



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ALTERNATİF GLOBAL GÜNEŞ RADYASYONU ÖLÇÜM
YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Harun TATLI

Danışman
Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

SAMSUN
2022

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**ALTERNATİF GLOBAL GÜNEŞ RADYASYONU ÖLÇÜM
YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Harun TATLI

Danışman
Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Harun TATLI tarafından, **Prof. Dr. Hakan ÖZCAN** danışmanlığında hazırlanan “**Alternatif Global Güneş Radyasyonu Ölçüm Yöntemi Geliştirilmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 9.2.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Hakan ÖZCAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. Mustafa ÖZBEY Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Bilal SUNGUR Samsun Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza
24/02/2022
Harun TATLI

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Alternatif Global Güneş Radyasyonu Ölçüm Yöntemi Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 24.02.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 5

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza
24/02/2022
Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

ÖZET

ALTERNATİF GLOBAL GÜNEŞ RADYASYONU ÖLÇÜM YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Harun TATLI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Şubat/2022

Danışman: Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan kaynaklardan birisi güneş enerjisidir. Güneşten doğrudan gelen ve yayılan tüm ışınlar güneş radyasyonu denir. Güneş radyasyonu birçok farklı yöntem kullanılarak enerjiye dönüştürülür. Bu yöntemlerin belirlenmesinde kullanılan önemli parametre ise güneş radyasyonudur. Güneş radyasyonu miktarı, kurulan tesislerde verim hesabı, uydu ölçümlerini doğrulama, güneş radyasyonu dağılımının ve varyasyonunun analizlerinde kullanılır. Güneş radyasyonu piranometre adı verilen cihazlarla ölçülür. Ayrıca doğruluğu ispatlanmış matematiksel modeller ile tahmin edilir. Güneş radyasyonu miktarının ölçülmesinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek olması, güneş radyasyonu miktarının tahmini için kullanılan matematiksel yöntemlerin ise karmaşıklığı daha ucuz ve kolay erişilebilir yöntem veya cihazların geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu tez çalışmasında, LDR'lerin (fotodirenç), akıllı telefonların ışık sensörlerinin (dolayısıyla akıllı telefonların) ve fototransistörlerin güneş radyasyonu ölçümünde kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, akıllı telefon ile yapılan güneş radyasyonu ölçümlerinde ortalama hatanın % 23,76 olduğunu göstermiştir, bu oranın 168 W/m^2 değerinin altında %39,51'e yükseldiği, üstünde ise %6,03'e düştüğü görülmüştür. LDR ile yapılan güneş radyasyonu ölçümlerinde ise ortalama hata % 6,4 olarak belirlenmiş, bu oranın 152 W/m^2 değerinin altında %4,66'ya düştüğü, üstünde ise %11,61'e yükseldiği görülmüştür. Dolayısıyla bu iki yöntem arasından LDR'nin doğruluğunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, hem akıllı telefonların ışık sensörlerinin hem de LDR'lerin güneş radyasyonu ölçümünde alternatif, ucuz ve basit bir yöntem olarak kullanılabileceklerini, ancak LDR'nin doğruluğunun daha yüksek ve daha uygun bir sensör olduğunu göstermiştir. Güneş radyasyonu ölçüm sensörü olarak fototransistör kullanımının, kalibrasyon aşamasında fototransistörden alınan voltaj verileri ile güneş radyasyonu verileri arasında net bir ilişki kurulamaması nedeniyle uygun olmadığı değerlendirilmiştir. Bu konuda daha fazla çalışma yapılması önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akıllı Telefon, LDR, Fototransistör, Güneş Radyasyonu, Alternatif, Ölçme

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE GLOBAL SOLAR RADIATION MEASUREMENT METHOD

Harun TATLI

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Master, February/2022

Supervisor: Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

Solar energy is one of the most using renewable energy resources. All rays that come directly from the sun and emitted are defined as solar radiation. Solar radiation is converted into energy by using many different methods. The most important parameter used for the determination of these methods is solar radiation. Amount of solar radiation is used in the efficiency calculation of the established facilities, verification of satellite measurements and the analysis of the distribution and variation of solar radiation. Solar radiation is measured by the device called pyranometer and also estimated by proven mathematical models. The high costs of the devices used to measure the amount of solar radiation and the complexity of the mathematical methods used to estimate the amount of solar radiation encourage the development of cheaper and easily accessible methods or devices. In this thesis, the usability of LDR's, light sensors of smartphones and phototransistors in solar radiation measurement were investigated. The results showed that the average error in solar radiation measurements made with smartphone was 23.76%. It was observed that this rate increased to 39.51% below the value of 168 W/m², and decreased to 6.03% above it. In the solar radiation measurements made with LDR, the average error was determined as 6.4%, it was observed that this rate decreased to 4.66% below the value of 152 W/m², and increased to 11.61% above it. Therefore, it was determined that the accuracy of LDR was higher among these two methods. These results showed that both light sensors of smartphones and LDR's can be used as an alternative, inexpensive and simple method for solar radiation measurement, but LDR is a more suitable sensor with higher accuracy. It was considered that the usage of phototransistors as a solar radiation measurement sensor was not suitable due to the inability to establish a clear relationship between the voltage data obtained from the phototransistor and the solar radiation data during the calibration phase. It is recommended that more investigations be done on this field.

Keywords: Smartphone, LDR, Phototransistor, Solar Radiation, Alternative, Measuring

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan ÖZCAN başta olmak üzere, Arş. Gör. Fevzi ŞAHİN'e, Arş. Gör. Gürkan KARA'ya, Teknisyen Erdal ÇULHA'ya, değerli arkadaşlarım Mak. Müh. Ahmet Rasim GİRİŞEN'e, Mak. Müh. Şefik FELEK'e, Arbil Enerji Arge Yazılım A.Ş.'ye, çalışmam boyunca bana her türlü desteği sağlayan babam Mehmet TATLI'ya, annem Sevgi TATLI'ya ve kardeşim Hakan TATLI'ya teşekkürü bir borç bilirim. *Rahmetli dedem Ali TATLI'ya sevgilerle.*

Harun TATLI

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yenilenebilir Enerji.....	3
1.2. Güneş ve Güneş Enerjisi.....	4
1.2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri.....	7
1.2.2. Güneş Radyasyonu (Solar Radyasyon).....	9
1.2.3. Güneş Radyasyonu Ölçümü.....	12
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	16
3. MATERYAL VE METOD.....	21
3.1. Aydınlanma Şiddeti	22
3.2. LDR (Fotodirenç).....	25
3.3. Fototransistör	26
3.4. Ölçüm Düzeneği	27
3.5. Regresyon Analizi ve Kalibrasyon	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Akıllı Telefon İle Yapılan Ölçümler.....	30
4.2. LDR Kullanılarak Yapılan Ölçümler.....	35
4.3. Fototransistör Kullanılarak Yapılan Ölçümler.....	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TCETKB	: Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IEA	: International Energy Agency
TTMD	: Türk Tesisat Mühendisliği Derneği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
PV	: Photovoltaic
CPV	: Concentrated Photovoltaic
CSP	: Concentrated Solar Power
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
MPA	: Çoklu Piranometre Dizisi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ANFIS	: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems
RMSE	: Root Mean Squared Error
MBE	: Mean Bias Error
MSE	: Mean Squared Error
RS	: Cihaz Duyarlılığı
LDR	: Light Dependent Resistor
K	: Kelvin
H	: Hidrojen
He	: Helyum
E	: Enerji
m	: Kütle
c	: Işık hızı
kJ	: Kilo joule
MW	: Mega watt
W	: Watt
m	: Metre
nm	: Nano metre
ϕ	: Enlem açısı
δ	: Deklinasyon açısı
ω	: Saat açısı

θ_z	: Güneş zenit açısı
α	: Güneş yükseklik açısı
ψ	: Güneş azimut açısı
MJ	: Mega joule
R	: Korelasyon katsayısı
Ω	: Ohm
lx	: Lux
mV	: Mili volt
λ	: Dalga boyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

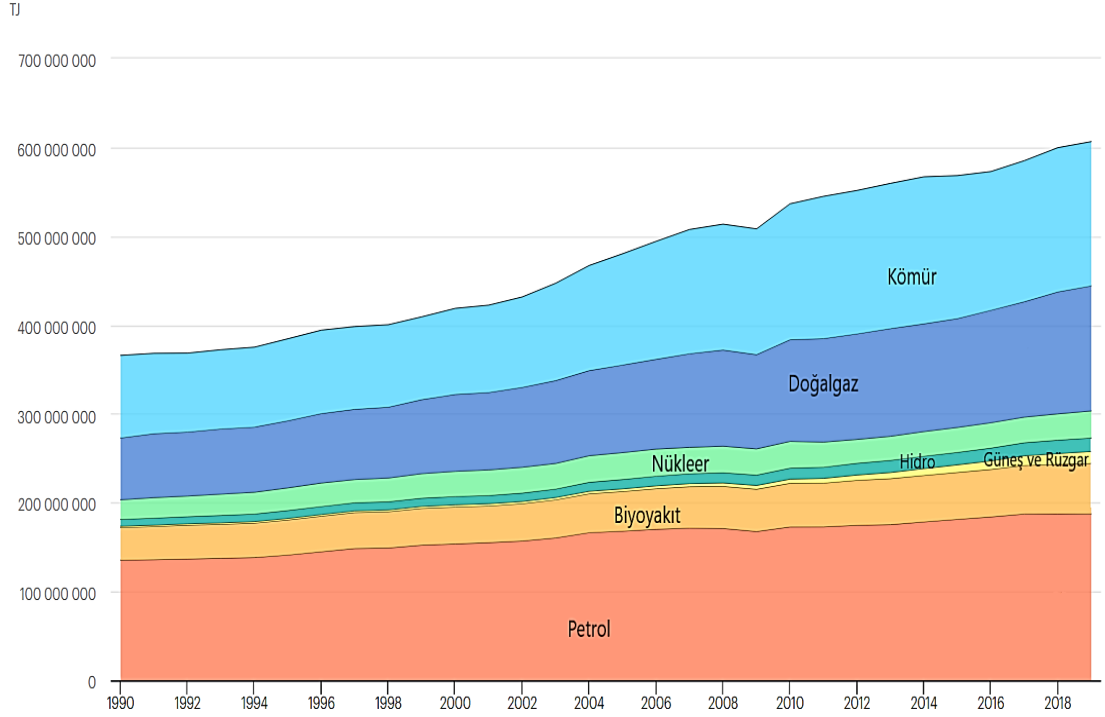
Şekil 1.1. Kaynağına göre dünya toplam enerji arzının yıllara göre değişimi (IEA, 2021)	1
Şekil 1.2. Kaynağına göre dünyada üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişimi (IEA, 2021)	2
Şekil 1.3. Kaynağına göre CO ² emisyonunun yıllara göre değişimi (IEA, 2021)	3
Şekil 1.4. Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel görünümü	3
Şekil 1.5. Yenilenebilir enerji türlerine (yanmaz) göre elektrik üretimindeki değişim (IEA, 2021)	4
Şekil 1.6. Güneşi oluşturan katmanlar (Kurt, 2021)	5
Şekil 1.7. Güneş enerjisinin yansıtılma ve soğurulma yüzdeleri (TTMD, 2021)	6
Şekil 1.8. Dünya güneş enerjisi potansiyeli atlası (Solargis, 2020)	6
Şekil 1.9. Güneş enerjisi sistemlerinin genel görünümü	7
Şekil 1.10. a) PV Güneş Enerjisi Sistemi b) CPV Güneş Enerjisi Sistemi	8
Şekil 1.11. a) Parabolik Oluk Sistem b) Parabolik Çanak Sistem c) Merkez Alıcılı Sistem d) Fresnel Sistem (Mohammadi, vd., 2019)	8
Şekil 1.12. Direkt ve difüz (yaygın) güneş radyasyonları	9
Şekil 1.13. Güneş radyasyonu spektrumu	9
Şekil 1.14. Temel güneş açıları	10
Şekil 1.15. Türetilmiş güneş açıları	11
Şekil 1.16. Kipp ve Zonen CMP11 Piranometre (Kipp ve Zonen, 2022a)	12
Şekil 1.17. Kipp ve Zonen SP Lite2 Piranometre (Kipp ve Zonen, 2022b)	13
Şekil 1.18. Fotovoltaik Piranometre (Soluzione Solare, 2022)	13
Şekil 1.19. Difüz güneş radyasyonu için uygulanan gölgeleme yöntemi (Durak, 2016)	14
Şekil 1.20. Pirheliyometre (İbrahim, 2011)	15
Şekil 3.1. Referans cihaz kabul edilen ve güneş radyasyonu ölçümlerinde kullanılan solar metre	22
Şekil 3.2. Aydınlanma şiddeti ölçümlerinde kullanılan Huawei P Smart akıllı telefon	23
Şekil 3.3. MIT App Inventor ortamında aydınlanma şiddeti ölçümü için mobil uygulama oluşturulması	23
Şekil 3.4. Aydınlanma şiddeti ölçümü için MIT App Inventor ortamında oluşturulan mobil uygulamanın blok şeması	23
Şekil 3.5. Aydınlanma şiddeti ölçümü için oluşturulan mobil uygulamanın arayüzü	24
Şekil 3.6. Akıllı telefonun ışık sensörünün üzerine difüzörün yerleştirilmesi	24
Şekil 3.7. a) LDR'nin yapısı b) LDR'nin sembolü c) LDR (Özçelik, 2017)	25
Şekil 3.8. Direnç ölçümü için sensör olarak kullanılan 11 mm LDR	26
Şekil 3.9. LDR'nin direnç değişimlerini okumak için kullanılan multimetre	26
Şekil 3.10. Bir fototransistör (sağda) ve devredeki sembolü (solda) (Özçelik, 2017)	26
Şekil 3.11. Ölçümlerde sensör olarak kullanılan BPW77 NB 109 fototransistör	27
Şekil 3.12. Ölçüm düzeneği	28
Şekil 3.13. Tekli lineer regresyonun grafiği ve değişkenler arasındaki ilişki denklemi	29
Şekil 4.1. Güneş radyasyonu ve aydınlanma şiddetinin değişimleri	30
Şekil 4.2. Difüzörsüz durumda aydınlanma şiddeti-güneş radyasyonu veri dağılımı	31
Şekil 4.3. Difüzörlü durumda aydınlanma şiddeti-güneş radyasyonu veri dağılımı	31
Şekil 4.4. Akıllı telefon ile güneş radyasyonu ölçümü için MIT App Inventor ortamında oluşturulan mobil uygulamaya ait blok şeması	32
Şekil 4.5. Güneş radyasyonu ölçümü için oluşturulan akıllı telefon uygulaması arayüzü	32
Şekil 4.6. Kontrol ölçümü sonucunda her iki cihazla ölçülen güneş radyasyonu verilerinin değişimi	34
Şekil 4.7. Elektromanyetik Spektrum (Wikipedia, 2012)	35
Şekil 4.8. Güneş radyasyonu ve direncin değişimleri	36
Şekil 4.9. Ölçülen direnç-güneş radyasyonu veri dağılımı	36
Şekil 4.10. Doğal logaritmalari alınmış direnç-güneş radyasyonu veri dağılımı	37
Şekil 4.11. Kontrol ölçümleri sonucunda hesaplanan ve referans cihaz ile ölçülen güneş radyasyonunun değişimi	39
Şekil 4.12. Güneş radyasyonu ve voltaj değişimleri	40
Şekil 4.13. Ölçülen voltaj-güneş radyasyonu verilerinin dağılımı	41

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Piranometrelerin karşılaştırılması (Shenoy, vd., 2018).....	14
Tablo 4.1. Kontrol ölçümüne ait akıllı telefon ve referans cihazdan alınan güneş radyasyonu verileri	33
Tablo 4.2. Kontrol ölçümleri sonucunda hesaplanan ve referans cihaz ile ölçülen güneş radyasyonu verileri	38

1. GİRİŞ

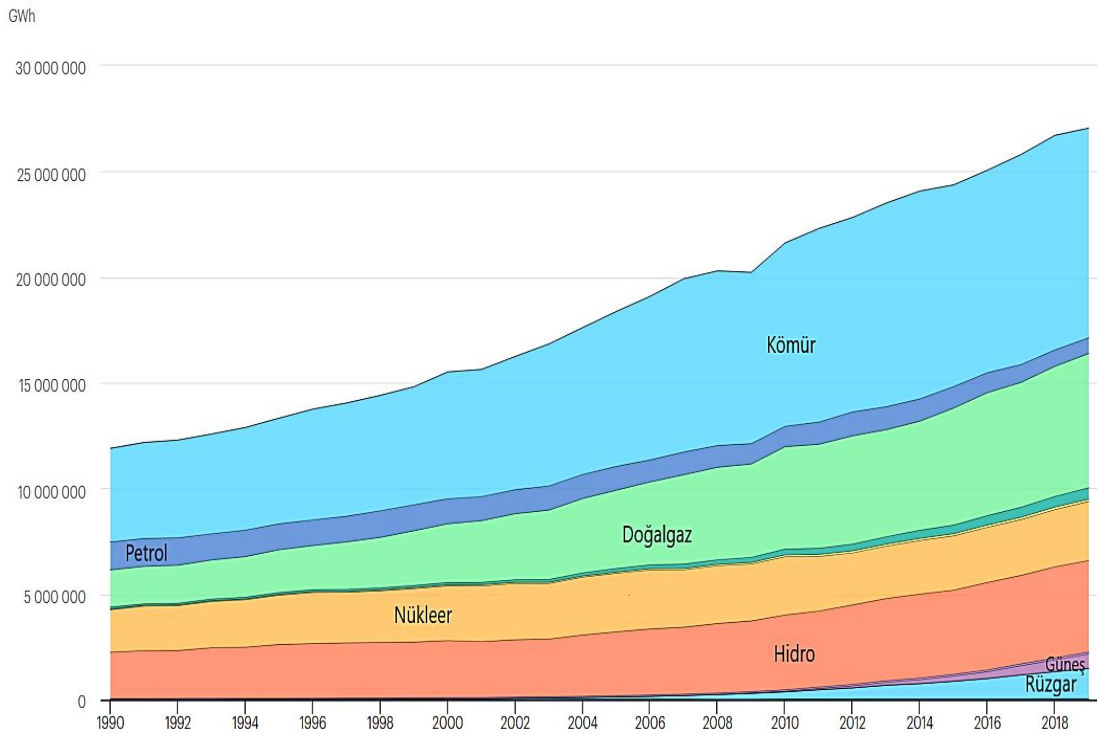
18. yüzyılın ikinci yarısında başlayan sanayi devrimi ile küresel endüstri dolayısıyla küresel ekonominin en önemli unsuru enerji olmuştur. Sanayi devriminin başlamasından günümüze kadar ki geçen sürede artan nüfusa bağlı olarak değişen ve gelişen üretim yöntemleri, artan makinalaşma gibi faktörlerden dolayı enerjiye olan bağımlılık ve ihtiyaç Şekil 1.1’de görüldüğü üzere artmıştır (Kaygusuz, 2012).



Şekil 1.1. Kaynağına göre dünya toplam enerji arzının yıllara göre değişimi (IEA, 2021)

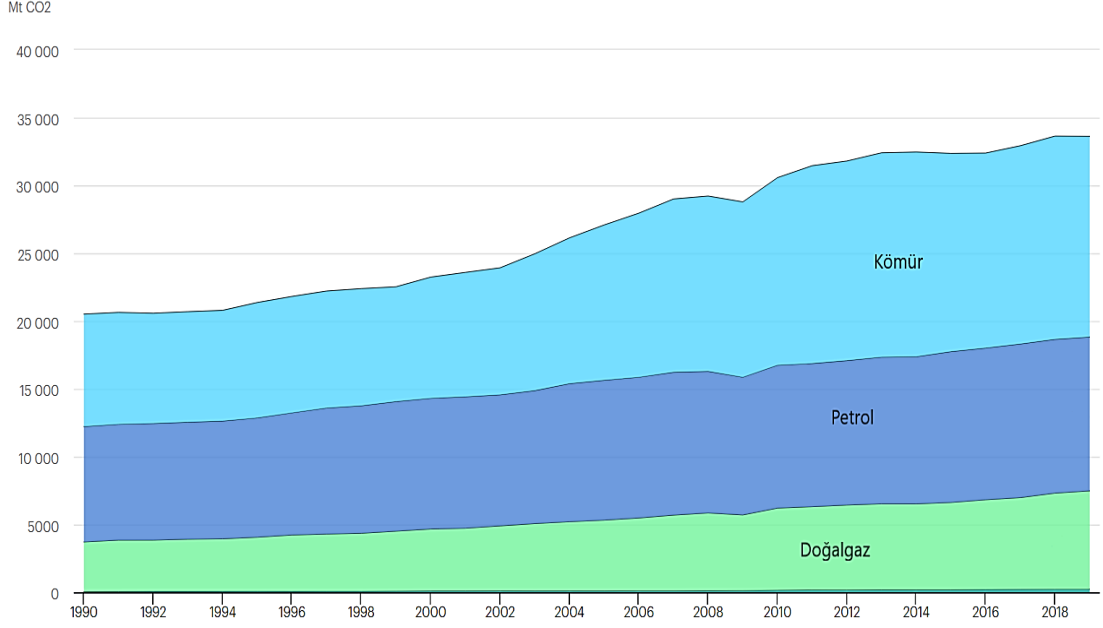
İhtiyaç duyulan bu enerjinin tamamı nükleer enerji ve yenilenebilir enerji çeşitlerinin kullanımına kadar geçen sürede fosil yakıtlardan (Petrol, Kömür, Doğalgaz) karşılanmıştır (Özmen, vd., 2020; Zou, vd., 2016). Fosil yakıtlar, elektrik makinalarının icadından önce genellikle su buharı üretimini sağlamak amacıyla kullanılmış, üretilen su buharı sayesinde de son ürün olarak mekanik enerji üretilerek iş yapan makinalar ortaya çıkmıştır. Elektrik makinalarının icadıyla endüstriyel ve sosyal alanda elektrik enerjisi kullanımı hızla artmış, elektrik enerjisi üretimi birinci öncelik haline gelmiştir (Şekil 1.2). Hidrolik Enerji-Mekanik Enerji- Elektrik Enerjisi dönüşümünü sağlamak amacıyla dünyanın çeşitli bölgelerinde hidroelektrik santraller kurulmuş fakat zamanla artan talep karşılanamamıştır. Bu talebi karşılama adına fosil yakıtlarla çalışan termik santraller ortaya çıkmıştır.

Termik santraller özünde bir buhar makinası olup, yakılan fosil yakıtlardan ortaya çıkan sıcaklıkla beraber suyun buhar haline getirilmesi, elde edilen su buharının bir türbini (jenaratör) döndürmek suretiyle elektrik enerjisi elde edilmesi prensibine dayanır. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtların verimlerinin yeteri düzeyde olmaması ve fosil yakıt rezervleri olmayan veya yetersiz olan devlet ekonomilerine sürekli bir yük olması alternatif enerji arayışına sebep olmuş, bunun sonucunda hayatımıza II. Dünya savaşından sonra giren nükleer enerjiyi kullanan nükleer enerji santralleri kurularak kullanılmaya başlanmıştır (Bekar, 2020).



Şekil 1.2. Kaynağına göre dünyada üretilen elektrik miktarının yıllara göre değişimi (IEA, 2021)

20. yüzyılın üçüncü çeyreğinin sonlarına kadar küresel enerji ihtiyacı çoğunlukla petrol, kömür, doğalgaz gibi sonlu enerji kaynakları ve nükleer enerji ile karşılanmış olup 1973 yılında yaşanan birinci petrol kriziyle bu kaynakların stratejik önemi anlaşılmış, bütünüyle konvensiyonel yakıtlara alternatif enerji kaynakları arayışı hız kazanmıştır. Bu arayış sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını sağlayacak teknolojiler geliştirilmiş ve 2000'li yılların başından itibaren dünya elektrik üretiminde özellikle güneş ve rüzgar enerjileri pay sahibi olmaya başlamıştır (Şekil 1.2). Bu dönemden sonra ülkeler kendi enerjilerini üretme yolunda çalışmalar başlatmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim genel anlamda artarak devam etmiştir (Alper, 2018; Lund, 2009).



Şekil 1.3. Kaynağına göre CO² emisyonunun yıllara göre değişimi (IEA, 2021)

Öteyandan 21. yüzyılın başlarına gelindiğinde fosil yakıt kaynaklı CO² gazının (Şekil 1.3) ve nükleer enerjinin çevreye olan olumsuz etkileri daha iyi anlaşılmiş ve bu etkilerin gözle görülebilir düzeyde arttığı farkedilmiştir (TÜİK, 2021; TCETKB, 2021). Fosil yakıt ve nükleer enerji kullanımının ortaya çıkardığı insan ve dünya yaşamı açısından son derece zararlı etkiler bu enerji kaynaklarının güvenilirliğini sarsmış alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını gerekli hale getirmiştir (Yılmaz ve Can Özic, 2018).

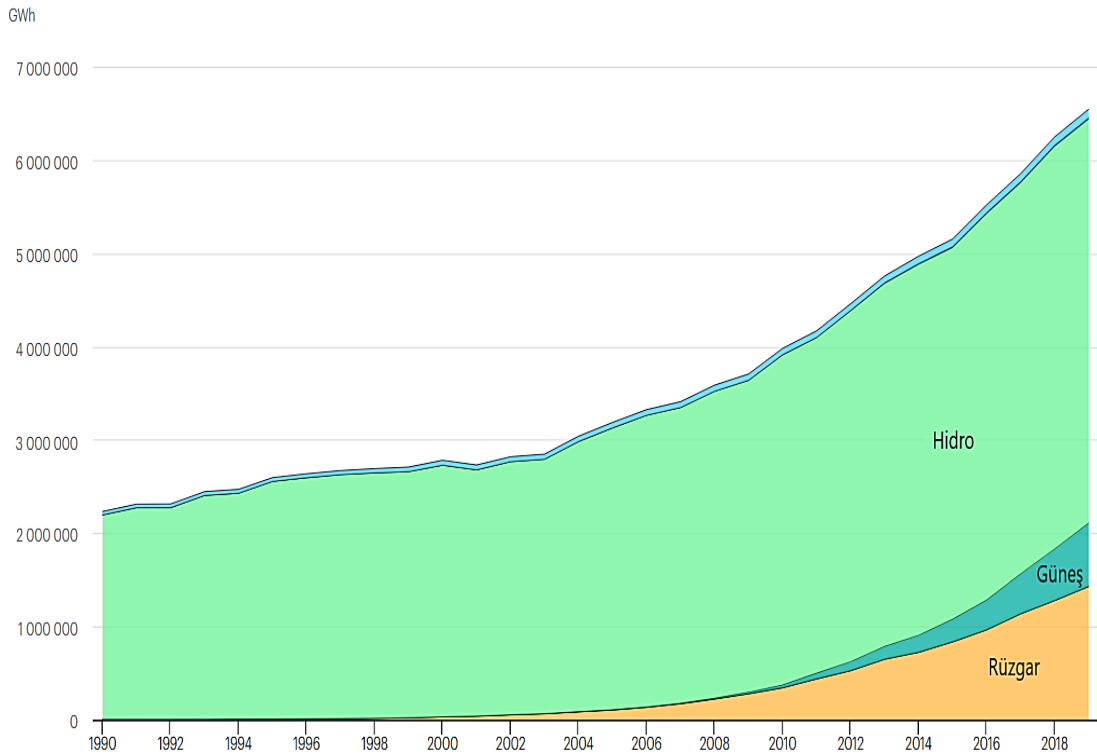
1.1. Yenilenebilir Enerji

Doğal kaynaklardan elde edilebilen ve doğa tarafından daimî olarak takviye edilebilen enerjiye Yenilenebilir Enerji denir. Yenilenebilir enerji kaynakları; Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Hidrolik Enerji, Jeotermal Enerji, Deniz Akımları Enerjisi ve Biyokütle Enerjisi olmak üzere altı ana başlıkta incelenir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel görünümü

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıt kaynaklı enerji ve nükleer enerjiye göre insan ve dünya yaşamına zararları çok daha az ve sürekliliği olan enerji kaynaklarıdır (Koç, vd., 2018). Bu enerji kaynaklarının en önemli dezavantajları yatırım maliyetlerinin yüksek, verimlerinin göreceli olarak düşük olmasıdır. Bu sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıt kaynaklı enerji ile rekabet etmekte zorlanmaktadır. Buna rağmen dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ve bu kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi Şekil 1.5'te görüldüğü üzere artmaktadır (IEA, 2020).



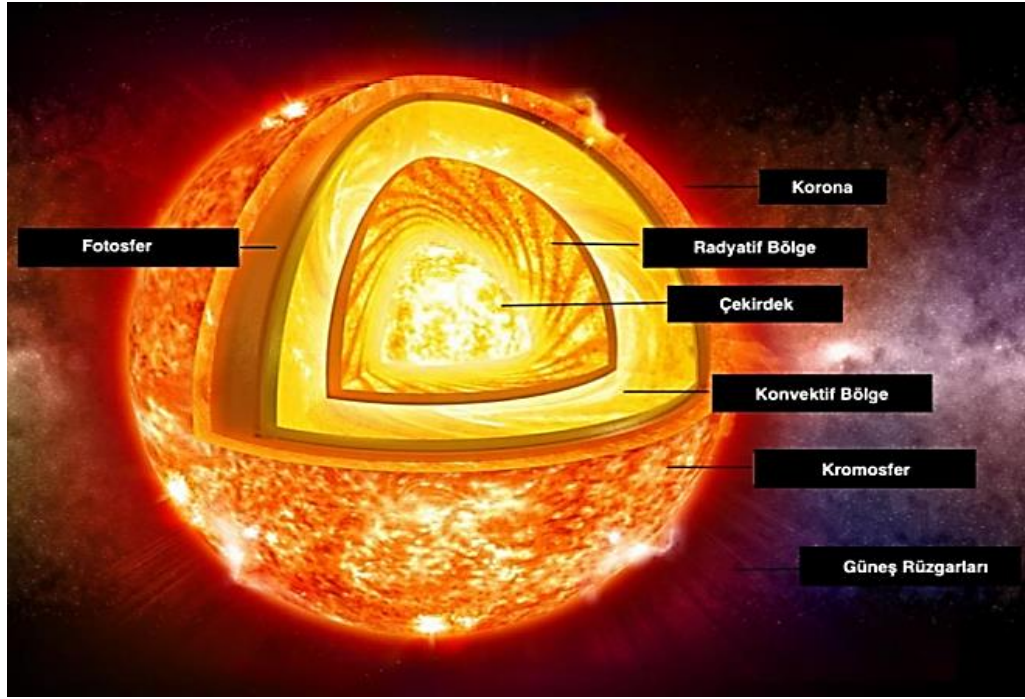
Şekil 1.5. Yenilenebilir enerji türlerine (yanmaz) göre elektrik üretimindeki değişim (IEA, 2021)

Bu artışın sebeplerinden biri, ihtiyaç duyduğu enerjiyi ithal ederek karşılamaya çalışan ülkelerin dışa bağımlılıklarını ortadan kaldırmaya, fosil yakıt ve nükleer enerjinin olumsuz etkilerini azaltmaya çalışmalarıdır (Bekar, 2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artmasının bir diğer sebebi de bu teknolojilere olan ilginin artması ve kullanımının yaygınlaşmaya başlamasıdır.

1.2. Güneş ve Güneş Enerjisi

Güneş, Güneş Sistemi'nin merkezinde bulunan orta büyüklükte bir yıldızdır (Wikipedia, 2021a). Yüzey sıcaklığı yaklaşık 5780 K olan güneş, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi merkezinden dışarı doğru; çekirdek, radyatif bölge, konvektif bölge,

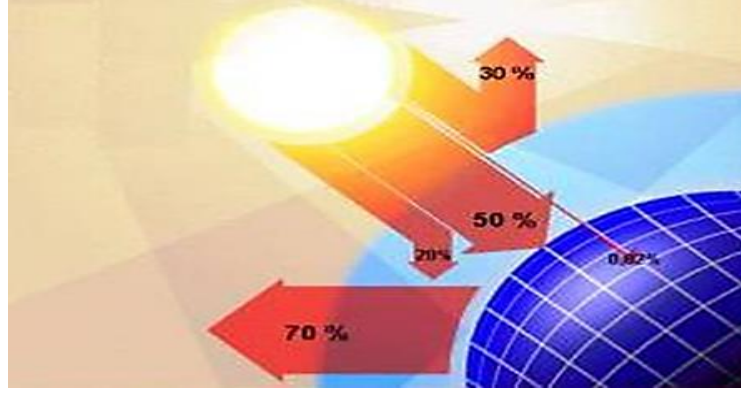
fotosfer, kromosfer, korona ve güneş rüzgarları katmanlarından oluşmaktadır (Kurt, 2021).



Şekil 1.6. Güneşi oluşturan katmanlar (Kurt, 2021)

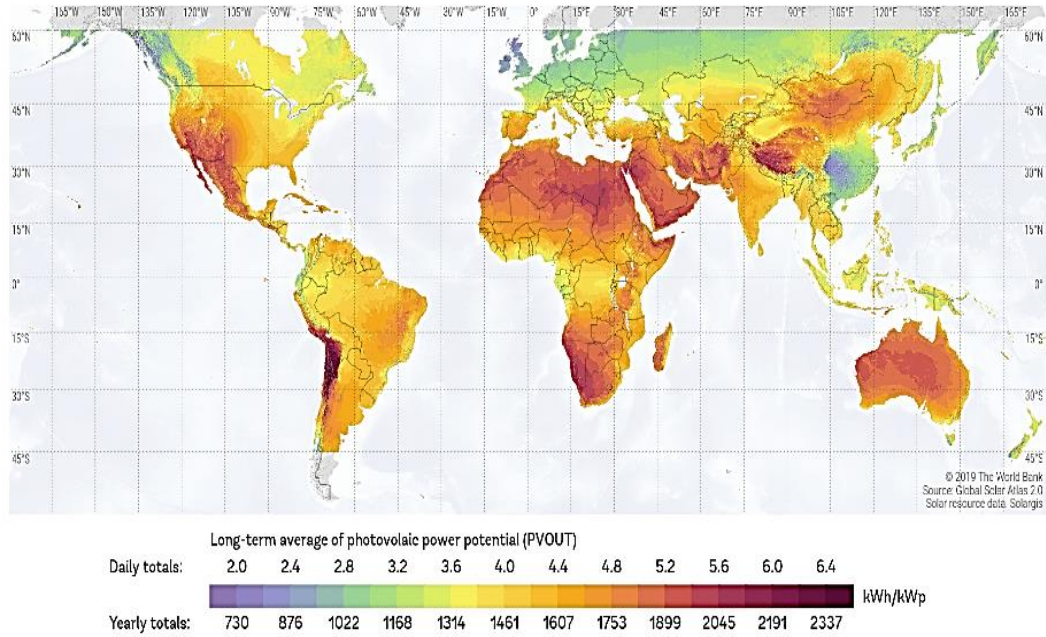
Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en temel ve kullanımını en yaygın enerji çeşididir.

Güneş enerjisi, güneşte meydana gelen bir tür birleşme tepkimesi olan füzyon olayının sonucu olarak ortaya çıkar. Güneş, %90 Hidrojen (H) ve %10 Helyumdan (He) oluşmaktadır (Yiğit ve Atmaca, 2018). Füzyon olayında dört Hidrojen atomu yüksek sıcaklıklarda birleşerek bir Helyum atomunu oluştururlar. Bu olay Güneşte saniyede 564 milyon ton Hidrojeni 560 milyon ton Helyuma dönüştürür, aradaki 4 milyon tonluk kütle farkı ise (Einstein'ın kütle-enerji eşitliğine göre $E=mc^2$) 38×10^{22} kJ'lük ısı ve ışık enerjisine dönüşür, güneşten uzaya saçılır. Saçılan bu enerjinin 1.7×10^{11} MW'lık kısmı dünyaya gelir (Öztürk, 2013). Ancak gelen enerjinin yaklaşık %50'si dünya yüzeyine ulaşır, %30'u geri yansıtılır ve %20'si dünya atmosferi tarafından soğurulur (Şekil 1.7). Dünya atmosferinin dış yüzeyinde bir metrekare alana dik gelen güneş enerjisi saniyede 1367 W/m^2 değerindedir (Öztürk, 2013). Bu değer yıl boyunca değişmediği kabul edilir ve güneş sabiti olarak adlandırılır. Bu değer dünya yüzeyinde $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişir, yani dünya yüzeyindeki her bir noktanın güneşten aldığı güneş enerjisi miktarı farklıdır.



Şekil 1.7. Güneş enerjisinin yansıtılma ve soğurulma yüzdeleri (TTMD, 2021)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının birçoğunun ortaya çıkmasının sebebi güneştir. Güneş yaydığı ısı ve ışık enerjisi ile dünyamız ekosistemindeki birçok doğa olayını tetikler ve bu enerjilerden dolayı veya direkt olarak faydalanmamıza olanak sağlar. Güneş ısısından kaynaklı dünyada oluşan sıcaklık farkları neticesinde rüzgar ve deniz akımları enerjisini kullanarak elektrik enerjisi, güneş ısısı ve ışığından direkt olarak ısı ve elektrik enerjisi elde edilir. Güneş enerjisinin kullanılmasında ki amaç ısı veya elektrik enerjisi elde etmektir. Bu enerjilerin üretiminde doğrudan (direkt) veya dolaylı güneş enerjisi uygulamaları kullanılır. Güneş enerjisini kullanarak enerji üreten sistemler, fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri (PV), yoğunlaştırılmalı fotovoltaik sistemler (CPV) ve yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi sistemleri (CSP) olmak üzere üç grupta incelenir.

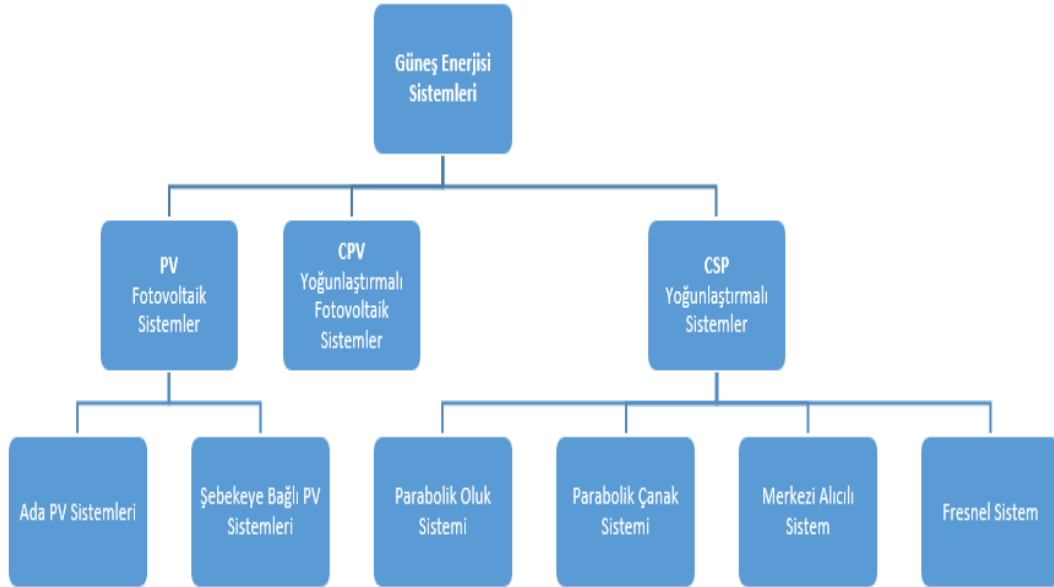


Şekil 1.8. Dünya güneş enerjisi potansiyeli atlası (Solargis, 2020)

Güneş enerjisi miktarı sadece dünya atmosferinin dış yüzeyine sabit olarak 1367 W/m² değerinde gelir ve toplamı Global Güneş Radyasyonu olarak adlandırılır. Bu değer dünya yüzeyinde değişkenlik göstermektedir (Şekil 1.8). Hal böyle olunca dünya yüzeyinde bahsi geçen güneş enerjisi sistemlerini kurmak için yer seçimi kaçınılmaz olmuştur ve bu yer seçiminin en sağlıklı şekilde yapılmasını sağlamak amacıyla da yeryüzüne düşen global güneş radyasyonu miktarını tahmin edebilen matematiksel modeller ve ölçmemize olanak sağlayan cihazlar geliştirilmiştir.

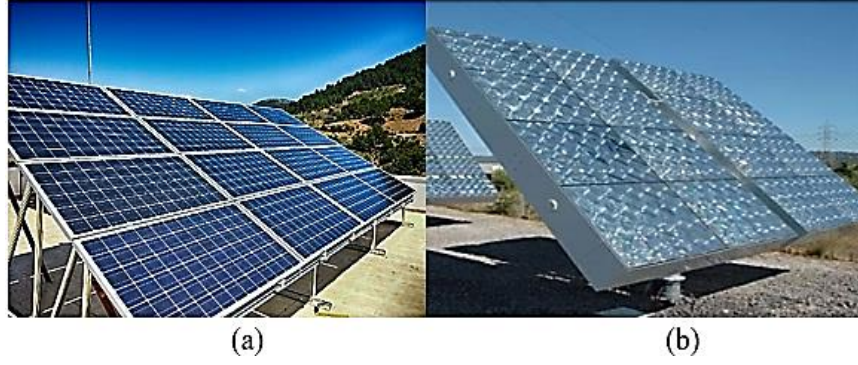
1.2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri

Dünya yüzeyine gelen güneş enerjisini (güneş radyasyonunu) kullanmak amacıyla bir çok farklı güneş enerjisi sistemi geliştirilmiştir (Acaroğlu, 2013). Güneş enerjisini direkt veya dolaylı bir şekilde kullanan bu sistemler Şekil 1.9’da gösterildiği gibi; Fotovoltaik (PV), Yoğunlaştırılmalı Fotovoltaik (CPV) ve Yoğunlaştırılmalı Güneş Enerjisi Sistemleri (CSP) olmak üzere üç ana başlıkta incelenir.



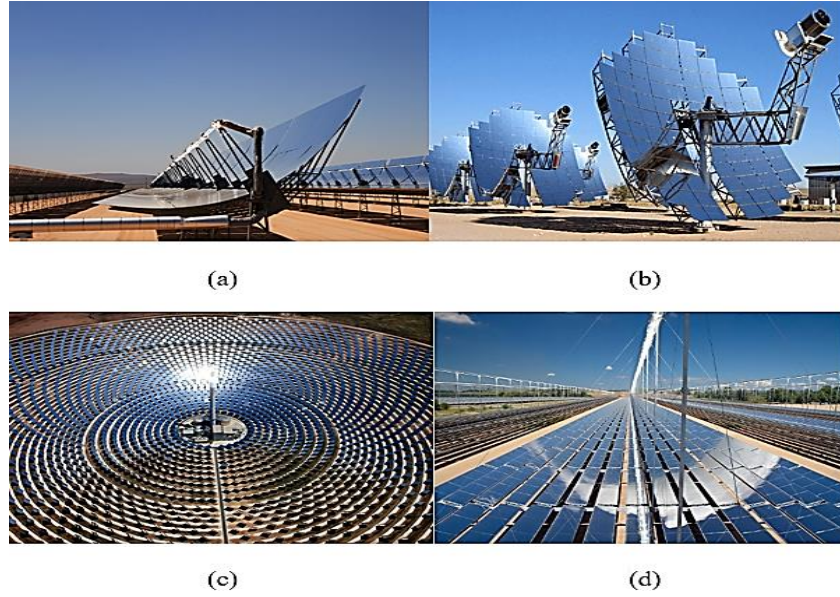
Şekil 1.9. Güneş enerjisi sistemlerinin genel görünümü

Şekil 1.10’da gösterilen PV ve CPV sistemler güneş enerjisinden direkt olarak faydalanmamızı sağlayan güneş enerjisi sistemleridir (Garip, 2021). Temelinde fotoelektrik olaya dayanan bu sistemler, üzerlerine düşen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler. PV sistemler geniş alanlara kurulan Ada PV Sistemleri ve Şebekeye Bağlı PV Sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. CPV sistemler ise güneş enerjisinden daha fazla yararlanmayı sağlayan sistemlerdir. Amaçları birim alana düşen güneş enerjisi miktarını artırarak daha fazla elektrik enerjisi üretmektir.



Şekil 1.10. a) PV Güneş Enerjisi Sistemi b) CPV Güneş Enerjisi Sistemi

Şekil 1.11’de gösterilen CSP güneş enerjisi sistemleri güneş enerjisinden direkt ısı enerjisi ve dolaylı olarak elektrik enerjisi üretimini sağlayan sistemlerdir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanan bu sistemler Parabolik Oluk, Parabolik Çanak, Fresnel ve Merkez Alıcılı Sistemler olmak üzere dörde ayrılırlar (Mohammadi, vd., 2019).



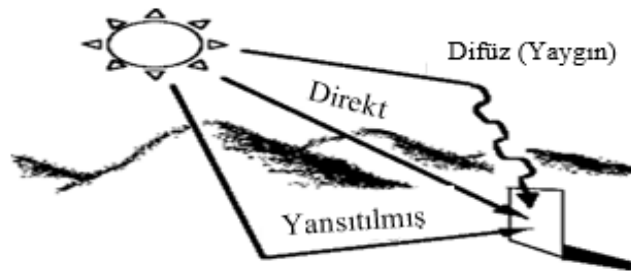
Şekil 1.11. a) Parabolik Oluk Sistem b) Parabolik Çanak Sistem c) Merkez Alıcılı Sistem d) Fresnel Sistem (Mohammadi, vd., 2019)

Parabolik oluk, merkez alıcılı ve fresnel sistemlerin amacı içinden akışkan geçen alıcı kısımları yoğunlaştırılmış güneş enerjisine maruz bırakarak akışkanın yüksek sıcaklıklara çıkmasını sağlamaktır. Daha sonra yüksek sıcaklıktaki bu akışkan sıcaklığını ısı değiştiricilerinde suya aktararak suyun kızgın buhar haline gelmesini sağlar. Üretilen kızgın su buharını da bir buhar türbininden geçirmek suretiyle elektrik enerjisi üretilir. Parabolik çanak sistemi ise yapısında bulundurduğu Stirling motor içerisindeki gaz akışkanı yüksek sıcaklığa maruz bırakarak motorun çalışmasını ve

dolayısıyla motora bağlı jeneratörün çalışmasını sağlayarak elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirmektedir.

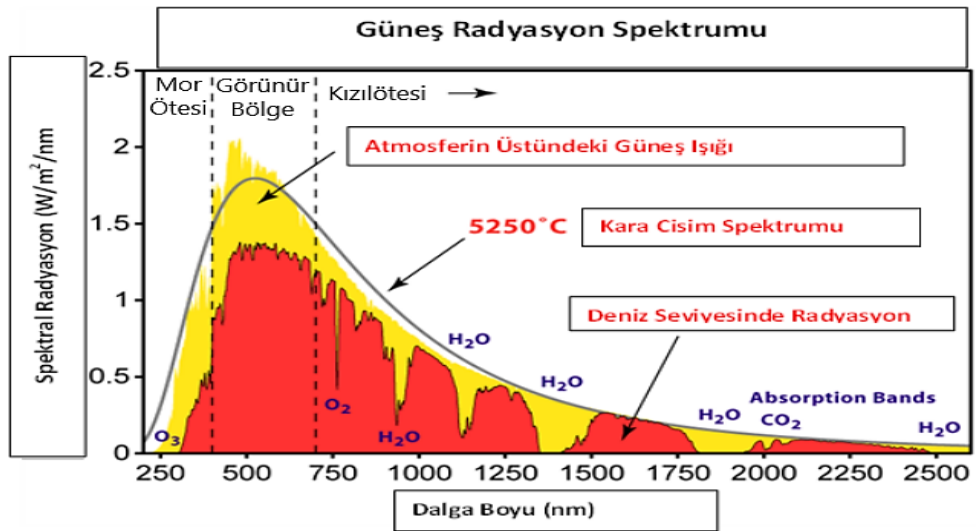
1.2.2. Güneş Radyasyonu (Solar Radyasyon)

Güneşten saçılarak dünyamıza gelen ışınlara Güneş Radyasyonu denir. Dünya atmosferinin dış yüzeyinde 1 m² alana dik gelen güneş radyasyonu miktarı saniyede 1367 W/m² değerindedir ve bu değer yıl boyunca değişmediği kabul edilir (Öztürk, 2013).



Şekil 1.12. Direkt ve difüz (yaygın) güneş radyasyonları

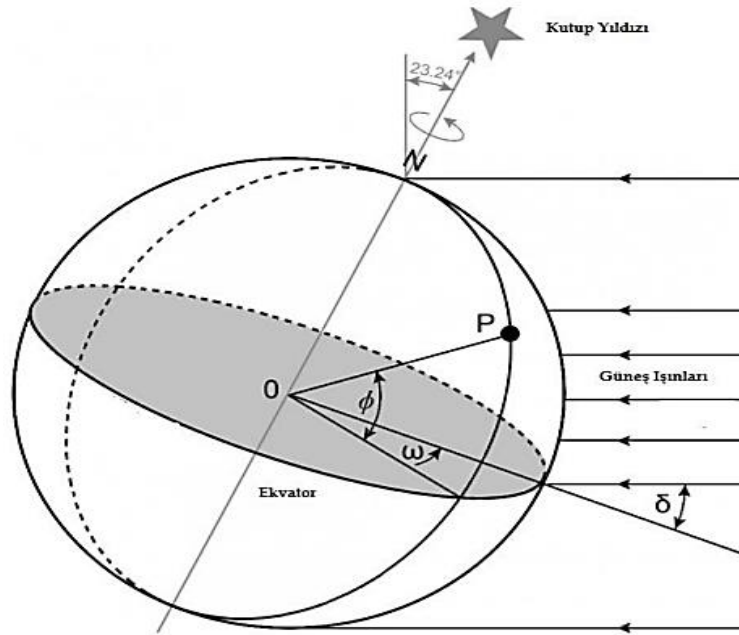
Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonu direkt ve difüz radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 1.12). Güneşten çıkıp dünya atmosferinde kırılmadan yeryüzüne ulaşan radyasyona Direkt Radyasyon; bulut, havadaki partiküller ve yeryüzü şekilleri gibi etmenler sebebiyle kırılarak dünya yüzeyine ulaşan radyasyona ise Difüz Radyasyon denir. Global Radyasyon, bu iki tip radyasyonun toplamı olarak ifade edilir ve birim alana düşen toplam güneş radyasyonu miktarını gösterir. Birimi W/m²'dir.



Şekil 1.13. Güneş radyasyonu spektrumu

Dünya yüzeyine ulaşan ve güneş radyasyonu olarak adlandırılan güneş ışınları bir çok dalga boyuna sahiptir. Şekil 1.13'te gösterilen güneş radyasyonu spektrumunda görüldüğü gibi bu dalga boylarından en yüksek enerjiye sahip olanları görünür bölgeyi de içine alan 300-1100 nm dalga boyu aralığında olan ışınlardır.

Güneş radyasyonu miktarı dünya yüzeyinde çeşitli sebeplerden dolayı değişkenlik göstermektedir. Dünya yüzeyindeki bazı bölgelerde güneş radyasyonu fazla iken bazı bölgelerde azdır. Güneş enerjisi sistemleri tasarlanırken veya kurulumu gerçekleştirilirken o bölgeye gelen güneş radyasyonu miktarından maksimum seviyede yararlanma hedeflenir. Bu hedef doğrultusunda dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri de güneş açılarıdır. Güneş enerjisinden maksimum seviyede yararlanmak için güneş açılarının tamamı optimum düzeyde olmalıdır (Şenpınar, 2006). Güneş açıları Temel ve Türetilmiş Güneş Açıları olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 1.14'te gösterilen temel güneş açıları; enlem açısı (ϕ), deklinasyon açısı (δ) ve saat açısı (ω) olmak üzere üçe ayrılır.



Şekil 1.14. Temel güneş açıları

Enlem açısı (ϕ), dünya yüzeyindeki herhangi bir noktayı dünya merkezi ile birleştiren doğrunun ekvator düzlemi ile arasındaki açıdır ve -90° ile $+90^\circ$ arasında bir değer alır.

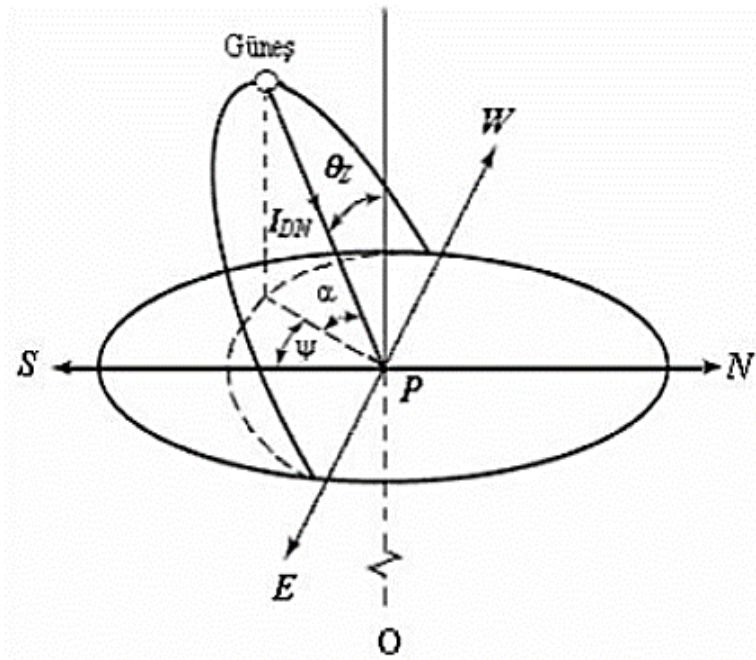
Deklinasyon açısı (δ), dünya yüzeyine gelen güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. $-23,45^\circ$ ve $+23,45^\circ$ değerleri arasında değişen deklinasyon açısı

ekinoks tarihlerinde 0° olmaktadır. n gün sayısı olmak üzere deklinasyon açısı Denklem (1.1) ile hesaplanmaktadır (Cooper, 1969; Duffie ve Beckman, 2013).

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (1.1)$$

Saat açısı (ω), öğlen öncesi negatif ve öğlen sonrası pozitif değer alır, zamanın açısal ölçüsüdür. 1 saat 15° boylama eşittir.

Şekil 1.15'te gösterilen türetilmiş güneş açıları; güneş zenit açısı (θ_z), güneş yükseklik açısı (α) ve güneş azimut açısı (ψ).



Şekil 1.15. Türetilmiş güneş açıları

Güneş zenit açısı (θ_z), güneş ışınları ile P noktasının bulunduğu yatay düzlemin normali arasındaki açıdır. Güneş zenit açısı, Denklem (1.2) kullanılarak hesaplanır.

$$\cos\theta_z = \sin\delta \cdot \sin\phi + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega \quad (1.2)$$

Güneş yükseklik açısı (α), yeryüzüne düşen güneş ışınları ile bu ışınların yatay düzlemdeki izdüşümleri arasındaki açıdır. Güneş yükseklik açısı, Denklem (1.3) kullanılarak hesaplanır.

$$\alpha = \sin^{-1}(\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi) \quad (1.3)$$

Güneş azimut açısı (ψ), yatay düzlemde tam güney doğrultusu ile güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açıdır.

1.2.3. Güneş Radyasyonu Ölçümü

Herhangi bir bölgeye güneş enerjisi sistemleri kurulmadan önce o bölgeye düşen güneş radyasyonu miktarının bilinmesi gerekir, çünkü güneş radyasyonu güneş enerjisi kullanım yöntemlerini belirleyen en önemli parametredir. Güneş radyasyonu miktarının bilinmesi kurulu olan güneş enerjisi sistemlerinde verim hesabı, uydu ölçümlerini doğrulama, güneş radyasyonu dağılımının ve varyasyonunun analizi gibi konularda bize yardımcı olur (Olano, vd., 2014).

Dünya yüzeyinde güneş radyasyonu ölçümleri; global güneş radyasyonu, difüz (yaygın) güneş radyasyonu ve direkt güneş radyasyonu için ayrı ayrı yapılabilmektedir.

Global güneş radyasyonunu ölçen cihazlara Piranometre denir. Piranometreler genellikle bulundukları sensör türüne bağlı olarak üç gruba ayrılırlar. Bunlar; Termopil Piranometreler, Fotodiyot Piranometreler ve Fotovoltaik Piranometrelerdir.

Termopil piranometre, güneş radyasyonu akı yoğunluğunu ölçmek için tasarlanmış termopillere dayalı bir güneş radyasyonu ölçüm aletidir. Bu piranometreler 300 nm ile 2800 nm ışık dalga boyu aralığında ölçüm yapabilirler. Güneş radyasyonu, güneşe maruz kalan siyah kısımların sıcaklığı ile güneşe maruz kalmayan beyaz kısımların sıcaklığı arasındaki fark ölçümünden hesaplanır. Güneş radyasyonu bu iki alanın arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır (Shenoy, vd., 2018). Şekil 1.16'da gösterilen Kipp ve Zonen CMP11 Piranometre bu tür ölçüm yapan bir piranometre çeşididir.



Şekil 1.16. Kipp ve Zonen CMP11 Piranometre (Kipp ve Zonen, 2022a)

Fotodiyot piranometre, Silikon piranometre olarak da adlandırılır. Fotodiyot, güneş ışınlarını fotoelektrik etki yöntemiyle akıma dönüştürerek güneş radyasyonunun ölçülmesini sağlar. 400 nm ile 1100 nm ışık dalga boyu aralığında ölçüm yapabilirler (Shenoy, vd., 2018). Şekil 1.17’de gösterilen Kipp ve Zonen SP LITE2 bu tür ölçüm yapan bir piranometredir.



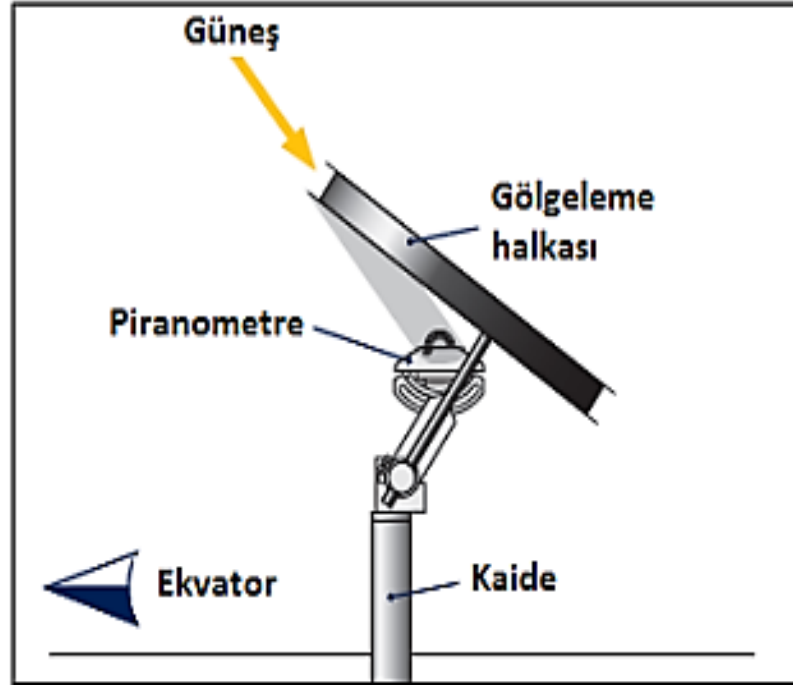
Şekil 1.17. Kipp ve Zonen SP Lite2 Piranometre (Kipp ve Zonen, 2022b)

Fotovoltaik piranometre (Şekil 1.18), güneş radyasyonunu fotovoltaik bir sensör yardımıyla elektrik akımına dönüştürerek ölçüm yapılması prensibi ile çalışırlar. Fotodiyot piranometre ile hemen hemen benzerdirler ve 350 nm ile 1150 nm ışık dalga boyu aralığında ölçüm yapabilirler (Shenoy, vd., 2018). Fotovoltaik piranometreler ucuzluk ve kolay kullanımları nedeniyle en fazla kullanılan piranometre çeşididir. Yellot Solarimetresi bu tür ölçüm yapan bir piranometredir (İbrahim, 2011).



Şekil 1.18. Fotovoltaik Piranometre (Soluzione Solare, 2022)

Difüz (yaygın) güneş radyasyonu ölçümünde de tıpkı global güneş radyasyonunda olduğu gibi piranometreler kullanılır. Difüz güneş radyasyonu ölçümündeki farklılık ise piranometreye direkt güneş radyasyonunun gelmemesi için gölgeleme tekniğinin kullanılmasıdır (Durak, 2016). Şekil 1.19’da gösterildiği gibi gölgeleme gölge halkası (gölge bandı) ile yapılır. Bazı uygulamalarda gölgeleme izleyici topraklarla da yapılmaktadır.



Şekil 1.19. Difüz güneş radyasyonu için uygulanan gölgeleme yöntemi (Durak, 2016)

Bahsi geçen piranometrelerin içinden yapılacak ölçümün niteliğine göre seçim yapmak gerekebilir. Tablo 1.1’de termopil, fotodiyot ve fotovoltaik piranometreler çeşitli yönlerden karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.1. Piranometrelerin karşılaştırılması (Shenoy, vd., 2018)

ÖZELLİKLER	TERMOPİL PİRANOMETRE	FOTODİYOT PİRANOMETRE	FOTOVOLTAİK PİRANOMETRE
Kullanılan Sensör	Termokupl	Fotodiyot	PV Cell
Ölçüm Aralığı	300-2800 nm	400-1100 nm	350-1150 nm
Maliyet	Çok Pahalı	Pahalı	Orta
Doğruluk	Çok Yüksek	Orta	Yüksek

Direkt güneş radyasyonunu ölçmek için ise Pirheliyometre (Pryheliometer) adı verilen cihazlar kullanılır. Şekil 1.20’de gösterilen bu cihazlar daima güneş ışınları dik gelecek biçimde konumlandırılırlar, bu yüzden bir güneş takip sistemi ile desteklenirler. Difüz güneş radyasyonundan etkilenmemeleri için 5°’lik görüş açısına sahiptirler (İbrahim, 2011).



Şekil 1.20. Pirheliyometre (İbrahim, 2011)

Güneş radyasyonunun belirlenmesi için ölçüm cihazı kullanımının yanı sıra bir çok matematiksel model ve dünya yörüngesinde bulunan uydular da kullanılmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerjisi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar ile güneş enerjisi sistemlerinin kurulumundan önce ve sonra güneş radyasyonu miktarının belirlenmesi çok önemlidir. Gelişen teknoloji ve araştırma teknikleriyle beraber söz konusu güneş radyasyonu belirleme yöntemleri üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

Abbasi ve Qureshi (2014), uydu global ve yaygın solar radyasyon verileri ile dört farklı deneysel modeli karşılaştırarak Pakistan'ın Chhor kenti için global ve yaygın solar radyasyonu tahmin eden yeni bir model geliştirmiş, elde edilen sonuçların NASA verileri ile %98,7 oranında uyumlu olduğunu görmüşlerdir.

Shi, vd. (2018), Çin'de bulunan 98 meteoroloji istasyonundan topladıkları verilerle günlük solar radyasyon tahminini yapmak amacıyla yeni bir model geliştirmişlerdir. Bu modeli test ettiklerinde ise ortalama bağıl mutlak hatanın %10,57 olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bakırcı (2017), Türkiyede bulunan 13 il için yatay düzlemde güneş ışınımını tahmin etmek amacıyla bir model geliştirmiş, 18,580 MJ/m²-gün değeriyle Van en yüksek, 13,644 MJ/m²-gün değeriyle Ağrı en düşük güneş ışınımına sahip şehir olmuştur.

Almorox (2011), mevcut modelleri kalibre edip yağış, sıcaklık vb. meteorolojik verileri de kullanarak global güneş radyasyonu tahmini için yeni bir model önermiştir. Önerdiği bu model doğruluğunun günlük global güneş radyasyonu tahmini için yüksek olduğunu ($R^2 = 0,92$) belirtmiştir.

Şarlak ve Güven (2016), Türkiye'de bulunan Gaziantep şehri için bölgede bulunan meteoroloji istasyonundan aldıkları 11 yıllık (2000-2010) meteorolojik verilerle güneş radyasyonu tahminini gerçekleştirmeyi hedefleyen bir model geliştirmişlerdir. Genetik programlama tekniği kullanılarak geliştirilen güneş radyasyonu tahmin modelinin güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunda faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Külcü (2019), Türkiye'nin Çankırı şehri için global güneş radyasyonu tahminini gerçekleştirecek bir model ortaya koymuş ve halihazırda bulunan 8 adet model ile

karşılaştırma yapmıştır. Yaptığı karşılaştırmada geliştirdiği modelin diğer 8 modelden daha iyi tahmin gerçekleştirdiği sonucuna varmıştır.

Sartarelli, vd. (2010), güneş radyasyonu ölçümü için Hottel yöntemini kullanarak bir güneş ısı akısı ölçeri kalibre etmişlerdir. Kalibre edilen güneş ısı akısı ölçer verileri ile ticari bir solarimetre verilerini karşılaştırmışlar ve tatmin edici bir sonuç almışlardır.

Menyhart, vd. (2015), yüksek doğruluğa sahip güneş radyasyonu verileri elde etmek için piranometrelerin daima tesviye edilmesi gerektiğini belirtmişler, çalışmalarında 2° veya 3°'lik piranometre sapmalarını tespit eden bir yöntem geliştirmişlerdir.

Baltazar, vd. (2015), anizotropik açık gökyüzü madelinden yola çıkıp Çoklu Piranometre Dizisi (MPA) kullanarak açık gökyüzünde direkt güneş radyasyonunu hesaplamak için bir yöntem tasarlamışlardır. Tasarladıkları yöntemi test ettiklerinde hata oranını %14 ile %43 arasında azalttığını görmüşlerdir.

Srikrishnan, vd. (2015), çoklu piranometre ve YSA yöntemini kullanarak doğrudan normal güneş radyasyonu hesaplamaya alternatif bir yöntem üzerinde çalışmışlar, çeşitli ANN sonuçlarını incelemişlerdir.

Lester ve Myers (2016), piranometrelerin ürettiği elektrik sinyalinin ışımaya oranının cihaz duyarlılığı (RS) olduğu üzerinde durarak bu değerün gün, zenit açısı ve net kızılötesi radyasyona bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. RS değerini belirlemek için bir RS fonksiyonu önererek, bu fonksiyonun PSP piranometreler için güneş radyasyonu ölçümünde belirsizlikleri azalttığını orta koymuşlardır.

Martin, vd. (2015), azimut ve eğim açıları boyunca yayılan güneş radyasyonlarının aynı anda ölçümünü gerçekleştirecek yeni bir cihaz tasarlamışlardır.

Rahbar ve Asadi (2016), termoelektrik modül kullanarak daha ucuz bir piranometre tasarlamayı, modellemeyi ve üretmeyi amaçlamışlardır. Tasarladıkları piranometre için \pm %10 hata sınırları içerisinde olan $R^2 = 0,86$ ve $R^2 = 0,997$ korelasyona sahip iki adet eğri elde etmişlerdir.

Badran, vd. (2010), güneş radyasyonu ölçümü ile ilgili yapılan çalışmalarını inceledikten sonra yatay yüzeylerde güneş radyasyonu ölçebilen yeni bir cihaz

tasarlamışlar ve test etmişlerdir. Test sonucunda cihazın güneş ışınımını anlık olarak okuyabildiği ve belirli bir süre için ortalama ışınımında gösterebildiği orta çıkmıştır.

Ergün, vd. (2019), yaptıkları çalışmada yoğunlaştırılmış güneş ışınımını ölçmek için bir solarmetre tasarlamışlardır. Arduino kart tarafından kontrol edilen bu cihaz için 0,944, 0,936, 0,939 ve 0,986 R^2 değerlerine sahip dört adet fonksiyon belirlemişlerdir. Bu fonksiyonları kullanarak ölçümler yapmış, ölçüm sonuçlarını referans bir ölçüm cihazı sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırma sonucunda, tasarladıkları cihazın oldukça hassas ölçümler yapabileceği ve uygun fonksiyonların geliştirilmesinden sonra yoğunlaştırılmış güneş ışınımı ile çalışan sistemlerde kullanılabilmesini belirtmişlerdir.

Al-Taani ve Arabasi (2018), Hukseflux'ın Apple marka akıllı telefonlar için oluşturduğu güneş radyasyonu ölçüm uygulamasından elde edilen verileri standart bir güneş radyasyonu ölçüm cihazı verileri ile karşılaştırmış, bu mobil uygulamanın PV sistem tasarımının ön aşamasında ve basit ölçümlerde kullanılabilmesi sonucuna ulaşmışlardır.

Tohsing, vd. (2019), kontrol kartı olarak Arduino ve sensör olarak BPX43-4 fototransistör kullandıkları yeni bir geniş bant güneş radyasyonu ölçebilen ucuz maliyetli piranometre geliştirmişler, bu cihaz verileri ile standart bir piranometre verilerini karşılaştırdıklarında sonuçların tatmin edici olduğunu görmüşlerdir.

Arveson (2017), yaptığı çalışmada lüxmetre kullanarak güneş ışınımını ölçmeyi hedefleyen bir yöntem önermiştir. Önerdiği yöntem, aydınlanma şiddeti ve solargüç arasında yapılacak kalibrasyondan ilgili prosedürler uygulandığında olumlu sonuç alınabileceğini ortaya koymuştur.

Avallone, vd. (2018), piyasada bulunan termal piranometrelere oranla çok daha ucuz maliyetli bir piranometre tasarlamış ve üretmişlerdir. Sensör olarak bir alüminyum disk ve kontrol kartı olarak Arduino kullandıkları bu piranometreyi standart bir fotodiyot sensörü ile kalibre ederek sonuçlarını karşılaştırmışlar, bu yöntemin çoğu güneş enerjisi testi için yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

Michael, vd. (2020), yaptıkları çalışmada aydınlanma şiddeti ve solar radyasyon arasındaki ilişkiyi standardize ederek bu iki büyüklük arasındaki ilişkiyi gösteren laboratuvar ve dışarı ortam koşulları için tablolar hazırlamışlardır.

Gul ve Celik (2017), ANFIS kullanarak Türkiye’de bulunan Tunceli ili için global güneş radyasyonu tahminini gerçekleştirecek bir yaklaşım önermişlerdir. 1990-2010 yılları arasındaki aylık verilerin kullanıldığı bu tahmin yönteminin aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunu tahmin etmede tatmin edici sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Kuncan ve Şahin (2017), Türkiye’de bulunan 53 farklı noktaya ait güneş radyasyonu, yeryüzü sıcaklığı, yükseklik, enlem, boylam ve ay değerlerini kullanarak yapay sinir ağları (YSA) yöntemiyle güneş radyasyonu tahminini gerçekleştirecek bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde RMSE, MBE ve korelasyon katsayısını sırasıyla 1,550 MJ/m², -0,172 MJ/m² ve 0,972 olarak hesaplamışlardır.

Arıman, vd. (2021), Türkiye’de bulunan Samsun bölgesi için güneş radyasyonunu tahmin etmek amacıyla YSA yöntemini kullanmışlardır. R ve MSE değerlerinin en iyi olduğu (R = 0,9603, MSE = 0,3516) modeli 9 girişli meteorolojik verilerin (ortalama sıcaklık, ortalama nispi nem, ortalama rüzgar hızı, ortalama buhar basıncı, ortalama bulutluluk oranı, güneşlenme süresi, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, 5 cm’de toprak sıcaklığı) kullanıldığı model olarak belirlemişler ve YSA modelinin güneş radyasyonu tahmininde yüksek bir performans sağladığını görmüşlerdir.

Echeweozo ve Duke (2021), yaptıkları çalışmada dijital multimetre ve PV panel kullanarak güneş radyasyonu yoğunluğunu ölçmeyi hedeflemişlerdir. PV panelin ürettiği voltaj miktarlarını multimetre ile okumuşlar, güneş radyasyonunu ise standart bir solarimetre ile ölçmüşlerdir. Bu şekilde Nijerya’nın Abia eyaletinde bulunan NIMET gözlemevinde 13 hafta boyunca voltaj ve güneş radyasyonu ölçümleri yaparak veri toplamışlardır. Topladıkları veriler doğrultusunda voltaj ve güneş radyasyonu yoğunluğu arasında yaptıkları kalibrasyonun $R^2 = 0,91525$ korelasyona sahip olduğu sonucuna ulaşmışlar, multimetrelerin güneş radyasyonu ölçümünde kullanılabileceklerini belirtmişlerdir.

Güneş radyasyonunu belirlemek amacıyla literatürde yapılan çalışmalarda, genel olarak geleneksel yöntemlere nazaran daha basit, ucuz ve karmaşık olmayan yöntemler üzerinde durulmakta veya geleneksel yöntemlerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu tez çalışmasında bu konular dayanak noktası olarak alınmış ve var olan global güneş radyasyonu ölçüm yöntemlerine alternatif olabilecek yöntemler incelenerek geliştirilmeleri hedeflenmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinin performanslarının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametre güneş radyasyonudur ve miktarının bilinmesi gereklidir. Güneş radyasyonu miktarının ölçülmesinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek olması, güneş radyasyonu miktarının tahmini için kullanılan matematiksel yöntemlerin ise karmaşıklığı daha ucuz ve kolay erişilebilir yöntem veya cihazların geliştirilmesini teşvik etmektedir. Güneş radyasyon ölçümünde termopil, fotodiyot gibi sensörlere dayalı üretilen ticari güneş radyasyon ölçüm cihazları oldukça pahalıdır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında ucuz, basit ve kolay erişilebilir alternatif sensörlerin ve/veya yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Günümüzde güneş radyasyon ölçümü için ticari olarak kullanılan bir çok cihaz geliştirilmiştir. Bu cihazlarda farklı tipte sensörler kullanılmaktadır. Bu cihazlar hala göreceli olarak pahalıdır. Bu tez çalışmasında bu sensörlere alternatif olabilecek ucuz, basit ve kolay ulaşılabilir sensörlerin kullanım olanakları araştırılmıştır. Bu kapsamda akıllı telefonun bünyesinde bulunan ışık sensörü, LDR ve fototransistör alternatif sensörler olarak belirlenmiştir. Akıllı telefonlarda bulunan ışık sensörü lüks cinsinde aydınlanma şiddeti değerini ölçmektedir. LDR’de ortamdaki ışık miktarı fiziksel büyüklüğü ile ters orantılı olan direnç cinsinden bir analog sinyal üretir. Fototransistör ise ışık miktarı ile doğru orantılı mV (milivolt) cinsinden bir analog sinyal üretmektedir. Bu üretilen analog sinyallerin güneş radyasyon ölçümlerinde kullanılan W/m^2 birimine dönüştürülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla tez çalışması sırasında kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sırasında referans cihaz olarak orta maliyetli piyasada yaygın olarak kullanılan bir ticari cihaz kullanılmıştır. Sonuç olarak, doğruluğundan emin olunan referans ölçüm cihazı ile farklı analog sinyal üreten ve doğruluğundan emin olunamayan alternatif olması önerilen sensörlerin kalibrasyon eğrileri elde edilmiş, elde edilen eğriler kalibrasyon denklemlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Daha sonra sensörler ile farklı ortamlarda çok sayıda ölçümler alınarak geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile güneş radyasyon değerleri belirlenmiş ve referans cihazdan ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Böylece önerilen alternatif sensörlerin güneş radyasyon değerlerinin ölçümünde kullanılabilme potansiyelleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Halihazırda bulunan global güneş radyasyonu ölçüm yöntemlerine alternatif olabilecek daha ucuz ve kolay erişilebilir bir yöntem geliştirilmesi hedeflenen bu çalışmada android işletim sistemine sahip akıllı telefonun bünyesinde bulunan ışık sensörü (dolayısıyla bir android akıllı telefon), LDR, fototransistör ve Şekil 3.1’de gösterilen tipik bir solar metre kullanılmıştır. Burada akıllı telefonun ışık sensörü yardımıyla lux biriminde aydınlanma şiddeti, LDR ile ohm (Ω) biriminde direnç, fototransistör ile mV (milivolt) biriminde voltaj ve solar metre ile W/m^2 biriminde global güneş radyasyonu verileri elde edilmesi (ölçülmesi) amaçlanmıştır.



Şekil 3.1. Referans cihaz kabul edilen ve güneş radyasyonu ölçümlerinde kullanılan solar metre

Ölçümler, belirli tarihlerde belirli aralıklarla dış ortam koşullarında 0° ve 45° eğim açılarında yapılarak aydınlanma şiddeti, direnç, voltaj ve güneş radyasyonu (solargüç) verileri toplanmıştır. Toplanan veriler düzenlenerek Excel programı ve Lineer Regresyon yöntemi yardımıyla akıllı telefon ışık sensörü-solarmetre, LDR-solarmetre ve fototransistör-solarmetre kalibrasyonları yapılarak üç adet kalibrasyon eğrisi elde edilmesi hedeflenmiştir.

Daha sonra bu kalibrasyonların doğruluk miktarlarını belirleme adına referans cihaz kabul edilen ticari solarmetre (Şekil 3.1) verileri ile karşılaştırma amaçlı olarak tekrar bir kontrol ölçümü yapılmış ve bu üç yöntemin ortalama hata miktarları belirlenmiştir. Belirlenen hata miktarlarına göre ele alınan üç yöntemin alternatif olarak global güneş radyasyonu ölçümünde kullanılabilirlikleri karşılaştırmalar yapılarak sorgulanmıştır.

3.1. Aydınlanma Şiddeti

Birimi lux (lx) olan aydınlanma şiddeti, birim yüzey alana gelen ışık akısını ifade etmektedir (Wikipedia, 2021c). Aydınlanma şiddeti luxmetre veya ışıkölçer adı verilen cihazlar yardımıyla ölçülmektedir. Ancak akıllı telefonların bir çok alana sirayet ettiği bu dönemde aydınlanma şiddeti ölçümü akıllı telefonlar ile de gerçekleştirilmektedir. Akıllı telefonların bünyesinde bulunan ışık sensörü ve oluşturulan bir akıllı telefon uygulaması vesilesiyle aydınlanma şiddetini ölçmek mümkün olmuş, bu büyüklüğü ölçmek için kullanılan cihazlara göre pratik ve çok daha ucuz maliyetli bir hale gelmiştir.

Buradan hareketle yapılan bu çalışmada aydınlanma şiddeti ölçümleri için Şekil 3.2’de gösterilen android işletim sistemine sahip Huawei marka bir akıllı telefon kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Aydınlanma şiddeti ölçümlerinde kullanılan Huawei P Smart akıllı telefon

Akıllı telefonun ışık sensörü yardımıyla aydınlanma şiddeti ölçümü için öncelikle MIT App Inventor ortamında bu ölçüme olanak sağlayan Şekil 3.4’te blok şeması ve Şekil 3.5’te arayüzü gösterilen bir mobil uygulama oluşturulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. MIT App Inventor ortamında aydınlanma şiddeti ölçümü için mobil uygulama oluşturulması



Şekil 3.4. Aydınlanma şiddeti ölçümü için MIT App Inventor ortamında oluşturulan mobil uygulamanın blok şeması



Şekil 3.5. Aydınlanma şiddeti ölçümü için oluşturulan mobil uygulamanın arayüzü

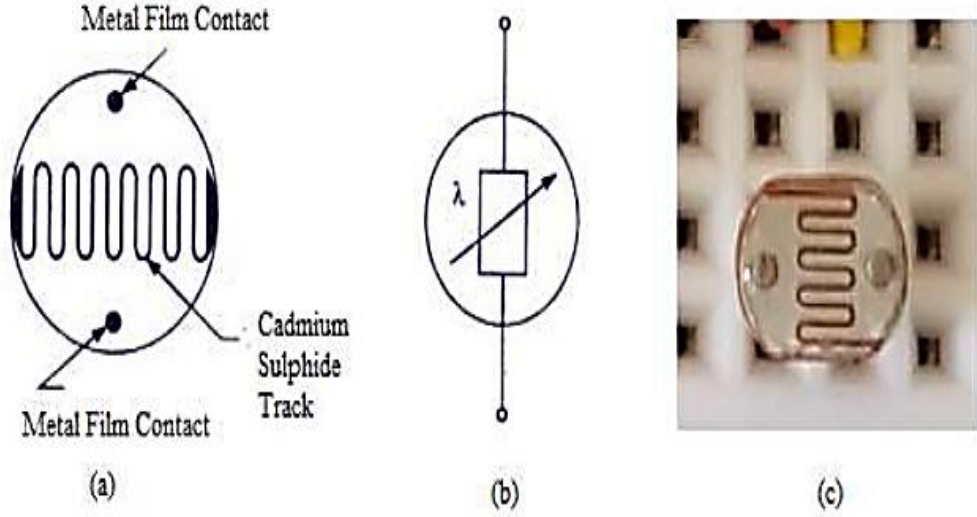


Şekil 3.6. Akıllı telefonun ışık sensörünün üzerine difüzörün yerleştirilmesi

Ölçümlerde aydınlanma şiddeti değerleri çok geniş bir aralıkta dalgalanma gösterdiği için bu dalgalanmaları daha dar ve kararlı hale getirmek adına akıllı telefonun ışık sensörünün üzerine Şekil 3.6'da gösterilen ve Hukseflux tarafından geliştirilen %1 ile %5 ışık geçirgenliğine sahip bir difüzör (filtre) yapıştırılmıştır (Al-Taani ve Arabasi, 2018; Hukseflux, 2015).

3.2. LDR (Fotodirenç)

LDR (Light Dependent Resistor), bulunduğu ortamdaki ışık miktarı ile ters orantılı olarak direnci değişen bir devre elemanıdır. Başka bir deyişle LDR'ler aydınlık ortamda minimum dirence sahipken karanlık bir ortamda dirençleri maksimum olur. Buradaki ters orantılı değişim doğrusal olarak gerçekleşmez (Wikipedia, 2021b).



Şekil 3.7. a) LDR'nin yapısı b) LDR'nin sembolü c) LDR (Özçelik, 2017)

Şekil 3.7'de temel yapısı, devredeki sembolü ve resmi gösterilen LDR'ler CdS (Kadmiyum Sülfür), CdSe (Kadmiyum Selenid), Germanyum ve Silisyum gibi ışığa duyarlı maddelerden meydana gelmektedirler. LDR'nin yapısında bulunan zig-zaglar Kadmiyum Sülfürü veya Kadmiyum Selenidi gösterirken bu zig-zagların her iki yanında bulunan metal filmler bağlantı noktalarına bağlanırlar. Işığa duyarlı bir devre elemanı olması sebebiyle LDR'nin üst yüzeyi şeffaf bir malzeme ile kaplıdır. Optoelektronik bir devre elemanı olan LDR aydınlık bir ortamda bulunduğu direnci azalır dolayısıyla iletkenliği artar (Away ve Ikhsan, 2017). LDR maliyeti uygun ve kolay temin edilebilen bir devre elemanıdır. Alarm sistemleri, kontrollü iç ve dış mekan aydınlatmaları, kameralar ve optik ölçüm sistemleri başlıca kullanım alanlarıdır.

Bu çalışmada ışığa duyarlı bir devre elemanı olan ve Şekil 3.8'de gösterilen yarı iletken malzemesi CdS (Kadmiyum Sülfür) olan 11 mm LDR ve bu elemanın direnç değişimlerini okumak amacıyla Şekil 3.9'da gösterilen dijital bir multimetre kullanılmıştır. Multimetreden okunan direnç değerleri ohm (Ω) birimindedir.



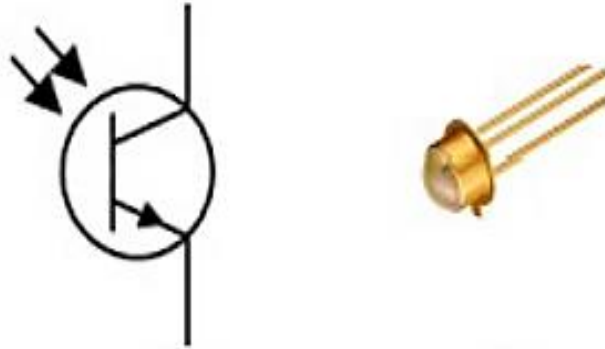
Şekil 3.8. Direnç ölçümü için sensör olarak kullanılan 11 mm LDR



Şekil 3.9. LDR'nin direnç değışimlerini okumak için kullanılan multimetre

3.3. Fototransistör

Fototransistörler buldukları ortamdaki ışık miktarı ile doğru orantılı olarak ışığı elektrik akımına dönüştüren devre elemanlarıdır. Üzerlerine düşen ışık miktarı arttıkça kollektör ve emiter uçları arasındaki direnç azalır (Wikipedia, 2020a). Bir fototransistörün akım üretebilmesi için ışığın taban ucuna düşmesi yeterlidir. Şekil 3.10'da bir transistörün devredeki sembolü ve resmi gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Bir fototransistör (sağda) ve devredeki sembolü (solda) (Özçelik, 2017)

Fototransistörler buldukları ortamdaki ışık miktarından etkilenmelerini sağlayacak Galyum Arsenid gibi maddeleri bünyelerinde bulundururlar. Ayrıca polistren ve gümüş tabanlı fototransistör üretme çalışmaları da mevcuttur (Ruzgar ve Caglar, 2020; Orak, 2019).

Bu çalışmada ele alınan alternatif global güneş radyasyonu ölçme yöntemlerinden biri olan fototransistör yönteminde Şekil 3.11’de gösterilen BPW77 NB 109 fototransistör kullanılmış, voltaj değerleri bir multimetre yardımıyla okunmuştur.



Şekil 3.11. Ölçümlerde sensör olarak kullanılan BPW77 NB 109 fototransistör

Sensör olarak BPW77 NB 109 fototransistörün seçilmesindeki sebep, bu fototransistörün 450-1080 nm ışık dalga boyu aralığında hassasiyet göstermesi ve bu hassasiyetin güneşten gelen ışınımın en yüksek enerjiye sahip olduğu dalga boyu aralığının (300-1100 nm) sınırları içerisinde olması olmuştur.

3.4. Ölçüm Düzenegi

Ölçümlerin aynı şartlar altında yapılabilmesi için LDR, fototransistör, akıllı telefon ve solarmetrenin yerleştirildiği Şekil 3.12’de gösterilen bir düzenek oluşturulmuştur. Buradaki aynı şartlardan kasıt, özellikle sensör ve cihazların aynı açıda konumlandırılmalarını sağlamaktır. Çünkü sensörler ve cihazlar farklı açılarda olduklarında aralarında yapılacak olan kalibrasyon işlemi doğru sonuçlar vermeyebilir.

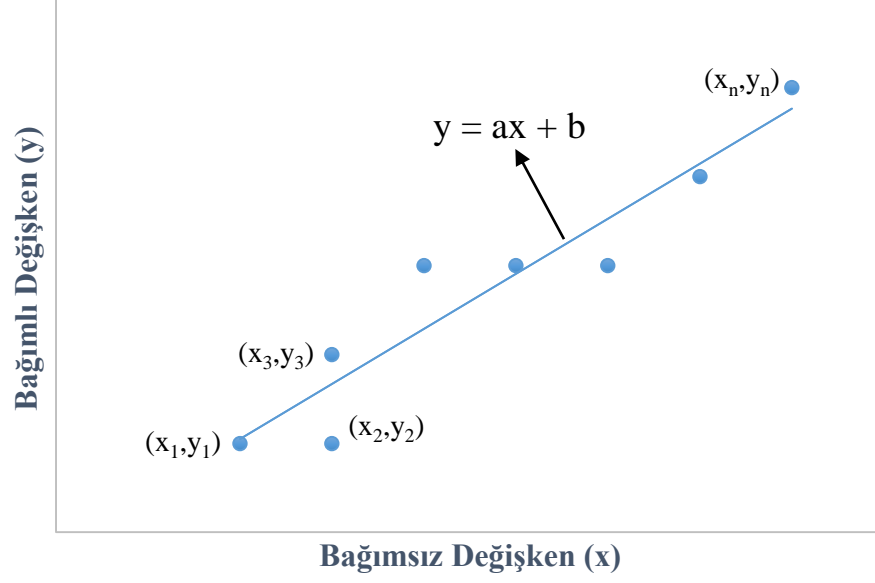


Şekil 3.12. Ölçüm düzeneği

Global güneş radyasyonu, aydınlanma şiddeti, direnç ve voltaj ölçümleri yapılırken ölçüm düzeneğinin bulunduğu konum değiştirilmemiştir.

3.5. Regresyon Analizi ve Kalibrasyon

Regresyon analizi, iki veya ikiden fazla değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak modellemede kullanılan sayısal bir yöntemdir. Bağımlı (çıkıtı) ve bağımsız (girdi) değişkenden oluşan matematiksel modelde girdi olarak tek bir bağımsız değişken kullanılırsa bu tekli regresyon, birden fazla bağımsız değişken kullanıldığında ise çoklu regresyon olarak adlandırılır. Değişkenler arasındaki ilişki lineer veya nonlinear olabilir. Ayrıca regresyon analizi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kurulan ilişkinin gücü (doğruluğu) hakkında bilgi edinilmesine de olanak sağlar (Gabralı ve Aslan, 2020). Şekil 3.13'te tekli lineer regresyona ait karakteristik grafik gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Tekli lineer regresyonun grafiği ve değişkenler arasındaki ilişki denklemi

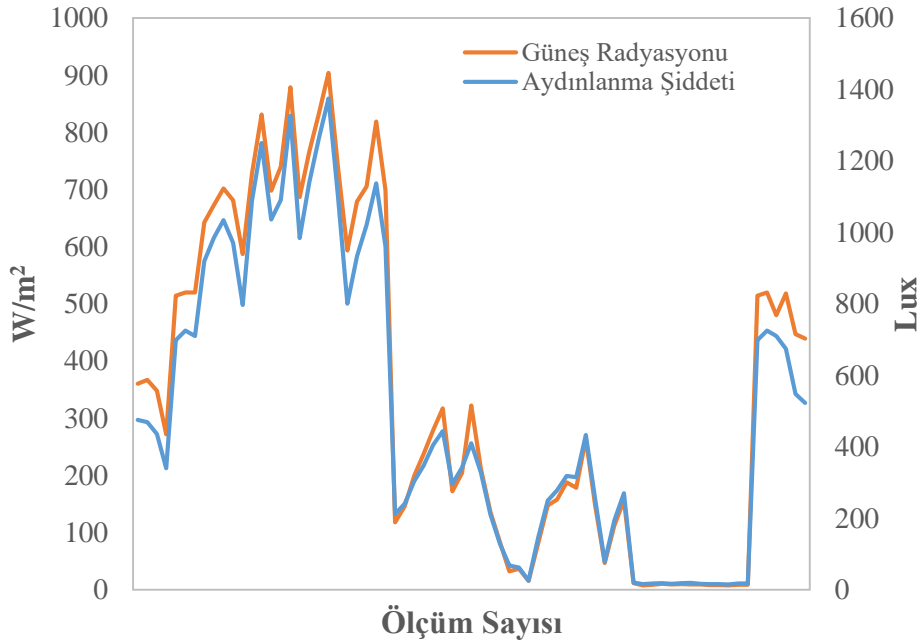
Ölçmede kalibrasyon, doğruluğu ispatlanmış (izlenebilir) referans ölçüm cihazı ile doğruluğu ispatlanmamış bir ölçüm cihazını karşılaştırarak ölçüm sonuçlarının raporlanması işlemidir (TSE, 2022). Kalibrasyon, yanlış ölçüm sonuçları veren bir alet veya düzeneğin doğru sonuç vermesini sağlayacak ayarlama işlemi değildir. Kalibrasyon işlemi, aynı fiziksel büyüklüğü ölçen alet veya sistemler arasında yapıldığı gibi farklı fiziksel büyüklükleri ölçen alet veya sistemlere de uygulanabilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Akıllı telefon ışık sensörü-solarmetre, LDR-solarmetre ve fototransistör-solarmetre kalibrasyonlarının yapılabilmesi için belirli tarihlerde dış ortam koşullarında ölçümler yapılmıştır. Aydınlanma şiddeti, direnç, voltaj ve global güneş radyasyonu verileri ölçülerek elde edilmiştir.

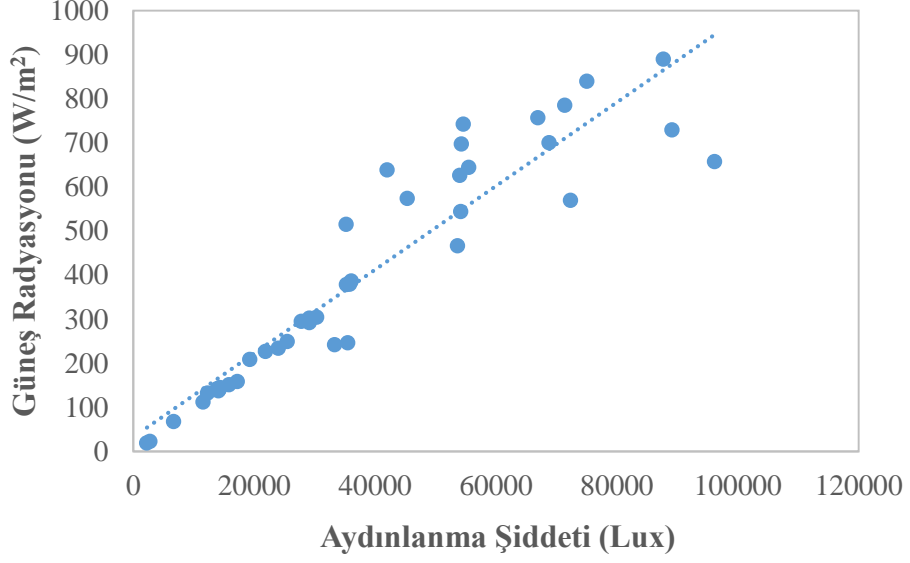
4.1. Akıllı Telefon İle Yapılan Ölçümler

Akıllı telefon ve solarmetre ile yapılan ölçümlerde aydınlanma şiddeti ve güneş radyasyonu verileri elde edilmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere bu iki büyüklüğe ait verilerin zamana, güneşin gün içerisindeki hareketine, ölçüm yapılan zaman aralığındaki hava durumu değişimlerine ve vb. koşullara göre değişkenlik gösterirken hemen hemen aynı trendde değiştiği görülmüştür.



Şekil 4.1. Güneş radyasyonu ve aydınlanma şiddetinin değişimleri

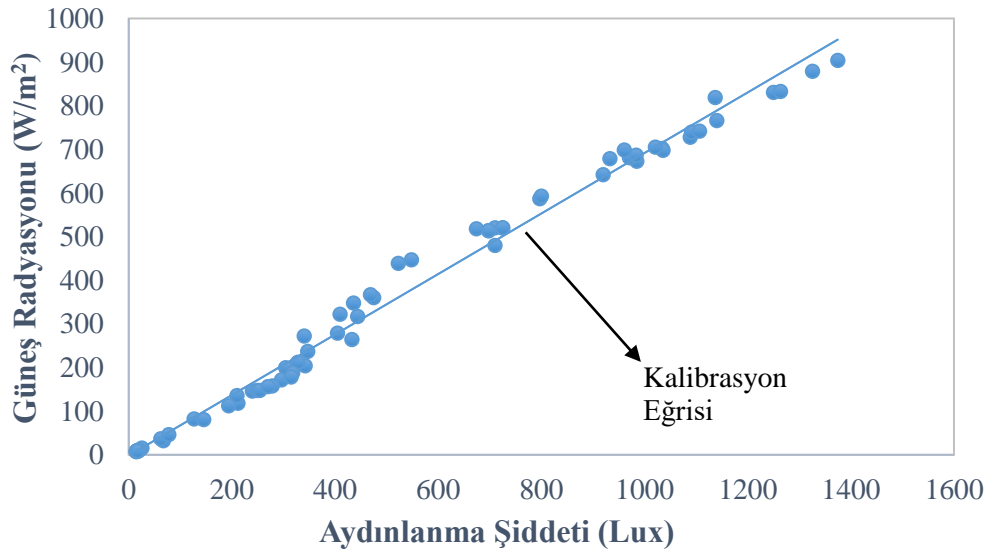
Güneşi direkt gören bölgelerde aydınlanma şiddeti değeri 10000 lux ile 130000 lux arasında değişim göstermektedir (Aydınlatma Portalı, 2022). Parçalı bulutlu bir günde difüzör kullanılmadan yapılan ölçümlerde aydınlanma şiddetinin bu değerler arasında ani bir şekilde artıp azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.2). Bunun önüne geçmek için kullanılan difüzör (filtre), aydınlanma şiddetini %95 ile %99 arasında azaltarak verileri daha stabil bir hale getirmiştir. Bu yöntem ile aydınlanma şiddeti ve güneş radyasyonu arasında daha sabit ve tutarlı bir ilişki kurulmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Difüzörsüz durumda aydınlanma şiddeti-güneş radyasyonu veri dağılımı

Yapılan ölçümler sonucunda akıllı telefonda alınan aydınlanma şiddeti ve solarmetreden (referans cihazdan) alınan güneş radyasyonu değerleri kaydedilmiş Şekil 4.3'te gösterilen aydınlanma şiddeti-güneş radyasyonu dağılım grafiği oluşturulmuştur.

Aydınlanma şiddeti ve güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi matematiksel anlamda ifade etmek için Lineer Regresyon yöntemi uygulandığından her iki büyüklüğe ait olan bütün verilerin doğal logaritmaları alınmıştır. Bu yolla aydınlanma şiddeti ve güneş radyasyonu arasındaki doğrusallığın artırılması hedeflenmiştir.



Şekil 4.3. Difüzörlü durumda aydınlanma şiddeti-güneş radyasyonu veri dağılımı

İzlenilen yöntem sonucunda matematiksel olarak aydınlanma şiddeti ve güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren ve R^2 değeri 0,997 olan $y = e^{[-0,8227+1,0682\ln(x)]}$ şeklinde bir denklem (kalibrasyon eğrisi) elde edilmiştir. Bu denklemde y güneş radyasyonunu, x ise aydınlanma şiddetini temsil etmektedir.

Daha sonra, elde edilen bu kalibrasyon eğrisi tıpkı aydınlanma şiddeti ölçümü için oluşturulan akıllı telefon uygulamasında olduğu gibi bir yol izlenilerek MIT App Inventor ortamında güneş radyasyonu ölçümü için oluşturulan ve Şekil 4.4'te blok şeması verilen mobil uygulamaya entegre edilerek akıllı telefon ile güneş radyasyonu ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Akıllı telefon ile güneş radyasyonu ölçümü için MIT App Inventor ortamında oluşturulan mobil uygulamaya ait blok şeması



Şekil 4.5. Güneş radyasyonu ölçümü için oluşturulan akıllı telefon uygulaması arayüzü

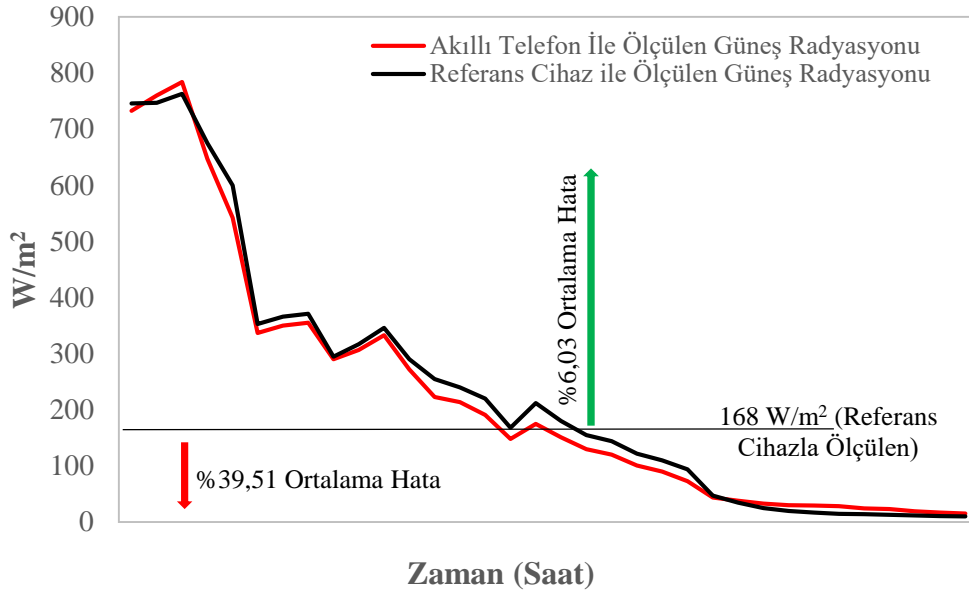
Şekil 4.5'te arayüzü gösterilen ve android akıllı telefonlar ile güneş radyasyonu ölçmek amacıyla oluşturulan mobil uygulama Huawei P Smart akıllı telefona yüklenerek kontrol amaçlı tekrar bir ölçüm yapılmıştır. Kontrol ölçümlerinde hem akıllı telefondan alınan veriler hem de solarmetreden (referans cihazdan) alınan veriler kaydedilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Akıllı telefon ve referans cihaz ile yapılan kontrol ölçümleri sonucunda her iki cihazdan global güneş radyasyonu verileri alınarak Tablo 4.1 oluşturulmuştur. Ölçümler Türkiye'nin Samsun şehrinde, 06.01.2022 günü 12:00-17:00 saatleri arasında tamamen açık gökyüzü altında yapılmıştır. Ölçümlerde düzenek, eğim ve azimut açıları 0° olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Tablo 4.1. Kontrol ölçümüne ait akıllı telefon ve referans cihazdan alınan güneş radyasyonu verileri

Akıllı Telefon (W/m ²)	Referans Cihaz (W/m ²)	Hata (%)	Ortalama Hata
733	746	1,74	%6,03
760	747	1,74	
784	763	2,75	
647	675	4,15	
542	600	9,67	
337	353	4,53	
350	366	4,37	
355	371	4,31	
290	295	1,69	
307	317	3,15	
333	346	3,76	
272	290	6,21	
223	255	12,55	
214	240	10,83	
191	220	13,18	
148	168	11,90	
175	212	17,45	%39,51
151	180	16,11	
130	155	16,13	
120	144	16,67	
101	122	17,21	
90	110	18,18	
73	94	22,34	
44	47	6,38	
38	35	8,57	
33	25	32,00	
30	20	50,00	
29,5	17	73,53	
28,5	15	90,00	
24,4	14	74,29	
23,2	13	78,46	
19,5	12	62,50	
17,2	11	56,36	
15,5	10	55,00	
Genel Ort. Hata (%) = 23,76			

Tablo 4.1'deki veriler kullanılarak Şekil 4.6'da gösterilen grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.6. Kontrol ölçümü sonucunda her iki cihazla ölçülen güneş radyasyonu verilerinin değişimi

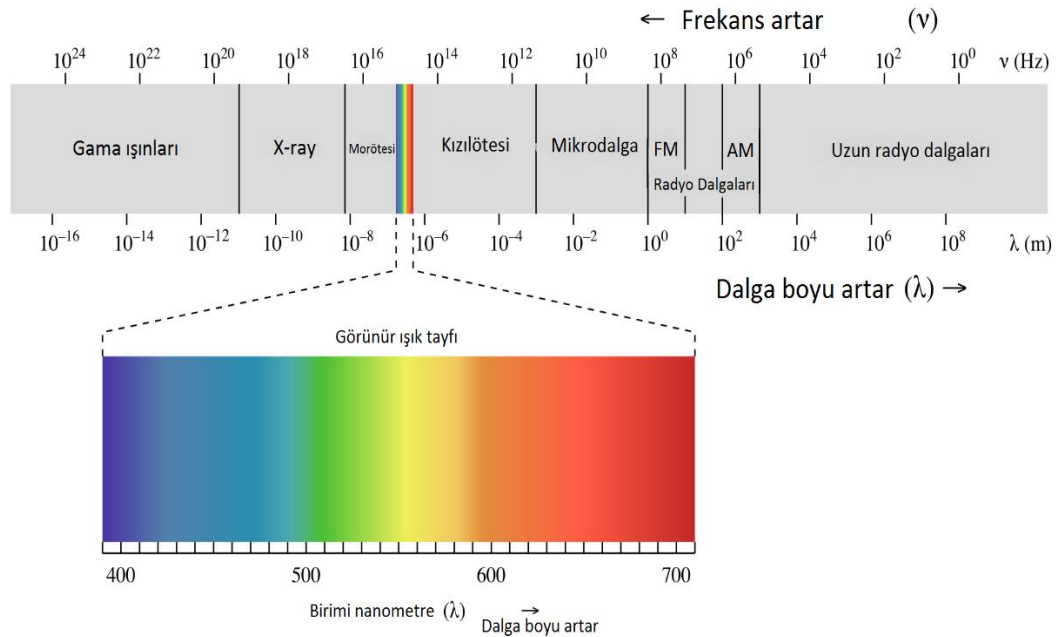
Akıllı telefondan alınan güneş radyasyonu verileri ile referans cihazdan alınan güneş radyasyonu verileri karşılaştırıldığında akıllı telefonun güneş radyasyonunu genel olarak %23,76 ortalama hata ile ölçebildiği sonucuna varılmıştır. Ancak, Tablo 4.1'deki veriler incelendiğinde ortalama hatanın 168 W/m^2 referans cihaz değerinin altında ve üstünde çok farklı olduğu görülmüştür. Bu değer altında kalan akıllı telefon verilerinde ortalama hata %39,51 iken, üstündeki verilerde bu oran %6,03 olarak bulunmuştur. Başka bir deyişle akıllı telefon ile güneş radyasyonu ölçüm yöntemi güneş radyasyonunun 168 W/m^2 değerinden yüksek olduğu durumlarda daha iyi sonuç vermiştir.

Sonucun bu şekilde çıkmasının sebebi ise akıllı telefonun ışık sensörü üzerine aydınlanma şiddeti verilerini daha stabil bir aralığa düşürmek adına yapıştırılan ve gelen güneş ışığı miktarını %95 ile %99 arasında azaltan difüzör (filtre) olduğu anlaşılmıştır.

Çünkü, düşük güneş radyasyonu değerlerinin çoğu güneş battıktan sonra ölçülmüş dolayısıyla ortamdaki güneş ışığı yoğunluğu ve miktarı azalmıştır. Kullanılan filtre sebebiyle akıllı telefonun ışık sensörü az olan güneş ışınımını algılamakta güçlük çekmiştir.

Açık gökyüzünde gün içerisinde direkt güneş ışınımı difüz güneş ışınımına baskın iken güneş battıktan sonra veya doğmadan önce difüz (yaygın) güneş ışınımı miktarı direkt güneş ışınım miktarından daha fazla olmaktadır (İbrahim, 2011). Bu durum güneş doğmadan önce veya özellikle battıktan sonra gözle görülür düzeyde gerçekleşen Rayleigh saçılması olayını meydana getirmektedir. Rayleigh saçılmasında mavi ve kırmızı ışık diğer ışıklara göre daha fazla saçılırken, mavi ışığın ($\lambda=400$ nm) saçılması da kırmızı ışığın ($\lambda=700$ nm) saçılmasından daha fazla olur (Wikipedia, 2020b).

Yani bu durumda ışık, elektromanyetik spektrumda (Şekil 4.7) görünür bölgenin her iki taraftan da sınırlarına yaklaşır dolayısıyla görünür bölgeden uzaklaşır ve görünürlüğü düşer. Görünürlüğü, miktarı ve yoğunluğu düşmüş olan ışık ise akıllı telefonun ışık sensörü tarafından zor algılanmıştır.

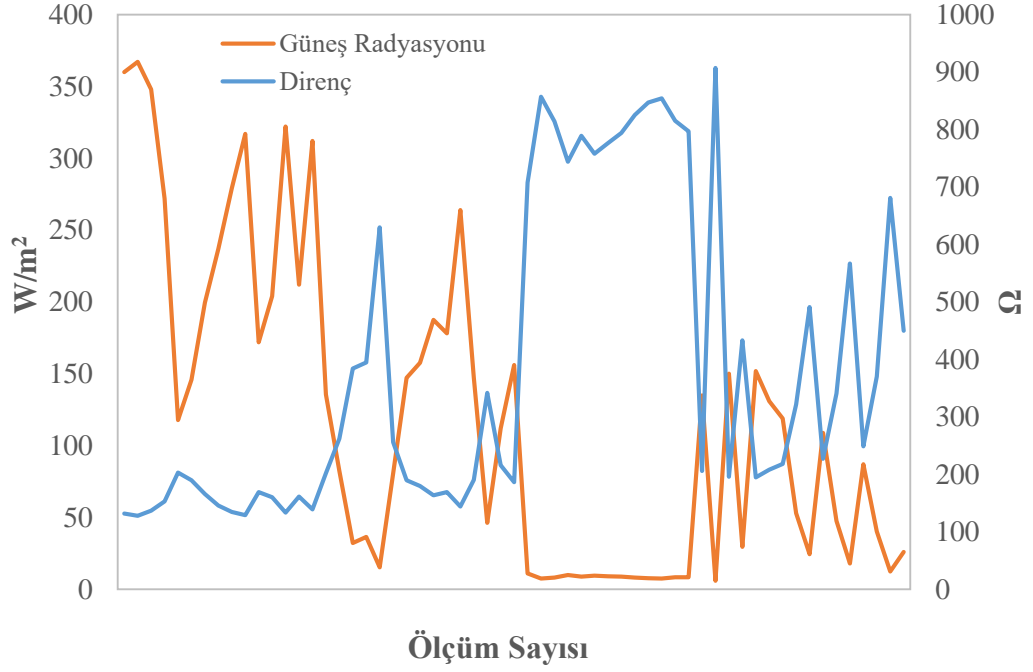


Şekil 4.7. Elektromanyetik Spektrum (Wikipedia, 2012)

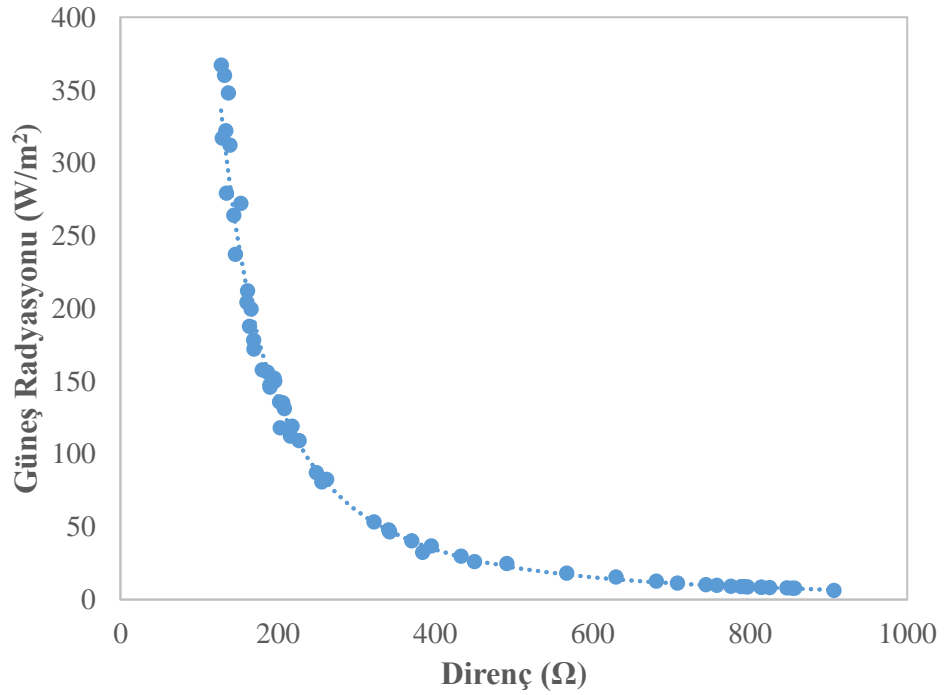
4.2. LDR Kullanılarak Yapılan Ölçümler

Yarı iletken malzemesi CdS (Kadmiyum Sülfür) olan 11 mm LDR'nin sensör olarak kullanıldığı ölçümlerde, direnç verileri ve solarmetreden alınan güneş radyasyonu verilerinin güneşin gün içerisindeki hareketine dolayısıyla zamana, ölçüm yapılan zaman aralığındaki hava durumu değişimlerine ve vb. koşullara göre değişimi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Burada, ortamda bulunan güneş ışığı miktarına göre

LDR'nin direnç değişimlerinin ters orantılı olarak değiştii açıkça görölmüş, direnç ve güneş radyasyonu arasında Şekil 4.9'da gösterildiği gibi bir dağılım olduğu ortaya çıkmıştır.

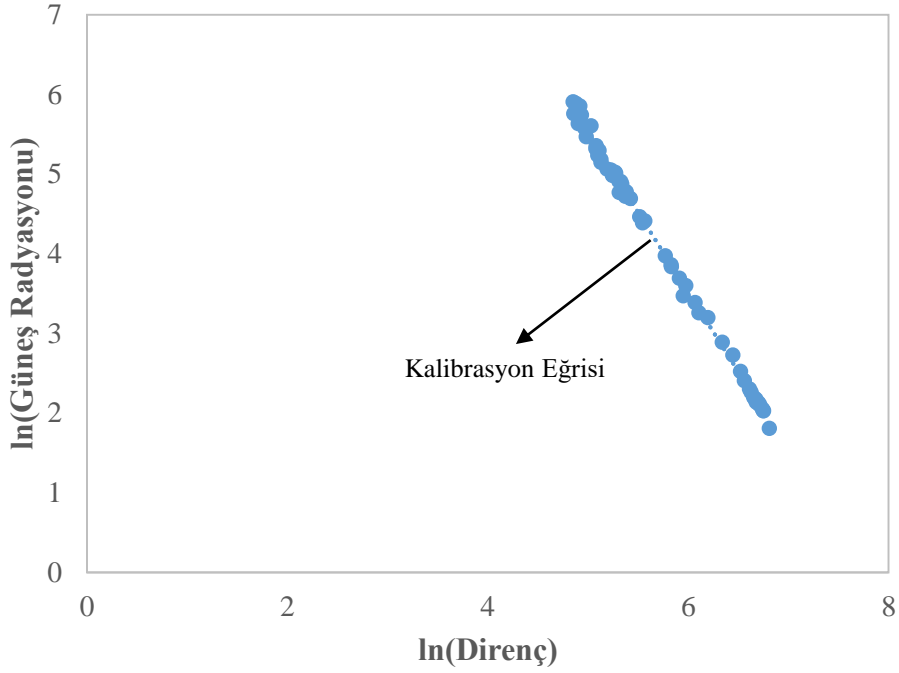


Şekil 4.8. Güneş radyasyonu ve direncin değişimleri



Şekil 4.9. Ölçülen direnç-güneş radyasyonu veri dağılımı

Ters orantılı ve lineer olmayan bu dağılımı oluşturan güneş radyasyonu ve direnç verilerinin bütününün doğal logaritmaları (ln) alınarak bu dağılım Şekil 4.10'da gösterilen haline dönüştürülmüştür. Bu yöntemin uygulanmasındaki amaç direnç ve güneş radyasyonu arasındaki ilişkiyi lineer bir zemine taşıyarak yapılacak kalibrasyonun daha iyi sonuçlar vermesini sağlamak olmuştur.



Şekil 4.10. Doğal logaritmaları alınmış direnç-güneş radyasyonu veri dağılımı

LDR ve solarmetre arasında kalibrasyon yapmak amacıyla yapılan ölçümlerden elde edilen veriler düzenlendikten sonra Excel ortamında Lineer Regresyon metodu kullanılarak R^2 değeri 0,997 olan $y = e^{[15,521-1,9999\ln(x)]}$ şeklinde bir denklem (kalibrasyon eğrisi) elde edilmiştir. Bu denklemde y güneş radyasyonunu temsil ederken x ise direnci temsil etmektedir.

Daha sonra tıpkı kalibrasyon işlemi için yapılan ölçümler gibi tekrar bir ölçüm yapılmış (kontrol ölçümü), direnç ve güneş radyasyonu verileri toplanmıştır. Kaydedilen verilerden güneş radyasyonu verileri referans olarak kabul edilmiş, direnç verileri ise kalibrasyon sonucunda elde edilen denklemde yerine yazılarak her bir direnç değerine karşılık gelen güneş radyasyonu değeri hesaplanmıştır. Hesaplama yoluyla elde edilen bu güneş radyasyonu değerleri ile solarmetre (referans cihaz) ile ölçülen değerler hata miktarını hesaplama suretiyle karşılaştırılmıştır.

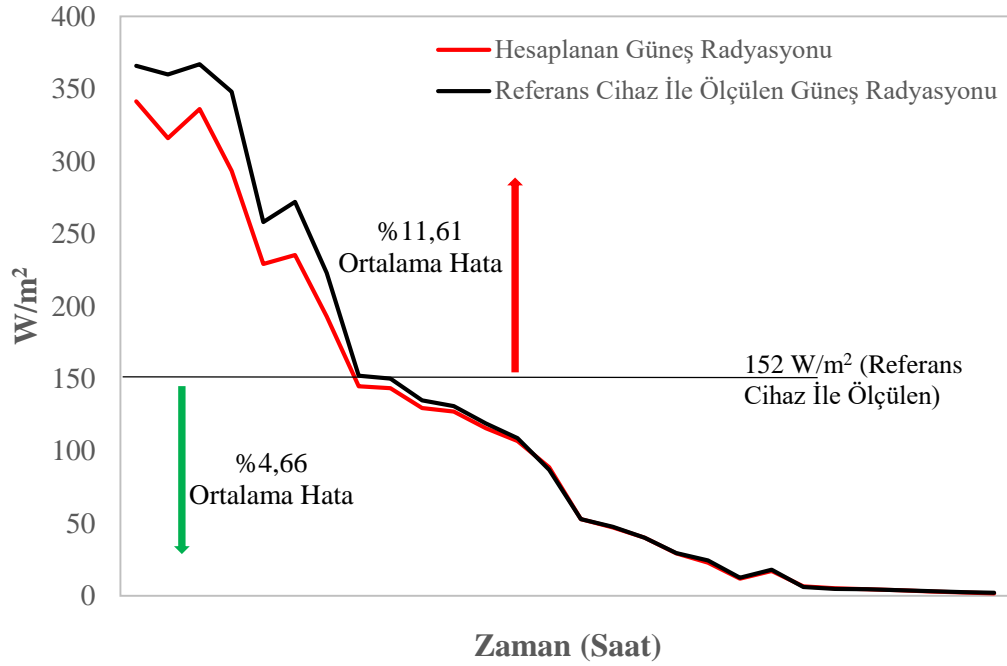
11 mm LDR ve referans cihaz ile yapılan kontrol ölçümleri sonucunda referans cihazdan güneş radyasyonu ve LDR'den direnç verileri alınmıştır. Ölçüm sonucunda elde edilen her bir direnç değeri kalibrasyon eğrisinde yerine yazılarak hesaplama yoluyla güneş radyasyonu değerleri elde edilmiş ve Tablo 4.2 oluşturulmuştur.

Ölçümler Türkiye'nin Samsun şehrinde, 06.01.2022 günü 14:00-17:00 saatleri arasında tamamen açık gökyüzü altında yapılmıştır. Ölçümlerde düzenek, eğim ve azimut açıları 0° olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Tablo 4.2. Kontrol ölçümleri sonucunda hesaplanan ve referans cihaz ile ölçülen güneş radyasyonu verileri

Hesaplanan Güneş Radyasyonu (W/m ²)	Referans Cihaz İle Ölçülen Güneş Radyasyonu (W/m ²)	Hata (%)	Ortalama Hata
341,42	366	6,72	} %11,61
316,04	360	12,21	
336,11	367	8,42	
293,40	348	15,69	
229,21	258	11,16	
235,24	272	13,51	
192,81	223	13,54	
144,83	152	4,72	
143,35	150	4,43	
129,77	135	3,87	
127,29	131	2,83	} %4,66
115,88	119	2,62	
106,87	109	1,95	
88,82	87	2,10	
53,12	53,1	0,03	
47,36	47,6	0,50	
40,23	40,2	0,07	
29,37	29,6	0,76	
22,84	24,5	6,76	
11,88	12,5	4,99	
17,13	18	4,83	
6,70	6,1	9,76	
5,16	4,9	5,34	
4,61	4,5	2,46	
3,92	4	1,94	
3,11	3,3	5,64	
2,35	2,7	12,85	
1,69	2,1	19,40	
Genel Ortalama Hata (%) = 6,40			

Tablo 4.2'deki veriler kullanılarak Şekil 4.11' de gösterilen grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.11. Kontrol ölçümleri sonucunda hesaplanan ve referans cihaz ile ölçülen güneş radyasyonunun değişimi

Kontrol ölçümü sonucunda, ölçülen güneş radyasyonu verileri ve hesaplanan güneş radyasyonu verileri karşılaştırıldığında, hesaplanan güneş radyasyonu değerlerinin genel olarak ortalama %6,4 hata içerdiği bulunmuştur. Ancak, Tablo 4.2'deki veriler incelendiğinde ortalama hatanın $152 W/m^2$ referans cihaz değerinin altında ve üstünde farklılık gösterdiği farkedilmiş bu oran $152 W/m^2$ değerinin üstünde %11,61, altında ise %4,66 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Şekil 4.11'de görüldüğü üzere hata miktarının genel olarak ölçülen güneş radyasyonu ile doğru orantılı bir şekilde arttığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlardan hareketle sensör olarak kullanılan LDR'nin yüksek güneş radyasyonu ölçümüne göre düşük güneş radyasyonu ölçümünde daha iyi sonuç verdiği ve hassasiyetinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

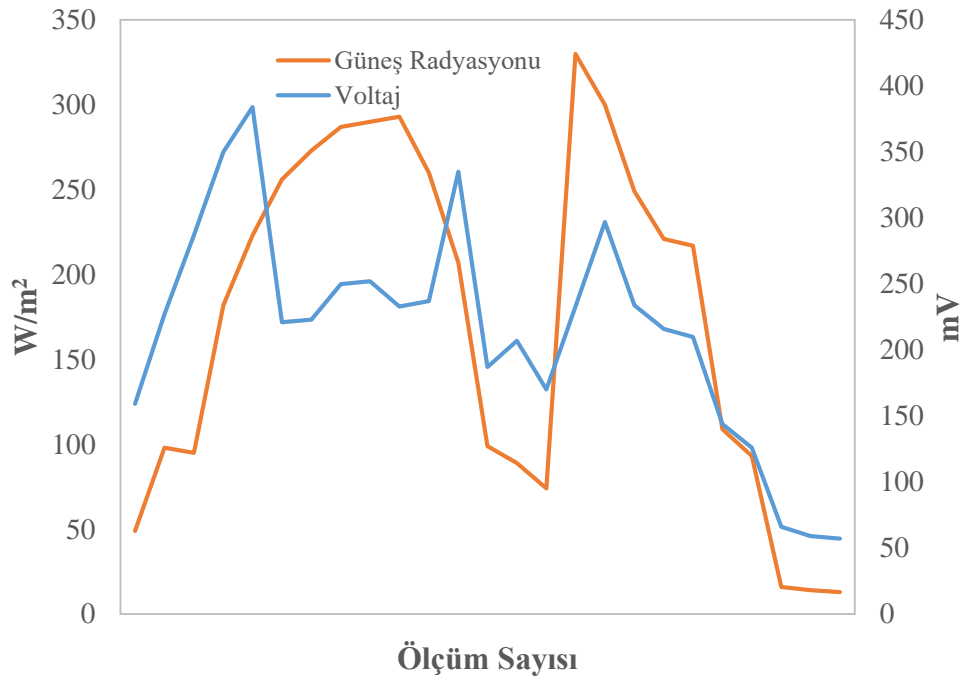
Güneş batmadan önce yapılan ölçümlerdeki hata miktarının yüksek olması, LDR'nin yüksek güneş ışığı konsantrasyonu altında duyarlılığının azalması sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Güneş battıktan sonra direkt güneş ışınımının devre dışı kalmasıyla ölçüm ortamında difüz (yaygın) güneş ışınımının baskınlığı artmıştır. Dolayısıyla LDR üzerine düşen güneş ışığı miktarı ve yoğunluğu azalmıştır.

LDR elektromanyetik spektrumda görünür bölgeden uzaklaşmış (Rayleigh Saçılması), yoğunluğu ve miktarı azalmış olan güneş ışığını algılamada zorluk çekmemiştir.

4.3. Fototransistör Kullanılarak Yapılan Ölçümler

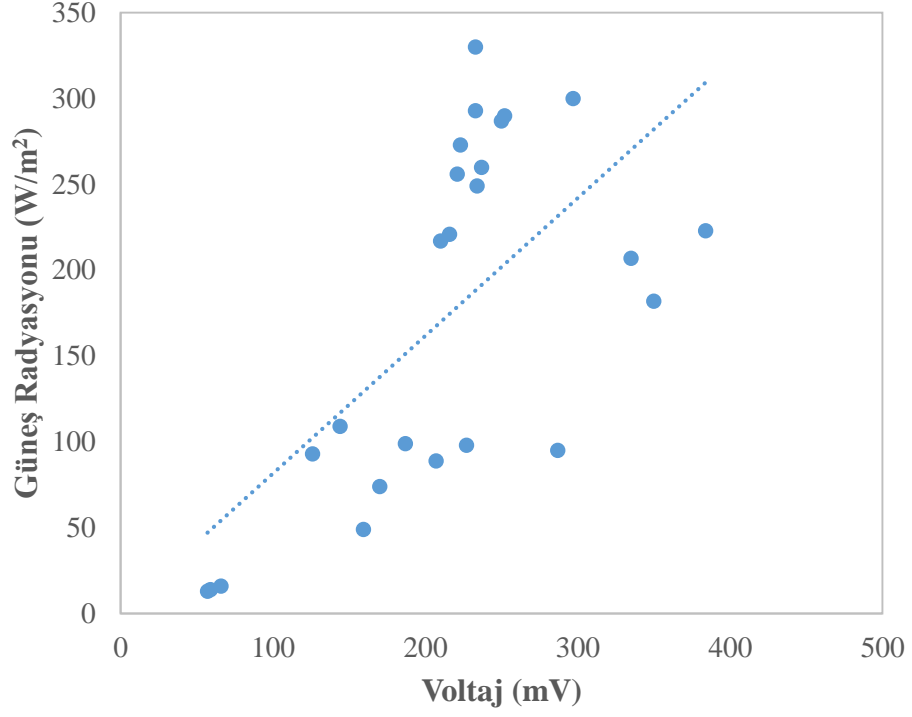
Alternatif global güneş radyasyonu ölçüm yöntemleri arayışı için yapılan bu çalışmada kullanılan bir başka sensör de fototransistördür. Kullanılan BPW77 NB 109 fototransistör direkt olarak multimetreye bağlanarak mV düzeyinde voltaj ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde de akıllı telefon ve LDR kullanılan yöntemlerde olduğu gibi fototransistörden alınan voltaj verileri ile solarmetreden (referans cihazdan) alınan güneş radyasyonu verileri arasında bir ilişki kurarak güneş radyasyonunu ölçmek hedeflenmiştir.

Yapılan ölçüm sonucunda fototransistörden elde edilen voltaj verilerinin güneş radyasyonu verilerine göre tutarsız olduğu görülmüştür (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Güneş radyasyonu ve voltaj değişimleri

Güneş radyasyonu ve voltaj arasındaki tutarsız ilişki kalibrasyon yapmak amacıyla oluşturulan ve Şekil 4.13'te verilen dağılım grafiğinde de açıkça görülmüştür.



Şekil 4.13. Ölçülen voltaj-güneş radyasyonu verilerinin dağılımı

Bu yöntemde voltaj ve güneş radyasyonu arasında kalibrasyon yapmak amacıyla ölçümler yapılmış fakat ölçüm verileri incelendiğinde bu iki büyüklük arasında herhangi bir tutarlı ilişki kurulamamıştır. Bunun sebebi fototransistörün direkt olarak multimetreye bağlanmış olması veya fototransistörün emiter, kollektör ve beyz uçlarının özelliklerinin geri planda kalmış olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması günümüzde mevcut olan global güneş radyasyonu ölçüm yöntemlerine alternatif olabilecek daha ucuz, basit ve kolay erişilebilir bir yöntem geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada elde edilen temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 1) Akıllı telefon ile yapılan ölçümlerde aydınlanma şiddeti değerlerinin geniş bir aralıkta ani değişim (dalgalanma) göstermesi sebebiyle difüzör (filtre) kullanımının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- 2) Akıllı telefon ile ölçülen global güneş radyasyonu verileri ile referans cihaz ile ölçülen global güneş radyasyonu verileri arasında genel ortalama hatanın %23,76 olduğu hesaplanmıştır. Ancak, ortalama hata miktarının 168 W/m^2 referans cihaz değerinin altında kalan akıllı telefon verilerinde %39,51'e yükseldiği, üstündeki verilerde ise %6,03'e düştüğü görülmüştür.
- 3) Akıllı telefon ile yapılan global güneş radyasyonu ölçüm sonuçlarının referans cihaz verileri ile karşılaştırılması sonucunda akıllı telefonun yüksek global güneş radyasyonunu düşük global güneş radyasyonundan daha iyi ölçtüğü ortaya çıkmıştır.
- 4) LDR verilerinden yola çıkılarak hesaplanan global güneş radyasyonu verileri ile referans cihaz ile ölçülen global güneş radyasyonu verileri arasında genel ortalama hatanın %6,4 olduğu bulunmuştur. Bu oranın 152 W/m^2 referans cihaz değerinin altında kalan verilerde ortalama %4,66'ya düştüğü, üstündeki verilerde ise %11,61'e yükseldiği belirlenmiştir.
- 5) LDR verileri yardımıyla hesaplanan global güneş radyasyonu ve referans cihaz verileri karşılaştırıldığında LDR'nin düşük global güneş radyasyonu ölçümünde yüksek global güneş radyasyonu ölçümünden daha başarılı olduğu ve hassasiyetinin yüksek olduğu görülmüştür.
- 6) Yüksek global güneş radyasyonu ölçümünde akıllı telefon yöntemi LDR yönteminden daha başarılı olurken, düşük global güneş radyasyonu ölçümünde ve genel anlamda global güneş radyasyonu ölçümünde LDR yöntemi akıllı telefon yönteminden daha başarılı sonuçlar vermiştir.
- 7) Fototransistörün sensör olarak kullanıldığı bir başka alternatif global güneş radyasyonu ölçüm yönteminde ise bu çalışmadaki haliyle referans cihaz ve

fototransistör verileri arasında tutarlı bir ilişki kurulamadığından dolayı kalibrasyon işlemi yapılamamıştır.

Çalışmada elde edilen bilgi ve deneyim sonucunda alternatif sensör ve yöntemler kullanılarak belirli iyileştirmeler ile daha doğru ölçüm sonuçları alınabileceği değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda ileri ki çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 1) Sensörlerin yerleştiği bölgeye ışık duyarlı boya kullanılarak güneş radyasyonunun sensör tarafından algılanması sağlanabilir.
- 2) Radyasyon ölçüm cihazlarında üst kısmında güneş spektrumuna bağlı filtreler kullanılmaktadır. Güneş radyasyonunun 300-1100 nm dalga boyu aralığı en yoğun enerjiye sahip olan bölge olduğundan bu aralıktaki dalga boyunun sensöre ulaşmasını sağlayacak şekilde filtreler kullanılmalıdır. Bu filtre kullanımına bağlı olarak tezde kullanılan yöntemlerin hassasiyeti daha fazla artırılabilir. Bu yönde daha fazla çalışma yapılması önerilir.
- 3) Akıllı telefon yönteminin maliyeti ve erişilebilirliği düşünüldüğünde sonuçların en azından yüksek global güneş radyasyonu ölçümü için olumlu olduğu aşikardır. Bu alanda gelecekte yapılacak olan çalışmalarda güneş ışığının yapısı ve davranışı, akıllı telefonların ışık sensörlerinin özellikleri ve kullanılacak filtrenin özellikleri gibi konular göz önünde bulundurulursa bu yöntem daha olumlu sonuçlar verebilir ve kullanımı yaygınlaşabilir.
- 4) LDR kullanılarak bu alanda gelecekte yapılacak olan çalışmalarda LDR'nin yüksek güneş ışığı konsantrasyonu altındaki davranışları üzerinde durulursa maliyet ve erişilebilirlik bakımından daha uygun olan bu yöntemin geleneksel güneş radyasyonu ölçüm yöntemlerine önemli bir alternatif olacağı düşünülmektedir.
- 5) Alternatif sensör kullanımı değerlendirilebilir. Bu çalışmada denenen ancak iyi sonuç vermediği için daha ileri çalışmalar yapılmayan, fototransistör ile daha fazla çalışma yapılması önerilir.
- 6) Sonuçlar incelendiğinde, bir sensör tipi ile belli bir güneş radyasyonu aralığında daha yüksek doğrulukta ölçüm yapılabilirken, başka bir sensör tipi ile farklı bir güneş radyasyonu aralığında daha yüksek doğrulukta ölçüm yapılabildiği görülmektedir. Dolayısıyla ucuz sensörlerin hibrit bir sensöre dönüştürülerek kullanılması daha geniş bir güneş radyasyon aralığında daha

yüksek doğrulukta ölçüm yapılmasını sağlayabilir. Bu açıdan ileri ki çalışmalarda bu yönde çalışma yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, A.A. and Qureshi, M.S. (2014). Estimating Global, Diffuse Solar Radiation for Chhor and Validation with Satellite-Based Data. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 39 (1). 175–179.
- Acaroğlu, M. (2013). *Alternatif Enerji Kaynakları*. Ankara: Nobel Yayın
- Al-Taani, H. and Arabasi, S. (2018). Solar irradiance measurements using smart devices: A cost-effective technique for estimation of solar irradiance for sustainable energy systems. *Sustainability (Switzerland)*. 10 (2).
- Almorox, J. (2011). Estimating global solar radiation from common meteorological data in Aranjuez, Spain. *Turkish Journal of Physics*. 35 (1). 53–64.
- Alper, F.Ö. (2018). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: 1990-2017 Türkiye Örneği. *Cankiri Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 8 (2). 223–242.
- Arıman, S., Taflan, G.Y., and Çelik, E. (2021). Samsun Bölgesi için Güneş Radyasyonunun Yapay Sinir Ağı ile Tahmini. *European Journal of Science and Technology*. (25). 680–687.
- Arveson, P. (2017). *A low-cost method for measuring solar irradiance using a lux meter*.
- Avallone, E., Mioralli, P.C., Scalon, V.L., Padilha, A., and Del Rio Oliveira, S. (2018). Thermal pyranometer using the open hardware arduino platform. *International Journal of Thermodynamics*. 21 (1). 1–5.
- Away, Y. and Ikhsan, M. (2017). Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry. *Automation in Construction*. 73 . 175–183.
- Aydınlanma Portalı (2022). Güneş Işığının Aydınlanma Şiddeti. Erişim: 3 Ocak 2022, <https://www.aydinlatma.org/gunes-isiginda-kac-luks-aydinlatma-seviyesi-gorulur.html>
- Badran, O., Al-Salaymeh, A., El-Tous, Y., and Abdala, W. (2010). Design and testing of an innovative solar radiation measurement device. *Energy Conversion and Management*. 51 (8). 1616–1620.
- Bakirci, K. (2017). Prediction of global solar radiation and comparison with satellite data. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 152–153 (November 2016). 41–49.
- Baltazar, J.C., Sun, Y., and Haberl, J. (2015). Improved methodology to evaluate clear-sky direct normal irradiance with a multi-pyranometer array. *Solar Energy*. 121 . 123–130.
- Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*. 3 (1). 37–54.
- Cooper, P.I. (1969). The Absorption of Radiation in Solar Stills. *Solar Energy*. 12 (3). 333–346.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. vol. 3, New Jersey John Wiley & Sons, Inc.
- Durak, M. (2016). Güneş Enerjisi: Teori ve Uygulama. Erişim: 7 Aralık 2021, <https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2021/05/G%C3%9CNE%C5%9E-ENERJ%C4%B0S%C4%B0-TEOR%C4%B0-VE-UYGULAMA-Murat-Durak.pdf>
- Echeweozo, E.O. and Duke, A.E. (2021). Application of Digital Multimeter in The Measurement of Solar Radiation Intensity. *FUW Trends in Science & Technology Journal*. 6 (1). 42–44.
- Ergün, A., Ceylan, İ., Aydın, M., Gürel, A.E., and Koçbulut, G. (2019). Solarmeter Design for

- High Solar Radiation Measurement and Experimental Validation. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*.
- Gabralı, D. ve Aslan, Z. (2020). Güneş Enerjisi Potansiyelinin Çoklu Lineer Regresyon ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. *AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*. 4 (1). 23–36.
- Garip, İ. (2021). Güneş Hücresinin Verimini Artırmak İçin Çok Eksenli Takip Sisteminin Tasarımı Ve Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*. 9 (4). 749–759.
- Gul, M. ve Celik, E. (2017). ANFIS Kullanılarak Tunceli İli İçin Global Güneş Radyasyonu Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 94 (4). 891–899.
- Hukseflux (2015). Pyranometer App. Erişim: 5 Aralık 2021, https://www.hukseflux.com/uploads/productdocuments/Pyranometer_App_2.0_manua1_v1504.pdf
- IEA (2020). Renewable Energy. Erişim: 10 Aralık 2021, <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>
- IEA (2021). Data and Statistic. Erişim: 10 Aralık 2021, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator>
- İbrahim, D. (2011). *Güneş Enerjisi Uygulamaları*. Ankara EMO Yayınları.
- Kaygusuz, K. (2012). Energy for sustainable development: A case of developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16 (2). 1116–1126.
- Kipp and Zonen (2022a). Product. Erişim: 5 Ocak 2022. <https://www.kippzonen.com/Product/13/CMP11-Pyranometer#.Yf-DPupByMo>
- Kipp and Zonen (2022b). Product. Erişim: 5 Ocak 2022. <https://www.kippzonen.com/Product/9/SP-Lite2-Pyranometer#.Yf-GU-pByMo>
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye ' de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*. 59 (692). 84–112.
- Kuncan, F. ve Şahin, M. (2017). “Yapay Sinir Ağı ve Uydu Dataları Kullanılarak Güneş Radyasyonunun Tahmini.” *IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium*. Malatya IEEE.
- Kurt, U. (2021). Güneş'in Yapısı. Erişim: 5 Aralık 2021, https://gozlemevi.ege.edu.tr/tr-8264/astronomi_yazilari.html
- Külcü, R. (2019). Global Güneş Radyasyonunun Ampirik Modellenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Çankırı İlinde Uygulanması. *YEKARUM e-DERGİ*. 4 (2).
- Lester, A. and Myers, D.R. (2016). A method for improving global pyranometer measurements by modeling responsivity functions. *Solar Energy*. 80 (3). 322–331.
- Lund, P.D. (2009). Effects of energy policies on industry expansion in renewable energy. *Renewable Energy*. 34 (1). 53–64.
- Menyhart, L., Anda, A., and Nagy, Z. (2015). A new method for checking the leveling of pyranometers. *Solar Energy*. 120 . 25–34.
- Michael, P.R., Johnston, D.E., and Moreno, W. (2020). A conversion guide: Solar irradiance and lux illuminance. *Journal of Measurements in Engineering*. 8 (4). 153–166.
- Mohammadi, K., Saghafifar, M., Ellingwood, K., and Powell, K. (2019). Hybrid concentrated solar power (CSP)-desalination systems: A review. *Desalination*. 468 . 114083.

- Olano, X., Sallaberry, F., and García De Jalón, A. (2014). The influence of sky conditions on the standardized calibration of pyranometers and on the measurement of global solar irradiation. *Energy Procedia*. 57 . 1283–1292.
- Orak, İ. (2019). The Thin Film Phototransistor Cell with Silver Interfacial Layer. *Turkish Journal of Nature and Science*. 8 (2). 1–5.
- Özçelik, M.A. (2017). The Analysis of the Optical Measurement Sensitivity of the Phototransistor and LDR Sensors. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*. 7 (2). 545–549.
- Özmen, H., Bakkal, M., ve Bakkal, S. (2020). Dünya Enerji Aktarım Hatları ve Hegemonya Savaşları : Türkiye ' nin Enerji Aktarım Hatları Pozisyonu Üzerine Bir İnceleme. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırma Dergisi*. 9 (3). 2595–2617.
- Öztürk, H.H. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. İstanbul: Birsen Yayınevi
- Rahbar, N. and Asadi, A. (2016). Solar intensity measurement using a thermoelectric module; experimental study and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management*. 129 . 344–353.
- Ruzgar, S. and Caglar, M. (2020). The Electrical Properties of Fabricated Pentacene Based Phototransistor with Polystyrene Gate Insulator. *BEU Journal of Science*. 9 (3). 1031–1039.
- Sartarelli, A., Vera, S., Echarri, R., Cyrulies, E., and Samsón, I. (2010). Heat flux solarimeter. *Solar Energy*. 84 (12). 2173–2178.
- Shenoy, V., Tripathi, P., Mahadik, A., Nalawade, P., and Mahajan, A. (2018). *Devices Used For Measuring Solar Radiation-A Review*. vol. 7.
- Shi, G., Qiu, X., and Zeng, Y. (2018). New method for estimating daily global solar radiation over sloped topography in China. *Advances in Atmospheric Sciences*. 35 (3). 285–295.
- Simón-Martín, M., Alonso-Tristán, C., González-Peña, D., and Díez-Mediavilla, M. (2015). New device for the simultaneous measurement of diffuse solar irradiance on several azimuth and tilting angles. *Solar Energy*. 119 . 370–382.
- Solargis (2020). Solar Resource Maps of World. Erişim: 13 Aralık 2021, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>
- Soluzione Solare (2022). Product. Erişim: 7 Ocak 2022, <https://soluzionesolare.com/products/sunmeter-pro-sunspec-photovoltaic-pyranometer/>
- Srikrishnan, V., Young, G.S., Witmer, L.T., and Brownson, J.R.S. (2015). Using multi-pyranometer arrays and neural networks to estimate direct normal irradiance. *Solar Energy*. 119 . 531–542.
- Şarlak, N. ve Güven, A. (2016). Global Güneş Radyasyon Tahmini: Gaziantep Uygulaması. *İMO Teknik Dergisi*. 7561–7568.
- Şenpınar, A. (2006). Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*.
- TCETKB (2021). Kömür. Erişim: 9 Aralık 2021, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-tabii-kaynaklar-komur>
- Tohsing, K., Phaisathit, D., Pattarapanitchai, S., Masiri, I., Buntoung, S., Aumporn, O., and Wattan, R. (2019). “A development of a low-cost pyranometer for measuring broadband solar radiation.” *Journal of Physics: Conference Series*. vol. 1380 Institute of Physics Publishing.
- TSE (2022). Metroloji ve Kalibrasyon Hakkında Genel Bilgi. Erişim: 28 Ocak 2022,

<https://tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2597>

- TTMD (2021). Güneş Enerjisi Sistemleri. Erişim: 13 Aralık 2021, <https://file.ttmd.org.tr/makale/27-3.PDF>
- TÜİK (2021). Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019. Erişim: 9 Aralık 2021, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2019-37196>
- Wikipedia (2012). Elektromanyetik Spektrum. Erişim: 9 Ocak 2022, <https://tr.wikipedia.org>
- Wikipedia (2020a). Fototransistör. Erişim: 3 Ocak 2022, <https://tr.wikipedia.org>
- Wikipedia (2020b). Rayleigh Saçılması. Erişim: 9 Ocak 2022, <https://tr.wikipedia.org>
- Wikipedia (2021a). Güneş. Erişim: 10 Aralık 2021, <https://tr.wikipedia.org>
- Wikipedia (2021b). Fotodirenç. Erişim: 3 Ocak 2022, <https://tr.wikipedia.org>
- Wikipedia (2021c). Aydınlanma Şiddeti. Erişim: 3 Ocak 2022, <https://tr.wikipedia.org>
- Yılmaz, E.A. ve Can Öziç, H. (2018). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Ve Gelecek Hedefleri. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*. 8 (3). 525–535.
- Yiğit, A. ve Atmaca, İ. (2018). *Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları*. Bursa: Dora Basım-Yayın Dağıtım
- Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G., and Xiong, B. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*. 3 (1). 1–11.

ÖZ GEÇMİŞ

Harun TATLI, Zile Dinçerler Lisesi'ni bitirdikten sonra 2012 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne başladı. Hazırlık ve 1. Sınıf eğitimlerini tamamladıktan sonra 2014 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesinde aynı bölüme yatay geçişle başladı. 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında OMÜ LEE Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Halen OMÜ LEE Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans 2. Sınıf öğrencisi olan Harun TATLI, orta derecede İngilizce bilmektedir. (22.02.2022).

İletişim Bilgileri

ORCID ID: 0000-0002-4243-2800

Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Tatlı, H. ve Özcan, H. (2021, Aralık). “Alternatif Solar Radyasyon Ölçümü İçin LDR ve Akıllı Telefon Kullanımı”. *III. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*, Ankara.