüde etkilenir. Mavi eğri ve kırmızı eğri, sırasıyla sıcaklık artışından önceki ve sonraki FV I-V eğrisini temsil eder. FV kısa devre akımı (I_{SC}) bir miktar artmasına rağmen, sıcaklık artışı nedeniyle açık devre gerilimi (V_{OC}) önemli ölçüde azalır. Sonuç olarak, sıcaklık artışı FV maksimum çıkış gücünde azalmaya yol açar.

İlk pratik FV hücresi, 1954 yılında Bell Telephone araştırmacıları tarafından geliştirilmiştir. 1950'lerin sonlarından başlayarak, ABD uzay uydularına güç sağlamak için FV hücreleri kullanıldı. 1970'lerin sonlarında, FV paneller, elektrik hatları olmayan uzak veya şebeke dışı yerlerde elektrik sağlıyordu. 2004'ten bu yana, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki FV sistemlerinin çoğu şebeke bağlantılıdır. Bir elektrik güç şebekesine bağlıdır ve binaların üzerine veya yakınına ve kamu hizmeti ölçeğindeki elektrik tesislerine kurulur. Teknolojik ilerlemeler, FV sistemleri için daha düşük maliyetler ve çeşitli mali teşvikler ve hükümet politikaları, 1990'ların ortalarından bu yana FV kullanımının büyük ölçüde artmasına yardımcı olmuştur. Yüz binlerce şebekeye bağlı FV sistemi artık Amerika Birleşik Devletlerinde kurulmuş durumdadır.

3.1.5.1 Maksimum Güç Voltajı

Bir güneş panelinin Maksimum Güç Voltajı (Voltage at Maximum Power V_{MP}), panel modülü bir yüke bağlandığında ve standart test koşullarında (STC) en yüksek performans çıkışında çalışırken oluşan voltajdır. V_{MP} , bir I-V eğrisi üzerindeki virajın olduğu yeredir; modülün en büyük güç çıkışının olduğu yer. Bu voltajın kolayca ölçülemeyeceğini ve saniye başına sistem performansı ile ilgili olmadığını not etmek önemlidir. Sistem çalışırken, bir yükün veya pil bankasının bir modülün veya dizinin V_{MP} 'sini V_{MP} 'den birkaç volt daha düşük çekmesi alışılmadık bir durum değildir. Bir FV modülünün anma gücü, hesaplamalarda modülün V_{MP} 'sini maksimum güçteki akımla (I_{MP}) çarparak doğrulanabilir. Sonuç size MPP veya maksimum güç noktasında güç vermeli, modülün isim levhasındaki watt ile aynı olmalıdır. Bir modülün V_{MP} 'si genellikle modül içinde seri olarak bağlanan hücre başına 0,5 volt olarak çalışır. Farklı kristal modül türleri için tipik V_{MP} değerlerini bulmak üzere tabloya başvurabilirsiniz.

3.1.5.2 Açık Devre Gerilimi

Açık devre gerilimi (Voltage at Open Circuit: V_{OC}) bir güneş pilinden elde edilebilen maksimum gerilimdir ve bu sıfır akımda gerçekleşir. Açık devre voltajı, güneş pili bağlantısının ışıqla üretilen akımla önyargısı nedeniyle güneş pili üzerindeki ileri yönlü önyargı miktarına karşılık gelir.

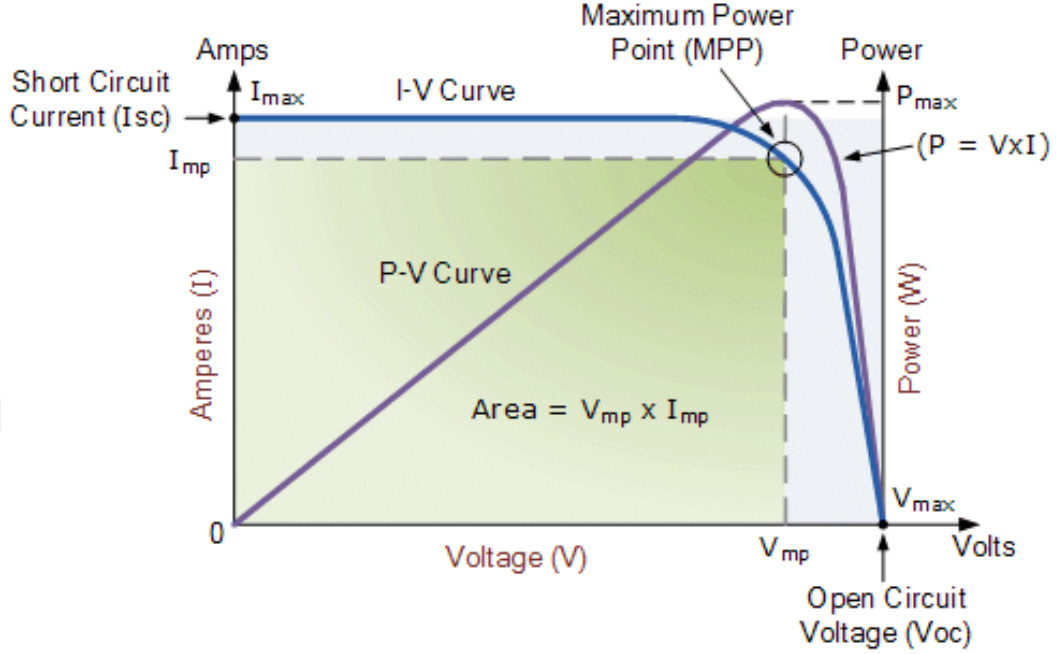
Bir güneş panelinin açık devre voltajı nedir? Açık devre gerilimi, modül herhangi bir yüke bağılı değilken voltmetre veya multimetre ile okunan gerilimdir. Bu numarayı bir FV modülünün özellik sayfasında ve etiketinde listelenmiş olarak görmeyi beklersiniz. Bu voltaj, kutudan yeni çıkmış modülleri test ederken ve daha sonra sistem tasarımında sıcaklık düzeltmeli VOC hesaplamaları yaparken kullanılır. Farklı kristal FV modül türleri için tipik VOC değerlerini bulmak için aşağıdaki tabloya başvurabilirsiniz.

3.1.5.3 Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı (The short-Circuit Current, I_{SC}), güneş hücresinin üzerindeki gerilim sıfır olduğunda (yani, FV pil kısa devre) güneş pilinden geçen akımdır. Kısa devre akımı literatürde genel olarak I_{SC} yazılır, Şekil 3.14'de akım gerilim grafiğinde verilmiştir. Kısa devre akımı, ışıqla üretilen taşıyıcıların toplanması ve üretilmesinden kaynaklanır. İdeal bir güneş pili için en orta dirençli kayıp mekanizmalarında, kısa devre akımı ve ışık tarafından üretilen akım aynıdır. Bu nedenle kısa devre akımı, güneş pilinden çekilebilecek en büyük akımdır.

Verimliliklerini sınırlayan birçok faktör olduğundan, fotovoltaik hücreler için verimlilik bir tasarım kaygısıdır. Ana faktör, Dünya'ya gelen güneş enerjisinin ¼'ünün bir silikon yarı iletken tarafından elektriğe dönüştürülememesidir. Yarı iletkenlerin fiziğı, bant aralığı enerjisi olarak bilinen bir kristal yapıdan bir elektronu çıkarmak için minimum bir foton enerjisi gerektirir. Bir fotonun enerjisi bant aralığından daha azsa, foton termal enerji olarak emilir. Silisyum için bant aralığı enerjisi 1.12 elektron voltur. Güneşten gelen fotonlardaki enerji geniş bir enerji yelpazesini kapsadığından, Güneşten gelen enerjinin bir kısmının silikondaki bir elektronu kopartacak kadar enerjisi yoktur. Bant aralığı enerjisinin üzerindeki herhangi bir enerji, ısıya dönüştürülecektir. Bu da verimi düşürür çünkü o ısı enerjisi herhangi bir faydalı iş için kullanılmaz. Kullanılabilir hale getirilen elektronların

hepsi aslında metalle temasa geçip elektrik üretmeyecek. Bazı elektronlar, sistemi terk etmek için yarı iletken içindeki voltaj tarafından yeterince hızlandırılmayacaktır. Bu etkiler birleşerek silikon FV hücrelerinin teorik verimini yaklaşık %33 oluşturur.



Şekil 3.14. Bir fotovoltaik paneli için I-V ve P-V eğrileri

FV hücrelerinin verimliliğini artırmanın yolları vardır ve bunların tümü artan bir maliyetle gelir. Bu yöntemlerden bazıları, hücreye ek katmanlar veya p-n bağlantıları ekleyerek veya konsantre fotovoltaikler kullanarak Güneş enerjisini yoğunlaştırarak, Galyum Arsenit gibi daha verimli bir yarı iletken malzeme kullanarak yarı iletkenin saflığını artırmayı içerir. Öte yandan, FV hücreleri de UV ışınlarına maruz kalma ve hava döngüleri dahil olmak üzere çeşitli faktörler nedeniyle zamanla daha az enerji üreterek bozulacaktır. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın (NREL) kapsamlı bir raporu, medyan bozulma oranının yılda %0,5 olduğunu belirtmektedir.

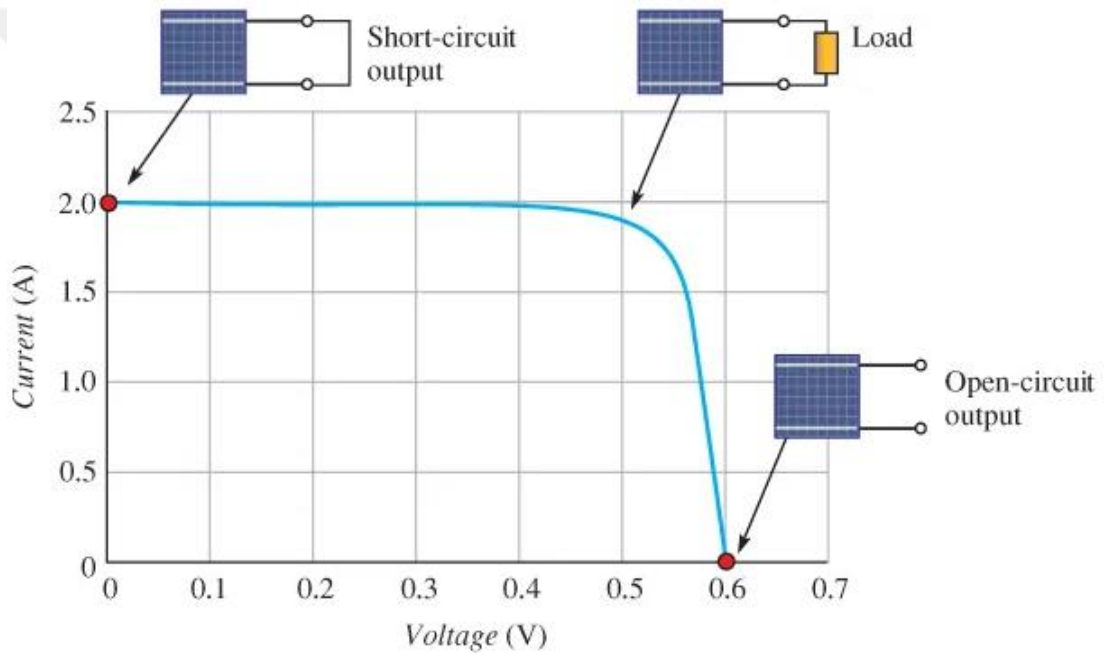
3.1.5.4 Fotovoltaik Pillerde Güç Karakteristiği

FV hücre karakterizasyonu, dönüşüm verimliliğini ve kritik parametreleri belirlemek için hücrenin elektriksel performans özelliklerinin ölçülmesini içerir. Dönüşüm verimliliği, gelen ışık enerjisinin ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürüldüğünün bir ölçüsüdür.

Maksimum çıkış gücü için optimum çalışma noktası, spektral yanıt gibi kritik bir parametredir. Yani, hücrenin çeşitli ışık frekanslarına nasıl tepki verdiğidir. Diğer önemli özellikler, akımın çıkış voltajının bir fonksiyonu olarak ve ışık yoğunluğunun veya ışımanın bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini içerir.

3.1.5.5 FV Hücre Akım-Gerilim (I-V) Eğrileri

Bir FV hücresi için akım-voltaj (I-V) eğrisi, Şekil 3.15’de gösterildiği gibi akımın belirli bir miktarda gelen ışık enerjisi için bir çıkış voltajı aralığında esasen sabit olduğunu gösterir.



Şekil 3.15. Bir FV hücre için tipik I-V karakteristik eğrisi

Şekil 3.15’de gösterilen kısa devre çıkış akımı I_{SC} ’nin 2 A olduğu tipik bir I-V eğrisini gösterilmiştir. Çıkış uçları kısa devre olduğundan, çıkış voltajı 0 V’tur. Açık bir çıkış için, voltaj, V_{OC} bu durumda maksimumdur (0,6 V). Bu durumda, ancak akım belirtildiği gibi 0 A’dır. FV hücresine yük bağlantısı yapıldığında Şekil 3.15’de görüleceği üzere akım 2 A’dan 0 A kadar düşmüştür. FV hücrelere yük bağlandığından gerilimi sabitler.

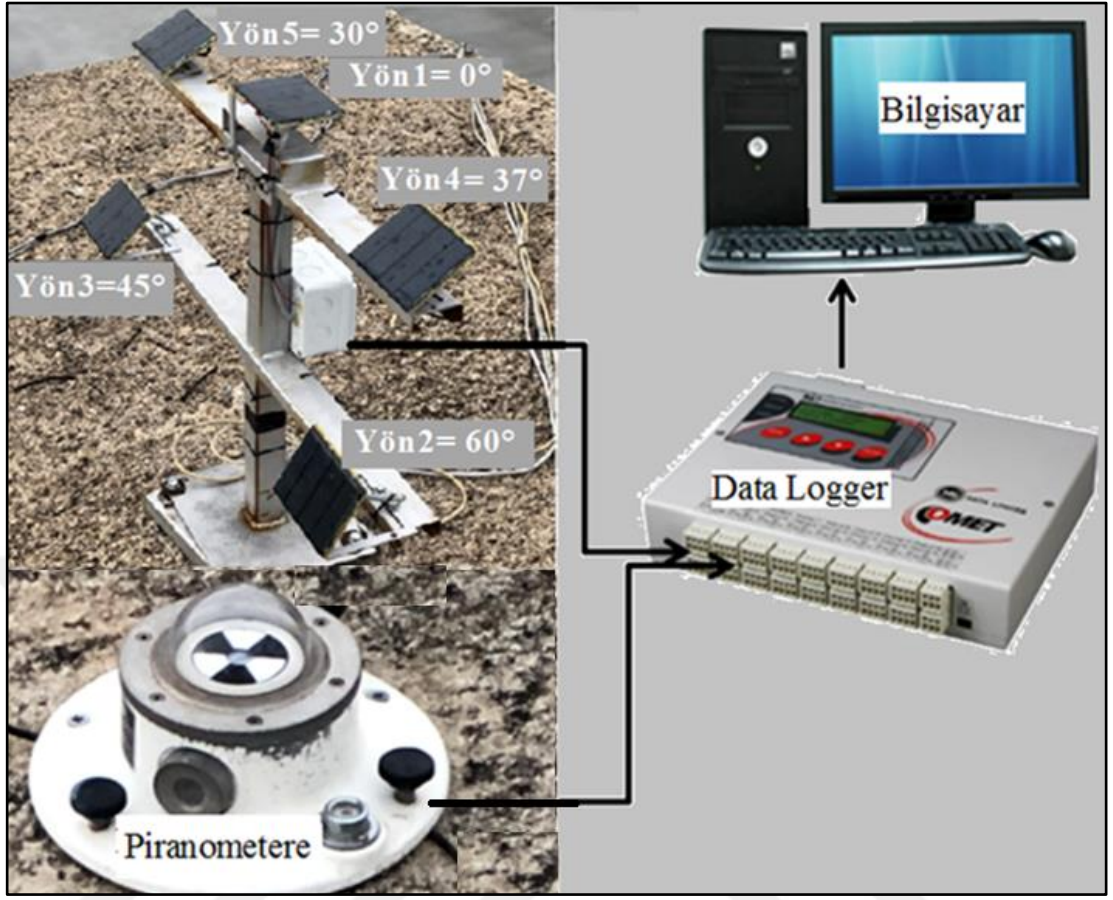
3.2 Yöntem

Dünya'nın kendi dönme eksenini yörüngesine dik olmadığından, seçilen birim yüzeye düşen güneş açısı yılın günlerine göre ve dolayısıyla mevsimlere göre farklılık gösterir (deklınasyon açısına göre, Eşitlik 3.8) ve deklınasyon açısı $\pm 23^{\circ}.45$ arasında değişmektedir (Şekil 3.7). Dolayısıyla güneşin medyan açısı ilkbahar (21 Mart) ve sonbahar (23 Eylül) ekinokslarında ortaya çıkar ve ekinoks öğle vaktinde güneş açısı tam olarak “ 90° – enlem açısı” ile eşittir. İlkbahar ve sonbahar ekinokslarında güneş ışınları ekvatora yaklaşık dik açıyla ($\sim 90^{\circ}$) gelirken, kutuplara hemen hemen paralel ($\sim 0^{\circ}$) olarak gelmektedir. Ortalama $37^{\circ}.04$ enleminde bulunan Osmaniye ili bu tarihlerde yaklaşık $37^{\circ}.04$ 'lik açıyla güneş ışığı almaktadır.

Bilindiği gibi, Türkiye, $36^{\circ}.0$ – $42^{\circ}.0$ kuzey enlemleri, $26^{\circ}.0$ – $45^{\circ}.0$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Genel olarak, herhangi bir bölgede güneş panellerinin ayarları yapılırken, bölgenin enlemi dikkate alınması gerekmektedir. En iyi verimi elde etmek için, güneş panelleri, kış ve yaz mevsiminde gündüz öğle saatlerinde güneş ışınlarını dik açıyla gelecek şekilde konumlandırılmalıdır. Güneş panellerinin sağlıklı olarak çalışabilmesi için yönünün güneye bakması gerekmektedir. Kurulacak olan sistemin hem yazın hem de kışın kullanılacaksa (bizim sistem gibi) ise güneş panellerinin eğim açısı o bölgenin enlem açısıyla aynı (Osmaniye enlemi: $37^{\circ}.04$) olmalıdır.

Eğer sistemin sadece yazın kullanılması planlanıyor ise güneş ışınları yüzeye yazın dik olarak geldiğinden güneş panellerinin eğim açısı seçilen bölgenin enlem açısından 15° daha düşük olması gerekir. Eğer sistemin sadece kışın kullanılması planlanıyorsa güneş ışınları yüzeye kışın yatay geldiğinden güneş panellerinin eğim açısı seçilen bölgenin enlem açısından 15° daha yüksek olmalıdır (Tiris ve Tiris, 1998).

Bu çalışmada, Osmaniye’de günlük olarak toplam güneş enerjisini ölçmek için güney yönünde farklı eğimli yüzeylere sahip (yere göre 0° , 60° , 45° , 37° ve 30° açılarda) olan bir fotovoltaiik pil sistemi (“Yön1: $0^{\circ}.0$ ”, “Yön2: $60^{\circ}.0$ ”, “Yön3: $45^{\circ}.0$ ”, “Yön4: $37^{\circ}.0$ ” ve “Yön5: $30^{\circ}.0$ ”) tasarlanmıştır. Sistem geliştirilerek Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi D Blok binasının çatı katına (Enlem: $37^{\circ}.04$, Boylam: $36^{\circ}.22$) yerleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. a) Güney yönünde değişik açılarda (“Yön1: 0°.0”, “Yön2: 60°.0”, “Yön3: 45°.0”, “Yön4: 37°.0” ve “Yön5: 30°.0”) tasarlanan FV pil sistemi, b) Kalibrasyon için kullanılan Eppley8-48 Model B&W Piranometre, c) 16 kanallı MS6D Data Logger, d) Verilen depolandığı kişisel bilgisayar.

Şekil 3.16’da Eppley 8-48 Model B&W Piranometre (Şahan vd, 2015, Şahan 2018, 2019a, 2019b), 16 kanallı MS6D Data Logger, beş farklı eğimli yüzeylere sahip (“Yön1: 0°.0”, “Yön2: 60°.0”, “Yön3: 45°.0”, “Yön4: 37°.0” ve “Yön5: 30°.0”) FV güneş pilleri ve kişisel bilgisayar verilmiştir. MS6D Data Loggerda, Kanal 10’a (Ch10) “Yön1”, Kanal 11’e (Ch11), “Yön2”, (Ch13), “Yön3”, Kanal 14’e (Ch14), “Yön4” ve Kanal 15’e (Ch15), “Yön5”, FV ölçüm pilleri bağlanmıştır. Fotovoltaik güneş pillerinin her biri 60mmx110 mm boyutunda, açık devre voltaj 6 Voc, kısa devre akımı (Isc) 200 mA ve maksimum güç 1Wp parametrelerine sahiptir (Kaya, 2021).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Osmaniye’de günlük toplam güneş enerjisini ölçmek için güney yönünde yönlendirilmiş beş farklı eğimli yüzeylere sahip (“Yön1: 0°.0”, “Yön2: 60°.0”, “Yön3: 45°.0”, “Yön4: 37°.0” ve “Yön5: 30°.0”) olan bir fotovoltaik (FV) güneş pil sistemi tasarlanmıştır (Şekil 3.16). Bu FV pillerden özellikle birisi (“Yön4”) Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi’nin enlemi (Enlem: 37°.04) olacak şekilde seçilmiştir. Tasarlanan FV pil sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi merkez yerleşkesine yerleştirilmiş ve gerekli test çalışmaları tamamlandıktan sonra 3 Haziran 2022 tarihinden itibaren test ölçümlerine başlanılmıştır.

Dakikalık olarak “volt” biriminde ölçülen güneş enerjileri 16 kanallı Data Loggerda depolanmış ve belirli sürelerde kişisel bilgisayara aktararak Data Loggerın hafızası boşaltılmıştır. Dakikalık olarak “volt” biriminde ölçülen güneş enerjisi verileri yatay yüzeye gelen toplam (küresel: global) radyasyon şiddetini ölçen Eppley8-48 Model Black & White piranometresi (PR) (Şahan ve ark., 2015; Şahan, 2018, 2019; Şahan ve Emrahoğlu, 2021) kullanılarak kalibre edilmiş ve enerji birimine (W/m^2) dönüştürülmüştür (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022).

Kalibrasyon için başlangıçta piranometre ile aynı başucu (zenit) doğrultusuna (yere göre 0°, “Yön1”) bakan FV pilinden ölçülen güneş ışınlam verileri kullanılmıştır. FV pil sistemlerden “Yön1” doğrultusunda kalibrasyonları yapılırken havanın açık ve kapalı olduğu birden fazla günlük veri kullanılarak hem piranometre ve hem de “Yön1” yönündeki FV pil sistemi karşılaştırılmıştır. Kalibre edilen “Yön1” doğrultusundaki FV güneş enerjisi verilerinin doğruluğunu test etmek amacıyla regresyon analizleri yapılarak R^2 değerleri belirlenmiş ve buna göre en iyi regresyon elde edilinceye kadar kalibrasyon çalışmaları tekrarlanmıştır. Daha sonra benzer şekilde aylık ve yıllık veriler kullanılarak her iki sistemden alınan veriler karşılaştırılmış ve en iyi kalibrasyon değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece, yatay (Yön1) yüzeye gelen volt birimindeki güneş enerjisi verileri ile PR güneş enerjisi verileri arasında “Yön1=80.0PR” ilişkisi elde edilmiş ve “Yön1” verileri W/m^2 cinsinden kalibre edilmiştir.

Daha sonra kalibrasyon katsayısı belirlenen diğer dört farklı yöndeki (“Yön2”, “Yön3”, “Yön4” ve “Yön5”) FV güneş pillerinden ölçülen güneş ışıyım verilerinin kalibrasyonları W/m^2 biriminde yapılmıştır (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022).

Bu çalışmada, 1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023 tarihleri arasında bir yıl süresince beş farklı doğrultuda (“Yön1”, “Yön2”, “Yön3”, “Yön4” ve “Yön5”) ölçülen güneş enerjisi verileri kullanılmıştır. Ölçülen verilerin W/m^2 biriminde kalibrasyonları yapıldıktan sonra tüm verilerin saatlik, günlük, aylık ve yıllık ortalamalarının ve toplamalarının değişimleri elde edilmiştir. Veri analizlerinde IDL (Interactive Data Language) bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

PR ve “Yön1” doğrultundaki FV pil ile W/m^2 biriminde ölçülen ve kalibrasyonları yapılan güneş enerjisi verilerinin saatlik ve günlük değişimleri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi PR ve “Yön1” doğrultundaki FV pil ile ölçülen veriler arasında bir korelasyon ilişkisi vardır. Buna göre her iki şekilde de yatay eksen PR verilerini gösterirken dikey eksen “Yön1” doğrultundaki FV pil değerlerini W/m^2 biriminde göstermektedir.

Şekil 4.1’de bir yıl boyunca ölçülen ve bazı nedenlerden dolayı bozuk olduğu düşünülen ve hesaplamaya katılmayan saatlik verilerin ayıklanmasından sonra kalan 4790 adet saatlik veri kullanılmıştır. Şekil 4.1’de PR ve “Yön1” verileri arasındaki korelasyon ilişkisinin

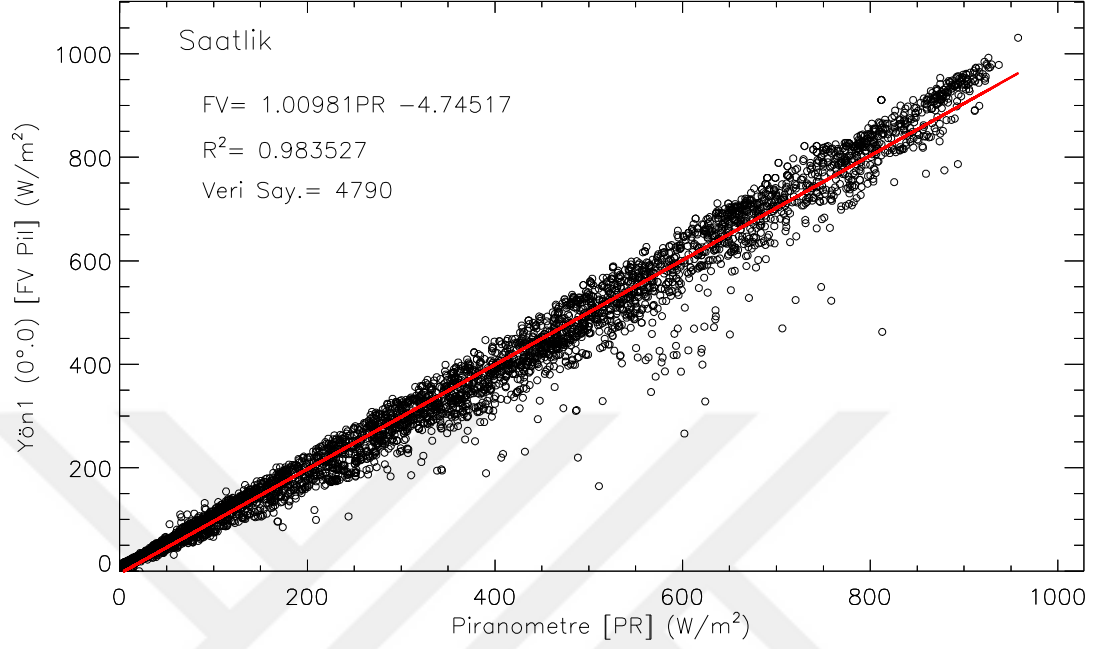
$$FV = 1.00981 \times PR - 4.74517 \quad (4.1)$$

olduğu görülmektedir. Saatlik olarak PR ve “Yön1” yüzeyinden elde edilen güneş enerjisinin regresyon analizi sonucunda yaklaşık olarak $R^2 \sim \%98.40$ oranında benzer olduğu görülmüştür. Bu değer ise kabul edilebilir düzeydedir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi bazı saatlik verilerin regresyon eğrisinden fazlaca saptığı görülmektedir. Bunun nedeninin genellikle havanın bulutlu olduğu zamanlar olduğu tahmin edilmektedir.

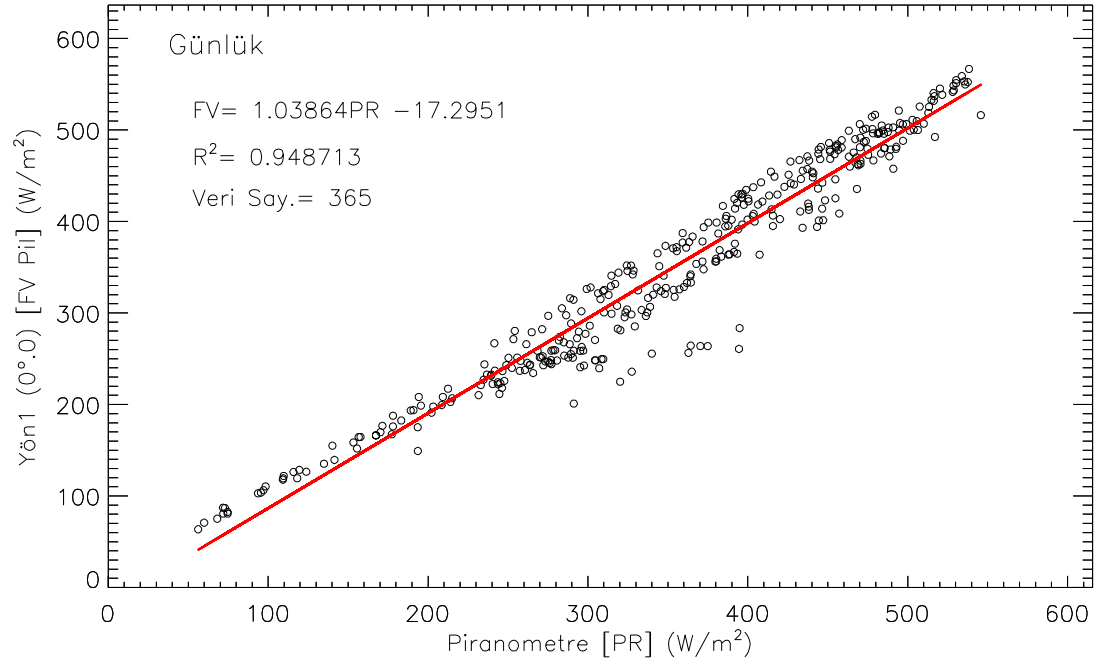
Şekil 4.2’de bir yıl boyunca saatlik olarak hesaplanan toplam ışıyım verilerinden elde edilen günlük veriler kullanılmış ve PR ile “Yön1” verileri arasındaki korelasyon ilişkisine bakılmıştır. Günlük olarak ölçülen yıllık PR ve “Yön1” verileri arasındaki korelasyon ilişkisi

$$FV = 1.03864PR - 17.2951 \quad (4.2)$$

olduğu görülmektedir. Günlük olarak hesaplana PR ve “Yön1” verileri arasında hesaplanan R^2 değeri ise yaklaşık olarak %94.87 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. PR ve “Yön1” doğrultundaki FV pil ile W/m^2 biriminde ölçülen toplam ışınlamaların yıllık olarak saatlik değişimleri



Şekil 4.2. PR ve “Yön1” doğrultundaki FV pil ile W/m^2 biriminde ölçülen toplam ışınlamaların yıllık olarak günlük değişimleri

Yıllık olarak saatlik regresyon ($R^2 \sim \%98.40$) ile günlük regresyon ($\%94.87$) ilişkileri karşılaştırıldığında saatlik verilerin çok olması ve hesaplamalardaki hatanın az olması nedeniyle saatlik regresyon değerlerinin daha hassas yapıldığı düşünülmektedir.

Böylece, yapılan kalibrasyona göre FV pil sistem ile bir yıl süreyle (1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023) güney doğrultusunda beş farklı yönde (“Yön1”, “Yön2”, “Yön3”, “Yön4”, “Yön5”) yönlendirilmiş olan FV pillerin yüzeylerine güneşten gelen toplam ışınlamalarının dakikalık verilerin tamamı W/m^2 biriminde dakikalık, saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin saatlik, günlük, aylık ve yıllık değişimleri hesaplanmış ve sonuçlar aşağıda detaylı olarak tartışılmıştır.

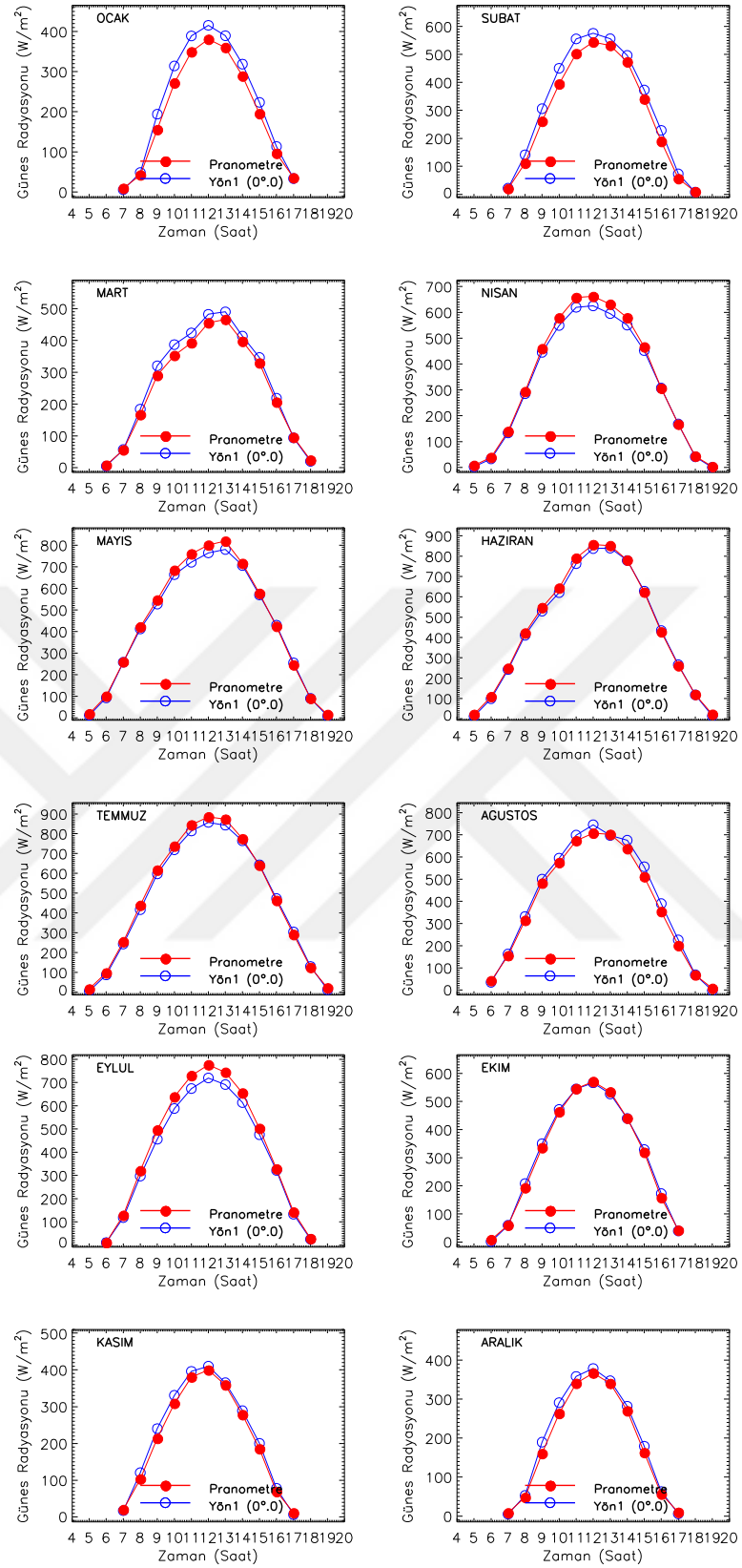
PR ve “Yön1” toplam ışınlam verilerinin bir yıl boyunca (1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023) hesaplanan aylık olarak saatlik değişimleri aylara göre değişimleri W/m^2 biriminde Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’de verilen veriler kullanılarak aylık olarak saatlik değişimleri Şekil 4.3 elde edilmiştir.

Şekil 4.3’de yatay eksen saat cinsinden zamanı gösterirken düşey eksen ise W/m^2 biriminde ölçülen toplam güneş radyasyonlarını göstermektedir. PR ile ölçülen saatlik değerler içi dolu çember ve kırmızı çizgi ile “Yön1” ile ölçülen saatlik değerler ise içi boş mavi daire ile gösterilmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3 incelendiğinde bütün aylarda PR ve “Yön1” verilerinin saatlik değişimleri bir birine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yapılan kalibrasyonun ve analizlerin doğruluğunu göstermiştir.

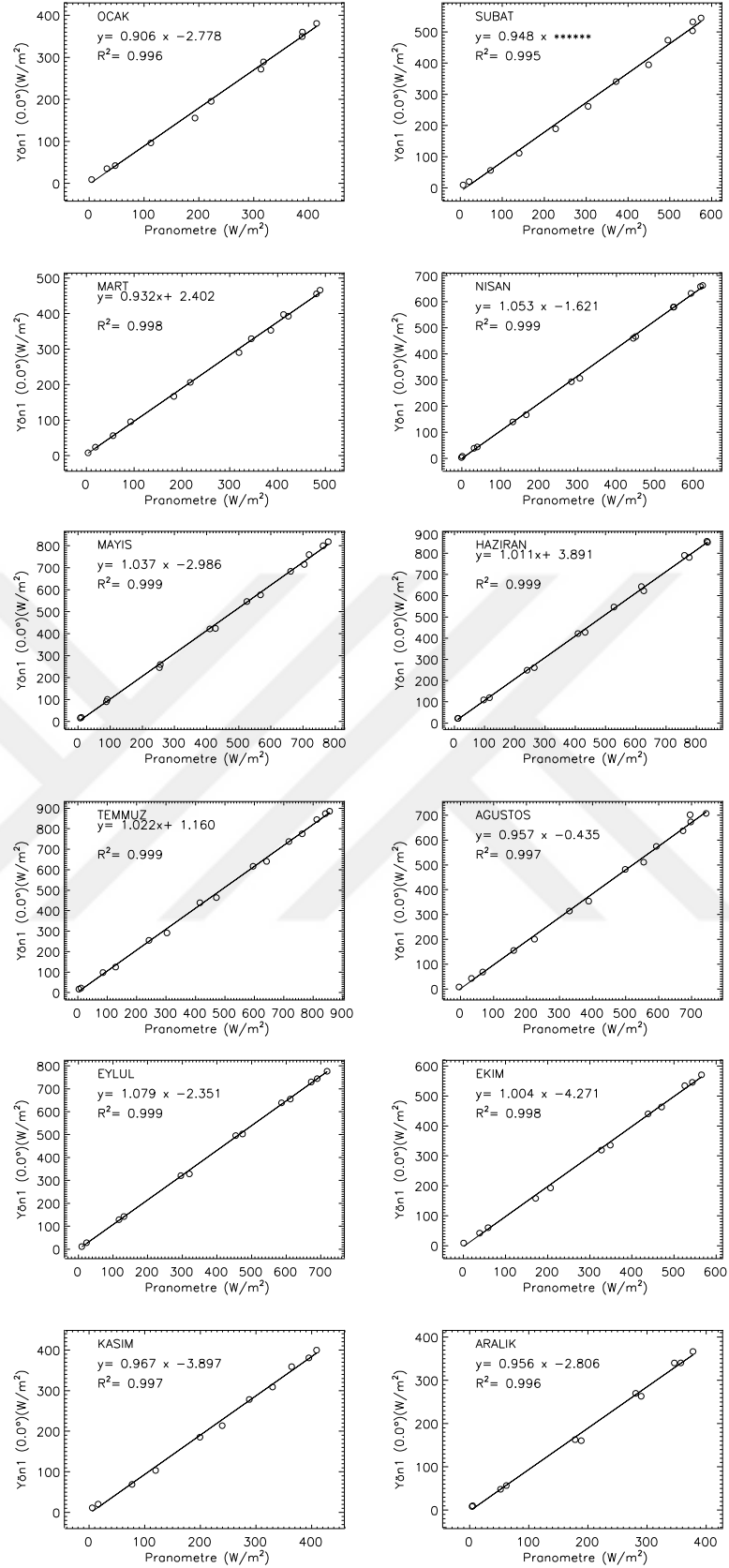
Benzer şekilde, Çizelge 4.1’deki veriler kullanılarak bütün aylar için PR ve “Yön1” verileri arasındaki korelasyona bakılmış ve her ay için sonuçlar Şekil 4.4’de verilmiştir. Şekil 4.4’de yatay eksen PR güneş enerjisi verilerini düşey eksen ise “Yön1” güneş enerjisi verilerini W/m^2 biriminde göstermektedir. Her bir grafikte, ayların isimleri, PR ile “Yön1” arasındaki korelasyon ilişkisi ve R^2 değerleri her grafiğin sol üst köşelerinde verilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, PR ile “Yön1” arasındaki korelasyon ilişkisi ve R^2 değerleri $\%99.50$ ile $\%99.99$ arasında değiştiği ve aylık olarak karşılaştırılan sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. PR ve “Yön1” toplam ışıınım verilerinin aylık olarak saatlik değışimleri

OCAK			ŞUBAT			MART		
SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)
6			6			6	4.81	7.83
7	5.41	9.10	7	21.94	20.36	7	56.98	56.14
8	48.46	42.38	8	141.32	111.18	8	184.11	166.71
9	193.85	155.55	9	306.03	261.16	9	320.24	289.98
10	314.17	271.74	10	450.47	394.45	10	386.93	352.76
11	389.17	349.46	11	555.46	503.09	11	423.45	392.45
12	415.54	380.81	12	575.67	544.42	12	482.15	455.33
13	389.70	360.13	13	555.99	531.92	13	489.84	465.88
14	318.84	289.17	14	496.52	473.40	14	413.45	397.24
15	223.34	195.28	15	372.91	340.56	15	346.15	329.11
16	113.42	96.37	16	228.61	189.36	16	218.49	206.16
17	33.34	35.11	17	73.14	56.09	17	93.73	95.45
18			18	7.68	9.44	18	20.17	23.73
NİSAN			MAYIS			HAZİRAN		
SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)
5	2.37	7.80	5	11.67	18.78	5	12.57	21.80
6	32.72	38.69	6	92.64	100.56	6	98.61	109.09
7	133.12	139.53	7	257.68	259.54	7	242.23	248.96
8	284.86	293.24	8	411.86	421.43	8	410.64	421.95
9	445.02	459.47	9	527.02	546.22	9	529.64	546.91
10	549.09	578.71	10	663.16	683.73	10	620.42	643.13
11	619.25	657.40	11	720.63	759.75	11	762.91	790.37
12	624.99	661.50	12	764.09	800.14	12	837.22	856.52
13	594.77	631.26	13	780.27	818.73	13	839.23	851.73
14	550.36	579.05	14	705.64	715.21	14	778.56	780.44
15	451.65	466.01	15	569.35	576.63	15	628.15	622.96
16	306.66	306.22	16	429.36	423.99	16	434.16	427.64
17	167.81	167.05	17	254.81	245.42	17	266.05	261.24
18	41.03	43.41	18	89.94	90.29	18	117.65	119.69
19	0.11	3.14	19	8.55	15.62	19	14.07	22.56
TEMMUZ			AĞUSTOS			EYLÜL		
SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)
5	5.66	16.82	5			5		
6	87.30	97.99	6	34.75	42.39	6	11.21	11.30
7	243.71	255.05	7	162.68	155.13	7	118.71	128.58
8	416.84	438.78	8	331.51	314.14	8	297.35	320.73
9	597.43	616.78	9	500.37	482.20	9	455.86	495.77
10	719.24	737.54	10	594.85	574.85	10	588.16	638.39
11	813.90	844.79	11	698.79	673.53	11	673.87	729.64
12	857.47	885.21	12	745.52	707.68	12	719.57	776.15
13	843.24	873.91	13	696.88	702.09	13	691.10	744.08
14	764.27	774.97	14	675.53	637.52	14	613.52	654.94
15	643.44	640.81	15	556.33	510.96	15	475.56	502.56
16	472.78	463.68	16	389.82	353.87	16	321.98	328.32
17	304.70	291.44	17	225.73	200.71	17	133.02	142.28
18	130.38	124.87	18	68.81	68.13	18	25.26	28.24
19	12.57	22.40	19	-2.77	7.78	19		
EKİM			KASIM			ARALIK		
SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)	SAAT	PR	Yön1(0°.0)
5			5			5		
6	1.73	8.83	6			6		
7	59.82	60.19	7	17.11	20.27	7	4.98	8.40
8	207.95	192.94	8	120.50	103.54	8	53.01	48.07
9	349.88	335.76	9	240.30	213.74	9	189.55	160.45
10	471.60	463.23	10	330.84	308.94	10	290.93	263.29
11	544.58	545.71	11	396.12	380.71	11	357.99	340.47
12	566.29	570.74	12	409.97	399.67	12	378.53	366.70
13	526.60	534.28	13	365.12	359.04	13	347.06	340.16
14	439.59	440.39	14	288.96	278.21	14	281.72	270.05
15	328.87	319.24	15	200.19	185.39	15	179.15	162.89
16	172.62	157.98	16	78.09	69.07	16	62.90	56.74
17	39.72	41.99	17	6.44	11.44	17	5.87	9.89



Şekil 4.3. PR ve “Yön1” toplam ışınlam verilerinin aylık olarak saatlik değişimleri

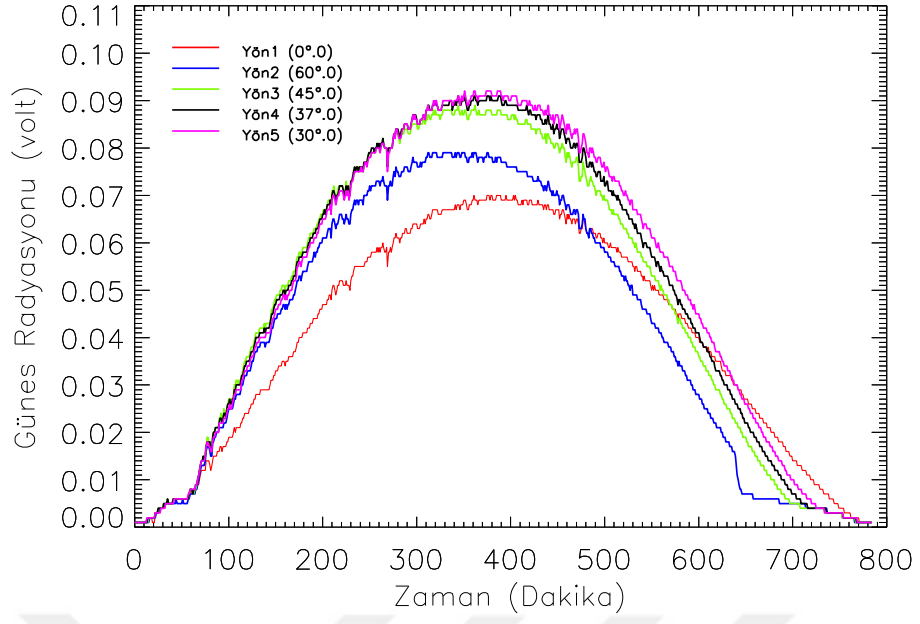


Şekil 4.4. PR ölçülen ve “Yön1” doğrultusunda ölçülen değerleri arasındaki doğrusal korelasyon ilişkisi

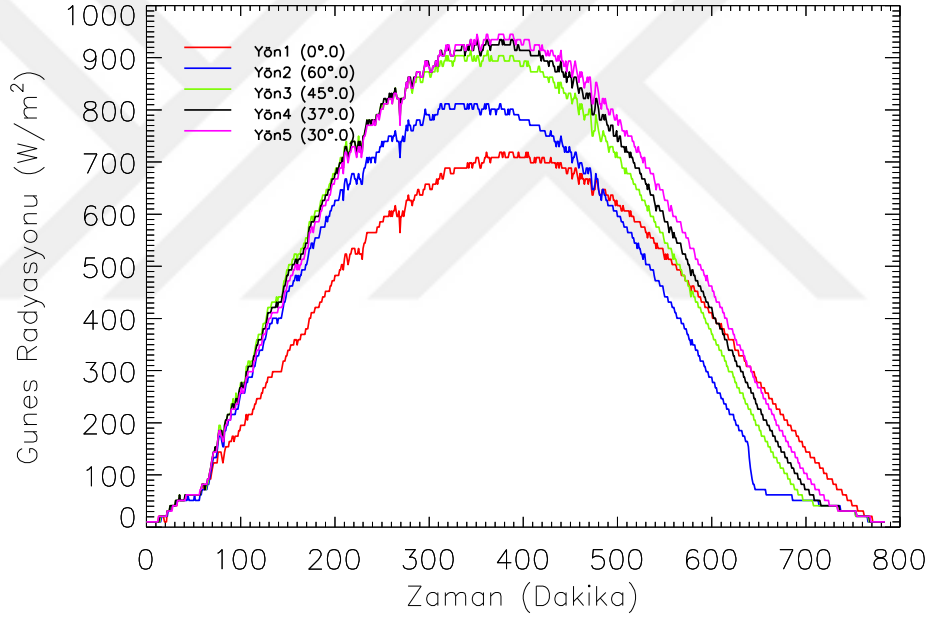
FV sistem ile beş farklı yönde (“Yön1”, “Yön2”, “Yön3”, “Yön4” ve “Yön5”) alınan verilere örnek olması açısından iki farklı günde alınan veriler seçilmiştir. Bu günlerin özellikle bir tanesi havanın tamamen açık olduğu (23.08.2023) ve bir tanesi de tamamen kapalı (14.01.2023) olduğu gün olmasına dikkat edilmiştir. Havanın açık olduğu gün boyunca dakikalık olarak volt ve W/m^2 birimlerindeki değişimleri sırasıyla alınan verilerin günlük değişimleri Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b’de verilmiştir. Havanın açık olduğu günde güneşin konumuna göre FV pillerden alınan güneş enerjilerinin tamamı sinüzoidal bir değişim göstermektedir. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi 23.08.2023 tarihinde güneş ışınları yer yüzüne dik geldiğinden Osmaniye’nin enlemi olan “Yön4” ile ve buna en yakın olan “Yön3” ve “Yön5” ile alınan verilerin en yüksek değere sahip oldukları görülmektedir. Gün boyunca toplanan veriler güneşin doğuş ve batış saatlerinde minimum, gün ortasında toplam radyasyon diğer saatlere göre maksimum seviyededir.

Şekil 4.5b’de görüldüğü gibi “Yön1” doğrultusundaki FV pil ile gün boyunca alınan güneş enerjisi verilerin toplamı $321450.20 W/m^2$ (ort. $409.49 W/m^2$) olduğu ve saat 12:00 civarında $719.08 W/m^2$ değeri ile maksimum düzeye ulaştığı görülmüştür.

Benzer şekilde havanın bulutlu/kapalı olduğu gün boyunca dakikalık olarak volt ve W/m^2 birimlerindeki değişimleri de sırasıyla Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b’de verilmiştir. Havanın kapalı olması nedeniyle güneş ışınları atmosferde büyük ölçüde soğrulduğundan yeryüzüne ulaşan güneşin taşıdığı enerji miktarının minimum olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b’de de görüldüğü üzere saat yaklaşık 11:05 civarında (yaklaşık 200’üncü dakikada) güneşin bulutun arkasında çıktığı ve güneş enerji miktarı arttığı görülmektedir. Daha sonra havanın tekrar bulutlanması ve yaklaşık saat 13:20 civarında (yaklaşık 330’üncü dakikada) tekrar açılması sonucu güneş enerjisi miktarı artış göstermiştir. Bu durum grafiğin değişkenlik göstermesine neden olmuştur. Gün boyunca toplanan veriler güneşin doğuş ve batış saatlerinde minimum, gün ortasında toplam radyasyon diğer saatlere göre maksimum seviyededir.

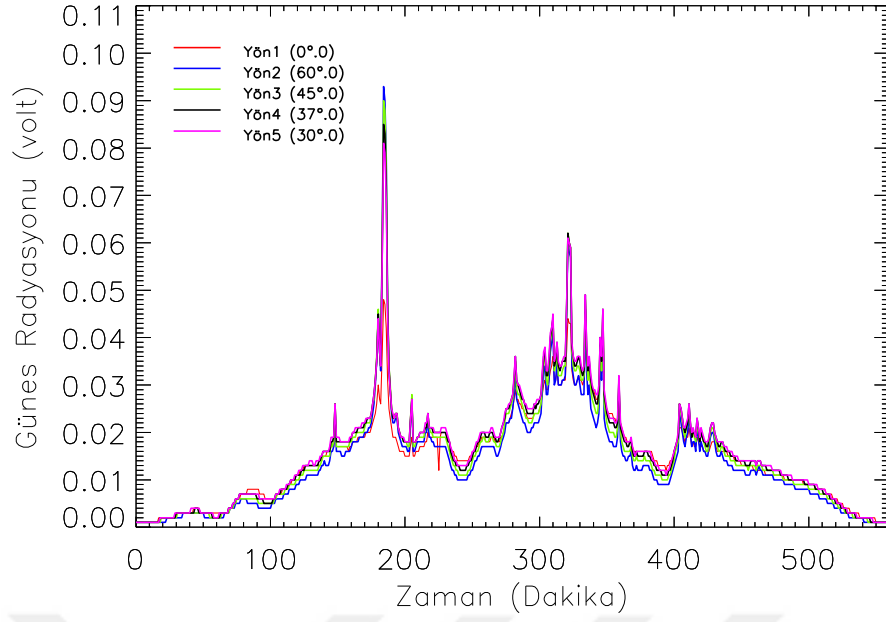


(a)

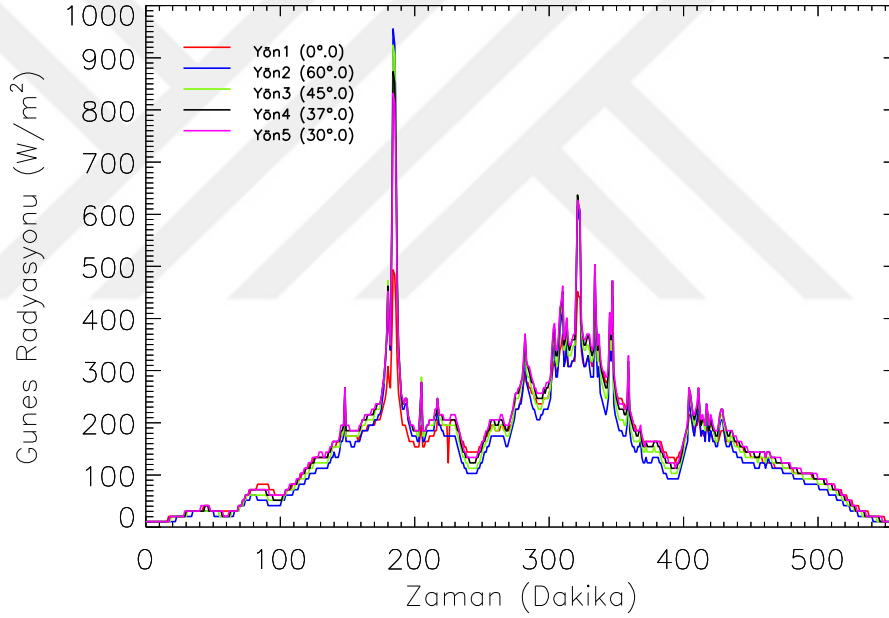


(b)

Şekil 4.5. Havanın açık olduğu (23.08.2023) gün için seçilen gün boyunca dakikalık a) volt ve b) W/m^2 birimlerindeki değişimleri



(a)



(b)

Şekil 4.6. Havanın bulutlu/kapalı olduğu (14.01.2023) gün için seçilen gün boyunca dakikalık a) volt ve b) W/m^2 birimlerindeki değişimleri

Yukarıda açık (23.08.2023) ve kapalı (14.01.2023) günler için dakikalık olarak verilen örnek veriler gün boyunca saatlik değişimleri W/m^2 cinsinden elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir. Her iki güne ait güneş radyasyonu şiddetlerinin saatlik olarak toplam, en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri de (W/m^2 biriminde) Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’ün alt satırlarında

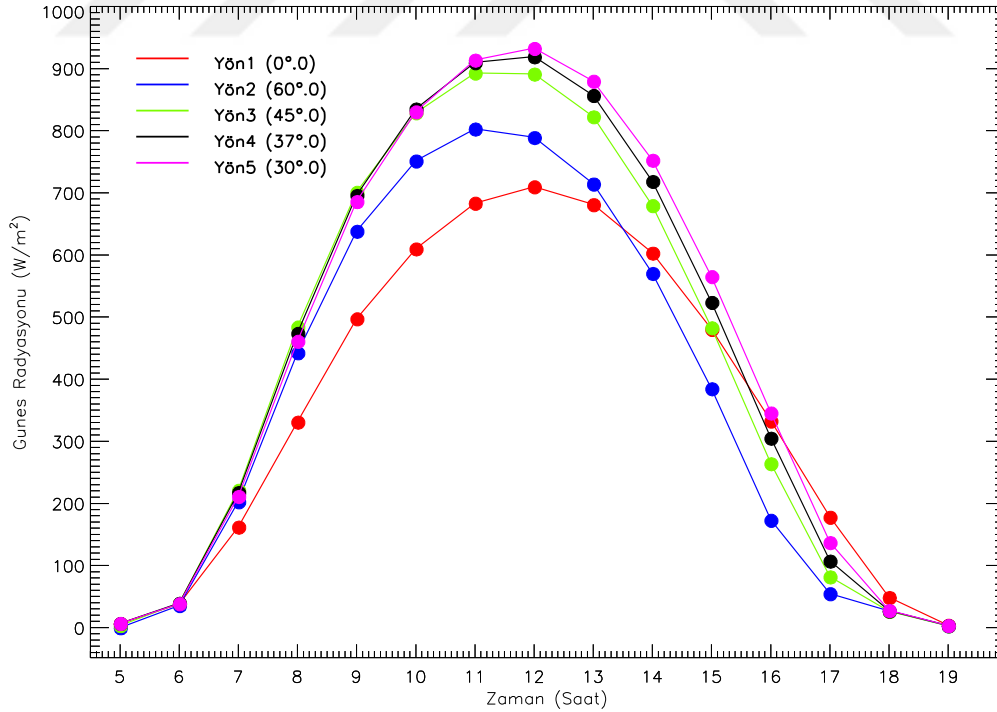
verilmiştir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilen değer kullanılarak açık ve kapalı günler için sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.7 incelendiğinde “Yön1” doğrultusunda ölçülen ortalama güneş radyasyon şiddeti sabah saat 5:00’da minimum (6.85 W/m^2) değerinden artarak saat 11:00-12:00 arasında en yüksek değere (709.84 W/m^2) ulaşmıştır. Daha sonra tekrar azalarak saat 19:00’da ise tekrar en düşük değere (4.00 W/m^2) düşmüştür. Gün boyunca saatlik olarak gelen toplam güneş radyasyonu 5367.49 W/m^2 (ortalama 357.83 W/m^2) olarak ölçülmüştür. “Yön2” doğrultusundaki FV pil üzerine gelen güneş radyasyonu şiddeti (mavi çizgi) güneş doğduğunda itibaren yüzeyine gelen kısmi radyasyon öğle saatlerine kadar artmaya başlamış ve yaklaşık saat 11:00-12:00 arasında 802.98 W/m^2 ’lik güneş radyasyonu değerine ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlamış ve saat 19:00’da en düşük değere (2.80 W/m^2) ulaşmıştır. Gün boyunca toplam güneş radyasyonu 5590.81 W/m^2 (ortalama 372.72 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, “Yön3” doğrultusunda ölçülen güneş radyasyonu şiddeti (yeşil çizgi) yaklaşık saat 11:00-12:00 arasında 893.03 W/m^2 ’lik güneş radyasyonu değerine ulaşmış ve saat 19:00’da 2.85 W/m^2 ile en düşük değere ulaştığı görülmektedir. Gün boyunca toplam güneş radyasyonu 6423.91 W/m^2 (ort. 428.26 W/m^2) olarak ölçülmüştür.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi’nin coğrafik enlemi (Enlem: $37^\circ.04$) ile yaklaşık aynı doğrultuda yönlendirilmiş olan FV güneş pilinin “Yön4” yüzeyine gelen güneş radyasyonu şiddeti Şekil 4.7’de “siyah çizgi” ile gösterilmiştir. Ölçüm tarihinde (23.08.2023) güneş radyasyonu yer yüzeyine yaklaşık olarak dik açı ile geldiğinden “Yön4” doğrultusundaki güneş pili ısınımın şiddeti diğer pillere göre oldukça yüksek enerji değerine sahiptir. Bu doğrultudaki güneş radyasyonu diğer doğrultular ile karşılaştırıldığında maksimum güneş enerji verisi elde edildiği ve dolayısıyla güneş enerji sistemlerinin yerleştirileceği bölgenin enlemi ile yaklaşık aynı yönde yönlendirilmesi gerekti anlamına gelmektedir. “Yön4” doğrultusundaki güneş pil üzerine gelen güneş radyasyon şiddeti gün boyunca toplam 6641.24 W/m^2 (ortalama 442.75 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Saat 11:00-12:00’da 919.23 W/m^2 ile maksimum ve 19:00 civarında 3.42 W/m^2 ile en düşük olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.2. Havanın açık olduğu (23.08.2023) tarihinde ölçülen verilerin saatlik olarak hesaplanan ortalama günlük değişimi

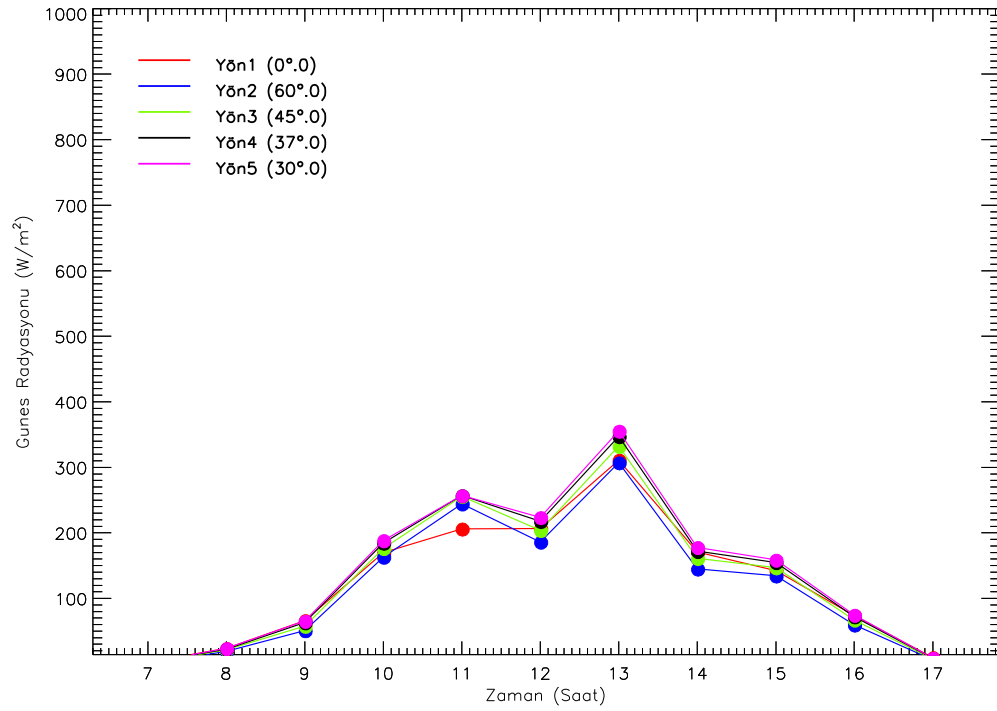
Zaman (Saat)	Yön1 (W/m ²)	Yön2 (W/m ²)	Yön3 (W/m ²)	Yön4 (W/m ²)	Yön5 (W/m ²)
05:00	6.85	2.80	3.42	6.85	6.85
06:00	38.18	35.78	39.38	39.55	38.69
7:00	162.14	202.88	221.38	217.78	211.44
08:00	331.12	442.58	484.18	474.08	461.24
09:00	497.37	638.44	701.28	696.14	686.21
10:00	610.02	751.61	829.17	835.33	830.71
11:00	683.47	802.98	893.03	909.81	913.92
12:00	709.84	789.28	891.49	919.23	932.75
13:00	681.25	714.46	822.66	856.91	879.85
14:00	603.17	570.47	679.53	718.57	752.64
15:00	480.42	384.88	482.98	523.90	565.34
16:00	332.83	173.09	264.18	305.27	345.84
17:00	178.06	54.79	82.01	107.35	137.14
18:00	48.80	26.71	26.37	27.05	27.74
19:00	4.00	2.85	2.85	3.42	3.42
Toplam	5367.49	5590.81	6423.91	6641.24	6793.78
Min	4.00	2.80	2.85	3.42	3.42
Mak	709.84	802.98	893.03	919.23	932.75
Ort.	357.83	372.72	428.26	442.75	452.92



Şekil 4.7. Havanın açık olduğu (23.08.2023) gün için seçilen gün boyunca saatlik değişimleri

Çizelge 4.3. Havanın bulutlu/kapalı olduğu (14.01.2023) ölçülen verilerin saatlik olarak hesaplanan ortalama günlük değişimi

Zaman (Saat)	Yön1 (W/m ²)	Yön2 (W/m ²)	Yön3 (W/m ²)	Yön4 (W/m ²)	Yön5 (W/m ²)
05:00	-	-	-	-	-
06:00		-	-	-	-
7:00	3.424	0.5	1.712	2.568	2.568
08:00	23.627	19.347	21.401	22.6	23.627
09:00	66.258	51.021	57.698	63.176	65.402
10:00	169.84	163.163	176.346	184.565	188.331
11:00	206.137	244.488	255.788	256.986	256.986
12:00	206.65	186.105	203.911	217.608	223.6
13:00	311.089	307.151	332.319	347.214	355.432
14:00	170.868	145.015	161.109	172.066	177.887
15:00	142.447	134.4	146.898	154.945	158.712
16:00	73.791	59.581	67.114	72.079	74.648
17:00	9.772	6.515	7.767	8.519	9.02
18:00	-	-	-	-	-
19:00	-	-	-	-	-
Toplam	1383.90	1316.79	1432.06	1502.33	1536.21
Min	3.42	0.5	1.71	2.57	2.57
Mak	311.09	307.15	332.32	347.21	355.43
Ort.	125.81	119.71	130.19	136.58	139.66



Şekil 4.8. Havanın bulutlu/kapalı olduğu (14.01.2023) gün için seçilen gün boyunca saatlik değişimleri

“Yön5” doğrultusundaki FV pil yüzeyine gelen güneş radyasyonu şiddeti Şekil 4.7’de “pembe çizgi” ile gösterilmiştir. Bölüm 3.1.3.14’de açıklandığı gibi, bu doğrultudaki güneş radyasyonu diğer doğrultular ile karşılaştırıldığında en yüksek güneş enerji verisi elde edildiği ve bunu “Yön4” ve “Yön3” doğrultularındaki FV pillerden alınan veriler izlediği görülmektedir. Güneş radyasyonu şiddeti saat 11:00-12:00 arasında maksimum değere (932.75 W/m^2) ulaştığı ve gün boyunca saatlik olarak gelen güneş radyasyon şiddeti toplam 6793.78 W/m^2 (ortalama 452.92 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Akşam güneş batımına doğru en düşük (3.42 W/m^2) olarak ölçülmüştür.

Benzer şekilde havanın kapalı/bulutlu olduğu bir gün (14.01.2023) dikkate alınarak FV pil sisteminden gün boyunca saatlik olarak alınan verileri W/m^2 cinsinden hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi havanın bulutlu olması nedeniyle gün boyunca güneş enerjisi verisinin de değişken olduğu görülmektedir. En fazla güneş enerjisi saat 13:00’da olduğu görülmektedir. Ayrıca, gün boyunca hava bulutlu/kapalı olduğundan atmosferden saçılan yayılı (diffüze) güneş radyasyonu FV piller üzerine gelmektedir.

“Yön1” doğrultusunda saatlik olarak ortalama günlük güneş radyasyon şiddeti sabah ve akşam saatlerinde minimum, hava kapalı olduğundan gün boyunca değişken değere sahip olduğundan değişken bir grafik olmuştur. Ölçülen ortalama güneş radyasyon şiddeti sabah saat 7:00’da minimum (3.42 W/m^2) değerinden artarak saat 13:00’da en yüksek değere (311.08 W/m^2) ulaşmıştır. Daha sonra tekrar düşerek saat 17:00’da tekrar düşük değere (9.77 W/m^2) düşmüştür. Gün boyunca saatlik olarak gelen güneş radyasyonu toplam 1383.90 W/m^2 (ortalama 125.81 W/m^2) olarak ölçülmüştür. “Yön2” doğrultusundaki FV pil ile gün boyunca alınan güneş enerjisi verilerin toplamı 1316.79 W/m^2 (ort. 119.71 W/m^2) olduğu ve saat 13:00 civarında 307.15 W/m^2 ile maksimum değer elde edilmiştir. Benzer şekilde “Yön3” doğrultusundaki FV pil ile gün boyunca alınan güneş enerjisi verilerin toplamı 1432.06 W/m^2 (ort. 130.19 W/m^2) olduğu ve saat 13:00 civarında 332.32 W/m^2 değeri ile maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. FV pil sistemi “Yön4” doğrultusunda gün boyunca alınan güneş enerjisi verilerin toplamı 1502.33 W/m^2 (ort. 136.58 W/m^2) olduğu ve saat 13:00 civarında 347.21 W/m^2 değeri ile maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. “Yön5” doğrultusundaki FV pil sistemi

gün boyunca alınan güneş enerjisi verilerin toplamı 1536.21 W/m^2 (ort. 139.66 W/m^2) olduğu ve saat 13:00 civarında 355.43 W/m^2 değeri ile maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür.

Sonuç olarak, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 incelendiğinde havanın açık (23.08.2023) ve kapalı (14.01.2023) olduğu günlerde tüm pillerden alınan toplam/ortalama güneş radyasyon değerleri sırasıyla 30817.23 W/m^2 (ort. 6163.44 W/m^2) ve 7171.29 W/m^2 (ort. 1434.25 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlere bakıldığında açıkça görülmektedir ki havanın açık olduğu gün ile kapalı olduğu gün yaklaşık olarak dört kata oranında enerji değişimi olduğu görülmüştür.

FV pillerden alınan verilerin aylık olarak yıllık toplam ve ortalama değerleri elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.4 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi güneş radyasyonu değerleri 1000’e bölünmüş ve grafik buna göre elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. FV piller kullanılarak beş farklı doğrultuda alınan verilerin aylık olarak yıllık toplam değerleri

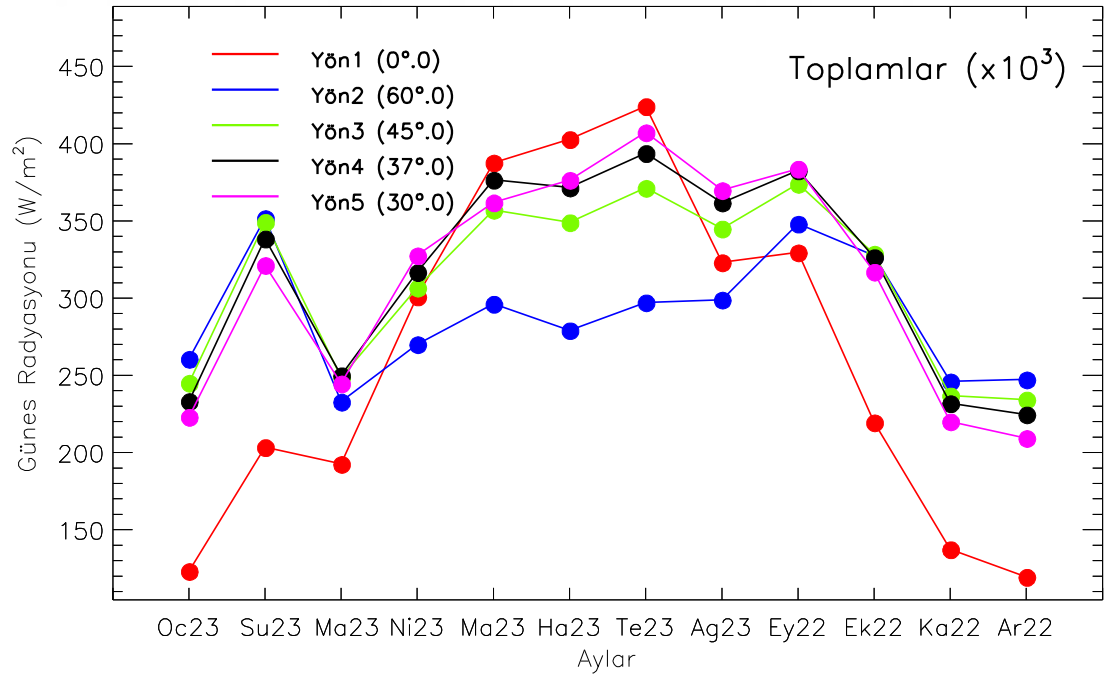
Zaman (Saat)	Yön1 (W/m^2)	Yön2 (W/m^2)	Yön3 (W/m^2)	Yön4 (W/m^2)	Yön5 (W/m^2)
Ocak 2023	123227.47	260636.72	245138.38	233275.17	223108.95
Şubat 2023	203493.55	351770.34	349281.31	338509.34	321387.72
Mart 2023	192597.58	232905.94	248682.33	250001.50	244728.38
Nisan 2023	301005.19	270119.28	306712.94	316822.59	327674.53
Mayıs 2023	387748.41	296280.97	357170.16	376608.59	361951.66
Haziran 2023	402937.53	279161.38	349098.34	371606.44	376518.78
Temmuz 2023	424273.84	297242.69	371391.81	393915.81	407357.03
Ağustos 2023	323168.31	299023.19	345026.66	361908.53	369895.34
Eylül 2022	329588.81	348154.69	373990.44	382667.38	383807.63
Ekim 2022	219551.89	327463.13	328689.19	326538.06	317055.41
Kasım 2022	137334.69	246002.66	236915.20	231857.67	220108.14
Aralık 2022	119491.13	247321.70	234303.95	224642.70	209370.38
Ort.	263701.53	288006.89	312200.06	317362.82	313580.33
Min	119491.13	232905.94	234303.95	224642.70	209370.38
Mak	424273.84	351770.34	373990.44	393915.81	407357.03
Toplam	3164418.40	3456082.67	3746400.71	3808353.80	3762963.94

Çizelge 4.4 incelendiğinde güneş radyasyonunun toplamı en fazla “Yön4” doğrultusundaki pildir. Bu doğrultudaki FV pilin yıl boyunca toplamı (3808353.80 W/m^2), toplamların ortalaması 317362.82 W/m^2 olduğu görülmektedir. Benzer

şekilde Çizelge 4.4’de en düşük değer Aralık 2022’de (224642.70 W/m^2) ve en yüksek değer ise Temmuz 2023’de (393915.81 W/m^2) olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Çizelge 4.4’de en düşük değer Aralık 2022’de (119491.13 W/m^2) ve en yüksek değer ise Temmuz 2023’de (424273.84 W/m^2) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.9 incelendiğinde FV piller arasındaki grafik eğrileri (“Yön4”, “Yön5”) doğrultusundaki pillerde en fazla güneş enerjisi verisi olduğu görülmektedir. Bu durum konumlanan FV piller enlem olarak Osmaniye ilinin derecesi ile yakın olduğundan güneş enerjisini bu iki doğrultudaki FV pillere dik açılı olarak gelmiştir. Verilerde görüldüğü üzere maksimum güneş enerjisini almıştır. Çizelge 4.4’de görüleceği gibi en az güneş radyasyonunu “Yön1” doğrultusunda alınmıştır. Bu doğrultudaki FV pilin yıl boyunca toplamı 3164418.40 W/m^2 ve ortalamasının 263701.53 W/m^2 olduğu görülmektedir.

Bölüm 3.1.3.14’de belirtildiği gibi yıl boyunca ölçüm yapıldığında en iyi sonucu güneş panellerinin eğim açısı Osmaniye’nin enlemi olan ($37^\circ.04$) “Yön4” ile alındığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.9. FV piller kullanılarak beş farklı yönde alınan verilerin aylık olarak yıllık toplam değerleri ($\times 10^3$)

FV piller ile alınan verilerin aylara göre yıllık değişimlerinin en düşük, ortalama ve en yüksek değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.10' da verilmiştir. Çizelge 4.5 ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi “Yön1” yüzeyine gelen güneş enerjisinin aylara göre değiştiği diğer aylara göre farklılık göstermektedir. Kış aylarında en düşük, ortalama ve en yüksek değerlerinin tamamı en düşük olurken yaz aylarında ise en yüksek düzeyde olduğu ve sinizoidal bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

“Yön1” haricindeki diğer dört FV pil ile ölçülen değerler incelendiğinde maksimum değerlerin değişimlerinin yaz aylarına doğru azaldığı (en fazla “Yön2”) gözlenirken minimum değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. Ortalama değerler yaklaşık 400.00 W/m² civarında sabit bir değişim gösterdiği görülmüştür. Nisan ayında tüm pillerin minimum değişimlerinde bir düşüş olduğu görülmektedir.

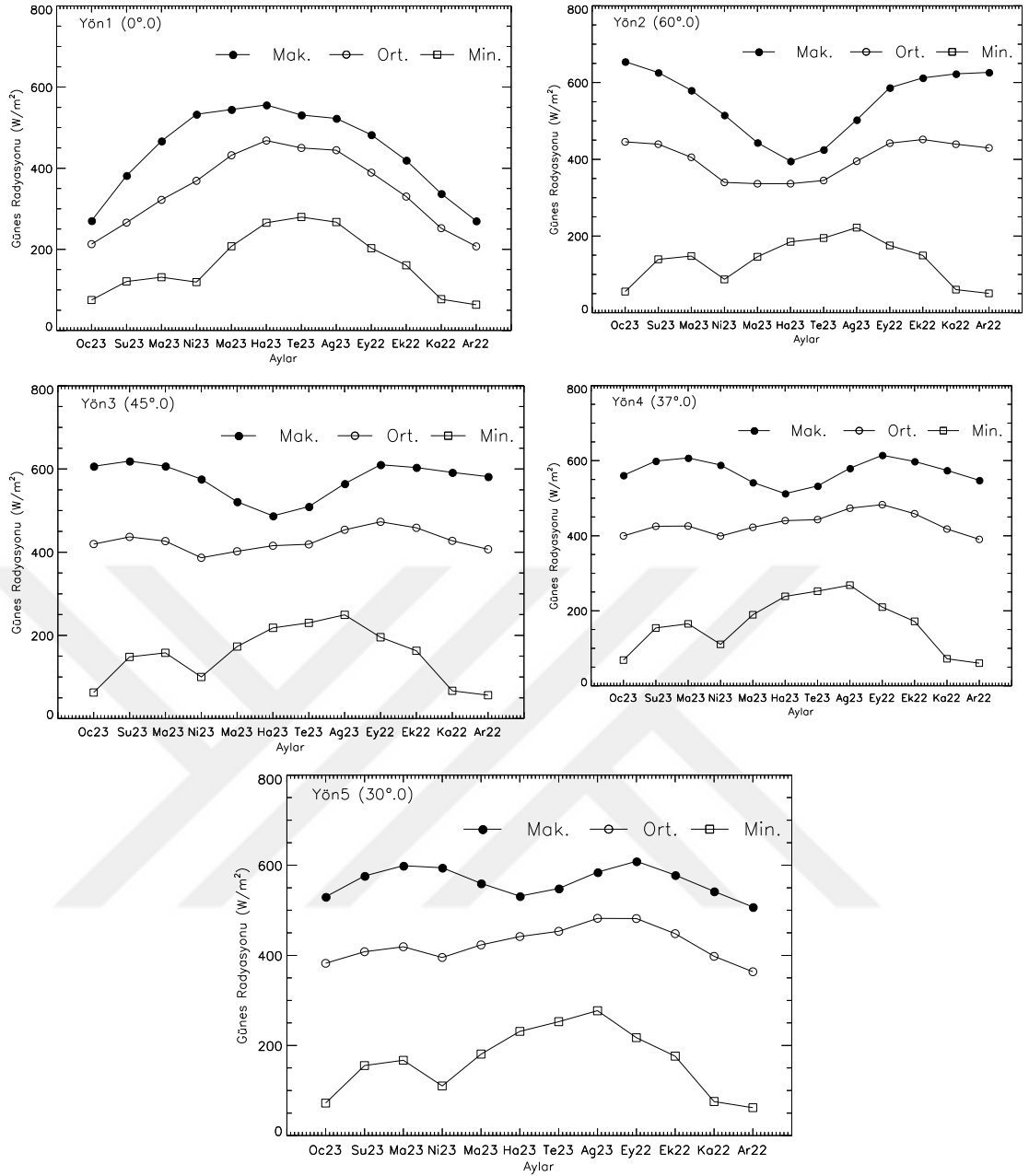
Çizelge 4.5 ve Şekil 4.10 incelendiğinde, “Yön1: 0°” ile ölçülen en düşük değerlerinin ortalaması 183.9767 W/m² ve en yüksek değerlerin ortalaması ise 468.20 67 W/m² olduğu görülmüştür. Ortalama güneş enerjisi değerleri incelendiğinde Aralık ve Ocak aylarında 207.29 W/m² ve 212.76 W/m² ile en düşük olarak ölçülürken Mayıs ve Haziran 456.63 W/m² ve 457.59 W/m² ile en yüksek olarak ölçülmüştür. “Yön2: 60°” doğrultusundaki FV pili ölçülen güneş radyasyonunun ortalama değerlerindeki değişim incelendiğinde Haziran ayında 317.05 W/m² ile en düşük olarak ölçülürken Ekim ayında 485.09 W/m² ile en yüksek (ortalama 402.47/m²) olarak ölçülmüştür. “Yön3: 45°” FV pil ile elde edilen güneş radyasyon aylık ortalama değerleri incelendiğinde ortalamadaki değişimin en düşük ve en yüksek olduğu aylar sırasıyla 349.64 W/m² ile Mart ayı ve 501.4 W/m² ile Eylül ayı (ortalama 469.31 W/m²) olduğu görülmektedir. “Yön4: 37°” doğrultusundaki FV pil üzerine gelen ortalama güneş radyasyon değişiminin en düşük ve en yüksek değerleri ise sırasıyla 351.18 W/m² ile Mart ayı ve 512.93 W/m² ile Eylül ayı (ortalama 481.60 W/m²) olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, “Yön5” FV pil ile ölçülen güneş radyasyon aylık olarak ortalama yıllık değişimleri incelendiğinde, Mart ayında en düşük (343.37 W/m²) iken Eylül ayında en yüksek (514.35 W/m²) (ortalama 482.77W/m²) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. FV piller kullanılarak beş farklı doğrultuda alınan verilerin aylara göre ölçülen en düşük, ortalama ve en yüksek değerleri

Yön1				Yön2			
Aylar	Min (W/m ²)	Ort (W/m ²)	Mak (W/m ²)	Aylar	Min (W/m ²)	Ort (W/m ²)	Mak (W/m ²)
1	75.16	212.76	270.54	1	55.27	445.39	654.31
2	200.97	315.42	368.68	2	303.52	545.44	646.22
3	86.82	269.24	506.2	3	59.38	327.7	577.11
4	106.32	381.2	525.61	4	80.83	342.64	515.22
5	164.41	456.63	566.67	5	120.91	349.21	452.74
6	351.82	457.59	541.67	6	236.39	317.05	361.97
7	280.45	489.93	558.95	7	197.9	343.5	370.69
8	206.77	402.26	492.39	8	150.18	373.96	542.62
9	314.48	441.08	516.68	9	317.83	467.01	594.93
10	87.18	324.02	437.95	10	58.24	485.09	621.79
11	80.7	225.13	303.94	11	72.53	402.92	619.68
12	63.61	207.29	269.98	12	50.67	429.75	626.38

Yön3				Yön4			
Aylar	Min (W/m ²)	Ort (W/m ²)	Mak (W/m ²)	Aylar	Min (W/m ²)	Ort (W/m ²)	Mak (W/m ²)
1	62.72	419.64	606.58	1	68.78	399.48	560.82
2	314.48	498.37	635.15	2	318.5	504.76	618.45
3	67.46	349.64	615.15	3	75.3	351.18	617.75
4	92.56	388.9	570.38	4	102.02	401.69	585.03
5	139.73	420.9	541.06	5	154.46	443.76	561.93
6	286.89	396.46	452.39	6	311.8	422.03	478.44
7	227.94	429.15	467.96	7	249.27	455.15	496.82
8	175.46	431.05	608.41	8	195.53	451.89	622.09
9	344.79	501.4	617.63	9	359.68	512.93	619.62
10	66.41	486.6	605.05	10	74.39	483.28	601.99
11	77.85	388.13	588.24	11	81.34	379.77	572.21
12	56.25	407.04	581.64	12	60.5	390.22	547.7

Yön5			
Aylar	Min (W/m ²)	Ort (W/m ²)	Mak (W/m ²)
1	72.2	382.37	529.74
2	314.36	498.18	587.26
3	79.44	343.37	611.71
4	107.74	415.38	597.28
5	143.4	426.9	574.35
6	291.45	427.53	507.58
7	258.97	470.67	511.82
8	208.38	461.55	625.85
9	363.88	514.35	615.5
10	79.48	469.08	584.42
11	85.7	360.63	534.19
12	61.92	363.66	507.13



Şekil 4.10. FV piller kullanılarak beş farklı doğrultuda alınan verilerin aylara göre ölçülen en düşük, ortalamave en yüksek değerleri

FV pillerin yüzeylerine gelen güneş ışınımının şiddetlerinin aylık ortalamalarının (W/m^2 biriminde) gün boyunca saatlik değişimi Çizelge 4.6 ile Çizelge 4.10 arasında verilmiştir. Çizelgelerde boş bırakılan kısımlarında güneşin doğuş ve batış saatleri yıl boyunca değişim gösterdiğinden veri alınamadığı için boş bırakılmıştır. Çizelge 4.6 ile Çizelge 4.10 arasındaki çizelgeler kullanılarak her bir yön için saatlik olarak aylara göre değişim grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.11 ile Şekil 4.15 arasında verilmiştir. Tüm yönlerde FV piller ile alınan güneş enerjisi verileri için verilen Çizelgelerin altında saatlik değişimlerin ortalama ve toplam değerleri de verilmiştir.

Grafiklerde yatay eksenler verilerin alındığı günün saatlerini gösterirken dikey eksenler ise yıl boyunca alınan toplam ışınlamaların aylara göre değişim değerlerini göstermektedir.

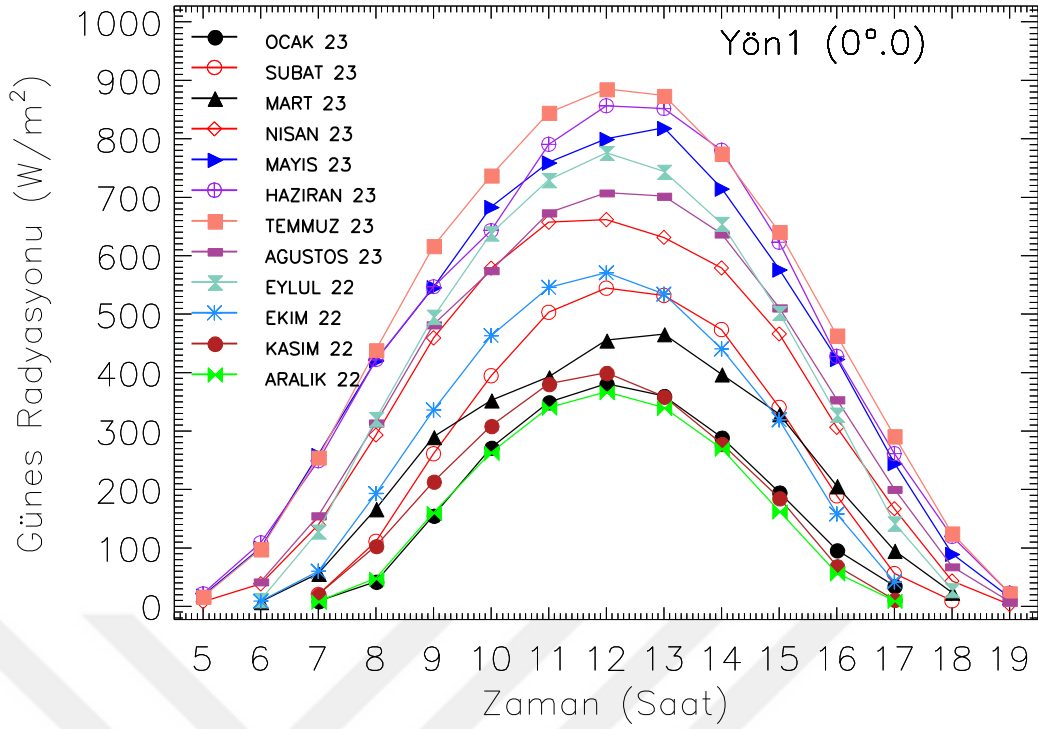
Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11’de görüldüğü üzere en az güneşlenme süresi kış aylarında (Ocak ve Aralık) görülürken en fazla güneşlenme süresinin yaz aylarında (Mayıs, Haziran ve Temmuz) olduğu görülmektedir. Ocak ve Aralık aylarında saat 07:00’dan itibaren veri alınmaya başlanılmış ve saat 17:00’dan sonra güneş battığı için veri alımı bitmiştir. Güneş enerjisinin yıl boyunca en yüksek olduğu 12.00-13.00 saatler arasında toplamı yaklaşık 7404.87 W/m^2 ve ortalaması 617.07 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Haziran ve Temmuz aylarında ise sırasıyla 856.52 W/m^2 ve 885.21 W/m^2 ile en yüksek ölçüldüğü aylar olmuştur.

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.12 incelendiğinde “Yön2” doğrultusundaki FV pilden alınan güneş radyasyon verileri tüm aylarda 11.00-12.00 ve 12.00-13.00 saatlerinde en yüksek enerji ölçülmüştür. 11.00-12.00 ve 12.00-13.00 saatlerinde yıl boyunca ölçülen enerjinin toplamı sırasıyla 8588.86 W/m^2 (ortalama 715.74 W/m^2) ve 8588.63 W/m^2 (ortalama 715.72 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Şubat ayında ise en yüksek ölçüldüğü saatlerde sırasıyla 11.00-12.00’da 832.08 W/m^2 ve 12.00-13.00’de 837.85 W/m^2 olarak ölçülmüştür.

Benzer şekilde, Çizelge 4.8 ve Şekil 4.13 incelendiğinde “Yön3” doğrultusundaki FV pilden alınan güneş radyasyon verileri tüm aylarda 11.00-12.00 ve 12.00-13.00 saatlerinde en yüksek enerji ölçülmüştür. 11.00-12.00 ve 12.00-13.00 saatlerinde yıl boyunca ölçülen enerjinin toplamı sırasıyla 9041.12 W/m^2 (ortalama 753.43 W/m^2) ve 9178.62 W/m^2 (ortalama 764.89 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Şubat ve Eylül ayında ise en yüksek ölçüldüğü saatlerde sırasıyla 11.00-12.00’da 903.71 W/m^2 ve 877.62 W/m^2 ve 12.00-13.00 saatlerinde 877.62 W/m^2 ve 892.12 W/m^2 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. FV pillerden “Yön1” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi (W/m²)

Aylar/Saat	Yön1 (0°)														
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Ocak 2023	0.00	0.00	9.10	42.38	155.55	271.74	349.46	380.81	360.13	289.17	195.28	96.37	35.11		
Şubat 2023	-	-	20.36	111.18	261.16	394.45	503.09	544.42	531.92	473.40	340.56	189.36	56.09	9.44	
Mart 2023	-	7.83	56.14	166.71	289.98	352.76	392.45	455.33	465.88	397.24	329.11	206.16	95.45	23.73	
Nisan 2023	7.80	38.69	139.53	293.24	459.47	578.71	657.40	661.50	631.26	579.05	466.01	306.22	167.05	43.41	3.14
Mayıs 2023	18.78	100.56	259.54	421.43	546.22	683.73	759.75	800.14	818.73	715.21	576.63	423.99	245.42	90.29	15.62
Haziran 2023	21.80	109.09	248.96	421.95	546.91	643.13	790.37	856.52	851.73	780.44	622.96	427.64	261.24	119.69	22.56
Temmuz 2023	16.82	97.99	255.05	438.78	616.78	737.54	844.79	885.21	873.91	774.97	640.81	463.68	291.44	124.87	22.40
Ağustos 2023	-	42.39	155.13	314.14	482.20	574.85	673.53	707.68	702.09	637.52	510.96	353.87	200.71	68.13	7.78
Eylül 2022	-	11.30	128.58	320.73	495.77	638.39	729.64	776.15	744.08	654.94	502.56	328.32	142.28	28.24	-
Ekim 2022	-	8.83	60.19	192.94	335.76	463.23	545.71	570.74	534.28	440.39	319.24	157.98	41.99	-	-
Kasım 2022	-	-	20.27	103.54	213.74	308.94	380.71	399.67	359.04	278.21	185.39	69.07	11.44	-	-
Aralık 2022	-	-	8.40	48.07	160.45	263.29	340.47	366.70	340.16	270.05	162.89	56.74	9.89	-	-
Ort.	13.04	46.30	113.44	239.59	380.33	492.56	580.61	617.07	601.10	524.21	404.37	256.62	129.84	63.47	14.30
Top.	65.20	416.68	1361.25	2875.08	4563.99	5910.74	6967.37	7404.87	7213.19	6290.57	4852.39	3079.41	1558.11	507.80	71.49



Şekil 4.11. FV pillerden “Yön1 ” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi

“Yön4” doğrultusundaki FV pilden alınan güneş radyasyon verileri için Çizelge 4.9 ve Şekil 4.14 incelendiğinde tüm aylarda 11.00-12.00 ve 12.00-13.00 saatlerinde en yüksek enerji ölçülmüştür. Saat 11.00-12.00 ve saat 12.00-13.00’da yıl boyunca ölçülen enerjinin toplamaları sırasıyla 9092.56 W/m^2 (ortalama 757.71 W/m^2) ve 9309.15 W/m^2 (ortalama 775.76 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Eylül ayında ise en yüksek ölçüldüğü saatlerde sırasıyla 11.00-12.00’da 890.92 W/m^2 ve 12.00-13.00 saatlerinde 915.23 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu durum Bölüm 3.1.3.14’de belirtildiği gibi yıl boyunca ölçüm yapıldığında en iyi sonucu güneş panellerinin eğim açısı Osmaniye’nin enlemi olan ($37^\circ.04$) “Yön4”, ile alındığı açıkça görülmektedir.

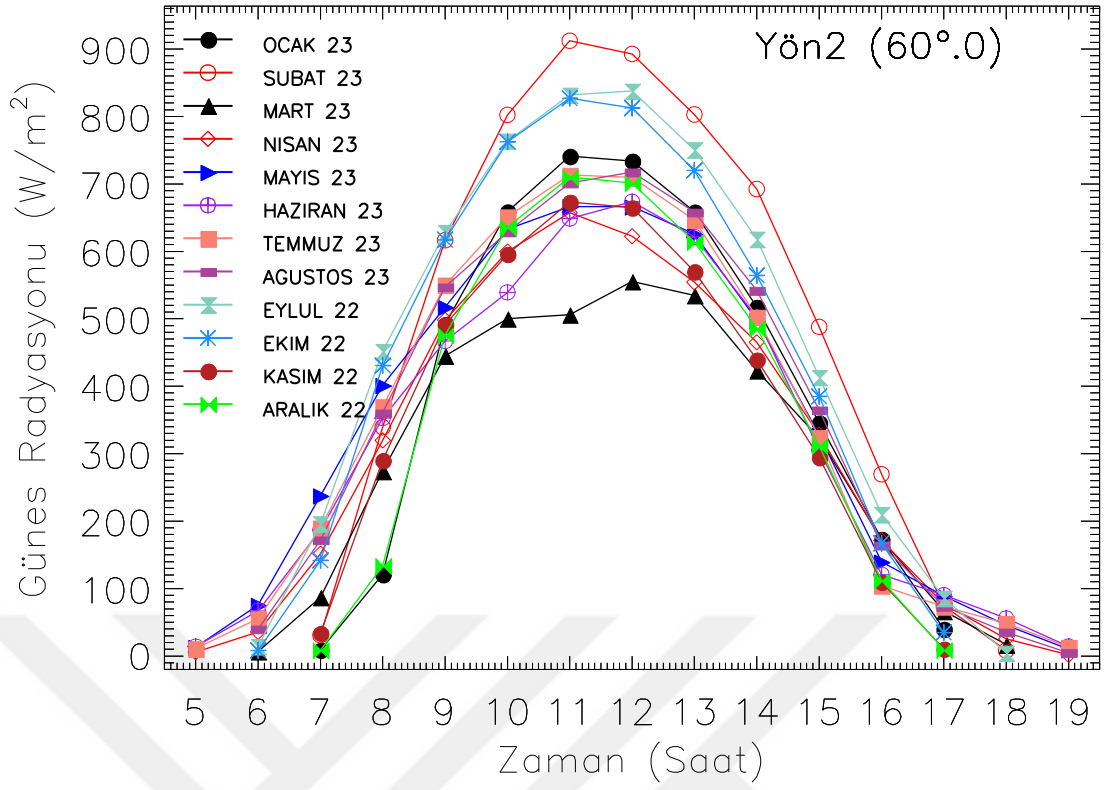
Çizelge 4.10 ve Şekil 4.15’den görüldüğü gibi “Yön5” doğrultusundaki FV pilden alınan güneş radyasyon verilmiştir. Benzer şekilde, Çizelge 4.10 ve Şekil 4.15 incelendiğinde tüm aylarda 11.00-12.00 ve 12.00-13.00 saatlerinde en yüksek enerji ölçülmüştür. Temmuz ve Eylül aylarında saat 11.00-12.00’de sırasıyla 896.74 W/m^2 ve 884.76 W/m^2 ve saat 12.00-13.00’da sırasıyla 921.18 W/m^2 ve 915.52 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Saat 11.00-12.00 ve saat 12.00-13.00’da yıl boyunca ölçülen enerjinin toplamaları sırasıyla 8871.43 W/m^2 (ortalama 739.29 W/m^2) ve 9169.02 W/m^2 (ortalama 764.08 W/m^2) olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.7. FV pillerden “Yön2 ” yüzeyine gelen güneş ışıının aylara göre saatlik değışimi (W/m²)

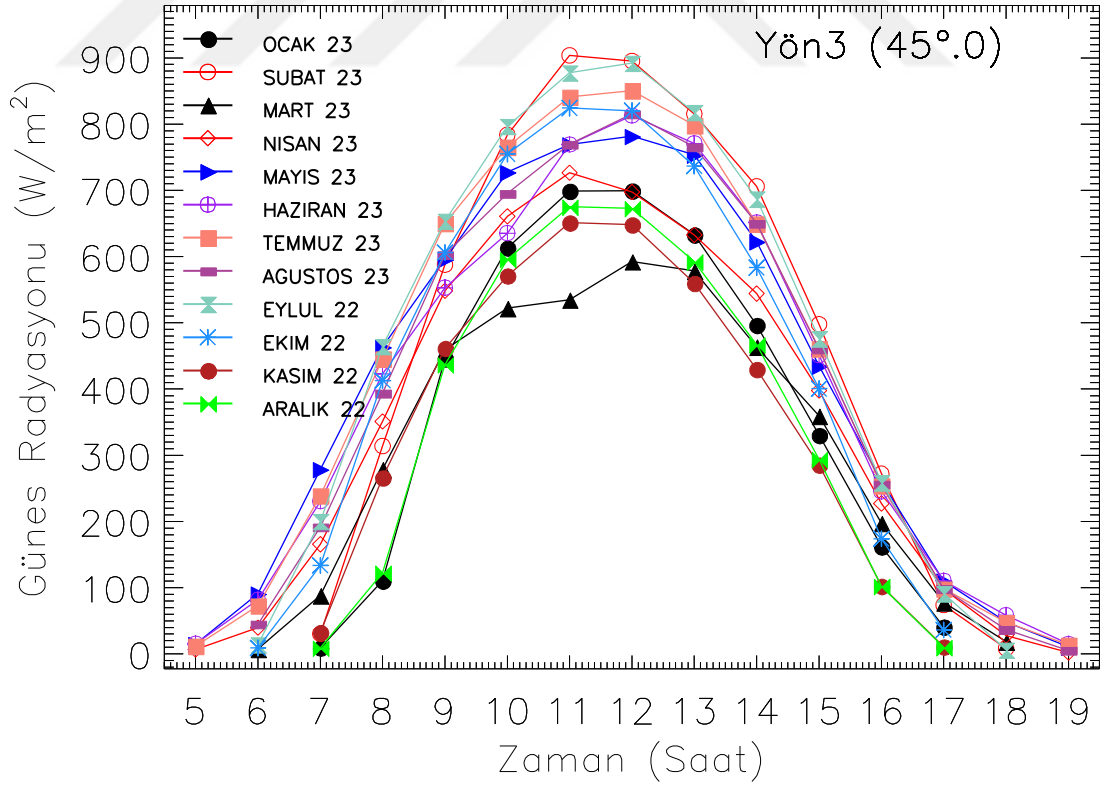
	Yön2 (60°)														
Aylar/Saat	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Ocak 2023	-	-	8.95	121.15	491.67	658.86	741.15	734.09	658.73	517.40	345.80	173.31	39.99	-	-
Şubat 2023	-	-	30.74	339.22	616.63	802.39	912.22	892.76	803.07	692.50	488.02	269.52	74.87	8.09	-
Mart 2023	-	6.91	87.11	274.20	445.20	500.23	506.17	555.47	534.81	423.46	323.37	172.96	66.69	16.80	-
Nisan 2023	5.82	35.69	151.50	319.83	498.15	599.78	657.57	622.55	554.30	465.20	328.14	171.57	77.03	25.64	1.96
Mayıs 2023	13.14	75.50	237.99	401.55	517.52	632.77	666.50	666.30	625.88	497.98	327.70	139.75	88.94	45.86	9.86
Haziran 2023	14.04	67.08	186.71	352.84	466.96	539.33	648.64	673.73	621.29	502.11	305.27	120.70	90.49	55.83	14.20
Temmuz 2023	-	55.53	190.14	369.70	550.17	651.50	712.97	709.54	646.61	502.58	324.16	104.34	73.36	48.45	13.15
Ağustos 2023	-	39.89	172.04	360.56	547.43	628.83	701.20	717.62	658.32	542.15	364.84	164.43	73.53	35.37	4.79
Eylül 2022	-	14.21	196.09	451.82	628.34	763.88	832.08	837.85	750.81	618.35	413.36	210.08	85.81	4.80	-
Ekim 2022	-	8.33	141.73	430.70	617.15	762.53	827.07	812.60	720.07	564.12	384.98	167.05	34.62	-	-
Kasım 2022	-	-	33.97	290.14	491.14	595.71	673.17	664.96	570.08	439.29	294.58	109.68	10.75	-	-
Aralık 2022	-	-	8.92	134.02	476.15	635.97	710.12	701.17	614.14	486.21	311.83	112.06	9.51	-	-
Ort.	10.98	37.89	120.49	320.48	528.87	647.65	715.74	715.72	646.51	520.95	351.00	159.62	60.46	30.10	8.79
Top	43.94	303.13	1445.88	3845.74	6346.49	7771.78	8588.86	8588.63	7758.08	6251.35	4212.04	1915.44	725.57	240.84	43.96

Çizelge 4.8. FV pillerden “Yön3 ” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi(W/m²)

	Yön3 (45°)														
Aylar/Saat	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Ocak 2023	-	-	9.42	110.38	445.87	613.33	699.06	699.32	633.02	496.45	330.30	162.04	41.01	-	-
Şubat 2023	-	-	30.44	313.87	587.76	783.72	903.71	895.22	815.26	705.89	497.84	272.11	73.89	8.43	-
Mart 2023	-	7.56	88.32	278.87	459.29	522.15	534.68	592.48	578.29	463.73	359.38	197.42	77.86	18.53	-
Nisan 2023	6.74	39.76	165.68	351.11	548.51	660.77	726.62	697.31	632.59	544.15	397.76	227.20	98.13	27.78	2.24
Mayıs 2023	14.44	91.06	278.83	463.23	596.08	727.35	769.11	781.93	753.79	622.82	434.85	260.21	110.28	48.17	10.84
Haziran 2023	15.42	81.92	230.67	422.92	553.15	635.41	769.18	813.02	771.03	651.61	451.18	245.50	110.69	58.64	15.28
Temmuz 2023	11.84	72.86	238.93	445.59	650.43	765.53	841.03	850.71	798.19	649.42	461.29	254.26	98.61	47.78	13.76
Ağustos 2023	-	44.85	191.66	393.66	602.90	695.21	769.51	815.24	765.56	650.04	460.17	256.26	98.53	36.78	5.39
Eylül 2022	-	14.18	200.49	464.61	653.85	796.98	877.62	892.12	818.10	687.24	476.25	259.10	91.35	6.33	-
Ekim 2022	-	9.06	133.84	412.89	606.13	755.07	824.27	820.18	736.68	583.38	400.54	173.80	36.26	-	-
Kasım 2022	-	-	32.57	266.20	461.69	571.16	651.12	648.29	559.78	429.89	285.53	102.38	10.96	-	-
Aralık 2022	-	-	9.18	122.70	436.79	596.21	675.21	672.81	592.40	466.94	294.01	102.20	9.92	-	-
Ort.	12.11	45.16	134.17	337.17	550.20	676.91	753.43	764.89	704.56	579.30	404.09	209.37	71.46	31.55	9.50
Top	48.45	361.24	1610.03	4046.02	6602.45	8122.89	9041.12	9178.62	8454.70	6951.56	4849.08	2512.49	857.49	252.43	47.50



Şekil 4.12. FV pillerden “Yönlük 2 ” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi



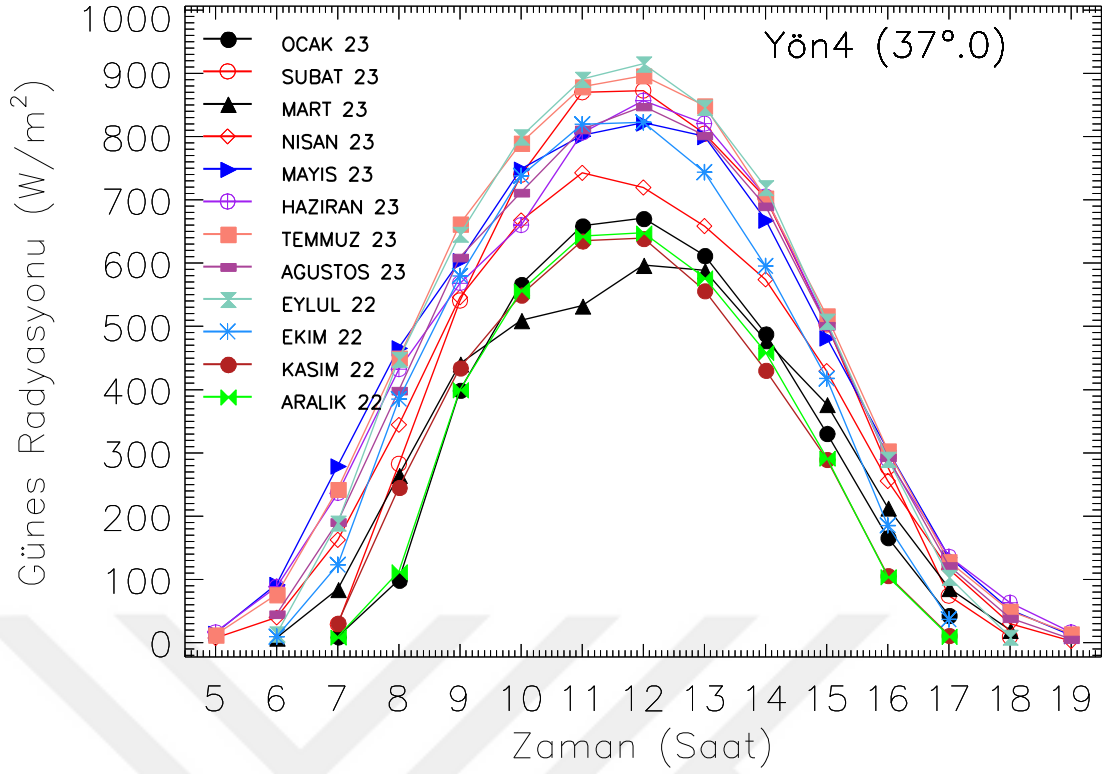
Şekil 4.13. FV pillerden “Yönlük 3 ” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi

Çizelge 4.9. FV pillerden “Yön4 ” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi

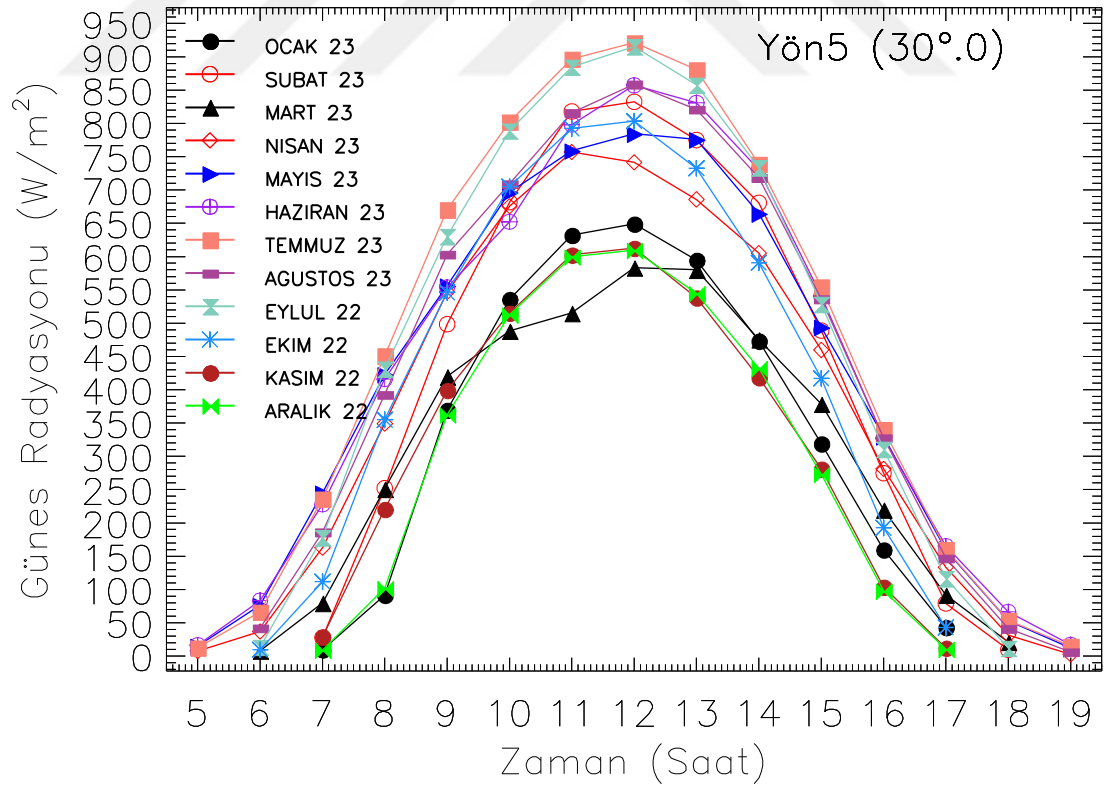
Yön4 (37°)															
Aylar/Saat	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Ocak 2023	-	-	9.63	99.38	399.46	566.77	659.29	670.94	612.27	488.60	331.23	166.40	43.45	-	-
Şubat 2023	-	-	29.16	282.62	540.77	739.76	870.01	872.79	804.54	703.38	503.33	277.82	74.15	9.32	-
Mart 2023	-	7.87	84.51	264.95	441.09	509.75	532.65	597.12	588.48	477.90	376.89	213.33	86.03	20.05	-
Nisan 2023	7.24	39.91	162.59	344.32	545.92	667.43	742.69	719.61	658.61	574.03	429.50	255.50	116.01	29.81	2.45
Mayıs 2023	15.50	92.75	279.80	466.44	604.47	748.89	802.24	821.94	800.55	668.54	482.46	304.54	136.00	51.94	11.65
Haziran 2023	16.66	88.35	236.49	432.18	568.30	660.17	805.98	856.90	820.48	705.59	504.89	289.78	136.07	63.09	16.31
Temmuz 2023	12.58	76.27	242.84	450.52	662.24	789.93	879.07	896.38	849.07	703.17	517.26	303.93	128.42	50.08	14.55
Ağustos 2023	-	45.43	191.34	399.01	609.51	712.09	811.83	847.88	802.04	690.16	501.63	293.53	121.65	38.96	5.85
Eylül 2022	-	14.29	189.70	448.40	646.09	800.01	890.92	915.23	846.81	719.88	508.49	290.32	103.79	9.26	-
Ekim 2022	-	9.54	123.14	385.27	579.86	737.88	819.54	822.74	743.80	595.46	417.44	185.37	36.82	-	-
Kasım 2022	-	-	31.35	245.84	434.82	550.12	635.45	639.39	556.73	430.97	290.18	106.49	11.94	-	-
Aralık 2022	-	-	9.32	112.68	400.18	556.66	642.90	648.23	577.01	459.32	292.17	104.60	10.49	-	-
Ort.	12.99	46.80	132.49	327.63	536.06	669.95	757.71	775.76	721.70	601.42	429.62	232.63	83.73	34.06	10.16
Top	51.98	374.40	1589.89	3931.59	6432.71	8039.44	9092.56	9309.15	8660.38	7216.99	5155.49	2791.59	1004.80	272.50	50.81

Çizelge 4.10. FV pillerden “Yön5” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi (W/m²)

Yön5 (30°)															
Aylar/Saat	5-6	6-7	7-8	8-9	9-1	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Ocak 2023	-	-	9.68	91.59	369.69	536.07	632.11	649.06	594.72	473.27	319.15	159.70	43.28	-	-
Şubat 2023	-	-	27.71	252.17	498.31	681.61	817.87	832.52	774.85	680.55	488.74	274.63	79.05	9.44	-
Mart 2023	-	7.97	79.71	250.97	419.80	488.24	515.15	583.36	580.13	475.52	378.62	219.77	91.99	21.10	-
Nisan 2023	7.54	37.01	162.90	349.07	546.75	675.77	756.90	741.59	685.82	605.34	459.77	281.24	133.35	31.29	2.56
Mayıs 2023	14.77	76.22	245.00	423.01	556.20	696.68	758.94	784.26	775.86	664.43	494.11	329.65	159.41	52.82	11.90
Haziran 2023	16.50	83.45	227.91	416.18	553.77	652.26	798.16	857.17	830.90	730.41	540.72	327.09	165.16	66.42	16.84
Temmuz 2023	12.64	66.34	236.25	451.15	670.38	802.43	896.74	921.18	880.75	738.92	554.80	340.33	160.13	53.66	14.80
Ağustos 2023	-	42.21	186.29	392.81	603.34	709.35	816.22	858.82	821.10	718.55	536.33	327.76	147.10	41.48	6.20
Eylül 2022	-	13.52	178.17	431.11	630.51	789.05	884.76	915.52	857.82	733.75	528.58	310.86	116.70	12.13	-
Ekim 2022	-	9.58	111.67	354.86	546.18	705.09	792.26	803.43	732.60	590.83	416.99	192.58	43.01	-	-
Kasım 2022	-	-	29.18	220.62	399.24	515.31	602.54	612.64	538.24	418.46	281.25	103.94	12.18	-	-
Aralık 2022	-	-	9.11	101.72	362.46	512.62	599.80	609.47	544.71	432.53	273.27	97.76	10.55	-	-
Ort.	12.86	42.04	125.30	311.27	513.05	647.04	739.29	764.08	718.12	605.21	439.36	247.11	96.82	36.04	10.46
Top	51.44	336.29	1503.58	3735.25	6156.62	7764.47	8871.43	9169.02	8617.49	7262.54	5272.34	2965.29	1161.89	288.33	52.31



Şekil 4.14. FV pillerden “Yön4” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi



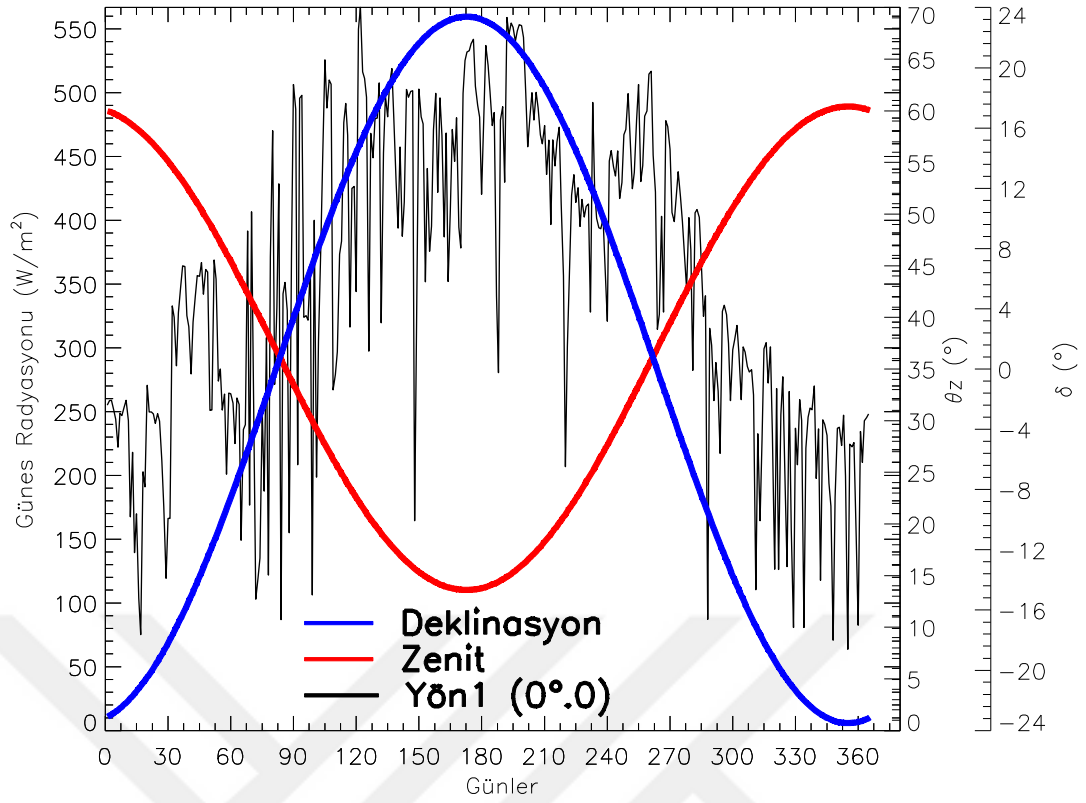
Şekil 4.15. FV pillerden “Yön5” yüzeyine gelen güneş ışınımının aylara göre saatlik değişimi

Geliştirdiğimiz FV güneş pili sistemi kullanılarak 1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023 tarihleri arasında ölçülen yıllık ortalama günlük güneş ışıyım şiddetinin tüm doğrultulardaki değişimleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlardan güneş enerjisi değerlerinin yıllık değişim hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.16 ile Şekil 4.20 arasında verilmiştir. Şekil 4.16 ile Şekil 4.20’de görüleceği gibi beş farklı doğrultu daki FV pillerden ölçülen ortalama günlük güneş enerjilerinin deklinasyon (δ , Eşitlik 3.8) ve zenit (θ_z , Eşitlik 3.22) açılarına göre değişimlerine de bakılmıştır. Grafiklerde yatay eksenleri yılın günlerini temsil ederken, birinci düşey eksenler güneş ışıyım şiddetlerini (W/m^2), ikinci ve üçüncü düşey eksenler ise sırasıyla δ ve θ_z açılarını (derece biriminde) göstermektedir.

Bilindiği gibi, Şekil 3.7’den de açıkça görüldüğü gibi kuzey yarımkürede, yazın δ açısı en yüksek ($+23.5^\circ$), zenit açısı en düşük iken (13.6°) (21 Haziran, 172. gün, gündüzler en uzun, geceler en kısa), kışın δ açısı en düşük (-23.5°), zenit açısı en yüksek (60.0°) (21 Aralık, 355. gün, geceler en uzun gündüzler en kısa) olmaktadır. 21 Mart ilkbahar ekinoksunda (81. gün) ve 23 Eylül sonbahar ekinoksunda (266. gün) yaklaşık olarak öğlen saatlerinde ekvatorda güneş doğrudan tepededir ($\delta=0$) (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022).

Şekil 4.16’da, FV pil sistemin “Yön1” doğrultusunda yıllık olarak gelen günlük toplam güneş enerjisi şiddeti $127207.84 W/m^2$ (ort. $348.51 W/m^2$) olarak ölçülmüştür. Minimum ve maksimum değerler sırasıyla $63.61 W/m^2$ (21 Aralık 2022) ve $566.67 W/m^2$ (02 Mayıs 2023) olarak ölçülmüştür. Ayrıca, toplam radyasyon şiddeti değerleri 23 Eylül ve 21 Mart ekinoks noktalarındaki sırasıyla $403.01 W/m^2$ ve $470.12 W/m^2$ ve 21 Aralık ve 21 Haziran gün dönüm noktalarında ise sırasıyla $525.32 W/m^2$ ve $63.61 W/m^2$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.17’de FV pil sistemin “Yön2” doğrultusunda yıllık olarak gelen günlük toplam güneş enerjisi şiddeti $146553.52 W/m^2$ (ort. $401.52 W/m^2$) olarak ölçülmüştür. “Yön2” ‘de ölçülen en yüksek ve en düşük değerleri $654.31 W/m^2$ ve $50.67 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. 23 Eylül sonbahar ve 21 Mart ilkbahar ekinoks noktalarındaki değerleri sırasıyla $483.76 W/m^2$ ve $577.11 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. 21 Aralık ve 21 Haziran gün dönüm noktalarında ise sırasıyla $50.67 W/m^2$ ve $354.18 W/m^2$ olarak ölçülmüştür.

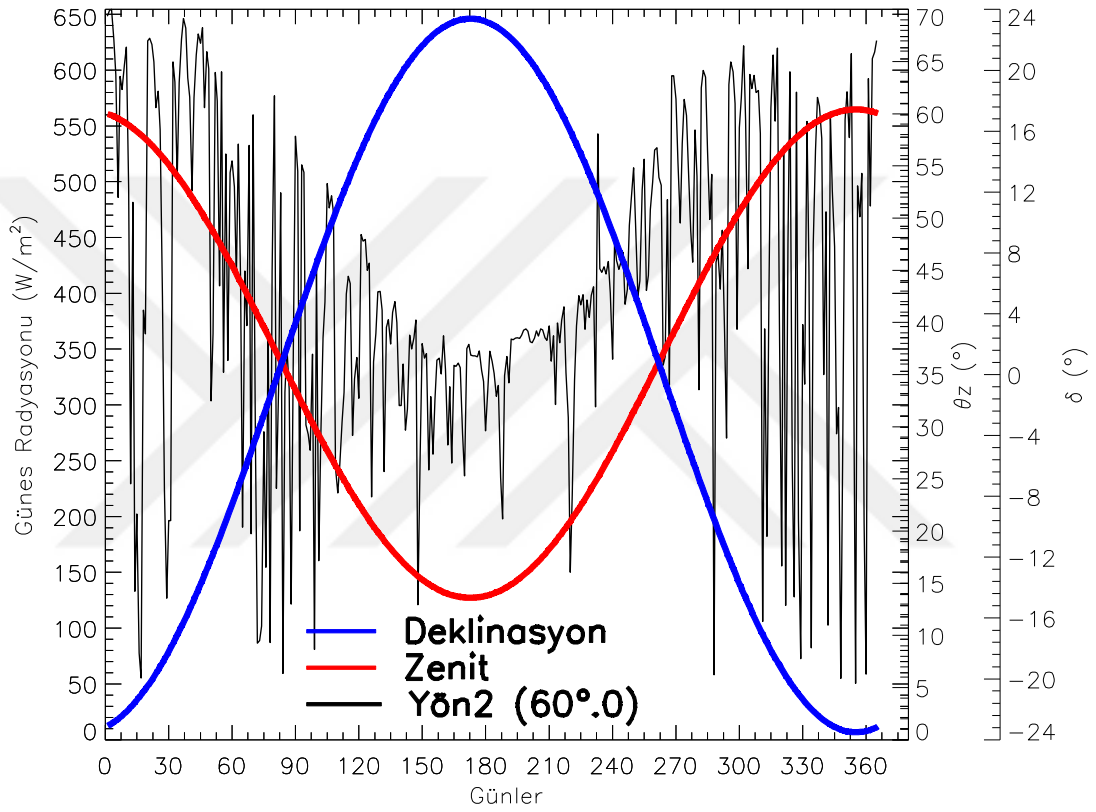


Şekil 4.16. “Yön1” doğrultusundaki FV pil ile ölçülen ortalama günlük güneş enerjisinin δ ve θ_z açılarına göre yıllık değişimi.

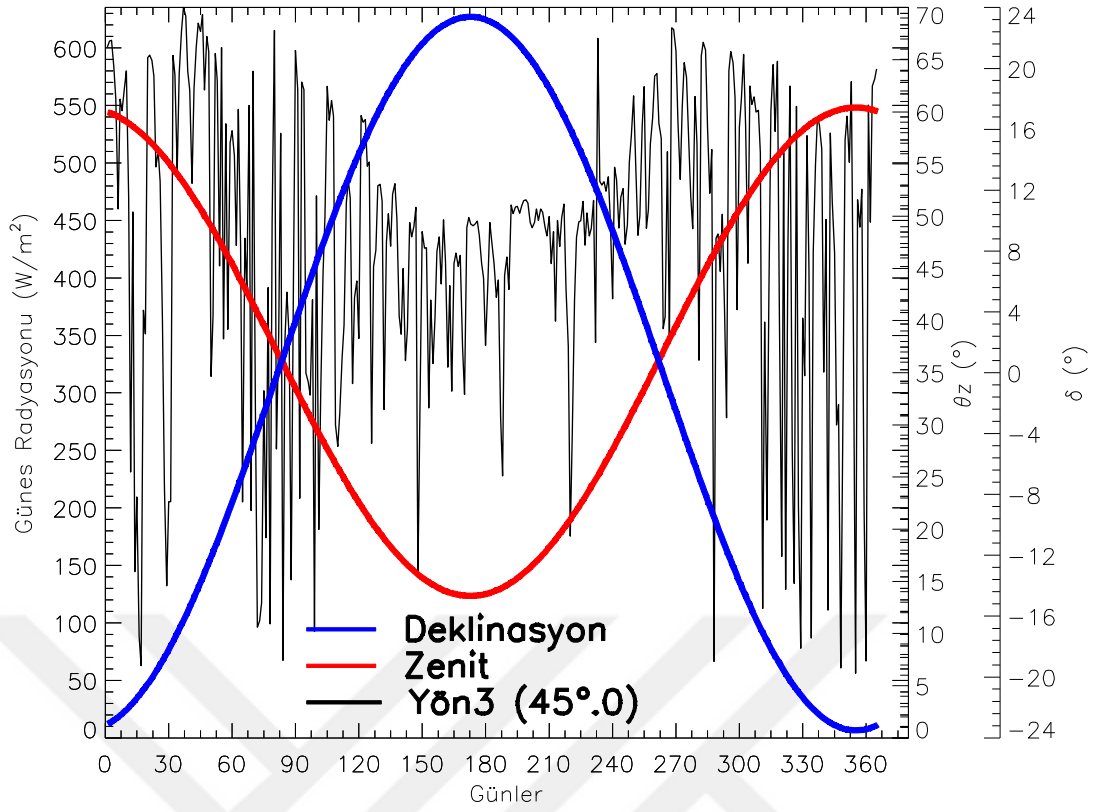
Şekil 4.18’de, FV pil sistemin “Yön3” doğrultusunda yıllık olarak gelen günlük toplam güneş enerjisi şiddeti 156669.99 W/m^2 (ort. 429.23 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 635.15 W/m^2 ve 56.25 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.18 incelendiğinde, 23 Eylül ve 21 Mart tarihlerinde sırasıyla 509.82 W/m^2 ve 615.15 W/m^2 ve 21 Aralık ve 21 Haziran tarihlerinde sırasıyla 56.25 W/m^2 ve 452.39 W/m^2 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.19’da, FV pil sistemin “Yön4” doğrultusundaki yıllık olarak gelen günlük toplam güneş enerjisi şiddeti 158409.81 W/m^2 (ort. 434.00 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Maksimum ve minimum değerleri sırasıyla 622.09 W/m^2 ve 60.50 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Ayrıca, toplam ışıınım şiddeti değerleri 23 Eylül ve 21 Mart tarihlerinde sırayla 513.63 W/m^2 ve 617.75 W/m^2 ve 21 Aralık ve 21 Haziran tarihlerinde sırasıyla 60.50 W/m^2 ve 478.44 W/m^2 olarak elde edilmiştir.

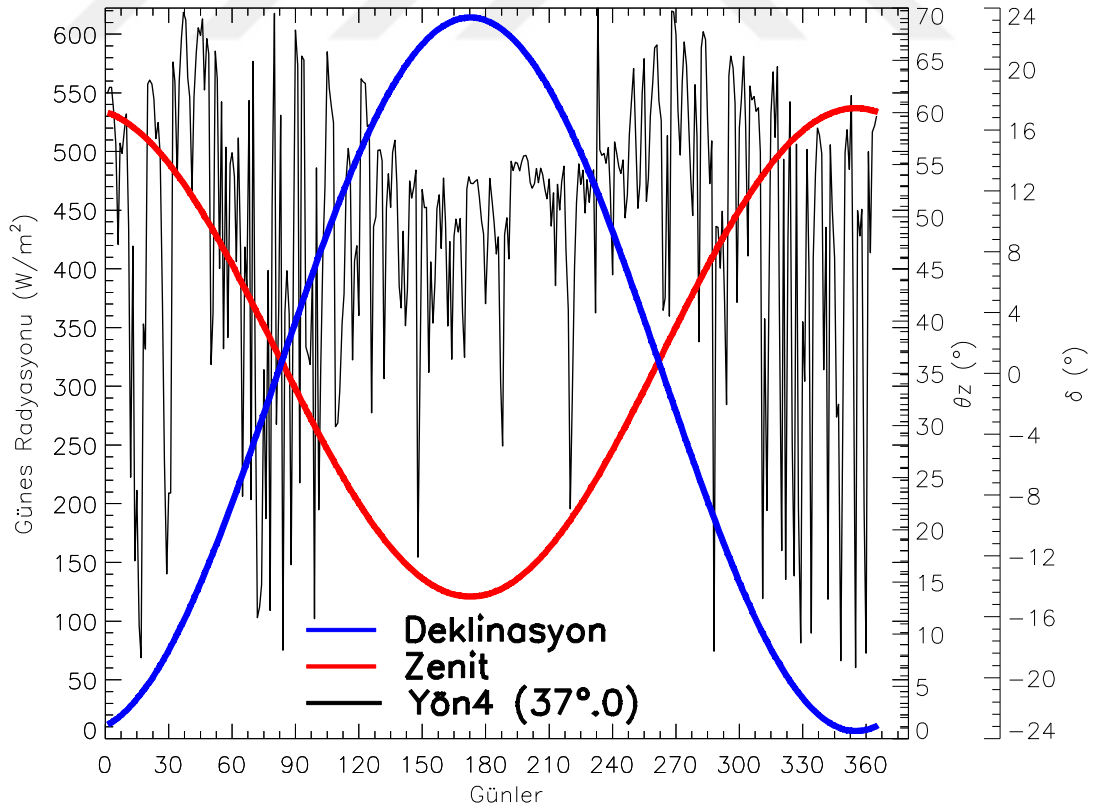
Şekil 4.20’de, FV pil sistemin “Yön5” doğrultusundaki yıllık olarak gelen günlük toplam güneş enerjisi şiddeti 155931.26 W/m^2 (ort. 427.21 W/m^2) olarak ölçülmüştür. Maksimum ve minimum değerler sırasıyla 625.85 W/m^2 ve 61.92 W/m^2 olarak ölçülmüştür. 23 Eylül ve 21 Mart tarihlerinde sırasıyla 507.71 W/m^2 ve 611.71 W/m^2 ve 21 Aralık ve 21 Haziran tarihlerinde sırasıyla 61.92 W/m^2 ve 507.58 W/m^2 olarak elde edilmiştir.



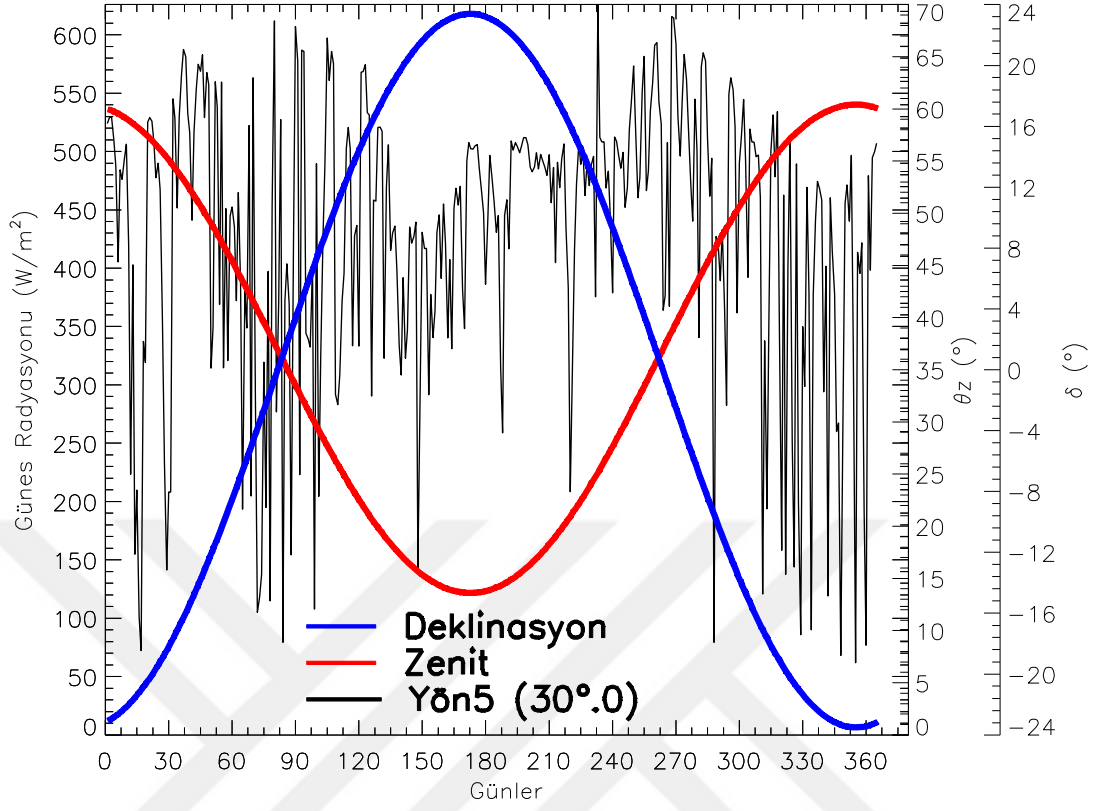
Şekil 4.17. Şekil 4.16 ile aynı fakat “Yön2” için.



Şekil 4.18. Şekil 4.16 ile aynı fakat "Yön3" için.



Şekil 4.19. Şekil 4.16 ile aynı fakat "Yön4" için.



Şekil 4.20. Şekil 4.16 ile aynı fakat “Yön5” için.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Osmaniye’de günlük olarak toplam güneş enerjisini ölçmek amacıyla güney yönünde yönlendirilmiş farklı eğimli yüzeylere sahip beş farklı (“Yön1: 0°.0”, “Yön2: 60°.0”, “Yön3: 45°.0”, “Yön4: 37°.0” ve “Yön5: 30°.0”) bir fotovoltaik (FV) güneş pil sistemi tasarlanmıştır. FV pillerden birtanesi (Yön4) özellikle Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi yerleşkesinin enlemine (Enlem: 37°.04) yakın olacak şekilde seçilmiştir. Tasarlanan FV sistem Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi merkez yerleşkesine tamamı güney yönünde şekilde yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. 3 Haziran 2022 tarihinden itibaren test ölçümlerine ölçümlerine başlanılmıştır. Test çalışmaları tamamlandıktan sonra veri alımına başlanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, geliştirilen FV pil sistemi kullanılarak Eylül 2022 - Ağustos 2023 tarihleri arasında bir yıllık (365 gün) güneş enerjisi verisi dakikalık olarak “volt” biriminde ölçülmüştür. Ölçülen veriler 16 kanallı Data Loggerda depolanmış ve daha sonra kişisel bilgisayara aktarılmıştır. Ölçülen güneş enerjisi verileri Eppley8-48 Model B&W piranometresi kullanılarak kalibre edilerek enerji birimine (W/m^2) dönüştürülmüştür (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022). Kalibrasyonları yapılan tüm verilerin saatlik, günlük, aylık ve yıllık ortalama ve toplam değişimleri elde edilmiş ve gerekli çizelge ve grafikler oluşturulmuştur.

Buna göre;

- Bir yıl boyunca “Yön1”, “Yön2”, “Yön3”, “Yön4” ve “Yön5” FV piller ile ölçülen günlük verilerin yıllık toplamı ve ortalamaları sırasıyla 127207.84 W/m^2 (ort. 346.16 W/m^2), 146553.52 W/m^2 (ort. 416.99 W/m^2), 156669.99 W/m^2 (ort. 439.91 W/m^2), 158409.81 W/m^2 (ort. 444.85 W/m^2), ve 155931.26 W/m^2 (ort. 439.03 W/m^2 olarak elde edilmiştir.
- Bir yıl boyunca ölçülen günlük veriler en yüksek güneş enerjisi verisi temmuz ayında “Yön5” doğrultusunda saat 12.00-13.00’da 921.18 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu değeri takip eden “Yön4” doğrultusunda temmuz ayında 12:00-13:00 saatlerinde 915.23 W/m^2 olarak ölçülmüştür.
- Yıllık olarak ölçülen güneş enerjisi verilerinin aylık toplamının ortalama değişimleri incelendiğinde “Yön4” doğrultusunda ölçülen güneş radyasyonunun 317362.82 W/m^2 ile en fazla ölçülürken (Aralık 2022’de 224642.70 W /m^2 en düşük, Temmuz 2023’de 393915.81 W/m^2 en yüksek),

“Yön1” doğrultusunda 263701.53 W/m^2 (Aralık 2022’de 119491.13 W/m^2 en düşük, Temmuz 2023’de 424273.84 W/m^2 en yüksek) ile en düşük olarak ölçülmüştür.

- Aylık olarak ortalama toplam güneş radyasyonu değerleri ise sırasıyla 346.16 W/m^2 , 416.99 W/m^2 , 439.91 W/m^2 , 444.85 W/m^2 ve 439.03 W/m^2 olarak da elde edilmiştir.
- Bir yıl süresince “Yön1”, “Yön2”, “Yön3”, “Yön4” ve “Yön5” yönlerinde ölçülen güneş enerjisi değişimleri incelendiğinde güneş enerjisinin en fazla ve en iyi ölçüldüğü sistem Osmaniye’nin enlemine en yakın olan “Yön4” doğrultusunda yerleştirilen FV pilden elde edilmiştir (Şekil 4.17).
- Daha sonraki en iyi sonuçlar ise “Yön3” ve “Yön5” FV pillerden alınan verilerin en yüksek değere sahip oldukları görülmüştür.
- Yıllık olarak en düşük ölçümün yapıldığı güneş enerjisi değerleri ise zenit doğrultusunda (yani “Yön1”) bakan FV pilden alındığı açıkça görülmüştür.
- Yani sabit ölçüm yapan güneş pillerinin en iyi verimi Osmaniye’nin enleminden yaklaşık olarak $\pm 8.0^\circ$ ’de bulunan pillerden elde edildiği görülmektedir (Tiris ve Tiris, 1998). Bu da bize, ısı enerjisi, elektrik enerjisi vs elde etmek için her hangi bir bölgeye kurulacak sabit konumlu FV sistemlerin o bölgenin enlemi ile aynı eğilimde olan ve güney yönünde yönlendirilmiş FV sistemler tasarlanması gerektiğini göstermektedir.
- Saatlik, günlük, aylık ve yıllık toplam güneş enerji değerleri incelendiğinde, en yüksek güneş enerjisi sırasıyla “ $37^\circ.0$ ”, “ $30^\circ.0$ ” ve “ $45^\circ.0$ ” yönlerindeki fotovoltaik sistemlerle ölçülürken, en düşük güneş enerjisi “ $30^\circ.0$ ” yönünde ölçülmüştür.
- Bu sonuçların güneş enerjisi ölçümleri için oldukça önemli olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların daha kapsamlı bir güneş enerjisi veri tabanı oluşturulabileceğine, gelecekte yapılacak çalışmalarda araştırmacılara yol göstereceğini düşünmekteyiz.

KAYNAKLAR

- Abdullah, A. H., Ghoneim, A. A., Al-Hasan, A. Y., Assesment of grid-connected photovoltaic systems in the Kuwaiti climate, *Renewable Energy*, 26, 189–199, 2002.
- 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*, 8, 1443, 2019.
- Anderson, B., *Solar energy, Fundamentals in Building Design*. McGraw-Hill, New York 1977.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 1991.
- Duffie, J. A., Beckman W. A., *Solar Engineering of ThermalProcesses*, (4th ed.), John WileyandSons, Inc., New York, 2013.
- Eker, S., B., Güneş panelleri için optimum eğim açısının belirlenmesi,rüzgarın soğutma etkisinin verime etkilerinin incelenmesi, BUÜ Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Y. Lisans Tezi, 79, 2019.
- Filik, T., Filik, Ü. B., Gerek, Ö. N., Solar radiation top ower generation models for one-axis tracking FV systemwith on-site measurements from Eskisehir, Turkey, *E3S Web of Conferences* 22, 00046, 2017.
- Gairaa, K., Bakelli, Y., Anoverview of global solar radiationmeasurements in Ghardaiaarea, South Algeria, *International Journal of Energy and Environment*, 2 (2), 255-260, 2011.
- Goswami, D. Y., *Principles of Solar Engineering*, 3th edition. CRC Press Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL., 2015.
- Iqbal, M., *An Introductionto Solar Radiation*, AcademicPress, Toronto, Canada, 1983.
- Jumaat, S. A., Othman, M., H., Solar energy measurement using Arduino, *MATEC Web of Conferences* 150, 01007, 2018.
- Kalogirou, S. A., *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.

- Kannan, N., Vakeesan, D., Solar energy for future world: - A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 62, 1092–1105, 2016.
- Kaya, R., Fotovoltaik piller kullanarak güneş ışıyım şiddetinin beş farklı noktada ölçülmesi ve verinin analiz edilmesi, OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Tezi, 126, 2021.
- Kılınç, P., E., 500 kW'lık güneş enerjisi panel tasarımında optimizasyon ve ekonomik analiz, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 87, 2019.
- Malik, A. Q., Ak Abd Malik Abd Raub Pg Ghani, Measurement of global solar radiation over Brunei Darussalam, ISESCO Science and Technology, Proceedings of the International Symposium on Renewable Energy: Environment Protection and Energy Solution, Malaysia, 762, 2006.
- Maxwell, E. L., Stoffel, T. L., Bird R. E., Measuring and modeling solar irradiance on vertical surfaces (No. SERI/TR-215-2525). Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA), 1986.
- Mohammad, S. T., Hussain, Al-Kayiem, H., Aurybi, M. A., Khelif, A. K., Measurement of global and direct normal solar energy radiation in Seri Iskandar and comparison with other cities of Malaysia, *Case Studies in Thermal Engineering* 18, 100591, 2020.
- Öztürk, H. H., Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 14, 2008.
- Raza, M. Q., Nadarajah, M., Ekanayake, C., On recent advances in FV output power forecast, *Solar Energy*, 136 125-144, 2016.
- Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A., Morton, O., Energy alternatives: electricity without carbon, *Nature*, 454, 816–23, 2008.
- Şahan, M., Toplam ve ultraviyole (UV) güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi değerlendirilmesi ve değişiminin incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 67, 1996.
- Şahan, M., Kaya, R., fotovoltaik piller kullanılarak güneş ışıyım şiddetinin beş farklı doğrultuda ölçülmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 17 (1), 155-169, 2022.

- Şahan, M., Tokat, Ö., Okur, Y., Osmaniye’de günlük toplam güneş ışınlam ölçümleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 10 (2), 97-105, 2015.
- 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, 2042, 020005–1–0200054, 2018.
- Şahan, M., The measurements of the global solar radiation and solar ultraviolet radiation during 2018 year, Cite as: AIP Conference Proceedings 2178, 030016 (2019)
- Şahan, M., 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.
- 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, 16 (2), 349–367, 2021.
- Şahan, M., Kaya, R., Fotovoltaik piller kullanılarak güneş ışınlam şiddetinin beş farklı doğrultuda ölçülmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 17(1), 155-169, 2022.
- Othman, A. B., Belkilani, K., Besbes, M., Global solar radiation on tilted surfaces in Tunisia: Measurement, estimation and gained energy assessments, Energy Reports 4, 101–109, 2018.
- Tiris M., Tiris, C., Optimum collector slope and model evaluation: case study for Gebze, Turkey, Energy Convers. Mgmt., 39 3/4, 167-172, 1998.
- “GEPA”; Erişim adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/65.aspx>, 2023, Erişim tarihi: 12.11.2023.
- <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, son erişim tarihi: 12.11.2015.
- "Solar explained Photovoltaic sand electricity": Erişim adresi: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>, Erişim Tarihi: 26.09.2023.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Hasan KÜÇÜK

2. Ünvanı : FİZİKÇİ

3. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Mekatronik Müh.	CElal Bayar Üniversitesi	23.06.2020
Yüksek Lisans	Fizik Anabilim Dalı	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	Devam Ediyor

5.İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Mühendis	Kahramanmaraş OSB	2021
Mühendis	Osmaniye OSB	2021-



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI BENZERLİK RAPORU FORMU
(SAVUNMA SONRASI)

FORM
TEZLİ YL-24

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı ve Soyadı	Hasan KÜÇÜK
Öğrenci Numarası	2212103101
Ana Bilim/ Ana Sanat Dalı	FİZİK
Bilim / Sanat Dalı	FİZİK
Danışman Unvanı, Adı-Soyadı	Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN
Tez Başlığı (Türkçe)	Güney Yönünde Farklı Açılarda Yerleştirilen Fotovoltaik Piller Kullanılarak Osmaniye’de Toplam Güneş Işınımının Ölçülmesi

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam sayfalık kısmına ilişkin, .../...../..... tarihinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % ‘tür.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☐

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça dâhil,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☐

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil,
- 4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları’nı inceledim ve bu Uygulama Esasları’nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Tarih ve İmza

Hasan KÜÇÜK

Danışman Onayı
UYGUNDUR

Prof. Dr. Muhittin ŞAHAN
(İmzası)

Enstitü Onayı
UYGUNDUR

Adı Soyadı
(İmzası)

AÇIKLAMALAR

- Lisansüstü tezler, savunma öncesinde intihal program raporu ile birlikte Enstitüye teslim edilir.
- İntihal raporu ile ilgili olarak etik kurallar dâhilindeki benzerlik oranları ilgili Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenir. (Enstitü Yönetim Kurulu tarafından tezin, intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için TURNITIN’den alınan raporda “benzerlik oranı”nın, “alıntılar dahil” en fazla %10, “alıntılar dahil” % 30’u geçmemesi şeklinde kabul edilmiştir).