



**GÖLGELEME GEOMETRİSİNİN PV MODÜLÜN
ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Saleh MUSAED Saleh MUSAED ALNAKHLANI

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ**

**GÖLGELEME GEOMETRİSİNİN PV MODÜLÜN ENERJİ
PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Saleh Musead Saleh Musaed ALNAKHLANI

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2024**

Saleh Musaed Saleh Musaed ALNAKHLANI tarafından hazırlanan “GÖLGELEME GEOMETRİSİNİN PV MODÜLÜN ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/06/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Bahadır ACAR (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Saleh Musaed Saleh Musaed ALNAKHLANİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖLGELEME GEOMETRİSİNİN PV MODÜLÜN ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Saleh MUSAED Saleh MUSAED ALNAKHLANI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

Haziran 2024, 70 sayfa

Bu tezde, gölgeleme geometrisinin PV modül performansı üzerindeki etkisi üç farklı geometrik şekil ile deneysel olarak incelenmiştir. Deney, Ocak 2024'te Karabük, Türkiye'de gerçekleştirilmiştir. Dört adet 50 W monokristal PV modülü kullanılmıştır. Çeyrek daire, üçgen ve dikdörtgen şekilleri sırasıyla ikinci (PV2), üçüncü (PV3) ve dördüncü (PV4) PV modüllerinin merkezine yerleştirilmiştir. Birinci PV modülü (PV1) referans modül olarak kullanılmıştır. Karabük'te gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, PV1, PV2, PV3 ve PV4 modüllerinin elektriksel güç üretimi sırasıyla 28,89 W, 12,42 W, 15,69 W ve 11,55 W olarak belirlenmiştir. PV1, PV2, PV3 ve PV4 modüllerinin elektriksel verimliliği sırasıyla %12,20, %5,33, %6,85 ve %4,97 olup, bu değerler PV1'e kıyasla sırasıyla %6,87, %5,35 ve %7,23 azalmıştır. PV1, PV2, PV3 ve PV4 modüllerinin ekserji verimliliği sırasıyla %10,42, %2,06, %4 ve %1,38 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Yenilenebilir enerji, Gölgeleme geometrisi, PV modülü.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SHADING GEOMETRY ON THE ENERGY PERFORMANCE OF THE PV MODULE

Saleh MUSAED SALEH MUSAED ALNAKHLANI

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Selçuk SELİMLİ

June 2024, 70 pages

In this thesis, the effect of shading geometry on the performance of the PV module was experimentally investigated with three different geometry shapes. The experiment was done in Karabuk, Turkey, in January 2024. There were four 50-W monocrystalline PV modules in use. The quarter-circle, triangle, and square shapes were placed in the center of the second (PV2), third (PV3), and fourth PV modules (PV4), respectively. The first PV module (PV1) was utilized as a reference module. As a result of the experimental study conducted in Karabuk, the electrical power production of the PV1, PV2, PV3, and PV4 modules was determined to be 28.89 W, 12.42 W, 15.69 W, and 11.55 W, respectively. The electrical efficiency of PV1, PV2, PV3, and PV4 modules was 12.20%, 5.33%, 6.85%, and 4.97% respectively, which decreased by 6.87%, 5.35%, and 7.23%, respectively, compared to PV1. The exergy efficiency of PV1, PV2, PV3, and PV4 modules was 10.42%, 2.06%, 4%, and 1.38%, respectively.

Key Word : Renewable energy, Shading geometry, PV module.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmamın boyunca bana destek olan, engin bilgi ve tecrübelerini en etkili Şekilde paylaŐan, atölye çalıŐmalarında gece gündüz demeden bana vakit ayıran ve eğitim yararına tüm engelleri aŐan değerli hocam Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ'ye en kalbi duygularım ile sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Bahadır ACAR'a bizlere sağladığı imkanlar ve yönlendirmelerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Türkiye bursları, İslami Kalkınma Bankası Burs Programı (BaŐvuru no: 21YE031292) kapsamında sağladıkları maddi destek ve bana olan güvenleri ile eğitim sürecim boyunca sürekli destekleri için ve bilimsel yolculuğuma devam etmem için tüm engelleri kolaylaŐtırdıkları için kalbimin derinliklerinden teşekkür etmek isterim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemediğim yanımıda olan sevgili babam ve annem, İstanbul'daki teyzelerim, dayılarım ve tüm aileme tüm kalbimle teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ONAY SAYFASI	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ENERJİ KAYNAKLAR	2
1.1.1. Yenilenemeyen Enerji	3
1.1.2. Yenilenebilir Enerji	4
1.1.2.1. Biyokütle Enerjisi	5
1.1.2.2. Rüzgar Enerjisi.....	7
1.1.2.3. Hidroelektrik Enerjisi.....	9
1.1.2.4. Güneş Enerjisi.....	11
1.2. GÜNEŞ TEKNOLOJİLERİ	25
1.2.1. Fotovoltaik (PV) Teknolojileri	25
1.2.1.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemi Bileşenleri	26
1.2.1.2. Güneş PV Sistem Türleri	30
1.2.2. Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) Teknolojileri.....	32
1.2.3. Güneş Termal Teknolojileri.....	33
1.3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	34
BÖLÜM 2	36

	<u>Sayfa</u>
LİTERATÜR ÖZETİ.....	36
BÖLÜM 3	42
METERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. TERMODİNAMİK ANALİZ	42
3.2. GENEL SİSTEM.....	44
3.2.1. Kullanılan Ekipmanlar.....	45
3.2.1.1 PV Modülü.....	45
3.2.1.2. Güneş Işınım Ölçüm Cihazı.....	46
3.2.1.3. Dijital Voltmetre Ampermetre.....	47
3.2.1.4. Alüminyum Direnç	48
3.2.1.5. E-680 Üniversal Giriş Çıkış Gelişmiş Tarayıcı Cihazı.....	48
3.2.1.6. K Tipi Termokupl	49
3.2.1.7. RS-485 USB Converter.....	49
3.2.2. Deneyin Yapılışı	49
BÖLÜM 4	53
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	53
BÖLÜM 5	61
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya enerji tüketimi genel.....	2
Şekil 1.2. Türkiye’de enerji tüketimi genel.....	3
Şekil 1.3. Yenilenebilir enerji üretim kapasitesi.	4
Şekil 1.4. Yenilenebilir enerji kapasitesi büyümesi.	5
Şekil 1.5. Rüzgar Türbinin Çalışma Prensibi.....	7
Şekil 1.6. Yenilenebilir enerji kapasitesi büyümesi.	8
Şekil 1.7. Hidroelektrik sisteminin çalışma prensibi.	10
Şekil 1.8. Hidroelektrik temel bileşenleri.	10
Şekil 1.9. Dünya güneş ışınımının dağılım haritası.	12
Şekil 1.10. Dünya’nın enerji bütçesi.	13
Şekil 1.11. Güneş ışınımı dağılımı.	14
Şekil 1.12. Bir piranometrenin (a) ve bir piheliyometrenin (b) şematik gösterimi. .	15
Şekil 1.13. Gölge bantlı piranometre.	16
Şekil 1.14. Dünya’nın güneş etrafındaki yörüngesi.	16
Şekil 1.15. Dünya’nın boylam ve enlem açıları.	17
Şekil 1.16. Deklinasyon açısının günlere göre değişimi.	19
Şekil 1.17. Güneş açısı.	20
Şekil 1.18. Güneş yükseklik açısı.	21
Şekil 1.19. Güneş zenit açısı.	22
Şekil 1.20. Güneşin gökyüzündeki yolunun şematik görünümü.....	23
Şekil 1.21. Geliş açısıyla eğik yüzey 23	23
Şekil 1.22. Geliş açısıyla eğik yüzey 24	24
Şekil 1.23. Güneş enerjisi teknolojisi türü 25	25
Şekil 1.24. PV hücresi, modül ve dizi..... 26	26
Şekil 1.25. PV’nin çalışma prensibi..... 27	27
Şekil 1.26. Mono ve polikristalin modülleri. 28	28
Şekil 1.27. Bağlı bir güneş PV sisteminin konfigürasyonu 31	31
Şekil 1.28. Şebekeye bağlı olmayan güneş PV sisteminin konfigürasyonu 32	32
Şekil 1.29. (a) Parabolik oluk sistemi (b) Güç kulesi (c) Disk/motor sistemleri 32	32

Sayfa

Şekil 3.1. Deney sisteminin semaşı.....	45
Şekil 3.2. Kullanılan PV modülü.	45
Şekil 3. 3. Güneş ışınım ölçüm cihazı.....	46
Şekil 3.4. Dijital voltmetre dijital ampermetre	47
Şekil 3.5. Alüminyum direnç.	48
Şekil 3.6. Kullanılan E-680 tarayıcı cihazı.	48
Şekil 3.7. Kullanılan termokupl.	49
Şekil 3.8. Kullanılan USB converter.....	49
Şekil 3.9. (a) Pratik (b) Teorik PV Modül akım ve gerilim ölçümü bağlantı şeması.	50
Şekil 3.10. Termokuplların yerleştirilme konumları.....	51
Şekil 3.11. PV modülünü gölgelemek için kullanılan şekiller.....	51
Şekil 3.12. Deney düzeneği.....	52
Şekil 4.1. Zamana bağlı ortam sıcaklığı grafiği.....	53
Şekil 4.2. Zamana bağlı güneş ışınımı grafiği.	54
Şekil 4.3. Zamana bağlı PV modül sıcaklık grafiği.	54
Şekil 4.4. Zamana bağlı akım değişim grafiği.	55
Şekil 4.5. Zamana bağlı gerilim değişim grafiği.....	56
Şekil 4.6. Zamana bağlı elektriksel gücünün grafiği.	56
Şekil 4.7. Zamana bağlı güneş gücünün grafiği.....	57
Şekil 4.8. Zamana bağlı elektriksel veriminin grafiği.....	58
Şekil 4.9. Zamana bağlı elektriksel ekserjinin grafiği.	58
Şekil 4.10. Zamana bağlı güneş ekserjinin grafiği.....	59
Şekil 4.11. Zamana bağlı güneş ekserjinin grafiği.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Aylara göre n değerinin hesaplanması.....	18
Çizelge 3.1. PV modülünün özellikleri.....	46
Çizelge 3.2. Güneş ışınım ölçüm cihazının özellikleri.	47
Çizelge 3.3. Gerilim ve akım ölçerin özellikleri.....	47
Çizelge 3.4. Dirençlerin özellikleri.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A : PV yüzey alanı
 $\Delta \dot{E}$: Enerji farkı
 $\Delta \dot{E}x$: Ekserji farkı
 \dot{E}_{gi} : Giriş gücü
 $\dot{E}_{çl}$: Çıkış gücü
 $\dot{E}x_{gi}$: Giriş ekserjisi
 $\dot{E}x_{çl}$: Çıkış ekserjisi
 $\dot{E}x_y$: Ekserji yıkımı
 $\dot{E}x_e$: Elektrik ekserjisi
 $\dot{E}x_g$: Güneş ekserjisi
 $\dot{E}x_{tr}$: Termal ekserjisi
 \dot{E}_e : Elektrik gücü
 \dot{E}_g : Güneş gücü
 $\dot{E}_{tr,k}$: Termal gücü
 FF : Dolum faktörü
 h : Toplam ısı aktarım katsayısı
 I_m : Optimum çalışma akımı
 I_g : Güneş ışınımı
 I_{sc} : Kısa devre akımı
 PV : Fotovoltaik modülü
 V_m : Optimum çalışma gerilimi
 V_{oc} : Açık devre gerilimi
 $T_ç$: Ortam sıcaklığı
 T_g : Güneş sıcaklığı
 T_m : Modülün sıcaklığı

ΔT : Modül ve ortam sıcaklık farkı

η_I : Enerji verimi

η_{II} : Ekserji verimi

KISALTMALAR

ACDB : Alternating Current Distribution Box (Alternatif Akım Dağıtım Kutusu)

BIPV : Building-Integrated Photovoltaic (Bina Entegre Fotovoltaik)

CSP : Concentrated Solar Power (Konsantre Güneş Enerjisi)

CSP : Concentrating Solar Power (Konsantre Güneş Enerjisi Sistemi)

DNI : Direct Normal Irradiance (Doğrudan Normal Işınım)

DHI : Diffuse Horizontal Irradiance (Difüz Yatay Işınım)

GHI : Global Horizontal Irradiance (Global Yatay Işınım)

MTEP : Million Ton Equivalent of Petroleum (Milyon Ton Eşdeğer Petrol)

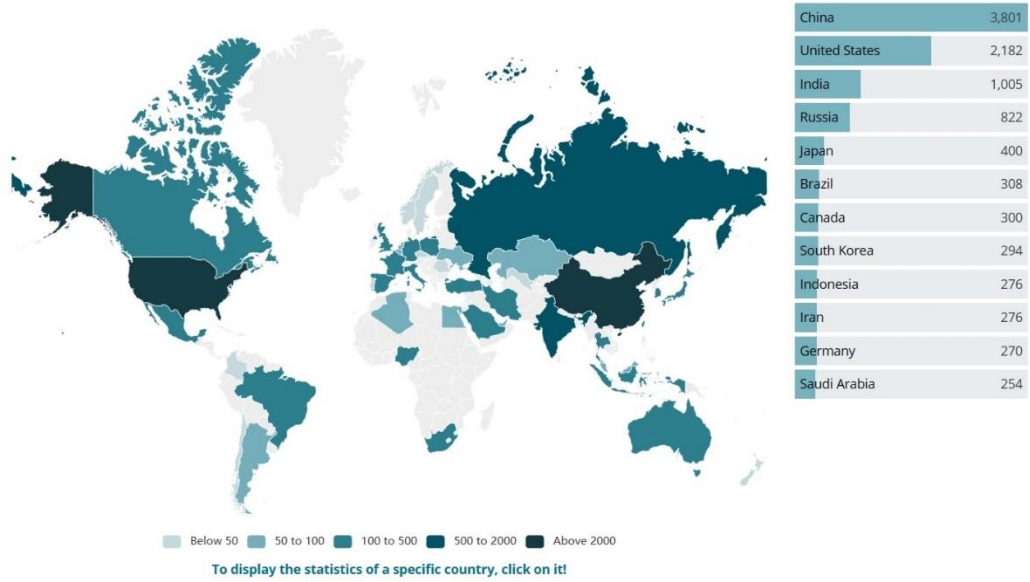
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, herhangi bir toplumda sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel kaynağıdır. İnsan ve hayvan gücü dışındaki başlıca enerji kaynakları, petrol kaynakları, doğal gaz, kömür, hidroelektrik enerji, biyokütle, jeotermal, nükleer, rüzgar ve güneş enerjisidir. Herhangi bir ülkede tarım ve sanayi faaliyetlerinin artmasıyla enerji talebi de artmaktadır. Bu artışın bir sonucu olarak, mevcut tüm kaynakların kullanılması gerekmektedir. Ancak, çoğu gelişmekte olan ülkenin karşılaştığı bir sorun, kullanılan toplam enerjinin %90'dan fazlasını temin eden geleneksel enerji kaynaklarına yüksek bağımlılıktır [1–3]. 1970'lerin sonları ve 1980'lerin başlarında, enerji politikası ve enerji tasarrufuna geniş çapta uluslararası ilgi görmüştür. Bunun temel nedeni, 1973'te OPEC'in petrol ambargosu sonucu petrol arzlarında yaşanan büyük artışın neden olduğu petrol fiyatlarının büyük artışıdır. Daha yüksek petrol fiyatları, güneş enerjisi, rüzgar, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının özel ve devlet destekli gelişimini teşvik etmiştir. Son dönemde, artan enerji talebi, artan çevresel sürdürülebilirlik endişeleri ve fosil yakıtların kıtlığı ve artan fiyatları nedeniyle, yenilenebilir enerji dünya genelinde büyük ilgi çekmiştir. Güneş enerjisi kaynağının tükenmez, temiz ve çevre dostu olması nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önde geleni güneş enerjisidir. Mevcut dünya genelindeki enerji talebi, güneş enerjisinin mevcut potansiyeline göre oldukça düşüktür. Son birkaç yılda, diğer yenilenebilir kaynaklara kıyasla elektrik üretimi için güneş enerjisinin kullanımı önemli ölçüde artmıştır, bu durumun temel nedeni fotovoltaik (PV) teknolojisinin güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmek için en iyi ve en güvenilir yol olmasıdır. Fotovoltaik modüllerin performansı, kısmi gölgelenme dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Gölgelenmenin etkisi, modüllerin ve fotovoltaik sistemlerin verimliliğini etkiler[4]. Bu bölümde, geleneksel enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları ele alınmakta olup özellikle güneş enerjisine odaklanılmaktadır.

1.1. ENERJİ KAYNAKLAR

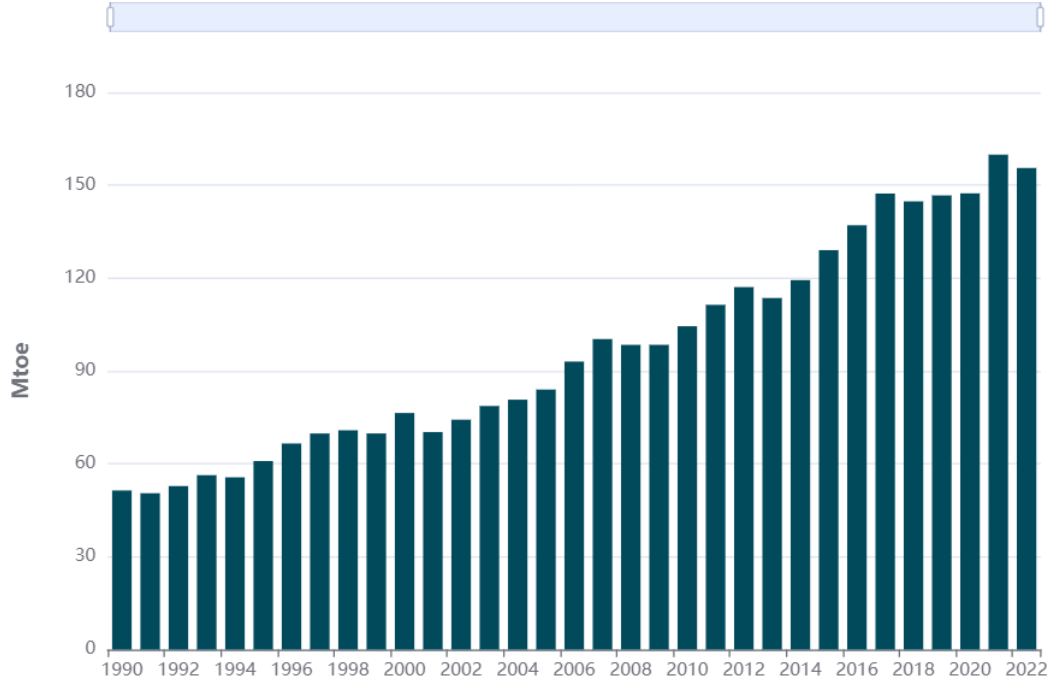
Dünya'daki enerji kaynakları iki kategoriye ayrılabilir: yenilenebilir olmayan (ayrıca "geleneksel" ve "fosil yakıt" olarak da bilinen) ve yenilenebilir ya da "alternatif" enerji. Fosil yakıtlar sınırlı miktarda bulunabildiği ve kısa sürede üretilmediği için yenilenemeyen enerji olarak adlandırılmaktadır. Fosil yakıtlardan farklı olarak alternatif enerjiye sürdürülebilir enerji de denilmektedir. Aşağıdaki Şekil 1.1, 2022 yılı için dünyada tüketilen enerjiyi göstermektedir. Asya en yüksek enerji tüketimine sahiptir.



Şekil 1.1. Dünya enerji tüketimi genel [5].

Çin, dünyanın en büyük enerji tüketicisi haline gelmiş. Çin 2022'de 3.801 MTEP tutarında enerji tüketmiştir [6].

Şekil 1.2, 1990'dan 2022'ye kadar Türkiye'de tüketilen enerjiyi göstermektedir. 2022'de tüketilen enerji miktarı 156 MTEP'dir.



Şekil 1.2. Türkiye’de enerji tüketimi genel [5].

1.1.1. Yenilenemeyen Enerji

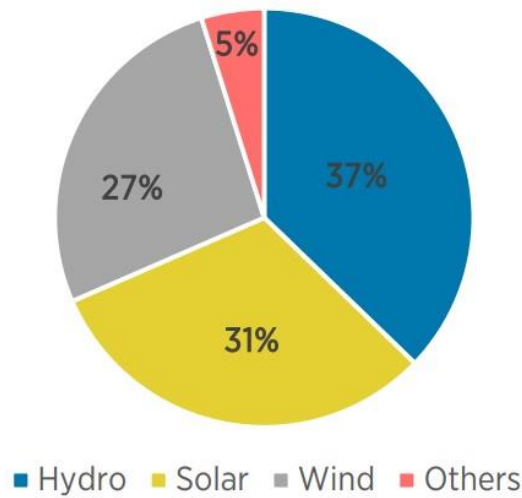
Dünyada kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı yenilenemeyen enerji kaynaklarından üretilmektedir. Şu anda kullanılan yenilenebilir olmayan enerji kaynakları fosil yakıtlardır. Üç ana fosil yakıt kömür, petrol ve doğal gazdır [6,7].

Kömür: yapraklar, kabuk ve odun gibi büyük miktarda bitki artığının kimyasal değişikliği ile oluşan bir tortul kayadır. Kömür, geniş bir şekilde yakıt olarak kullanılmakla birlikte, özellikle elektrik üretiminde kullanılmaktadır [7].

Petrol ve doğal gaz: Petrol ve doğal gaz benzer ortamlarda bulunur, ancak oluşumları karmaşık ve tam olarak anlaşılmamıştır. Bununla birlikte, bunların deniz tabanına batan ve çamurla karışan, çoğunlukla küçük yüzen organizmaların, hem bitki hem de hayvan materyalinin küçük deniz organik maddesi parçacıklarından oluştuğu bilinmektedir [7].

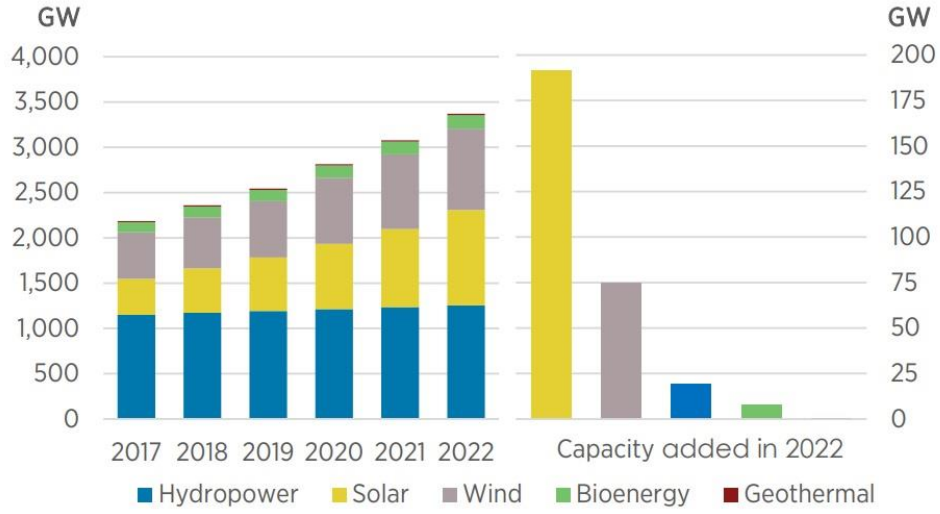
1.1.2. Yenilenebilir Enerji

Geleneksel enerji kaynakları olan petrol, kömür ve doğal gaz gibi kaynaklar, ekonomik ilerlemenin güçlü motorları olmasına rağmen çevre ve insan sağlığı açısından zararlıdır. Geleneksel enerji kaynaklarının insan ve çevre üzerindeki zararlı etkilerinin birkaç örneği, küresel ısınma, iklim değişikliği, ozon tabakasının incilmesi ve hava ile su kirliliğidir. Bu nedenle, dünya bu sorunları çözmek için temiz (yenilenebilir) enerjiye yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli, teoride dünya enerji talebinin birçok katını karşılayabilecektir. Biyokütle, rüzgar, güneş, hidroelektrik ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerji hizmetleri sağlayabilir. 2050 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel birincil enerji tüketiminin %20 ila %40'ını sağlaması öngörülmektedir. Şekil 1.3'te gösterildiği gibi, enerji kaynağına göre yenilenebilir enerji üretim kapasitesi. 2022'nin sonunda, küresel yenilenebilir enerji üretim kapasitesi 3.372 GW seviyesine ulaşmıştır. Yenilenebilir hidroelektrik enerji, küresel toplamın en büyük payını oluşturarak 1.256 GW kapasiteye sahiptir. Güneş ve rüzgar enerjisi ise kalanın çoğunluğunu oluşturarak sırasıyla 1.053 GW ve 899 GW toplam kapasiteye ulaşmıştır. Diğer yenilenebilir enerji kapasiteleri arasında 149 GW biyoenerji ve 15 GW jeotermal enerji bulunurken, bunlara ek olarak 524 MW deniz enerjisi kapasitesi yer almıştır [8–10].



Şekil 1.3. Yenilenebilir enerji üretim kapasitesi [10].

Şekil 1.4, 2022 yılında yenilenebilir enerjinin büyüme oranını göstermektedir. Yenilenebilir enerji üretim kapasitesi 2022’de 295 GW (+9,6%) artmıştır. Güneş enerjisi, %22 artışla 192 GW’lık bir artışla liderliğini sürdürmeye devam etmiştir, onu %9 artışla 75 GW’lık rüzgar enerjisi takip etmiştir. Yenilenebilir hidroelektrik kapasitesi %2 artışla 21 GW ve biyoelektrik %5 artışla 8 GW artmıştır. Jeotermal kapasitesi sadece hafifçe, 181 MW’a yükselmiştir [10].



Şekil 1.4. Yenilenebilir enerji kapasitesi büyümesi [10].

1.1.2.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, bitkilerden (algleri içeren), ağaçlardan ve tarımsal ürünlerden kaynaklanan tüm organik malzemeler için kullanılan bir terimdir ve temelde güneş enerjisinin fotosentez yoluyla toplanması ve depolanmasıdır. Biyokütle, insanlar odun yakarak yiyecek pişirmek veya ısınmak amacıyla binlerce yıldır enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, Biyokütle enerjisi veya biyoenerji, biyokütlenin ısı, elektrik ve sıvı yakıt gibi kullanışlı enerji formlarına dönüştürülmesidir [8,11].

Biyokütle Enerjisi Çıkarma Yöntemleri

Biyokütle çeşitli dönüşüm süreçleriyle termal enerjiye, sıvı, katı veya gaz halinde yakıtlara ve diğer kimyasal ürünlere dönüştürülebilir.

- Doğrudan Yanma

Biyokütleden enerji çıkarmak için en basit yöntemdir. Odun, tarımsal atıklar, belediye katı atıkları gibi biyokütle, buhar üretmek için yakılır. Oluşan buhar bir türbini döndürür ve türbin bir jeneratörü çalıştırarak elektrik üretir.

- Gazlaştırma

Gazlaştırma, katı atığı yüksek sıcaklıklara ve sınırlı oksijene maruz bırakarak karbonmonoksit, karbondioksit, azot, hidrojen ve metan gibi gaz halinde bir yakıt elde etmeyi sağlayan bir süreçtir. Metan, doğal gazla benzer bir şekilde işlenebilir ve aynı amaçlar için kullanılabilir. Uygun koşullar altında, sentez gazı adı verilen karbonmonoksit ve hidrojen karışımı üretebilir. Sentez gazı, fosil yakıtların yerine geçmek için metan ve metanol gibi hidrokarbonların üretiminde kullanılabilir.

- Piroliz

Biyokütleyi oksijensiz ortamda ısıtılarak uçucu maddeleri uzaklaştırır ve geriye kömür bırakır. Kömür, aynı zamanda orijinal biyokütleden çok daha yüksek bir sıcaklıkta yanar, bu da üretim süreçleri için daha kullanışlı hale gelmesini sağlar. Toplanan uçucu maddeler, hidrojen ve karbonmonoksit bakımından zengin bir gaz üretir. Bu bileşikler metan ve metanol olarak sentezlenir.

- Fermantasyon

Bu süreçte, maya ve diğer mikroorganizmalar şekerin fermantasyonuyla etanol üretmek için kullanılmıştır [12].

Biyokütle Enerjisinin Avantajları

- Biyokütle dünyadaki en bol kaynaklardan biridir.
- Biyokütle yenilenebilir enerjidir.

- Yakıt ve enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere biyokütle üretme maliyeti, fosil yakıtları bulma ve çıkarma maliyetine kıyasla çok ucuzdur.
- Biyokütle doğal formundan kolaylıkla alkol gibi yüksek enerjili yakıtlara veya bir tür gaz haline dönüştürülebilir [13].

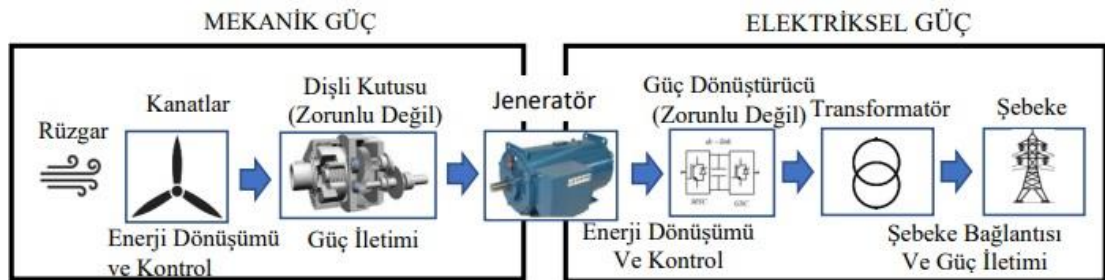
Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları

- Biyokütle hala pahalı bir enerji kaynağıdır.
- Biyokütle, benzer bir hacimdeki fosil yakıtlardan daha az enerjiye sahiptir.
- biyokütle doğrudan yakıldığında çevreye zararlı olabilir çünkü biyokütle yakılması karbondioksit salınımına neden olur.
- Ağaçların aşırı toplanması ormanları yok edebilir [12].

1.1.2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, potansiyel bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilir. Rüzgar, güneşin dünya yüzeyini eşit olmayan şekilde ısıtması ve dünyanın dönmesi sonucunda oluşur. Güçlü rüzgarlar, karasal ve deniz alanları arasındaki keskin sıcaklık farkından kaynaklanır. Gündüzleri, kara üzerindeki hava su üzerindeki havadan daha hızlı bir şekilde ısınır. Kara üzerindeki sıcak hava genişler ve yükselir; Su üzerindeki daha ağır ve serin hava yerini almak için hızla hareket ederek yerel rüzgarlar oluşturur [3,14].

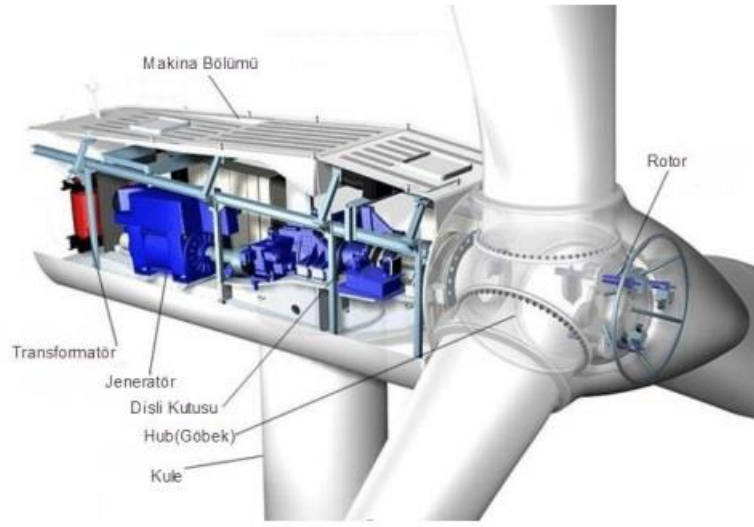
Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Çalışma Prensibi



Şekil 1.5. Rüzgar türbinin çalışma prensibi [15].

Şekil 1.5'te gösterildiği gibi, rüzgar enerjisi dönüşüm cihazları genellikle rüzgar türbinleri olarak bilinir, rüzgar akışının enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler. Bir elektrik jeneratörü türbine bağlanıp elektrik enerjisi üretmek için kullanılır [15].

Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Temel Bileşenleri



Şekil 1.6. Rüzgar sisteminin temel bileşenleri [15].

- Pervane Kanatları ve Rotor: Görevi rüzgar enerjisini kinetik enerjiye dönüştürmektir.
- Kule: Görevi rotoru, kanatları ve makine bölümünü taşımaktır.
- Jeneratör: Görevi mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir.
- Makina Bölümü: Görevi fren sistemi, dişli kutusu, kontrol ünitesi ve rüzgar ölçeri taşımaktır.
- Fren sistemi: Görevi bir arıza durumunda sistemi sorunsuz bir şekilde durdurmaktır.
- Dişli Kutusu: Görevi jeneratöre bağlı dönen şaftın hızını arttırmaktır.
- Rüzgar Ölçer (Anemometre): Görevi rüzgarın hızını ve yönünü ölçmektir.
- Kontrol Ünitesi: Görevi herhangi bir arıza durumunda sistemi otomatik olarak durduran bir ünedir [15].

Rüzgar Enerjisinin Avantajları

- Temiz bir enerji kaynağıdır: Karbon dioksit üretmeden elektrik sağlar.
- Sürdürülebilirlik: Güneş parladığında ve rüzgar estiğinde, enerji kullanılabilir.
- Elektrik Maliyetinin Kararlılığı: Fosil yakıtların fiyatına bağlı değil.
- Maliyet etkinliği: Günümüzde rüzgar çiftliklerinden elektrik üretme maliyeti, fosil yakıtla elde edilen elektrikle çok rekabetçi hale gelmiştir [16].

Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları

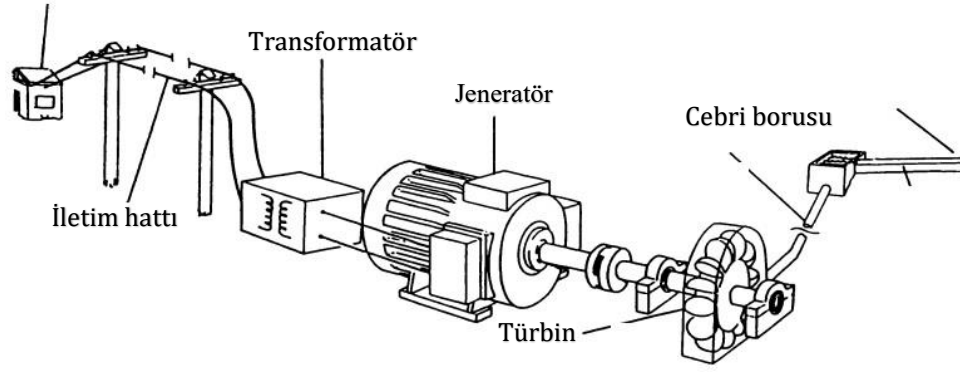
- Rüzgar tahmin edilemez, rüzgar çiftliklerinden elektrik üretimi ile ilişkilendirilen tüm sorunlar arasında en önemlisidir.
- Gürültü kirliliği.
- Türbin kanatları, doğal yaşamı zarar verebilir.
- Başlangıç maliyeti [16].

1.1.2.3. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjiyi, yenilenebilir bir elektrik enerji kaynağıdır. Yakıt maliyeti yoktur ve düşük işletme ve bakım maliyeti avantajına sahiptir. Yenilenebilir enerjinin en yaygın kullanılan biçimidir. Hidroelektrik, düşen suyun enerjisini kullanarak mekanik veya elektrik enerjiyi üretmeyi ifade eder [17,18].

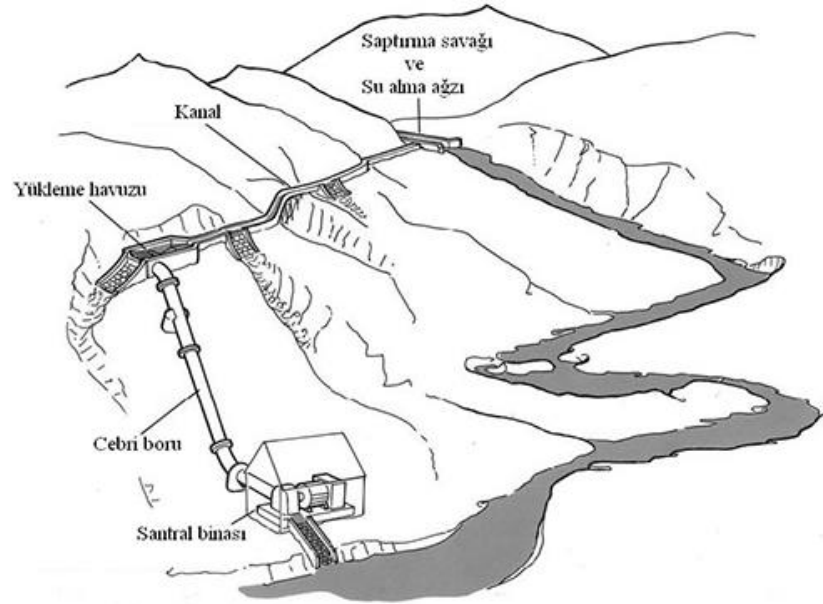
Hidroelektrik Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Çalışma Prensibi

Şekil 1.7’de gösterildiği gibi, su kanaldan (zorunlu boru) türbin tekerleğine akar. Su, türbin tekerleğine çarptığında türbin milinin dönmeye neden olur. Dönen mil, jeneratöre bağlı olduğundan milin hareketini elektrik enerjisine dönüştürür. Elektrik enerjiyi, bir transformatör kullanılarak şebeke hattına ve oradan da tüketicilere iletilir [18].



Şekil 1.7. Hidroelektrik sisteminin çalışma prensibi [19].

Hidroelektrik Temel Bileşenleri



Şekil 1.8. Hidroelektrik temel bileşenleri [20].

- Su rezervuarı: Türbinleri çalıştırmak ve elektrik enerjisi üretmek için kullanılan suyu depolamak için kullanılır.
- Baraj: Barajın ana görevi su seviyesinin yükseltilmesidir. Ayrıca depolama sağlar.
- Su yolu: Suyu barajdan enerji santraline taşımak için kullanılır. Kanal, cebri boru (kapalı boru) veya tüneli içerir.

- Elektrik santrali: Türbinlerin, jeneratörlerin ve yardımcı tesisatın bulunduğu bir binadır.
- Türbin: Cebri borudan (penstock) gelen suyun enerjisini dönme mekanik enerjiye dönüştüren mekanik bir cihazdır.
- Jeneratör: Türbinin dönme mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür.
- Regülatör: Elektrik yükünün talebine bağlı olarak türbinlere giren su miktarını kontrol eder [14,21].

Hidroelektrik Enerjinin Avantajları

- Yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- çevre dostu ve temiz bir enerji kaynağıdır: çevreye herhangi bir kirletici salmaz.
- Baraj inşa edildikten sonra sabit oranda elektrik üretilebilir.
- Elektriğe ihtiyaç duyulmaması halinde savak kapakları kapatılarak elektrik üretimi durdurulabilir.
- Barajın arkasında oluşan göl sulama amaçlı kullanılabilir [17].

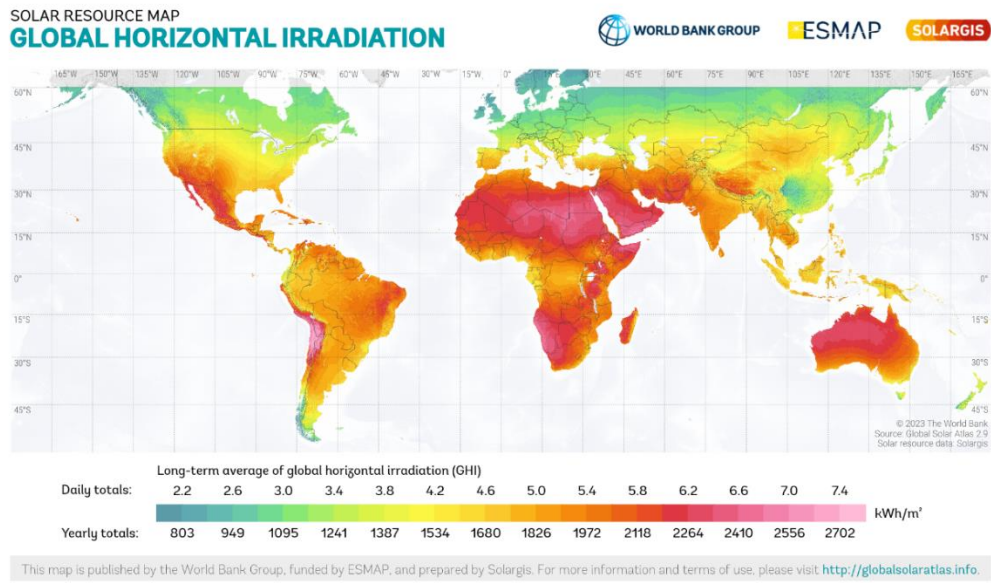
Hidroelektrik Enerjinin Dezavantajları

- Tesisin başlangıç maliyeti yüksektir.
- Bu tür tesislerin kurulması oldukça uzun zaman alır.
- Hidroelektrik santralının ürettiği güç, su miktarına ve yağış miktarına bağlıdır.
- Hidroelektrik santraller genellikle yük merkezlerinden uzak konumlandırılır [14].

1.1.2.4. Güneş Enerjisi

Güneş, gezegenimizdeki tüm enerji formlarının kaynağı olarak kabul edilir. Güneş ışınları doğrudan dünyaya iletilip çeşitli yollarla kullanılabilir. Ayrıca, güneş ışınları rüzgar enerjisi, kömür ve petrol dahil olmak üzere diğer enerji formlarına

dönüştürülebilir. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerjinin ana kaynağı olarak kabul edilir. Dünya enerji talebini karşılamak için büyük potansiyele sahiptir. Güneş, çapı 1.390.000 km olan yoğun sıcak gaz halinde bir küredir. Dünya'dan 150.000.000 km uzaktadır. Güneşin etkili bir siyah cisim sıcaklığı 5.762 K, sıcaklığı 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasındadır. Güneş, sürekli bir füzyon reaktörüdür; burada dört hidrojen protonu helyum çekirdeğini oluşturmak için birleşir. Helyum çekirdeğinin kütlesi dört protonun kütlesinden daha az olduğu için bu reaksiyonda kütle kaybı meydana gelip bu kayıp enerjiye dönüşür.



Şekil 1.9. Dünya güneş ışınımının dağılım haritası [22].

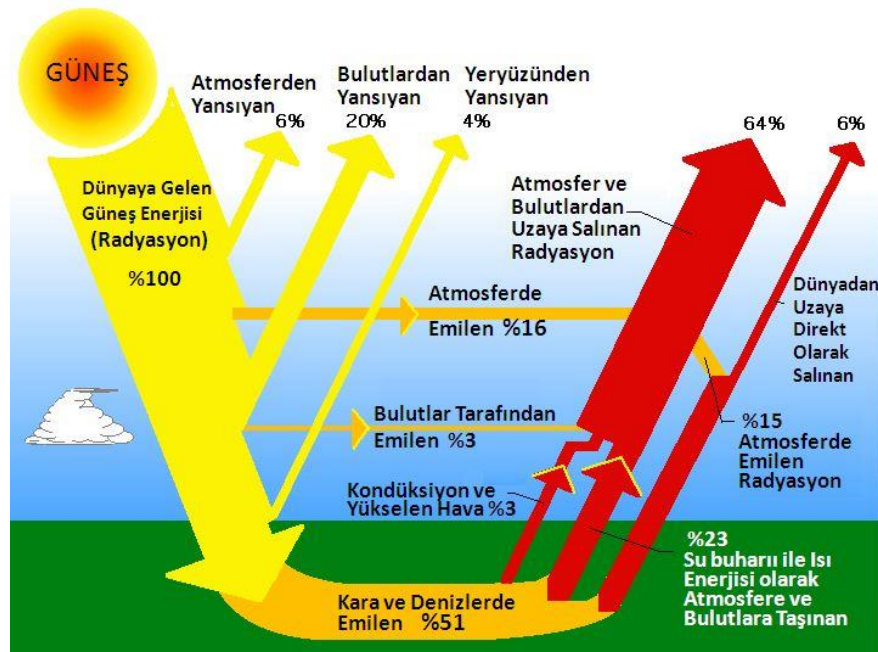
Güneşten atmosfer dışındaki bir birim alana dik olarak yayılan radyasyona güneş sabiti denir ve değeri 1.367 W/m^2 'dir. Bu radyasyon genellikle yere ulaştığında 1.100 W/m^2 'ye kadar düşer. Şekil 1.9'da gösterildiği gibi, Dünya'ya ulaştığını global ışınımı [3,23].

Güneş Işınımı

Güneş, sabit miktarda enerji üreten bir kaynak olarak kabul edilir. Güneş'in yüzeyinde güneş ışınlarının yoğunluğu yaklaşık olarak $6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 'dir. Dünya atmosferinin üstüne düşen dalga boyuna bağlı olarak yayılan elektromanyetik radyasyon dağılımına

güneş spektrumu denir. Güneş spektrumu, ultraviyole ışınları, görünür ışık ve kızılötesi ışıklardan oluşur. Güneş enerjisi üretimi genellikle güneş spektrumunun görünür kısmıyla ilgilidir. Güneş sabiti, atmosferin üstüne ulaşan toplam güneş enerjisidir. Güneş ışınlarının yoğunluğuna ışınım şiddeti denir, alan başına düşen güç birimiyle (W/m^2 veya kW/m^2) ölçülür. Ancak güneş ışınlarının toplam enerjisine ışıma denir, enerji birimiyle alan başına düşen değerle (J/m^2) ölçülür [24,25].

Şekil 1.10'da gösterildiği gibi, Dünya atmosferine ulaşan gelen güneş ışınımı iki kategoriye ayrılır.



Şekil 1.10. Dünya'nın enerji bütçesi [26].

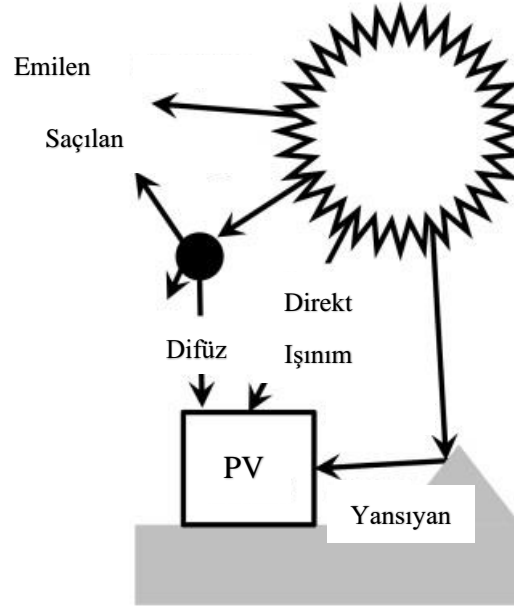
Birincisi, doğrudan Dünya yüzeyine ulaşan ve doğrudan ışınım olarak bilinir. İkincisi ise atmosfer içinde dağılan, emilen ve yeniden yayılan ışınımdır. Bu dağılan ışınım ise difüz ışınım olarak bilinir. Genellikle doğrudan ışınımdan daha yoğun değildir [23].

Şekil 1.11'de gösterildiği gibi, yeryüzüne gelen güneş ışınım çeşitleri:

- Direkt ışınım (veya doğrudan ışınım): atmosferden düz bir şekilde gelip düzleme çarpan (çok yönlü olan) ışınım.

- Difüz ışınım (dağınık ışınım): atmosferde her yöne saçılan ve ardından dünya yüzeyindeki bir düzleme ulaşan (yönsüz olan) ışınım.
- Yansıyan ışınım: Dünya yüzeyine çarpan ve düzleme yansıyan ışınımın bir kısmıdır; bu hem ışınımın doğrudan ve dağınık kısımlarını içerir.
- Global ışınım: Yeryüzüne ulaşan direkt, difüz ve yansımış ışınımın toplamıdır.

Gelen ışınların yansıtılan, saçılan ve emilen enerji miktarı ışığın geçtiği atmosfer tabakalarının, atmosferde bulunan toz ve su buharı seviyelerinin miktarına bağlıdır [24].



Şekil 1.11. Güneş ışınımı dağılımı [27].

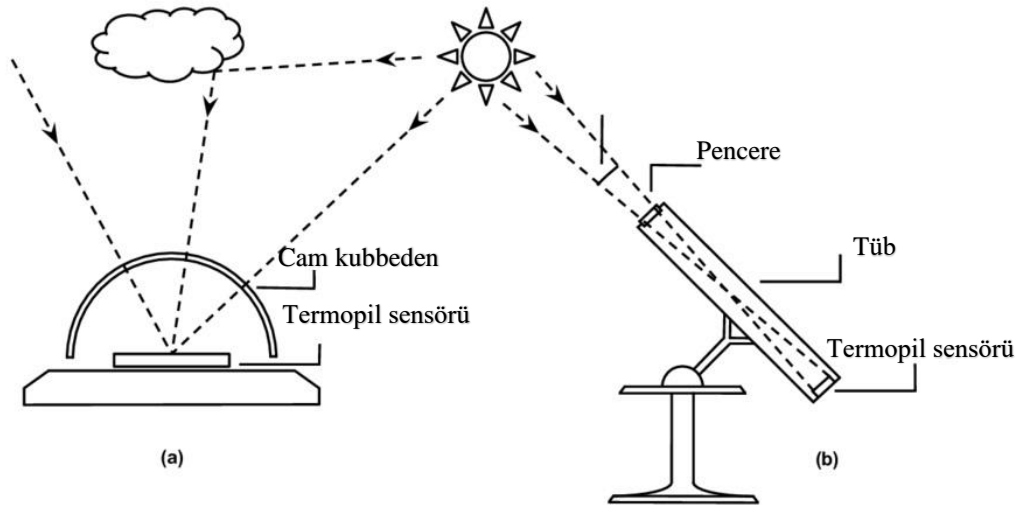
Güneş Işınımı Ölçümleri

Güneş ışınımı aşağıdaki cihazlar yardımıyla ölçülmektedir

- Pirheliyometre: Doğrudan normal ışınımı ölçmek için kullanılır. Güneş ışığı, cihaza bir pencereden girip bir termopile yönlendirilir. Termopile, ısıyı elektrik sinyaline dönüştürerek kaydedilebilir bir sinyal üretir. Bu sinyal gerilimi,

belirli bir formül aracılığıyla metrekare başına W cinsinden ölçüm yapmak için dönüştürülür.

- Piranometre: Stabil yatay bir platforma monte edilmiş, global yatay ışınımı ölçmek için kullanılır. Bunun anlamı, cihazın tüm yönlere gelen radyasyona yanlızsız bir yanıt vermesi gerektiğidir. Cihaz, yatay olarak yerleştirilmiş bir termopil sensörü ve dalga boyu aralığını sınırlayan bir cam kubbeden oluşur. Şekil 1.8’de bir piranometre ve bir piheliyometrenin şematik gösterimleri bulunmaktadır [28,29].

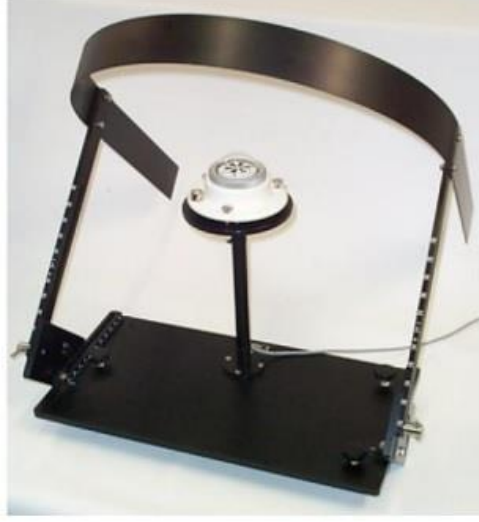


Şekil 1.12. Bir piranometrenin (a) ve bir piheliyometrenin (b) şematik gösterimi [26].

$$GHI = DNI \cos(\psi) + DHI \quad (1.1)$$

Eşetlik (1.1), Global ışınımın değerini bulmak için kullanılır [28].

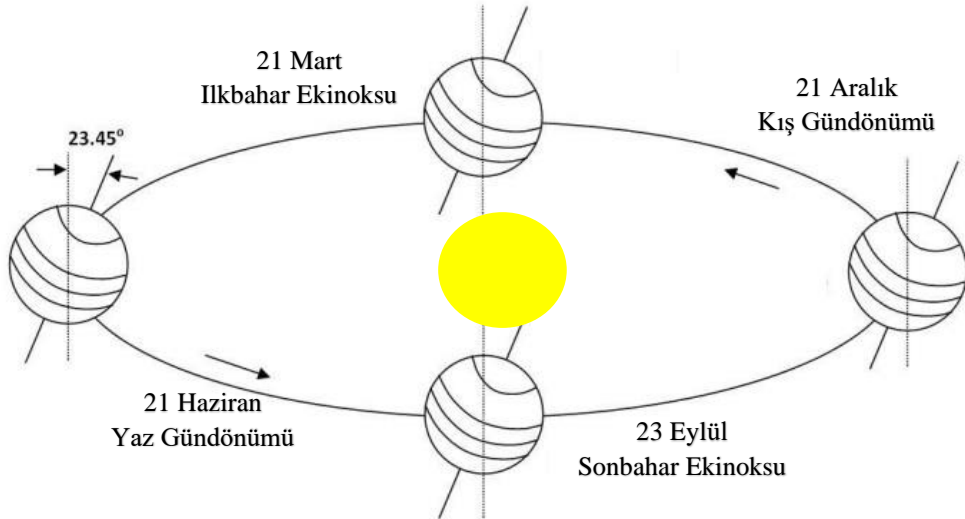
- Gölge Bantlı Piranometre: Difüz ışınımı ölçmek için kullanılır. Bir piranometre, gölge bandına entegre edilmiştir. Bu entegre sistemle, gölge bantları piranometrelere doğrudan güneş radyasyonunu engeller [30].
- Solarmetre: Direkt güneş ışınımını ölçerler. Şekil 4.3’te bu cihaz göstermiştir [31].



Şekil 1.13. Gölge bantlı piranometre [30].

Güneş Geometrisi

Güneşten gelen ışınlar ile dünya yüzeyleri arasında belirli açılar oluşur. Güneş enerjisinden etkili bir şekilde faydalanabilmek için güneşin açılarını bilmek gereklidir. Şekil 1.14'te gösterildiği gibi, dünya, değişken bir mesafede eliptik bir yörüngede güneş etrafında döner.



Şekil 1.14. Dünya'nın güneş etrafındaki yörüngesi [32].

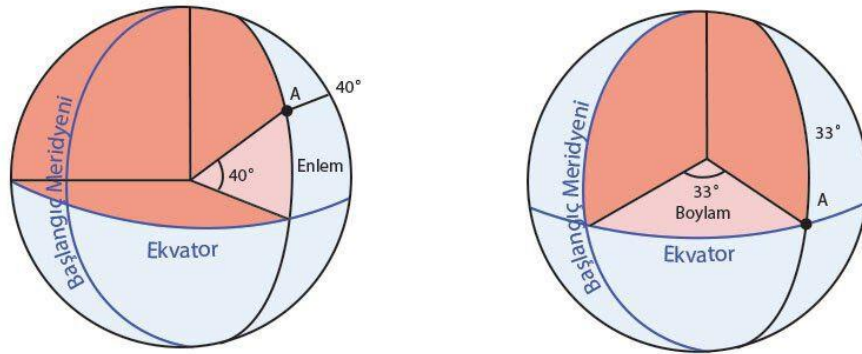
Güneş ve Dünya arasındaki merkezden merkeze minimum mesafe 21 Aralık'ta gerçekleşip 147 milyon kilometre değerine ulaşır. maksimum mesafe 21 Haziran'da 152 milyon km'dir. Dünya'nın Güneş etrafındaki tam dönüşü 365.25 gün sürer. Ayrıca, Dünya kendi etrafında bir kez dönerek bir günü tamamlar. Dünya'nın kendi etrafında dönme ekseninin eğimi, ekvatorial düzlemde $23,45^\circ$ 'dir. Bu eğim, dört mevsimin oluşmasına neden olur [32].

Enlem açısı (φ)

Dünya üzerinde belirli bir konum ile ekvator arasında kalan açıdır. Enlem Açısı -90° ile 90° ($-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$) arasında değişir. Enlemler kuzey yarımkürede pozitif değer alırken, güney yarımkürede negatif değer alır. Önemli enlemler şunlardır: –
(Ekvator $\varphi = 0^\circ$), (Yengeç Dönencesi $\varphi = 23,45^\circ$), (Oğlak Dönencesi $\varphi = -23,45^\circ$), (Kuzey Kutbu Dairesi $\varphi = 66,55^\circ$) ve (Güney Kutbu Dairesi $\varphi = -66,55^\circ$) [24].

Boylam açısı (L)

Dünya üzerinde belirli bir konum ile Londra yakınlarındaki Greenwich Çizgisi arasındaki açıdır. Boylam açısı -180° ile 180° ($-180^\circ \leq L \leq 180^\circ$) arasında değişir.



Şekil 1.15. Dünya'nın boylam ve enlem açıları [33].

Negatif boylamlar Greenwich Çizgisinin batısında, pozitif boylamlar ise doğusundadır. Enlem ve boylam, Dünya'nın yüzeyinin coğrafi koordinatlarını oluşturur. Türkiye, 36-42 derece kuzey enlemi, 26-45 derece doğu boylamı arasında yer almaktadır. Şekil 1.15, boylam ve enlem açılarının kavramını açıklar [32].

Deklinasyon açısı (δ)

Güneş ışınının ekvator ile yaptığı açıdır. Değeri yıl içinde değişir; 21 Haziran'daki yaz gün dönümünde $+23,45^\circ$ 'ye kadar çıkar ve 21 Aralık'taki kış gün dönümünde $-23,45^\circ$ 'ye kadar iner, bu sırada 21 Mart ve 23 Eylül'deki ilkbahar ve sonbahar ekinokslarında sıfır olur. Pozitif deklinasyon açısı değerleri, kuzey yarımkürenin güneşe eğik olduğunu gösterir (yaz mevsimi), negatif değerler ise güney yarımkürenin güneşe eğik olduğunu gösterir (kış mevsimi). Deklinasyon açısı δ , yılın herhangi bir günü (n) için yaklaşık olarak aşağıdaki denklemle hesaplanabilir [34]:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (n + 284) \right] \quad (1.2)$$

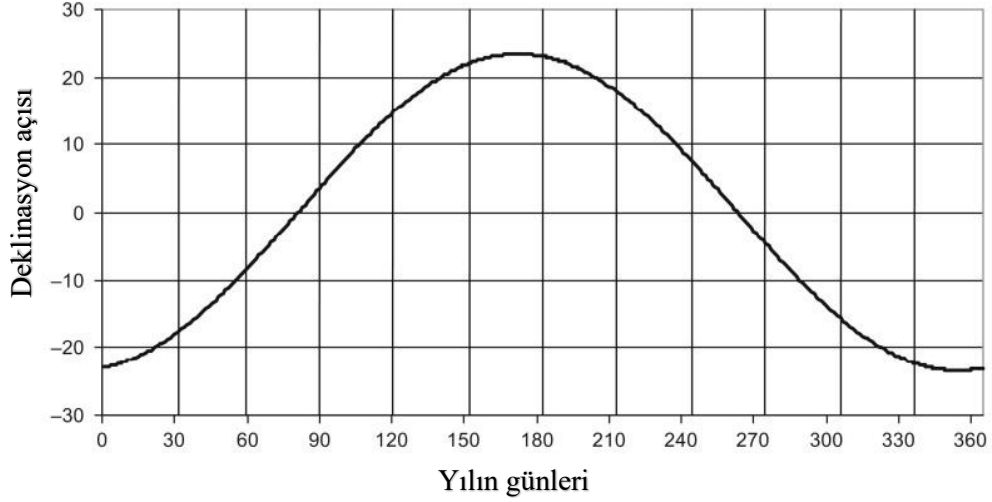
n , yılın gün sayısıdır (1 Ocak'ta $n=1$, 11 Şubat'ta $n=42$, 31 Aralık'ta $n=365$)

Çizelge 1.1. Aylara göre n değerinin hesaplanması.

Aylar	Belirli Bir Gün İçin n Değeri	Ayı Temsil Eden Gün	Ortalama Gün İçin n Değeri
Ocak	i	1	1
Şubat	$i + 31$	11	42
Mart	$i + 59$	9	68
Nisan	$i + 90$	28	118
Mayıs	$i + 120$	2	122
Haziran	$i + 151$	13	164
Temmuz	$i + 181$	22	203
Ağustos	$i + 212$	5	217
Eylül	$i + 243$	23	266
Ekim	$i + 273$	17	290

Kasım	$i + 304$	8	312
Aralık	$i + 334$	31	365

Şekil 1.16'da gösterildiği gibi, deklinasyon açısı yılın herhangi bir gününe göre değişimi yaklaşık olarak hesaplanabilir.



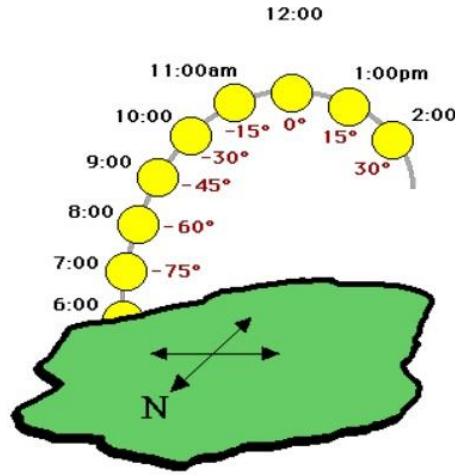
Şekil 1.16. Deklinasyon açısının günlere göre değişimi [34].

Saat açısı (ω)

Zamansal saatleri mekansal açılarla değiştirmek için kullanılır. Belirli bir zamandaki bir noktanın konumu ile aynı noktanın güneş öğlenindeki konumu arasındaki açı olarak tanımlanır. Güneş öğleni, tam olarak güneşin doğuşu ile batışı arasında yer alır. Dünya'nın kendisi etrafında tam bir dönüş yapması 24 saat sürdüğüne göre (360°), saat açısı aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$\omega = 15 (ST - 12) \quad (1.3)$$

Şekil 1.17'de gösterildiği gibi, Güneş saati (ST), 24 saatlik bir formatta güneş zamanını ifade eder.



Şekil 1.17. Güneş açısı [35].

Öğlen öncesi 0'dan 12'ye ve öğleden sonra 13'ten 24'e kadar başlıp güneşin gökyüzünde geçiş zamanına dayanır. Bu nedenle, saat açısı sabah saatlerinde negatif değerler alır, öğleden sonra pozitif değerler alır. Her bir saatlik zaman farkı, 15 derecelik bir saat açısı olarak kabul edilir [32].

Güneş batış saat açısı (ω_s)

Güneş öğleni, gün doğumu ile gün batımı arasındaki orta zamanıdır. Gün doğumu ile gün batımı arasındaki toplam süreye ise gündüz uzunluğu denir. Gün batımına karşılık gelen saat açısı belirli bir değere sahiptir, ω_s olarak gösterilir. Aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:-

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \times \tan(\delta)] \quad (1.4)$$

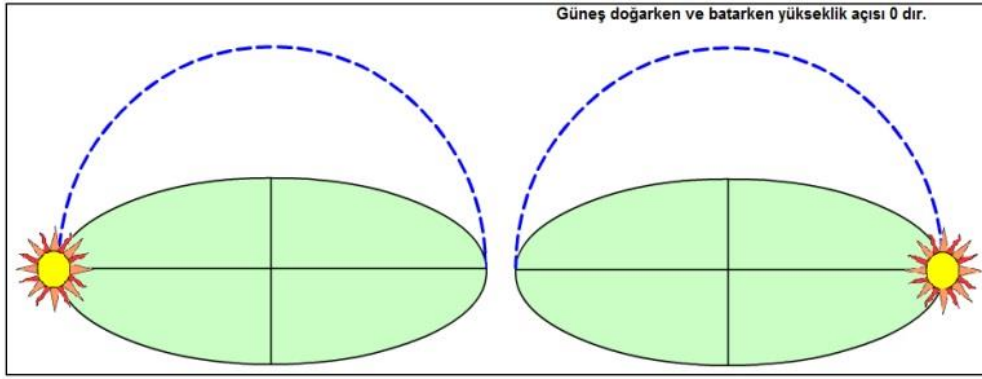
Gün batış saati bulmak için, ω_s değeri 15'e bölünerek saat cinsine dönüştürülür. Gündüz uzunluğunu bulmak için ω_s değeri 15'e bölünüp ardından güneş öğleni etrafındaki iki periyot için hesaba katılmak üzere 2 ile çarpılır. Dolayısıyla, saat cinsinden gündüz uzunluğu (DL) şu şekilde hesaplanır [34]:

$$DL = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (1.5)$$

Güneş yükseklik açısı (α)

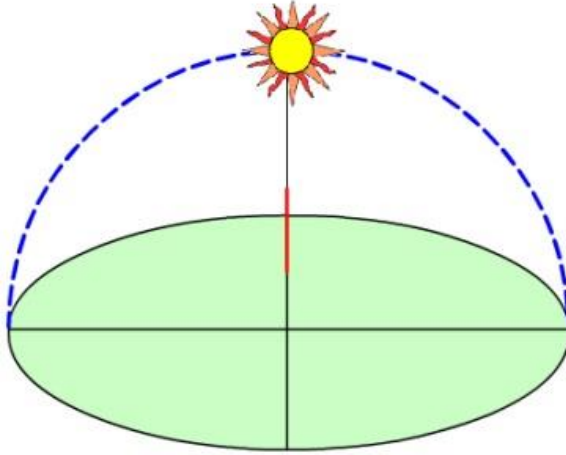
Güneş ışınlarının ve yatay bir düzlem arasındaki açıdır. aşağıdaki denklemle hesaplanır:-

$$\alpha = \sin^{-1}[\cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varphi) \sin(\delta)] \quad (1.6)$$



(a)

Güneş öğlesinde maksimum yükseklik açısı görülür.



(b)

Şekil 1.18. Güneş yükseklik açısı [36].

Şekil 1.18'de gösterildiği gibi, Güneş yükseklik açısı, (a) güneşin doğuşunda 0 derecedir (b) güneş doğrudan başın üzerindeyken 90 derecedir [36].

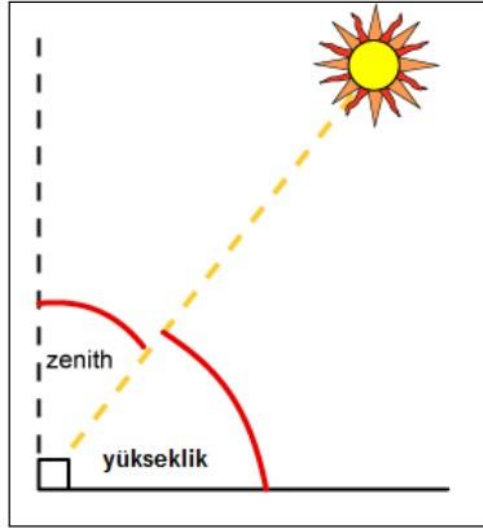
Güneş zenit açısı(ψ)

Güneş ışınlarının ve dikeyin arasındaki açıdır. aşağıdaki denklemle hesaplanır:-

$$\psi = 90 - \alpha \quad (1.7)$$

$$\psi = \cos^{-1}[\cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varphi) \sin(\delta)] \quad (1.8)$$

Şekil 1.19’da gösterildiği gibi, Güneş zenit açısı, (90° - Güneş Yükseklik Açısı) olarak belirlenir [31].



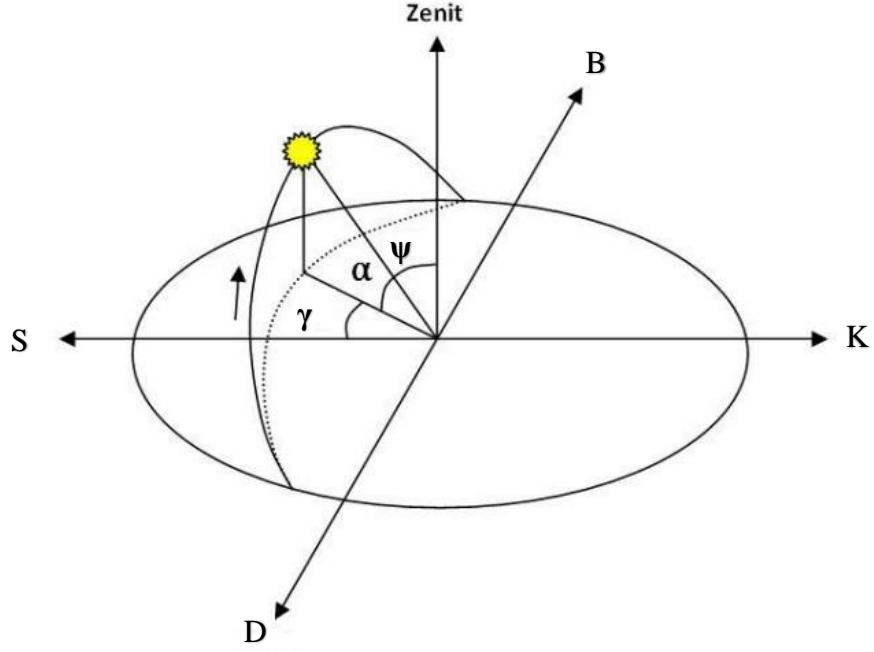
Şekil 1.19. Güneş zenit açısı [36].

Güneş azimut açısı(γ)

Güneş ışınının yatay projeksiyonu ile güney arasındaki açıdır. Kuzey yarıkürede, Gün öğleninden önce Azimut açısı negatif değer alır ve öğleden sonra pozitif değer alır. Güney yarıkürede ise öğlen öncesinde kuzey yönüne göre pozitif değerlerle ölçülür ve öğleden sonra negatif değerler alır. Aşağıdaki denklemle hesaplanır [32]: –

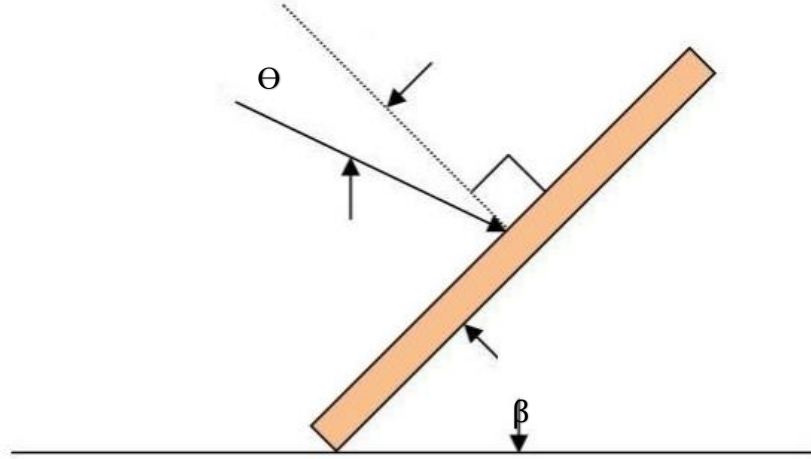
$$\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}\right) \quad (1.9)$$

Şekil 1.20’de gösterildiği gibi, güneşin gökyüzündeki yolunun şematik görünümü.



Şekil 1.20. Güneşin gökyüzündeki yolunun şematik görünümü [32].

Geliş açısı (Θ)



Şekil 1.21. Geliş açısıyla eğik yüzey [32].

Şekil 1.21’de gösterildiği gibi, güneş ışınının ve eğik yüzeye dik olan eksen arasındaki açı olarak tanımlanır. Aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$\Theta = \cos^{-1}[\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta)] \quad (1.10)$$

β , yüzey eğim açısı; eğik yüzey ile yatay düzlem arasındaki bir açıdır [32].

Yüzey azimut açısı(Y)

Yüzeyin dikeyinin yatay düzlem üzerindeki projeksiyonu ile güney yönde bulunan açıdır. Yüzey azimut açısı güneye doğru sıfır, doğuya doğru negatif (-) ve batıya doğru pozitif (+) değerler alır.

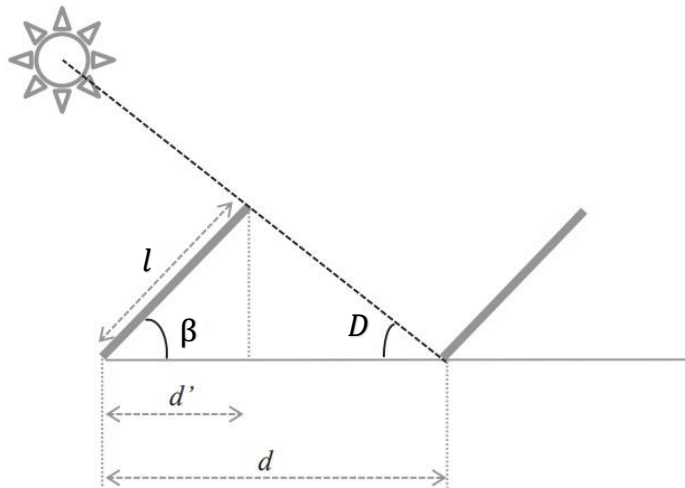
$$-180^\circ \leq Y \leq 180^\circ.$$

Gölge kaybını önlemek için minimum sıra aralığı

Diziler arasındaki minimum mesafe gölgelenmeyi önlemek için aşağıdaki denklemle verilir.

$$d = l \times \cos(\beta) + l \times \frac{\sin \beta}{\tan D} \quad (1.11)$$

D: Dizi halindeki PVlerin direkt görmeye başladıkları güneş yükseklik açısı [37].

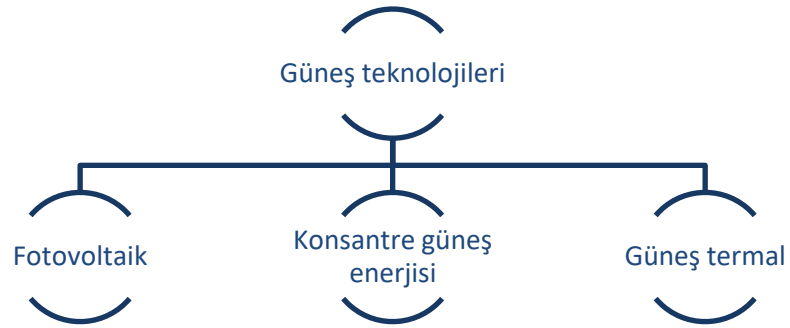


Şekil 1.22. Geliş açısıyla eğik yüzey [32].

Dünya üzerinde bulunan güneş enerjisi son derece bol ve tükenmez olsa da, bu enerjinin çok sınırlı bir kısmı gerçekte kullanılıyor. Bunun nedenleri, güneş enerjisini yüksek verimlilikle kullanmak için yeterli teknolojinin eksikliğiyle ilgili olabilir [31].

1.2. GÜNEŞ TEKNOLOJİLERİ

Güneş enerjisi çeşitli şekillerde kullanılabilir. Güneş enerjisinden enerji üretiminde kullanılan üç ana teknoloji, Şekil 1.23'te gösterilmiştir [38].



Şekil 1.23. Güneş enerjisi teknolojisi türü [38].

1.2.1. Fotovoltaik (PV) Teknolojileri

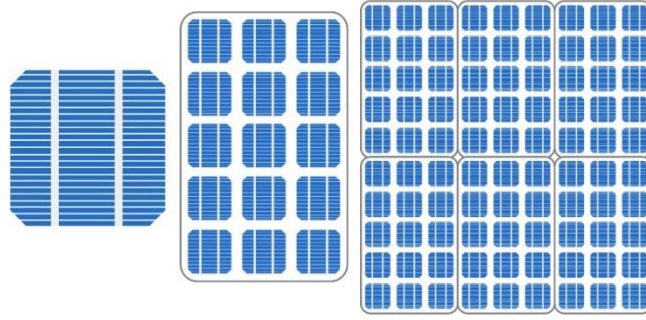
Güneş ışınının doğrudan elektriğe dönüştürülmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Güneş fotovoltaik (PV) sistemi hızla büyümekte olup diğer sistemlere üstün olabilir. PV güneş sistemleri, elektrik üretimi için büyük ölçekli potansiyele sahiptir. Araştırmalar, $250 \times 250 \text{ km}^2$ alanında bir PV istasyonunun 2020 yılı için küresel elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli olabileceğini tahmin etmektedir. PV sistemi, ilk kez 1839'da Alexandre Edmond Becquerel tarafından gözlemlenen fotovoltaik etki kavramını kullanır. Fotovoltaik etki, ışığın elektriğe dönüşümünü sağlar. Güneş hücrelerinin çalışması, bu fotovoltaik etki prensibine dayanır. "Photovoltaic" kelimesi iki kelimedenden oluşur: "foto", ışığı temsil eden bir Yunanca kelime ve "voltaic", elektrik alanının etkinliğini ifade eden ölçüm değerini tanımlar [38,39].

1.2.1.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemi Bileşenleri

Geleneksel bir fotovoltaik güneş enerjisi sisteminin dört temel bileşeni bulunmaktadır: Fotovoltaik modül, şarj kontrol cihazı, invertör ve gerekirse bir batarya.

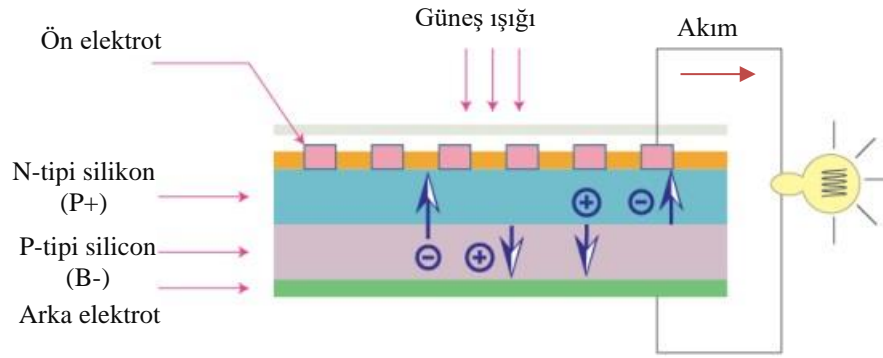
PV modülü

PV modül, güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştüren fotovoltaik hücreler veya elektrik üreten yüzeylerden oluşur. Bu yüzeylerin, aşınabilecek veya bozulabilecek hareketli bileşenleri yoktur. Yakıt, titreşim, gürültü veya çevreye zarar vermeden çalışırlar. Şekil 1.24'te görüldüğü gibi, PV modülü birbirine bağlı birçok güneş hücresinden oluşur. Güneş dizisi ise birbirine bağlı birkaç PV modülünden oluşur [40].



Şekil 1.24. PV hücresi, modül ve dizi [41].

Fotovoltaiklerin temel prensibine göre, güneş ışığı elektriğe dönüştürülür. Şekil 1.25, bir PV modülünün çalışma prensibini açıklar. Güneş ışığından gelen fotonlar, belirli bir enerji miktarına sahip olarak hücreye çarpar ve bir elektronu serbest bırakır. Elektrik oluşturmak için elektronun, iki yarı iletken arasındaki band boşluğu olarak adlandırılan boşluğu geçmesi gerekir. Serbest bırakılan elektron devre boyunca akar, elektrik akımı olarak adlandırılan bir elektron akışı oluşturur. Elektron daha sonra hücreye geri döner ve tekrar sistemin bir parçası haline gelir [42].



Şekil 1.25. PV'nin çalışma prensibi [42].

Bu şekilde, güneş hücreleri 0,5-0,7 V civarında bir gerilim üretir. Güneş ışınım gücüne bağlı olarak bir akım yoğunluğu oluşur. Güneş fotovoltaik hücresinin enerji dönüşüm verimliliği (η), Standart test koşulları (STC) altında maksimum güç (watt cinsinden) ile giriş ışınımı (watt/metrekare) ve fotovoltaik güneş hücrelerinin yüzey alanı (metrekare cinsinden) arasında bölünerek hesaplanır. STC - standart test koşulları, referans güneş ışınımının $1\ 000\ \text{W/m}^2$, spektral dağılımının 1,5 ve hücre sıcaklığının 25°C olduğu koşullardır [39].

Birçok çeşit güneş hücresi bulunmaktadır. Wafer temelli silikon hücreleri güneş hücrelerinin %90'ını oluşturur. Wafer temelli silikon güneş hücrelerinin kalınlığı yaklaşık olarak $180\text{-}200\ \mu\text{m}$ 'dir. PV hücre teknolojileri üç nesile ayrılabilir:

Birinci nesil güneş hücreleri

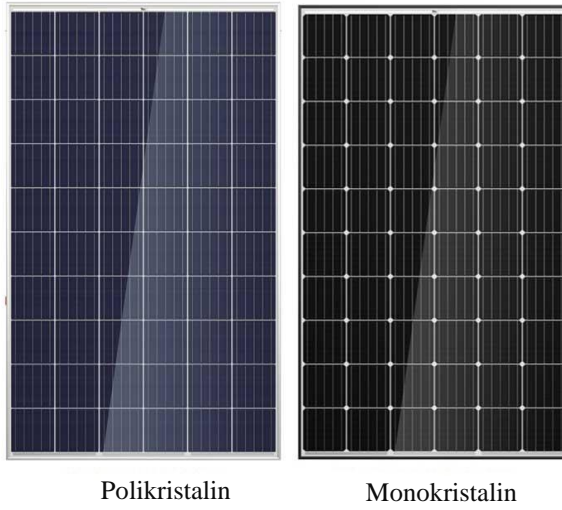
Birinci nesil güneş hücresinin geliştirilmesinde silikon wafer'ları kullanılmıştır. Yüksek güç verimlilikleri nedeniyle, bu teknoloji en eski ancak en popüler teknolojidir. Birinci nesil güneş hücreleri daha da 2 alt gruba ayrılmıştır.

- Tek/ Mono-kristalin silikon güneş hücresi

Bu hücrelerin üretimi için büyük hacimli alaşımlardan Si kristalleri kesilip hassas bir şekilde işlenir, bu da üretim sürecini daha maliyetli hale getirir. Mono-kristalin silikon güneş hücrelerinin verimliliği %14 ile %18 arasında değişmektedir.

- Polikristalin/ Çoklu kristalin silikon güneş hücresi

Polikristalin silikon güneş hücrelerini oluşturmak için farklı kristal sayısı bir araya getirilir. Bu tür güneş hücresinin işlenmesi, grafit dolu bir kalıba soğutulması yoluyla yapılır. bu da daha ekonomik hale getirir. Polikristalin silikon güneş hücrelerinin verimliliği %12 ile %14 arasında değişmektedir. Şekil 1.26, mono ve polikristalin modüllerin görünümünü göstermektedir [43].



Şekil 1.26. Mono ve polikristalin modülleri [44].

İkinci nesil güneş hücreleri

Bunlar, ince film fotovoltaik teknolojilerine dayanmakta olup üç ana aileyi içerir. İkinci nesil güneş hücreleri, birinci nesil silikon wafer güneş hücreleriyle karşılaştırıldığında daha ekonomiktir.

- Amorf silikon ince film (a-si) güneş hücresi

Bu hücreler düşük işleme sıcaklıklarında hazırlanabilir; bu nedenle düşük maliyetli polimer ve diğer esnek substratlar kullanır. Bu türün en yüksek verimliliği %13,8'dir.

- Kadmiyum Telürür (cdte) ince film güneş hücresi

Ekonomik açıdan bakıldığında, Kadmiyum Telürür (CdTe), daha az maliyetli ve ekonomik olarak uygun olan ince film güneş hücrelerinin önemli tiplerinden biridir. Genellikle verimliliği genellikle %9,5 ile %11 arasında değişmektedir.

- Bakır İndiyum Galyum Di-Selenit (CIGS) güneş hücreleri

Bakır, İndiyum, Galyum ve Selenyum olmak üzere dört element içeren bir yarı iletkenidir. CIGS, yaklaşık olarak %10 - %12 verimlilik elde etmiştir [43].

Üçüncü nesil güneş hücreleri

Bunlar hala gösterim ve araştırmaya ihtiyaç duyan teknolojileri içerir. Geliştirilen üçüncü nesil güneş hücresi türlerinin çoğu şunlardır:

- Nanokristal tabanlı güneş hücreleri
- Polimer tabanlı güneş hücreleri
- Boya duyarlı güneş hücreleri
- Konsantre güneş hücreleri [43].

Şarj kontrol cihazı

Şarj kontrol cihazının görevi, bataryaların tamamen boşaltılmasını veya aşırı şarj edilmesini önleyerek kullanım ömrünü uzatmaktır [40].

İnvertör

İnvertörler veya DC-AC dönüştürücüler, PV modüllerinden gelen doğru akım elektriğini elektrik şebekesine beslenebilecek alternatif akım elektriğine dönüştürmek için kullanılır [45].

Batarya

Güneş sistemlerinde bataryalar, modüller tarafından üretilen fazla enerjiyi depolamak için kullanılır, böylece bu enerji gece veya bulutlu günlerde kullanılabilir [45].

Kablolar

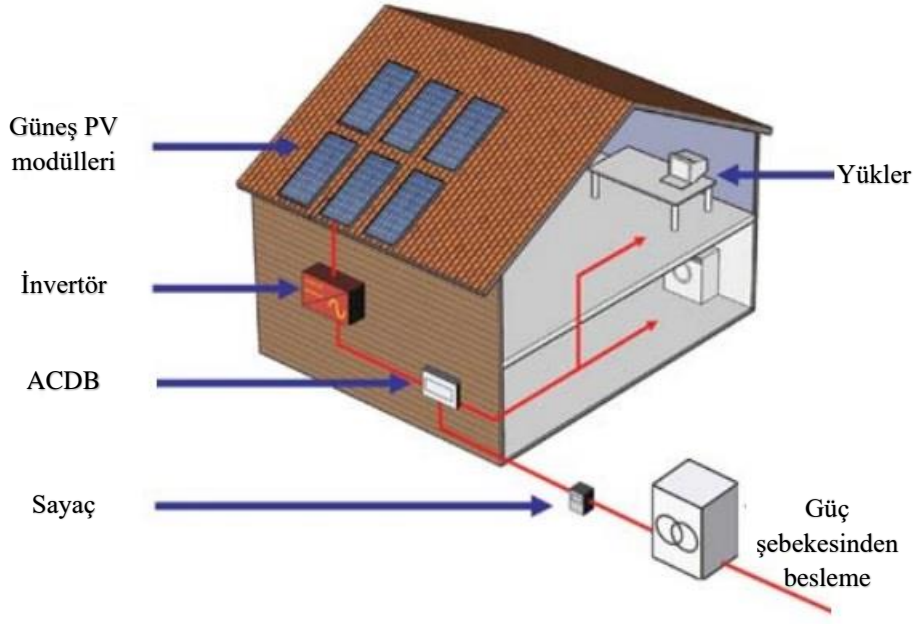
Kablolar, PV sisteminin farklı bileşenlerini birbirine ve elektrik yüküne bağlamak için kullanılır [45].

1.2.1.2. Güneş PV Sistem Türleri

İki ana türde güneş PV sistemleri bulunmaktadır: şebekeye bağlı ve şebekeye bağlı olmayan (veya bağımsız) güneş PV sistemleri.

- Şebekeye bağlı güneş PV sistemleri

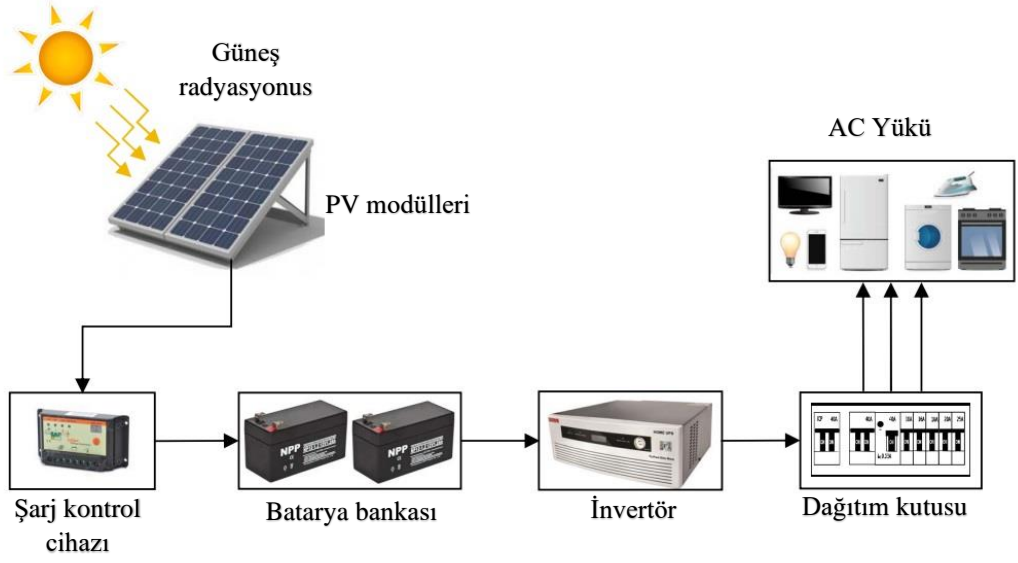
Güneş enerjisi sistemlerinin yerde kurulur. Ancak, yerde uygun alan yoksa binalara monte edilir. Genellikle, binaların çatılarına monte edilir veya binalara entegre edilirler. Bu tür bir sistem genellikle "BIPV" veya "Bina Entegre Fotovoltaik" olarak adlandırılır. Bu sistemde, geleneksel bir PV modülü genellikle binanın bir parçası olan bir bina bileşeniyle, örneğin pencere camı veya çatı/duvar kaplaması gibi yer değiştirdiği için bu ismi alır. Şebekeye bağlı bir güneş PV sisteminin konfigürasyonu Şekil 1.27'de gösterilmiştir. Bir binanın iki paralel güç kaynağı vardır, biri güneş PV sistemi ve diğeri güç şebekesinden gelir. Birleşik güç kaynağı, ana ACDB'ye bağlı tüm yükleri besler [46].



Şekil 1.27. Bağlı bir güneş PV sisteminin konfigürasyonu [46].

- Şebekeye bağlı olmayan (veya bağımsız) güneş PV sistemleri

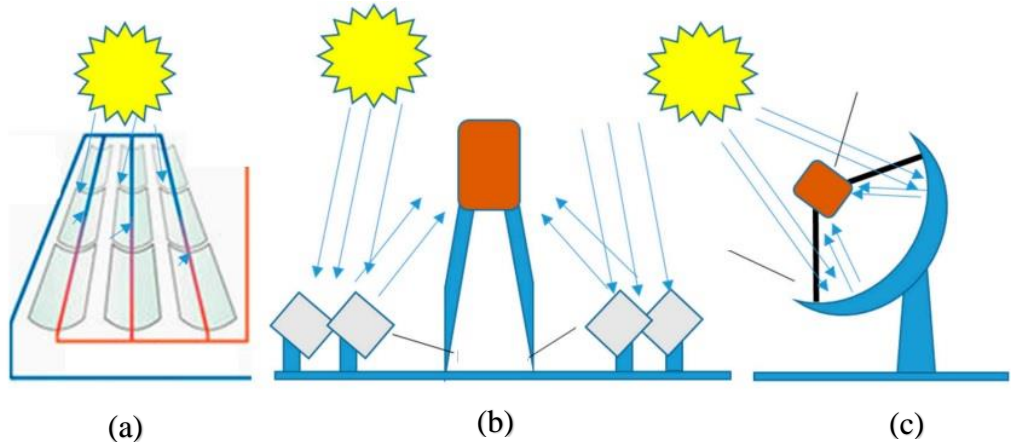
Şebekeye bağlı olmayan güneş enerjisi sistemleri, elektrik şebekesinin olmadığı bölgelerde uygulanabilir. Bu tür sistemler genellikle elektrik şebekesinin uzak olduğu izole bölgelerde, örneğin kırsal veya sahilden uzak adalar gibi yerlerde kurulur. Ayrıca, şehirlerde elektrik şebekesinden elektrik almanın maliyetli olduğu durumlarda da kurulabilirler. Şebekeye bağlı olmayan güneş enerjisi sisteminin konfigürasyonu Şekil 1.28’de görülmektedir.



Şekil 1.28. Şebekeye bağlı olmayan güneş PV sisteminin konfigürasyonu [4].

1.2.2. Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) Teknolojileri

CSP teknolojisi, güneş ışığını belirli bir noktada yoğunlaştıran birçok aynayı kullanır. Yoğunlaştırılmış güneş ışığı büyük miktarda ısı üretilir ve ısı buhar üretimi için kullanılır. Bu buhar, türbinleri çalıştırarak elektrik üretiminde kullanılır. CSP teknolojisi, uygulamalarının üç yaklaşımına ayrılabilir [38].



Şekil 1.29. (a) Parabolik oluk (b) Güç kulesi (c) Disk/motor sistemleri [47].

- Parabolik oluk sistemi

Bu CSP tipinde, U şeklinde (parabolik) yansıtıcılar kullanılır. Bu yansıtıcılar, Güneş'in termal enerjisini odak noktasına odaklar. Burada, eksenal yönde yağ dolu tüp sabitlenir. U şeklindeki yansıtıcılar, yağı 400 derece Celsius'e kadar yüksek sıcaklıklara ısıtabilir. Bu nedenle, ısıtılmış yağ bir ısı değiştiricide su buharı üretmek için kullanılır. Bu buhar, elektrik jeneratörleriyle bağlantılı türbinleri çalıştırarak elektrik üretimini sağlar [38].

- Güç kulesi

CSP teknolojisindeki gelişmiş bir versiyondur; bu sistemde, birçok aynadan (konsantre edici) odaklanmış güneş ışığı alan merkezi bir yüksek alıcı kulesi bulunmaktadır. Akışkanın (erimiş tuz gibi) aktığı alıcı, 565 °C sıcaklığına kadar ısınır. Erimiş tuzun kullanılma amacı, tesisin kapasitesini artırmaktır. Isıyı etkili bir şekilde tutup uzun süre ısıyı depolar, böylece gün batımından sonra ve bulutlu günlerde bile elektrik üretilebilir [38].

- Disk/motor sistemleri

İsminden de anlaşılacağı gibi, bu sistemler yansıtıcı diskler kullanır. Yansıtıcı diskler, güneş ışığını (yaklaşık %92 oranında) bir odak noktasına yoğunlaştırır. Bu odak noktasına bir alıcı yerleştirilir. Her bir alıcı, ilgili diskin üzerine yerleştirilir. Bu diskler bağımsız olarak 5 ila 50 kilovat arasında elektrik üretebilirler [38].

1.2.3. Güneş Termal Teknolojileri

Güneş'ten gelen termal enerjiyi toplamak için kullanılan bir tekniktir. Toplanan ısı, konut ve ticari binaların ısıtma ve soğutma amaçları, gıda kurutma, pişirme, su ısıtma, enerji üretme ve damıtma için kullanılır [38,48].

1.3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çeşitli çevresel faktörler PV sistemlerinin performansını etkiler. Örneğin: Güneş ışınımı, sıcaklık, toz ve gölgeler.

- **Güneş ışınımı / radyasyon**

Birim alan başına güneş kaynağından gelen güç miktarına ışınım denir. Bir PV modül tarafından üretilen enerji güneş ışınımının bulunabilirliği ile doğrudan ilişkilidir. PV modülleri üzerindeki güneş ışınımı modülün konumuna bağlı olarak değişir. Modüller doğrudan radyasyona dik olduğunda maksimum güneş ışınımı gerçekleşir. Işınım arttıkça PV modülünün çıkış gücü de artar [49].

- **Modül sıcaklığı**

Elektrik üretiminin etkinliği güçlü bir şekilde PV modülün sıcaklığına bağlıdır. Modül sıcaklığı arttıkça elektriksel verimlilik azalır çünkü PV modülleri güneş enerjisinin sadece %20'sini elektriğe, %80'ini ise ısıya dönüştürür. Hücre sıcaklığının artmasıyla açık devre gerilimi lineer olarak azalır. Hücre gerilimi, sıcaklığında yaklaşık olarak her 1 °C artışta 2,2 mV azalır. Bu nedenle, kristal PV hücrelerin verimliliği yaklaşık olarak %0,5 azalır [49,50].

- **Toz birikimi**

Güneş modülünün yüzeyindeki kir veya toz varlığı nedeniyle PV modülünden gelen bazı güneş ışığı engellenebilir. Bu da güneş modülünün yüzeyinde dağılmış olan güneş radyasyonu nedeniyle üretilen güçte önemli miktarda kayıplara neden olur. Tipik bir yıllık toz azaltma faktörü %93 veya 0,93'tür, bu nedenle 100 Wlık bir modülü örnek alırsak kirlenme nedeniyle tipik olarak yaklaşık 93 W ($100 \times 0,93 = 93$ W) olarak çalışacaktır [49].

- **Kirlenme**

Toz birikimi aynı zamanda PV modülünde kirlenmeye de neden olabilir. Nemli ortamlarda, toz parçacıkları PV yüzeylerine yerleşir ve havadan su emerek çamur oluşturur. Kirlenme, PV modülünde hem yumuşak hem de sert gölgelenmeye neden olup güç çıkışını azaltır. Atmosferdeki duman yumuşak gölgelenmeden sorumludur . modüldeki toprak kütlesi veya çamur ise sert gölgelenmeye neden olur [50].

- **Gölgeleme**

Gölgeleme etkisi nedeniyle PV modüllerinden gelen çıkış gücü düşer. Gölgeler sadece gölgelenmiş hücrelerdeki akım akışını etkilemekle kalmaz, genellikle hücreler seri olarak bağlandığından tüm modüldeki akım akışını da etkiler. Gölgeleme direkler, ağaçlar ve binalar tarafından oluşturulabilir. Ayrıca, diğer yapıların modül montaj yapıları tarafından da oluşturulabilir. Modüllere doğrudan düşebilecek yapraklar, kuşlar ve kuş pislikleri de gölgelenmeye neden olabilir [49].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Dünya, çevreyi kirletmeden korumak için enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerjiye hızla yönelir. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemlilerinden biridir. Son yıllarda bilimsel araştırmalar, güneş modülü verimliliğini artırmak ve gölgelendirmenin güneş modülü üretkenliğine etkisi gibi konularda güneş enerjisi alanına büyük ölçüde odaklanmıştır. Bu bölümde, PV modülü verimliliği üzerinde gölgelendirmenin etkisini inceleyen bazı çalışmalar sunulmuştur.

Fatih ve Hakan (2020) tarafından gerçekleştirilen bir deneyde, dinamik ve statik gölgelemenin PV modülünün performansına etkisini test etmek için bir çalışma yapılmıştır. Deneyin sonuçları şu şekildedir: Statik gölgeleme durumunda en düşük enerji elde edilmiştir. Dinamik gölgeleme durumunda ise, en yüksek enerji sırasıyla referans PV modülünden, ev gölgesi altındaki PV modülünden ve toza maruz kalan PV modülünden elde edilmiştir [51].

Fatih ve arkadaşları (2017), 75 W'lık PV modüllerinin enerji ve ekserji verimliliği üzerinde kısmi gölgelendirmenin etkisini incelemişlerdir. Bir güneş hücresi, bir sıranın tamamı ve bir sütunun tamamı farklı oranlarda (%25, %50, %75 ve %100) gölgelemiştir. Deney sonuçları, gölgelendirme oranının artmasıyla her üç denemede de üretilen enerji ve ekserji verimliliğinin azaldığını göstermiştir. Bir sıranın tamamı durumunda, gölgelendirme oranı %100 olduğunda enerji kaybının oranı %99,98'e kadar ulaşmıştır [52].

Muhammed Efron ve arkadaşları (2022), PV modülünün özellik eğrisi üzerinde kısmi gölgelemenin etkisini deneysel bir çalışma yapmışlar. Ağaç yaprakları, modül alanının %5, %10, %20, %30, %40, %50 ve %60'ı kadar gölgeleme yapmak için kullanılmıştır. Deneyin sonuçları, gölgeleme oranının arttıkça PV modülünden çıkan

gücün azaldığını göstermiştir. Ayrıca, %60 gölgeleme oranında PV modülünden çıkan gücün %67 oranında azaldığı gözlemlenmiştir [53].

Kais Abdulmawjood ve arkadaşları (2022), Farklı gölgelendirme desenlerinin P-V karakteristikleri üzerindeki etkisini incelemek için iki farklı deney seti gerçekleştirmişler. İlk deney, bir tek PV modül yüzeyinin gölgelendirme alanını değiştirerek PV modül performansı üzerindeki gölgelendirme etkisini incelemek için yapılmıştır. Modül, 950 W/m² seviyesindeki 29°C ortam sıcaklığında %25, %50 ve %75 gölgelendirilmiştir. Maksimum çıkış gücü, gölgelendirme olmadığında 35.25 W iken, modül yüzeyinin %25, %50 ve %75'i gölgelendiğinde sırasıyla 18 W, 14,7 W ve 9,6 W'ye düşmüştür [54].

Xinyi Feng ve Tao Ma (2023), matematiksel modelleme ve simülasyon temelinde, kısmi gölgelenmenin (karşılıklı gölgelenme, yakındaki direk gölgelenmesi ve üstten gelen kablo gölgelenmesi) PV modülü performansı üzerindeki etkilerini incelemişler. Sonuç olarak; Karşılıklı gölgelenme durumunda, yatay düzen dizilerinin enerji kaybı dikey düzen dizilere göre daha düşüktür, 10 metre yükseklikteki bir direğe yakın kurulan dizinin enerji kaybı %9,21 imiştir ve PV modülü dizilerinin enerji kaybı sadece doğu-batı ve kuzey-güney yönündeki dört üstten gelen tel tarafından sırasıyla %0,42 ve %1,39 olarak kaydedilmiştir [55].

David ve Arno (2021), Porto Alegre'de (Brezilya) bulunan ve 1.680 PV modülünden oluşan bir fotovoltaik santral üzerinde gölgelemenin etkilerini analiz edilmiştir. Gölgeleme kısmını elde etmek, radyasyonu ve güç çıkışını tahmin etmek için dört program kullanılmıştır. Sonuç olarak; dikey düzenlemedeki gölgeleme kaybı (uzun kenara paralel gölgeleme), yatay düzenlemedeki (kısa kenara paralel gölgeleme) gölgeleme kaybindan daha az olmuştur [56].

Alberto Dollara ve arkadaşları (2013), PV modülü gücü üzerinde kısmi gölgelendirme senaryolarının (0% ila 100%) deneysel bir çalışmasını yapmışlar. Deney şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Tek bir hücrenin dikey ve yatay gölgelendirilmesi; Bir bölümün tamamının dikey, yatay ve çapraz gölgelenmesi. Deney sonuçları; İlk deneyde çok benzer güç sonuçları elde edilmiştir. İkinci deneyde, en düşük güç yatay gölgelendirme

durumunda elde edilmiştir, ardından çapraz ve sonra dikey gölgelendirme durumları gelmiştir [57].

2018 yılında Aicha Djalab ve arkadaşları, MATLAB Simulink kullanarak altı PV modülünden oluşan bir dizi üzerinde kısmi gölgelendirme etkisini incelemişler. Bypass diyotlu ve bypass diyotsuz kısmi gölgelendirme durumları beş farklı senaryoda incelenmiştir. Deney sonucu; Bypass diyotunun, farklı gölgelenme koşullarında güneş enerjisi sisteminin işlevini önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür [58].

Ghona Abdullah ve arkadaşları (2021), kısmi gölge koşullarından etkilenen bir fotovoltaik dizinin güç çıkışı üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır, seri olarak bağlanmış dört PV modülünden oluşmaktadır. İlk dört modülün alt hücreleri altı farklı durumda gölgelenmiştir. Deneysel sonuçları; İlk güneş hücrelerinin %44'ünün gölgelenmesinin PV dizisinin güç çıkışında %80'den fazla kayba neden olduğunu göstermektedir [59].

Xiao ve arkadaşları (2015), üç farklı kısmi gölgeleme deseni ile fotovoltaik hücrelerin elektriksel parametreleri üzerindeki etkilerini inceleyen deneysel bir çalışma gerçekleştirmişler. Sonuçlar; kısmi gölgelemenin tek kristalli ve polikristal hücrelerin elektriksel parametrelerinde orantısız yüksek kayıplara neden olduğunu gösterilmiştir. Ayrıca, tek kristalli hücrenin elektriksel parametrelerinin, polikristal hücrelerinkilere göre gölgelenmeye daha az bağlı olduğu bulunmuştur [60].

Rodney ve arkadaşları, bir simülasyon yöntemi kullanarak bir, iki ve üç bypass diyot içeren 36 hücreli PV modüller arasında karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmişler. Sonuçlar; belirli kısmi gölgelenme koşullarında iki bypass diyot konfigürasyonunun üç bypass diyot konfigürasyonunu geride bıraktığını gösterilmiştir [61].

Ekpenyong ve arkadaşları, bir fotovoltaik hücre üzerinde gölgelemenin etkisini inceleyen deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deney sonuçlarına göre: bir dizi hücrenin homojen olmayan aydınlatması nedeniyle önemli bir güç kaybı meydana gelmektedir. Yüksek derecede aydınlatılmış hücreler tarafından üretilen güç, düşük derecede aydınlatılmış hücrelerde ısı olarak kaybolmaktadır [62].

Saiprakash ve arkadaşları, MATLAB Simulink kullanarak SP, TCT, BL ve HC 6×6 dizi konfigürasyonlarının enerji üretimi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisinin analizini yapmışlar. Sonuç olarak; TCT dizi konfigürasyonunun kısmi gölgelemeden daha az etkilendiği görülmüştür. Ayrıca, tüm düşünülen gölgeleme koşulları altında maksimum gücü çıkarmıştır ve yüksek bir doldurma faktörüne sahiptir [63].

Rasmita Pradhan ve Susmita Kar (2020), MATLAB Simulink kullanarak farklı konfigürasyonlara sahip fotovoltaik (PV) dizilerin performansı üzerindeki kısmi gölgeleme etkisini kapsamlı bir şekilde incelemişler. Sonuçlar; Kısa ve dar gölgeleme etkileri için maksimum gücün seri konfigürasyonla elde edildiğini göstermektedir. Kısa ve geniş, uzun ve dar, uzun ve geniş, ve çapraz gölgeleme etkileri için ise maksimum gücün Total Cross Tied konfigürasyonu ile elde edildiği görülmüştür [64].

Duchinger Bernadette ve arkadaşları, laboratuvar deneyleri ve PVsyst ile simülasyonlar kullanarak güneş enerjisi fotovoltaik (PV) sistemlerde dinamik gölgeleme etkilerinin analizini yapmışlar. Sonuçlar; Gölgelemeyen sistemde üretilen yıllık enerjinin 2.173 kWh ve yakın gölge kayıplarının %0 olduğunu göstermektedir. gölgelenen sistemde üretilen yıllık enerjinin 2.055 kWh ve gölge kayıplarının % 5,4 olduğunu göstermektedir [65].

Okan Bingöl ve Burçin Özkaya, MATLAB Simulink kullanarak kısmi gölgeleme koşulları altında farklı 6×6 PV dizi konfigürasyonlarının analizini ve karşılaştırmasını yapmışlar. Sonuçlar; Total-Cross-Tied konfigürasyonunun diğer konfigürasyonlara göre en iyi performansı gösterdiğini göstermektedir [66].

Shaima Abdulridha ve arkadaşları (2021), silikon PV modül dizgesinin performansı üzerindeki kısmi gölgeleme etkisini incelemişlerdir. Çalışma, bir modül üzerinde gerçekleştirilmiş ve ardından tüm sistem (540 panel) üzerine yansıtılmıştır. Sistem tasarlanmış gücü 155 kW'tir ama gerçek derecelendirilmiş güç ise 78 kW'tir. Sonuç olarak; PV modülleri gölgelendiğinde çıkış gücünde %35 civarında bir kayba uğrar. özellikle sıcak ülkelerde sıcaklık etkisi, yüzeylerinin yaklaşık %2'si gölgelendiğinde PV modüllerinin çıkış gücünde %50'ye varan bir kayba neden olabilir [67].

Toufik Sebbagh ve arkadaşları (2018), PV modülün I-V karakteristiği üzerinde kısmi gölgenin üç farklı durumunu incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, panelden sağlanan gücün gölgeli yüzeye orantılı olmadığını, ancak hücrelerin bağlantı modunun modüllerin elektriksel özellikleri üzerinde çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir [68].

Fei Lu ve arkadaşları (2013), kısmi gölge koşullarında üç farklı modül yapılandırmasını Spice yazılımındaki eşdeğer devre modeli kullanarak araştırmışlardır. Paralel yollarla yapılandırılan konfigürasyonlarda yarım hücrelerin kullanılmasıyla, kısmi gölge koşullarında modül performansının iyileştirilebileceğini göstermişlerdir [69].

Lahcen El Iysaouy ve arkadaşları (2023), MATLAB Simulink sistemleri kullanarak MSV ve TCT yöntemleriyle bağlanmış (9×9) bir fotovoltaiik dizi performansının SW, LW, SN ve LN gibi dört farklı gölgelendirme deseni üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, SW ve LW gölgelenme durumlarında, MSV bağlama yöntemi kullanıldığında performansın TCT bağlama yöntemiyle karşılaştırıldığında %20 arttığını gösteriyor. Ancak SN ve LN gölgeleme modellerinde bu iyileşme azdır [70].

Ramadan J. Mustafa ve arkadaşları (2020), çevresel etkilerin (toz birikimi, su damlacıkları, kuş dışkıları ve kısmi gölgelenme koşulları) fotovoltaiik sistemlerinin performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar, toz birikimi, gölgelenme etkileri ve kuş dışkılarının güç çıkışını azalttığını göstermektedir. ‘Gölgelenme’, PV modüllerinin verimliliği üzerinde en güçlü etkiye sahiptir. Bununla birlikte, su damlacıkları güç çıkışında bir artışa neden olmuştur [71].

Ramakiran Bhalamudi ve arkadaşları (2021), PV modüllerinin performansı üzerindeki toz ve gölgenin etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, belirli deney koşullarında gölgelemenin etkisi toza göre PV modülünün elektriksel enerji ve verimliliğinde daha büyük azalmaya neden olmuştur [72].

Vedat Keskin (2023), Haziran 2018 ile Mayıs 2019 tarihleri arasında dinamik gölgelemenin etkilediği bir fotovoltaik dizi üzerinde ekserji-ekonomik analiz çalışması yapmıştır. Sonuç olarak, gölgeleme oranı Eylül ayında maksimum, Aralık ayında minimum olmuştur. Ekserji verimliliği Ocak ayında minimum, Haziran ayında maksimum seviyede bulunmuştur. Ekserji-ekonomik parametreler Haziran ayında maksimum, Şubat ayında minimum olmuştur [73].

Anand ve arkadaşları (2024), PV modülü sisteminin performansındaki gölge kayıplarını deneysel olarak ve MATLAB programını kullanarak araştırmıştır. Sonuç olarak; %25-35 oranında gölgelemenin güneş enerjisi üretiminde %28-40 oranında kayba neden olduğunu tespit etmişlerdir [74].

Yaouba ve arkadaşları (2022), fotovoltaik birimin çalışması üzerindeki kısmi gölgeleme etkisini değerlendirmiştir. Sonuçlar, gölgeleme oranı %5,0 ile %55,0 arasında olduğunda enerji ve akım kayıplarının çok büyük olduğunu göstermiştir. Bu gölgeleme aralığında gerilim neredeyse sabit kalmıştır. %60,0 ila %95,0 arasındaki gölgeleme için enerji kaybı biraz artmıştır. Çok küçük bir akım kaybı gözlemlenmiştir. Ancak, gerilimde büyük kayıplar gözlemlenmiştir [75].

BÖLÜM 3

METERYAL VE YÖNTEM

3.1. TERMODİNAMİK ANALİZ

Enerji analizi (I. Kanun) termal sistemlerin analizinde geniş bir şekilde kullanılmasına rağmen, ekserji analizi (II. Kanun) kullanıldığında sistemlerin tasarımı, iyileştirilmesi ve performansı hakkında daha fazla bilgi sağlanır. Sonuç olarak, eğer ekserji verimliliği artarsa, sistemdeki yıkım, kaynak tüketimi ve ekserji kayıpları azalacaktır. Dolayısıyla, sistem daha enerji ve maliyet açısından verimli, daha çevreci hale gelecektir.

Eşitlik (3.1) enerji dengesi denklemini verir.

$$\Delta \dot{E} = \Sigma \dot{E}_{gi} - \Sigma \dot{E}_{çl} \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1), sistemin giriş ve çıkış güçleri için bize bir açıklama sunar. Eşitlik (3.2) güç girdisinin açılımını verir.

$$\Sigma \dot{E}_{gi} = \dot{E}_g \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.3)'te gösterildiği gibi, güneş gücünü elde edilir.

$$\dot{E}_g = I_g \times A \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.4)'te çıkış gücünün elektrik gücü ve termal güçten oluştuğu ifade edilmiştir.

$$\Sigma \dot{E}_{çl} = \dot{E}_e + \dot{E}_{tr,k} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.5)'te gösterildiği gibi, Fotovoltaik sistemlerden gelen güç çıkışı, voltaj ve akımın çarpımıyla elde edilir.

$$\dot{E}_e = V_m \times I_m \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.6)'da termal güç kaybı gösterilmiştir.

$$\dot{E}_{tr,k} = hA\Delta T \quad (3.6)$$

PV'nin enerji verimliliği, sistemden çıkış enerjisinin kullanılabilir kısmının giriş enerjisine (fotovoltaik yüzeydeki güneş radyasyonu) oranı olarak tanımlanır. PV'nin elektirisel verimliliği Eşitlik (3.7) ile hesaplanır.

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_e}{\dot{E}_g} \quad (3.7)$$

Genel ekserji denklemleri Eşitlik (3.8)'de şu şekilde yazılmaktadır.

$$\Delta \dot{E}x = \Sigma \dot{E}x_{gi} - \Sigma \dot{E}x_{çl} - \dot{E}x_y \quad (3.8)$$

PV'nin ekserji verimliliği, toplam çıkış ekserjisinin toplam giriş ekserjisine oranı olarak tanımlanır. PV'nin ekserji verimliliği Eşitlik (3.9) ile hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{çl}}{\dot{E}x_{gi}} \quad (3.9)$$

PV'nin giriş ekserjisi sadece güneş ekserjisini içerir. PV'nin giriş ekserjisi Eşitlik (3.10) ile hesaplanır.

$$\dot{E}x_{gi} = \dot{E}x_g = I_g A \left[1 - \frac{4T_c}{3T_g} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_c}{T_g} \right)^4 \right] \quad (3.10)$$

PV'nin çıkış ekserjisi Eşitlik (3.11) ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}x_{cl} = \dot{E}x_e - \dot{E}x_{tr} \quad (3.11)$$

PV'nin elektrik ekserjisi Eşitlik (3.12) ile hesaplanabilir.

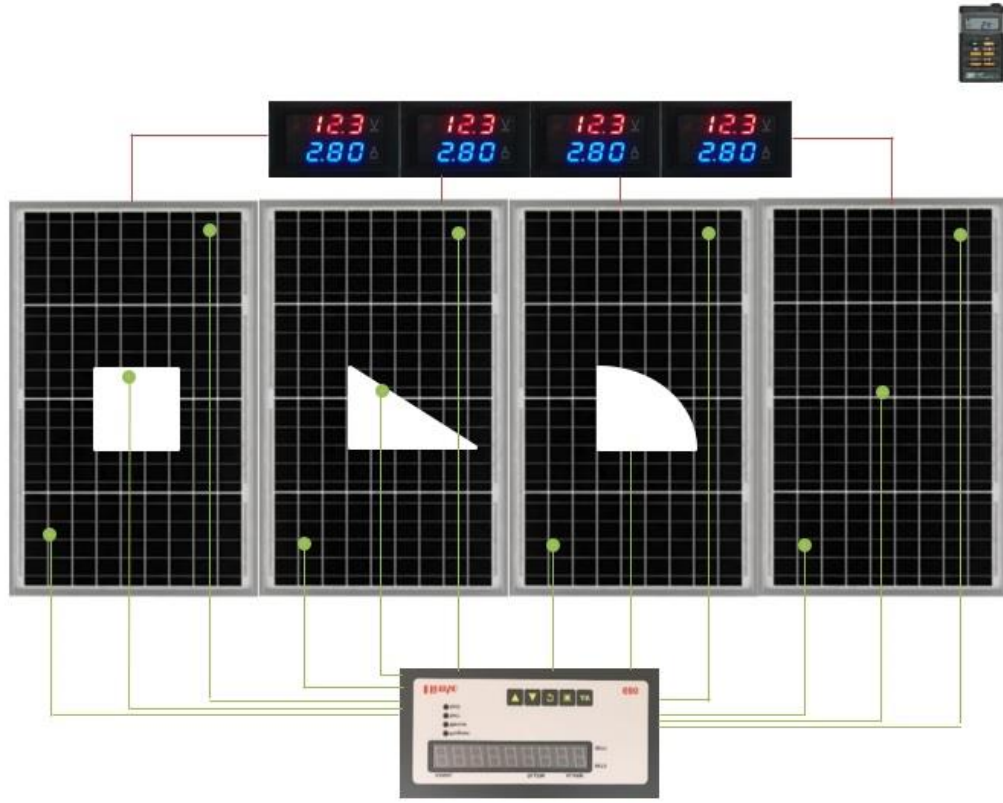
$$\dot{E}x_e = \dot{E}_e \quad (3.12)$$

PV'nin termal ekserjisi Eşitlik (3.13) ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}x_{tr} = \dot{E}_{tr,k} \left(1 - \frac{T_c}{T_m}\right) \quad (3.13)$$

3.2. GENEL SİSTEM

Deney, Türkiye'nin Karabük ilinde (32,37 doğu, 41,12 kuzey) Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nde yapılmıştır. Deney, üç farklı statik gölgeleme koşulları altında PV modüllerinin verimliliğini incelemek amacıyla yapılan bir deneştir. Deney, Ocak ayında hava durumu açık ve güneşli olduğundan dolayı gerçekleştirilmiştir. Deney, sabah 11:00'dan öğlen 16:30'a kadar devam etmiştir. Deneyde kullanılan ekipmanlar şunlardır: PV modülü , PV modülünün sıcaklık, akım ve voltajını ölçen cihazlar, eşit bir alana sahip (0,0154 m²) kaplayan çeyrek daire, üçgen ve dikdörtgen şeklinde üç farklı karton ve ek olarak her modülde seri bağlanmış birer 10 ohm ve 4,7 ohm dirençler kullanılmıştır. Deneyde, dirençler PV modülüne bağlanıp devrede yük olarak kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada, 50 W kapasiteli dört adet monokristal PV modülü kullanılmıştır. PV modülünün çıkış gücü üzerinde gölgenin etkisini incelemek amacıyla ikinci PV modülüne (PV2) çeyrek daire şeklinde, üçüncü PV modülüne (PV3) üçgen şeklinde, dördüncü PV modülüne (PV4) dikdörtgen (kare) şeklinde karton yerleştirilmiştir. İlk PV modülüne (PV1) herhangi bir gölgeleme biçimi uygulanmamış olup referans olarak kullanılmıştır. Dört adet 4,7 ohm direnç, dört adet 10 ohm direnç ve dijital voltmetre ampermetre, PV modülü tarafından üretilen gücü ölçmek ve akım ile gerilim değerlerini göstermek için kullanılmıştır. Ayrıca, 12 adet K tipi termokupl, bir E-680 tarayıcı cihazı ve RS-485 USB Converter, PV modülünün sıcaklığını ölçmek ve bilgisayarda göstermek için kullanılmıştır. Güneş ışınımını ölçmek için TES 1333R solarmetre ölçer kullanılmıştır. Şekil 3.1, deneyde kullanılan sistem düzenini göstermektedir.

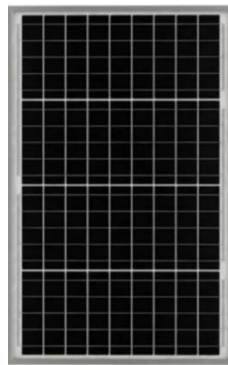


Şekil 3.1. Deney sisteminin semaşı.

3.2.1. Kullanılan Ekipmanlar

3.2.1.1 PV Modülü

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, deneyde kullanılan PV modülü ve özellikleri Çizelge 3.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılan PV modülü.

Çizelge 3.1. PV modülünün özellikleri [76].

Maksimum güç (P_{max})	50 W
Maksimum güç gerilimi (V_{mp})	20,60 V
Açık devre gerilimi (V_{oc})	22,68 V
Maksimum güç akımı (I_{mp})	2,43 A
Kısa devre akımı (I_{sc})	2,37 A
Hücre tipi	Mono
Ağırlık	4,3 Kg
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40°C ~ +85°C
Boyut (mm)	424×674×25

3.2.1.2. Güneş Işınım Ölçüm Cihazı

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, deneyde kullanılan güneş ışınım ölçüm cihazı. Çizelge 3.2'de özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Güneş ışınım ölçüm cihazı [77].

Çizelge 3.2. Güneş ışınım ölçüm cihazının özellikleri [78].

Görüntü	LCD ekranı
Aralık	2000 W/m ²
Çözünürlük	0,1 W/m ²
Örnekleme hızı	saniyede 4 kez
Çalışma sıcaklığı ve nem oranı	0 ile 50 arası, %80 nem altında
Ağırlık	158 g

3.2.1.3. Dijital Voltmetre Ampermetre

Şekil 3.4’te görüldüğü gibi, deneyde kullanılan gerilim ve akım ölçeri. Çizelge 3.3’te özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Gerilim ve akım ölçerin özellikleri [79].

Voltmetre çalışma voltajı	DC 4,5 - 30V
Voltmetre ölçüm aralığı	DC 0 – 100V
Akım ölçüm aralığı	DC 0 - 10A
Voltaj hassasiyeti	0,1V
Akım hassasiyeti	0,1A
Yenileme hızı	300ms



Şekil 3.4. Dijital voltmetre dijital ampermetre [79].

3.2.1.4. Alüminyum Direnç

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, deneyde kullanılan dirençler, Çizelge 3.4'te özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Dirençlerin özellikleri [80].

10R 50W	4,7R 50W
Güç: 50W	Güç: 50W
Direnç: 10 ohm	Direnç: 4,7 ohm
Tolerans: %5	Tolerans: %5
Uzunluğu: 49,8mm	Uzunluğu: 49,8mm
Montaj deliği çapı: 3,5mm	Montaj deliği çapı: 3,5mm
Montaj deliği arası mesafe: 41mm	Montaj deliği arası mesafe: 41mm



Şekil 3.5. Alüminyum direnç [80].

3.2.1.5. E-680 Ünlversal Giriş Çıkış Gelişmiş Tarayıcı Cihazı

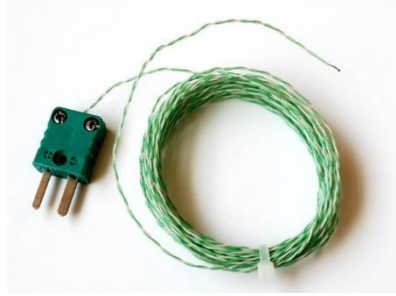
Şekil 3.6'da görüldüğü gibi deneyde kullanılan E-680 tarayıcı cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kullanılan E-680 tarayıcı cihazı.

3.2.1.6. K Tipi Termokupl

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi deneyde kullanılan termokupl gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kullanılan termokupl.

3.2.1.7. RS-485 USB Converter

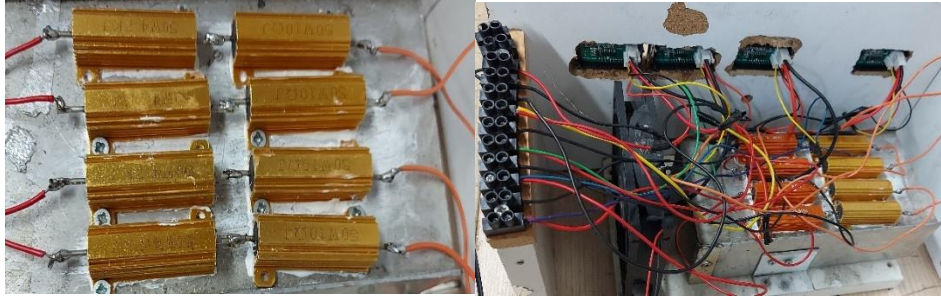
Şekil 3.8’de görüldüğü gibi deneyde kullanılan USB converter gösterilmiştir.



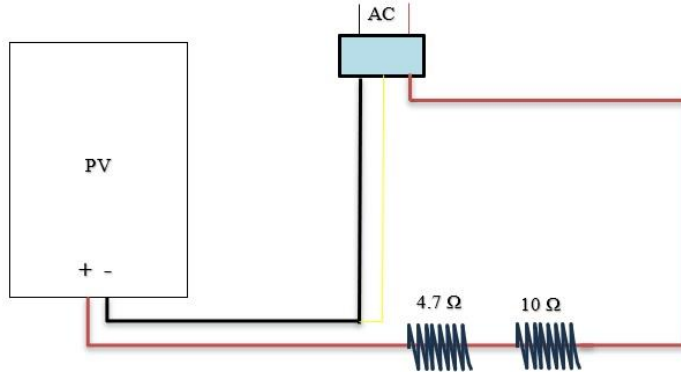
Şekil 3.8. Kullanılan USB converter.

3.2.2. Deneyin Yapılışı

Öncelikle, PV modüllerini taşımak ve monte etmek için laboratuvarında önceden tasarlanmış 40 derece eğimli montaj destekleri kullanılmıştır. Şekil 3.9’da görüldüğü gibi, dört elektrik devresi yapılmıştır. Her devrede, devrenin akım ve gerilim değerlerini göstermek için güç kaynağına bağlı bir ekran, seri bağlı iki direnç ve devrenin akım ve gerilimini sağlamak için bir PV modülü bulunmaktadır. Dirençleri soğutmak için bir fan da kullanılmıştır.



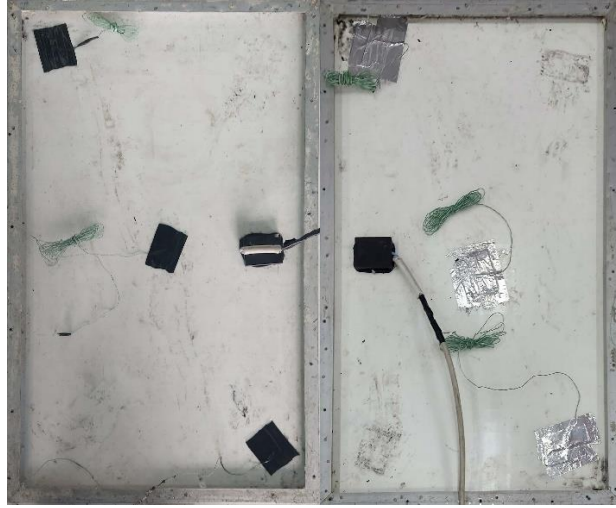
(a)



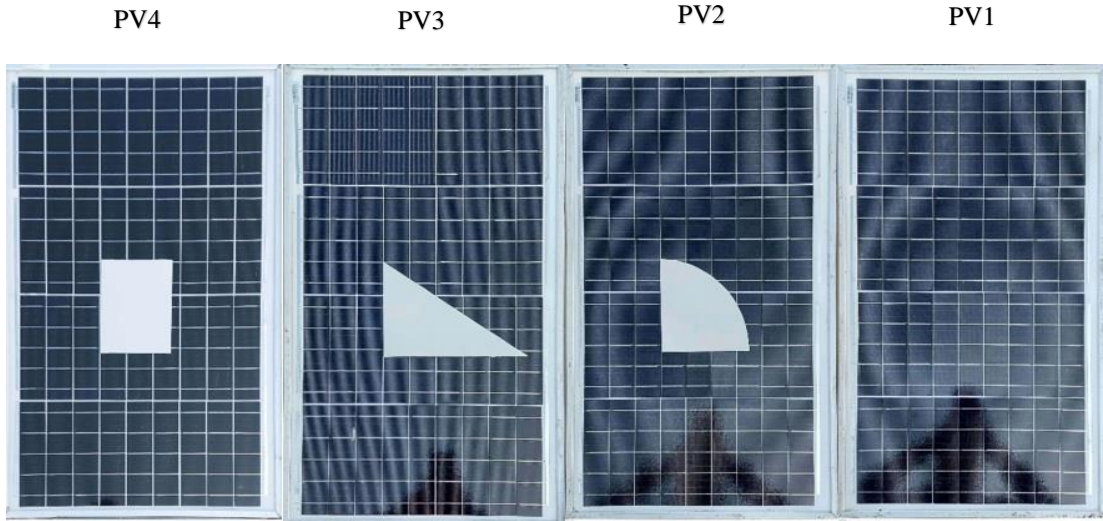
(b)

Şekil 3. 9. (a) Pratik (b) Teorik PV Modül akım ve gerilim ölçümü bağlantı şeması.

Elektrik devresi hazırlandıktan sonra, her PV modülüne üç termokupl yerleştirilmiş ve deney sırasında PV modülünün sıcaklığını ölçmek için çapraz şekilde dağıtılmıştır. Termokupllar 2, 3 ve 4 numaralı PV1, Termokupllar 5, 6 ve 7 numaralı PV2, Termokupllar 8, 9 ve 10 numaralı PV3 ve Termokupllar 11, 12 ve 13 numaralı PV4'e yerleştirilmiştir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi. PV modülüne termokuplları sabitlemek için yalıtım bantı ve üstüne alüminyum bant kullanılmıştır. Elektrik devresi ve PV modülü hazırlandıktan sonra, PV modülünün ortasına sabit alanlar ve farklı şekiller (üçgen, dikdörtgen ve çeyrek daire gibi) içeren bir karton yerleştirilmiştir. Her modülün kaybettiği gücü belirlemek için referans bir PV modülü kullanılmıştır. Deneyde PV modülünü gölgelemek için kullanılan şekiller ve her bir modüldeki konumları Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Termokuplların yerleştirilme konumları.



Şekil 3.11. PV modülünü gölgelemek için kullanılan şekiller.

PV modülünün sıcaklığını ölçmek için kullanılan termokupllar, verilerini sıcaklık ölçümlerine dönüştürmek için E-680 Universal Giriş-Çıkış Gelişmiş Tarayıcı Cihazı'na bağlanmıştır. Bu ölçümleri bilgisayar ekranında göstermek için RS-485 USB Dönüştürücü kullanılarak E-680 Universal Tarayıcı Cihazı'nın çıkışı bilgisayarın girişine bağlanmıştır. Şekil 3.12, gölgelemenin PV modülünün enerji performansına etkisini incelemek için yapılan deneyin bileşenlerini göstermektedir.

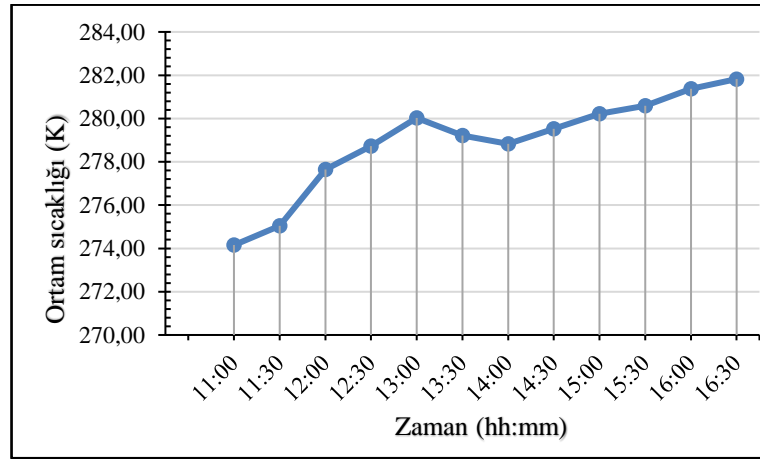


Şekil 3.12. Deney düzeneği.

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

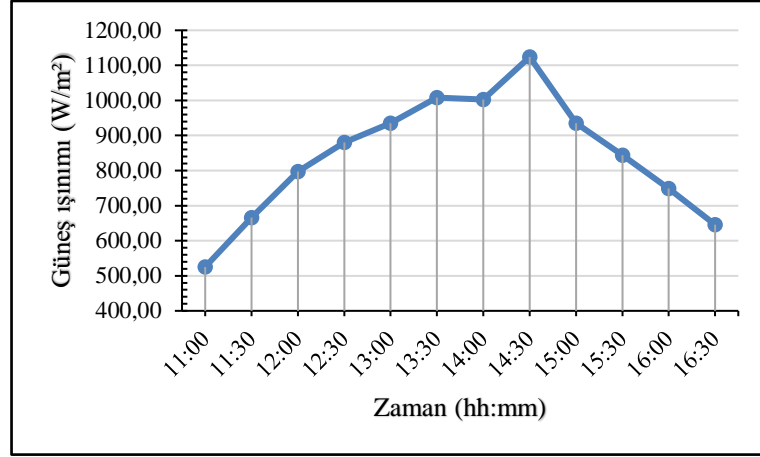
Bu bölümde, Ocak ayında Karabük Üniversitesi'nde gerçekleştirilen deneyin sonuçları sunulmaktadır. Deney, farklı üç geometrik şeklin statik gölgelendirmenin PV modülü verimliliği üzerindeki etkisini incelemektedir. Gölgelendirme, PV modüllerinin çıkışını olumsuz etkileyen en büyük sorunlardan biri olarak kabul edilir. Gölgelendirme, güneş hücrelerine güneş ışınlarının ulaşmasını engelleyerek PV modülünün ürettikleri gücün bir kısmının kaybolmasına yol açar ve bunun sonucunda PV modülü verimliliği azalır. Deney sırasında ölçülen parametreler arasında ortam sıcaklığı, güneş ışınımı, modüllerin sıcaklığı, akım, gerilim değerleri bulunmuştur. PV modüllerin elektriksel gücü, güneş gücü, elektriksel verim, elektriksel ekserji ve ekserji verimin değerlerini hesaplanmıştır. Şekil 4.1, zamanla ortam sıcaklığının değişimini göstermektedir.



Şekil 4.1. Zamana bağlı ortam sıcaklığı grafiği.

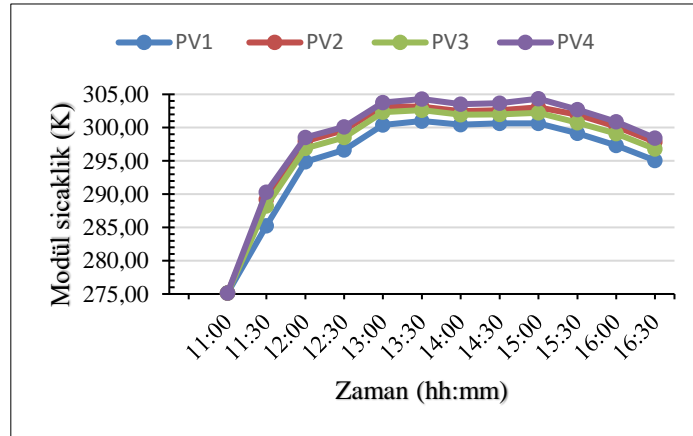
Şekil 4.1'e göre, deney saat 11:00'de başlamıştır ve 04:30'a kadar devam etmiştir. Saat 11:00'de en düşük sıcaklık 274,15 K olarak kaydedilmiştir. Saat 04:30'da ise en

yüksek sıcaklık 281,82 K olarak kaydedilmiştir. Saat 13:00 ile 14:00 arasında ortam sıcaklıkta bir düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni, ortam sıcaklık ölçüm cihazının güneş ışığından gölgelenmesidir. Deney sırasında ortalama ortam sıcaklığı 278,93 K olarak ölçülmüştür. Şekil 4.2, zamanla güneş ışınımının değişimini göstermektedir.



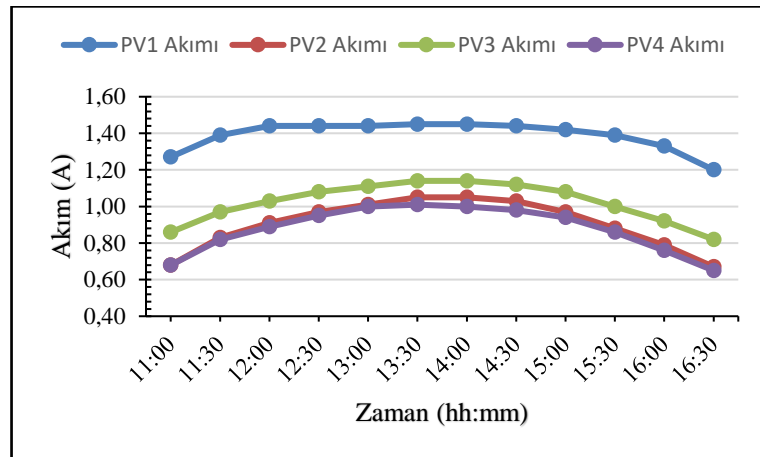
Şekil 4.2. Zamana bağlı güneş ışınımı grafiği.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, deneyde güneş ışınımını ölçmek için TES 1333R solarmetre ölçer kullanılmıştır. Deney saat 11:00'de başladığında güneş ışınımı 525,40 W/m² imiş. Deney saat 16:30'da sona erdiğinde güneş ışınımı 646 W/m² imiş. En yüksek güneş ışınımı saat 14:30'da 1124 W/m² olarak elde edilmiştir. Deney sırasında ortalama güneş ışınımını 842,70 W/m² olarak elde edilmiştir. Şekil 4.3, zamanla PV modülünün sıcaklığının değişimini göstermektedir.



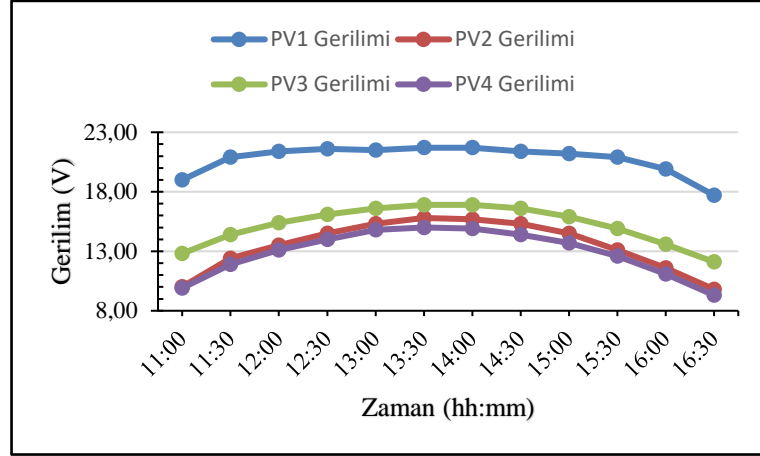
Şekil 4.3. Zamana bağlı PV modül sıcaklık grafiği.

Şekil 4.3, deney sırasında PV modülünün sıcaklığını göstermektedir. PV modülünün sıcaklığını ölçmek için termokupl K kullanılmıştır. PV modülünün sıcaklığı hesaplanırken her PV modülüne bağlı üç termokuplün ortalaması alınmıştır. Şekil 5.3'te, referans modül PV1'in sıcaklığı saat 11:00'de 275,15 K olarak ölçülmüştür. En yüksek sıcaklık, saat 13:30'da 301 K'ye ulaşmıştır. Çeyrek daire şekilli PV modülü PV2'nin başlangıçtaki sıcaklığı da 275,15 K imiş ve en yüksek sıcaklık, saat 13:00'te 303,20 K olarak ölçülmüştür. Üçgen şekilli PV modülü PV3'ün en yüksek sıcaklığı, saat 13:30'da 302,63 K olarak kaydedilmiştir. Dikdörtgen şekilli PV modülü PV4'ün en yüksek sıcaklığı ise saat 15:00'de 304,35 K olarak ölçülmüştür. PV modüllerinin en yüksek sıcaklığı sırasıyla PV4, PV2, PV3 ve PV1'dir. bunun nedeni, şekillere sahip PV modüllerinin gölgelenmiş hücrelerin elektrik üretimini engellemesidir. Bu nedenle, bu hücreler, gölgelenmeyen hücrelerden gelen akımı taşıyan bir dış yük gibi davranıp PV modülünün sıcaklığını artırır. Deney sırasında dört PV modülün (PV1, PV2, PV3 ve PV4) için ortalama sıcaklıkları sırasıyla 295,54 K, 298,02 K, 297,21 K ve 298,81 K olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4, zamanla akım değişimini göstermektedir.



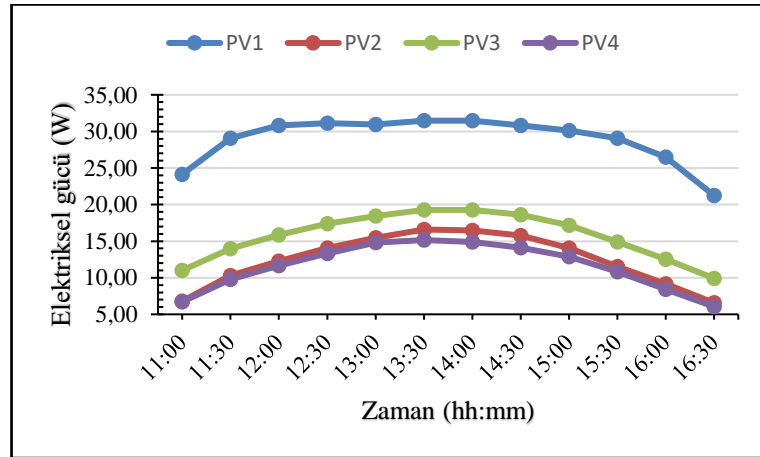
Şekil 4.4. Zamana bağlı akım değişim grafiği.

Şekil 4.4'te açıklandığı gibi, PV1 diğer PV modüllerinden daha yüksek bir akım üretir. PV1'den elde edilen en yüksek akım değeri saat 13:30'da 1,45 A olarak ölçülmüştür. PV2, PV3 ve PV4'ten elde edilen en yüksek akım değerleri ise saat 13:30'da sırasıyla 1,05 A, 1,14 A ve 1,01 A olarak ölçülmüştür. Deney sırasında dört PV modülün (PV1, PV2, PV3 ve PV4) için ortalama akım değerleri sırasıyla 1,39 A, 0,9 A, 1,02 A ve 0,88 A olarak ölçülmüştür. Şekil 4.5, zamanla gerilim değişimini göstermektedir.



Şekil 4.5. Zamana bağlı gerilim değişim grafiği.

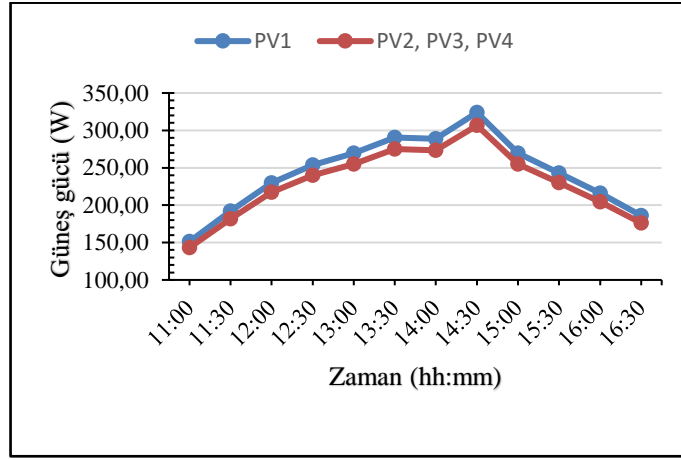
Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, PV1 diğer PV modüllerinden daha yüksek bir gerilim üretir. PV1'den elde edilen en yüksek gerilim değeri saat 13:30'da 21,70 V olarak ölçülmüştür. PV2, PV3 ve PV4'ten elde edilen en yüksek gerilim değerleri ise saat 13:30'da sırasıyla 15,80 V, 16,90 V ve 15,00 V olarak ölçülmüştür. Deney sırasında dört PV modülün (PV1, PV2, PV3 ve PV4) için ortalama gerilim değerleri sırasıyla 20,74 V, 13,46 V, 15,18 V ve 12,89 V olarak ölçülmüştür. Şekil 4.6, zamanla elektriksel gücünün değişimini göstermektedir.



Şekil 4.6. Zamana bağlı elektriksel gücünün grafiği.

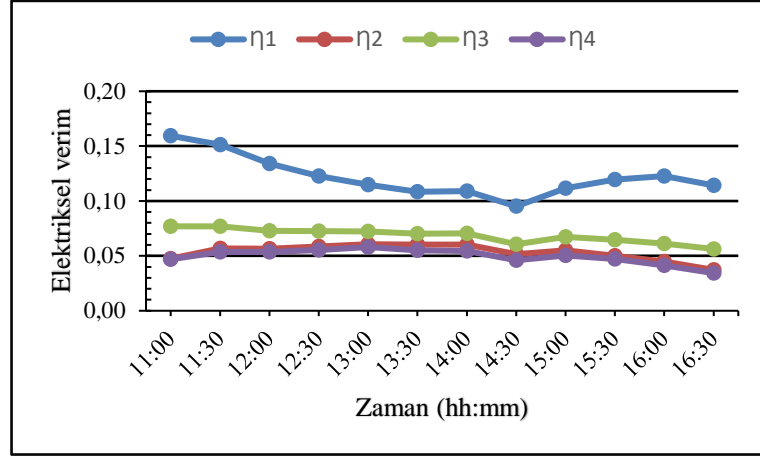
Elektriksel gücü, akımın gerilimle çarpılmasıyla hesaplanır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, PV1'in elektriksel gücü, üzerinde herhangi bir gölge olmadığı için diğer PV

modülleri arasında en yüksektir. 13:30'da PV1'den elde edilen en yüksek elektriksel gücü 31,47 W olarak kaydedilmiştir. Aynı saat olan 13:30'da, PV2, PV3 ve PV4 için en yüksek elektriksel gücü sırasıyla 16,59 W, 19,27 W ve 15,15 W olarak kaydedilmiştir. Deney sırasında dört PV modülün (PV1, PV2, PV3 ve PV4) için ortalama elektriksel gücünün değerleri sırasıyla 28,89 W, 12,42 W, 15,69 W ve 11,55 W olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.7, zamanla güneş gücünün değişimini göstermektedir.



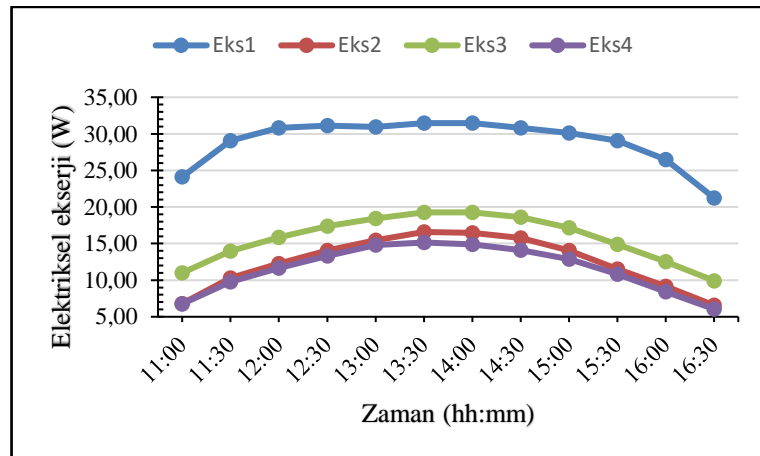
Şekil 4.7. Zamana bağlı güneş gücünün grafiği.

Şekil 4.7, en yüksek güneş gücünün en yüksek güneş ışınımında elde edildiğini göstermektedir. Saat 14:30'da en yüksek ışınımın 1124 W/m^2 olduğu kaydedilmiştir. PV1 modülü için kaydedilen en yüksek güneş gücü $323,82 \text{ W}$ 'tır. PV2, PV3 ve PV4 modülleri için kaydedilen en yüksek güneş gücü ise $306,52 \text{ W}$ 'tır. Deney sırasında dört PV modülün (PV1 ve PV2, PV3, PV4) için ortalama güneş gücünün değerleri sırasıyla $242,78 \text{ W}$ ve $229,81 \text{ W}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8, zamanla elektriksel veriminin değişimini göstermektedir.



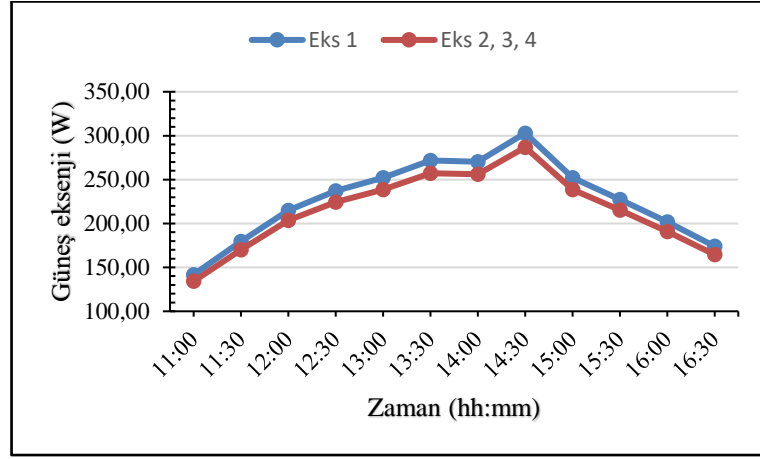
Şekil 4.8. Zamana bağlı elektriksel veriminin grafiği.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, deneyin başlangıcında saat 11:00’de PV1 ve PV3 için en yüksek elektriksel verimlilik sırasıyla %16 ve %8 olarak hesaplanmıştır. PV2 ve PV4 için en yüksek elektriksel verimlilik ise saat 12:30’da sırasıyla %6 ve %6 olarak hesaplanmıştır. Saat 14:30’da PV1 ve PV3 için en düşük elektriksel verimlilik sırasıyla %10 ve %6 olarak hesaplanmıştır. PV2 ve PV4 için en düşük elektriksel verimlilik ise saat 16:30’da %4 ve %3 olarak hesaplanmıştır. Deney sırasında dört PV modülün (PV1, PV2, PV3 ve PV4) için ortalama elektriksel verimliliğinin değerleri sırasıyla %12,20, %5,33, %6,85 ve %4,97 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.9, zamanla elektriksel ekserjinin değişimini göstermektedir.



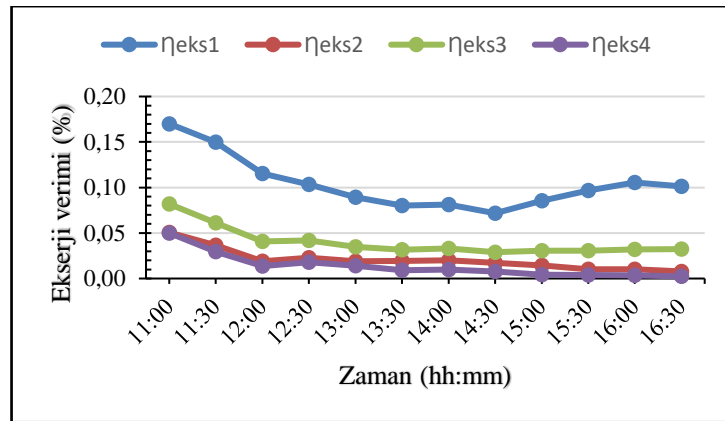
Şekil 4.9. Zamana bağlı elektriksel ekserjinin grafiği.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, Modüllerin ortalama elektiriksel ekserji değerlerine bakıldığında PV1 için yaklaşık 28,89 W. PV2 modül elektrik ekserjisi 12,42 W’tır. PV3 modülün elektrik ekserji değeri 15,69 W’tır. PV4 modülün elektrik ekserji değeri 11,55 W’tır. PV2, PV3 ve PV4 modüllerin elektiriksel ekserjileri PV1’e göre sırasıyla %57, %45,7 ve %60 daha küçüktür. Şekil 4.10, zamanla güneş ekserjisinin değişimini göstermektedir.



Şekil 4.10. Zamana bağlı güneş ekserjisinin grafiği.

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi, 11:00 ile 16:30 arasında, PV1 için güneş enerjisi değerleri 141,80W ile 174W arasında değişmektedir. PV2, PV3 ve PV4 için ise güneş enerjisi değerleri 134,22 W ile 132,42 W arasında değişmektedir. PV1 için güneş enerjisi ortalama değeri 227,14 W iken, PV2, PV3 ve PV4 için 215 W olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.11, zamanla ekserji veriminin değişimini göstermektedir.



Şekil 4.11. Zamana bağlı ekserji veriminin grafiği.

Şekil 4.11’de, referans modülünün eğrisinin diğer gölgeli modüllerin eğrilerinden daha yüksek olduğunu görülmüştür. PV1, PV2, PV3 ve PV4 modüllerinin ekserji verimliliğinin ortalaması sırasıyla %10,42, %2,06, %4 ve %1,38’dir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bir alana kurulan fotovoltaik (PV) tarlaları tarafından üretilen enerjinin verimli kullanımını etkileyen ana sorunlardan biri gölgelemedir. Gölgeleme iki ana gruba ayrılır: nesnel ve öznel gölgeleme. Öznel tür, dinamik ve statik gölgeleme olarak sınıflandırılır. Statik gölgeleme, PV modülünün toz parçacıkları veya kuş pislikleri gibi herhangi bir katı parçacıkla kaplanması, bu parçacıkların güneş ışığının PV modülüne kısmen veya tamamen ulaşmasını engellemesi durumunda ortaya çıkar. Dinamik gölgeleme ise PV modülüne ulaşan güneş ışığını engelleyen bir nesnenin varlığıyla ortaya çıkar. Bu nesne bir ağaç, bir bina veya herhangi bir sabit nesne olabilir. Nesnel gölgelemeler ise yoğun bulutlar ve sis gibi hava koşullarının neden olduğu gölgelerdir, bu tür gölgeleme sisteme kaçınılmaz olarak etki eder. Birçok çalışma ve deney, PV modülünden elde edilen güç çıktısının gölgelemenin etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Bu deneysel çalışmada, gölgeleme geometrisinin PV modülü performansı üzerindeki etkisini incelemek için üç farklı gölgeleme geometrisi kullanılmıştır. Meteryal ve yöntem’de belirtildiği gibi, aşağıdaki geometrik şekiller: çeyrek daire (PV2), üçgen (PV3) ve dikdörtgen (PV4) PV modülünün ortasına yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Üçgen, çeyrek daire ve dikdörtgen geometrik şekilli gölgeleyicilerle gölgelenen PV modüllerinin sırasıyla, referans PV modülü (PV1) ile karşılaştırıldığında en yüksek elektriksel güç elde edilmiştir.
- Her biri PV1, PV2, PV3 ve PV4 PV modülleri sırasıyla 28,89 W, 12,42 W, 15,69 W ve 11,55 W elektriksel güç üretmiştir. Bu da PV1’e göre sırasıyla %57, %45,7 ve %60 daha azdır.
- PV1, PV2, PV3 ve PV4 PV modüllerinin elektriksel verimliliği sırasıyla % 12,20, %5,33, %6,85 ve %4,97’tir, bu da PV1’e göre sırasıyla %6,87, %5,3

ve %7,23 daha azdır. PV1, PV2, PV3 ve PV4 modüllerinin ekserji verimliliği sırasıyla %10,42, %2,06, %4 ve %1,38'dir.

Çalışma sırasında edinilen gözlemler neticesinde gelecekte aşağıdaki hususları dikkate alarak yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir.

- Gelecekteki çalışmalarda “on grid” sistemlere gölgeleyici formunun etkisi enerji ve ekserji yaklaşımıyla değerlendirilebilir.
- Gölgeleyici formunun dinamik gölgeleme süreçlerinde enerji ve ekserji performansına etkisi incelenebilir.
- Farklı geometrik boyutlarla deneyler yapılarak kritik boyut değerlemesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Jebaraj, S. and Iniyan, S., "A review of energy models", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 10 (4): 281–311 (2006).
2. Sizmann, R. L., "Solar Power Plants: Fundamentals, Technology, Systems, Economics 1st Ed", *Springer-Verlag Berlin*, New York, 29-3922-29–3922 (1992).
3. Raja, A. K. and Dwivedi, A. P. S. M., "Power Plant Engineering 1st Ed", *New Age International (P) Ltd*, New Delhi, 1–282 (2008).
4. Ali, W., Farooq, H., Rehman, A. U., Awais, Q., Jamil, M., and Noman, A., "Design considerations of stand-alone solar photovoltaic systems", *2018 International Conference On Computing, Electronic And Electrical Engineering, ICE Cube 2018*, 1–6 (2019).
5. Internet: World Energy Statistics | Enerdata, "Total Energy Consumption", <https://yearbook.enerdata.net/> (2023).
6. Abdullah, M. O., "Applied Energy: An Introduction", *Taylor & Francis Group*, New York, 1–421 (2012).
7. Blok, K. and Nieuwlaar, E., "Introduction to Energy Analysis 2nd Ed.", *Routledge Taylor And Francis Group*, Berkeley, 1–337 (2016).
8. Timothy, "Renewable energy sources: A variable choice", *Environment: Science And Policy For Sustainable Development*, 8–20 (2018).
9. Nazir, M. S., Ali, Z. M., Bilal, M., Sohail, H. M., and Iqbal, H. M. N., "Environmental impacts and risk factors of renewable energy paradigm—a review", *Environmental Science And Pollution Research*, 27 (27): 33516–33526 (2020).
10. International Renewable Energy Agency, "Renewable Capacity Highlights", *Irena*, Abu Dhabi., (2023).
11. Mirza, U. K., Ahmad, N., and Majeed, T., "An overview of biomass energy utilization in Pakistan", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 12 (7): 1988–1996 (2008).
12. Sriram, N. and Shahidehpour, M., "Renewable biomass energy", *2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1: 612–617 (2005).

13. Rosillo-Calle, F., Bajay, S. V, and Rothman, H., "Overview of Biomass Energy", *Industrial Uses Of Biomass Energy*, 2 (11): 379–385 (2010).
14. Nagpal G.R., "Power Plant Engineering 5th Ed.", *Khanna Publishers*, Delhi, 1–730 (2006).
15. Yavuz, İ. and Özbay, H., "Rüzgar türbinlerinde kurulum ve bakım süreçleri: bandırma örneği", *Mühendislik Bilimleri Ve Araştırmaları Dergisi*, 2 (2): 58–68 (2020).
16. Letcher, T. M., "Why wind energy?", *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*, *Elsevier Inc.*, New York, 3–14 (2017).
17. Bagher, A. M., Vahid, M., Mohsen, M., and Parvin, D., "Hydroelectric energy advantages and disadvantages", *American Journal Of Energy Science*, 2 (2): 17–20 (2015).
18. Manzano-Agugliaro, F., Taher, M., Zapata-Sierra, A., Juaidi, A., and Montoya, F. G., "An overview of research and energy evolution for small hydropower in Europe", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 75: 476–489 (2017).
19. Hanani, N., "Study on rural energy supply with utilization of renewable energy in rural areas in the republic of Indonesia", *Manual for Micro-Hydro Power Development, Indonesia*, 1–7 (2018).
20. Yılmaz, cevdet, Uzun, A., Zeybek, H. İ., and Kaya, M., "Nehir tipi hidroelektrik santrallerinin coğrafi ortam üzerine etkilerine bir örnek: ayancık HES", *Nature Sciences*, 7 (3): 50–67 (2012).
21. Pandey, B. and Karki, A., "Hydroelectric Energy 2nd Ed", *Energy and The Environment*, *Ghassemi, Abbas*, Mexico, 1–438 (2016).
22. Internet: Solar, R. M. of W., "Global Horizontal Irradiation", <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world> (2023).
23. Kale, S. A., "Renewable Energy Systems 1st Ed", *Nova Science Publishers, Inc. All*, New York, 1–282 (2017).
24. Bhatia, S. C., "Advanced Renewable Energy Systems 1st Ed", *Woodhead Publishing India Pvt. Ltd*, *Woodhead*, New Delhi, 1–743 (2014).
25. Sun, T. and Source, E., "Solar radiation at the top of the atmosphere", *An Introduction to Atmospheric Radiation 2nd Ed*, *International Geophysics*, Florida, 37–64 (2002).
26. Widén, J. and Munkhammar, J., "Solar Radiation Theory 1st Ed", *Uppsala University*, *Munkhammar, Joakim Wid'en And Joakim*, Uppsala, 1–47 (2019).

27. Mackay, M. E., "Solar Energy: An Introduction 1st Ed", Physics Today Oxford University, First. Ed., *Oxford University Press*, New York, 10–55 (2016).
28. Vignola, F. and Stoffel, J. M. T., "Solar and Infrared Radiation Measurements 2nd Ed", *Hydroelectric Energy: Renewable Energy And The Environment Bikash*, New York, 1–517 (2020).
29. Widén, J. and Munkhammar, J., "Solar Radiation Theory 1st Ed", Uppsala University, *Munkhammar, Joakim Wid'en And Joakim*, Uppsala, 1–47 (2019).
30. Erhan, "Solarimetre ve Gölge Bandi Ayaklarının Montajını Yapmak İşinin Açısını Belirlemek", Istanbul, (2015).
31. Ceylan, İlhan -Gürel, E., "Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı 3rd Ed", Bursa, 1–302 (2021).
32. Al-Tabbakh, A. A., "Solar Energy Engineering", *University Of Al-Mustansiriyah*, 1–13 (2009).
33. Internet: Coğrafi Koordinat Sistemi Nedir, "Bir Noktanın Koordinatları Nasıl Belirlenir", <https://ecodiurnal.com/cografi-koordinat-sistemi-nedir/> (2024).
34. Soteris A. Kalogirou, "Basic Solar", *European Cooperation In The Field Of Scientific And Technical Research*, 1–28 (2017).
35. Ismail, M. M., Anis, W. R., and Ghoneim, R., "Comparative study between silicon & gallium arsenide on grid PV system", *International Journal Of Advanced Research*, 4 (3): 2001–2017 (2016).
36. Durak, M., "Güneş Enerjisi:Teori Ve Uygulama", *İTÜ Meteoroloji Mühendisliği*, (2016).
37. Martín-Chivelet, N., "Photovoltaic potential and land-use estimation methodology", *Energy*, 94: 233–242 (2016).
38. Dixit, S., "Solar technologies and their implementations: A review", *Materials Today: Proceedings*, 28: 2137–2148 (2020).
39. Čotar, Andrej, A. F., "Photovoltaic systems", *Darko Jardas, Dipl. Ing. REA Kvarner Ltd*, 1–25 (2012).
40. Rani, S. and Sharma, S., "A review on photovoltaic solar energy", *Jetir*, 2 (2): 1–7 (2017).
41. Khan, S. U.-D., Wazeer, I., and Almutairi, Z., "Comparative analysis of SAM and RETScreen tools for the case study of 600 kW solar PV system installation in Riyadh, Saudi Arabia", *Sustainability*, 15 (6): 5381 (2023).

42. Sarkar, S. and Rahman, M., "Power-energy optimization of solar photovoltaic device modeling", *Proceedings Of International Conference On 2018 IEEE Electron Device Kolkata Conference, EDKCON 2018*, 541–546 (2018).
43. Rathore, N., Panwar, N. L., Yettou, F., and Gama, A., "A comprehensive review of different types of solar photovoltaic cells and their applications", *International Journal Of Ambient Energy*, 42 (10): 1200–1217 (2021).
44. Internet: Solar Panels, "Monocrystalline vs Polycrystalline Solar", <https://www.solarquotes.com.au/panels/photovoltaic/monocrystalline-vs-polycrystalline/> (2024).
45. Miro Zeman, Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, R. A. C. M. M. van S., "Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems Klaus", *Green Energy And Technology*, Delft, 1–407 (2014).
46. David Tan, A. K. S., "Handbook for Solar Photovoltaic Systems", Singapore Publication, *Energy Market Authority*, Singapore, 1–46 (2011).
47. Albarbar, A. and Arar, A., "Performance assessment and improvement of central receivers used for solar thermal plants", *Energies*, 12 (16): 1–26 (2019).
48. Shahabuddin, M., Alim, M. A., Alam, T., Mofijur, M., Ahmed, S. F., and Perkins, G., "A critical review on the development and challenges of concentrated solar power technologies", *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, 47: 101–434 (2021).
49. Fouad, M. M., Shihata, L. A., and Morgan, E. S. I., "An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 80: 1499–1511 (2017).
50. Hasan, K., Yousuf, S. B., Tushar, M. S. H. K., Das, B. K., Das, P., and Islam, M. S., "Effects of different environmental and operational factors on the PV performance: A comprehensive review", *Energy Science And Engineering*, 10 (2): 656–675 (2022).
51. Bayrak, F. and Oztop, H. F., "Effects of static and dynamic shading on thermodynamic and electrical performance for photovoltaic panels", *Applied Thermal Engineering*, 169: 114–900 (2020).
52. Bayrak, F., Ertürk, G., and Oztop, H. F., "Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels", *Journal Of Cleaner Production*, 164: 58–69 (2017).
53. Afroni, M. J., Wirateruna, E. S., and Melfazen, O., "An experimental study of partial shading effects on the P-V characteristic curve", *Proceedings - 11th Electrical Power, Electronics, Communications, Control, And Informatics Seminar, EECCIS 2022*, 22–27 (2022).

54. Abdulmawjood, K., Alsadi, S., Refaat, S. S., and Morsi, W. G., "Characteristic study of solar photovoltaic array under different partial shading conditions", *IEEE Access*, 10: 6856–6866 (2022).
55. Feng, X. and Ma, T., "Solar photovoltaic system under partial shading and perspectives on maximum utilization of the shaded land", *International Journal Of Green Energy*, 20 (4): 378–389 (2023).
56. Chepp, E. D. and Krenzinger, A., "A methodology for prediction and assessment of shading on PV systems", *Solar Energy*, 216: 537–550 (2021).
57. Dolar, A., Lazaroiu, G. C., Leva, S., and Manzolini, G., "Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules", *Energy*, 55: 466–475 (2013).
58. Djalab, A., Bessous, N., Rezaoui, M. M., and Merzouk, I., "Study of the effects of partial shading on PV array", *Proceedings - International Conference On Communications And Electrical Engineering, ICCEE 2018*, 1–5 (2018).
59. Abdullah, G., Nishimura, H., and Fujita, T., "An experimental investigation on photovoltaic array power output affected by the different partial shading conditions", *Energies*, 14 (9): (2021).
60. Xiao, W. B., Hu, F. Y., Zhang, H. M., and Wu, H. M., "Experimental investigation of the effects of partial shading on photovoltaic cells' electrical parameters", *International Journal Of Photoenergy*, 2015: 1–7 (2015).
61. Teo, J. C., Tan, R. H. G., Mok, V. H., Ramachandramurthy, V. K., and Tan, C. K., "Effects of bypass diode configurations to the maximum power of photovoltaic module", *International Journal Of Smart Grid And Clean Energy*, 6 (4): 225–232 (2017).
62. Ekpenyong, E.E and Anyasi, F. ., "Effect of shading on photovoltaic cell", *IOSR Journal Of Electrical And Electronics Engineering*, 8 (2): 01–06 (2013).
63. Saiprakash, C., Mohapatra, A., Nayak, B., and Ghatak, S. R., "Analysis of partial shading effect on energy output of different solar PV array configurations", *Materials Today: Proceedings*, 39: 1905–1909 (2021).
64. Pradhan, R. and Kar, S., "A Comprehensive study of partial shading effect on the performance of PV array with different configuration", *Proceedings Of The 2020 International Conference On Renewable Energy Integration Into Smart Grids: A Multidisciplinary Approach To Technology Modelling And Simulation, ICREISG 2020*, 78–83 (2020).
65. Bernadette, D., Twizerimana, M., Bakundukize, A., Jean Pierre, B., and Theoneste, N., "Analysis of shading effects in solar PV system", *International Journal Of Sustainable And Green Energy*, 10 (2): 47 (2021).

66. Bingöl, O. and Özkaya, B., "Analysis and comparison of different PV array configurations under partial shading conditions", *Solar Energy*, 160: 336–343 (2018).
67. Abdulridha, S., Tuma, S., and Abdulrazzaq, O., "Study of the partial shading effect on the performance of silicon PV panels string", *Journal Of Applied Sciences And Nanotechnology*, 1 (1): 32–42 (2021).
68. Sebbagh, T., Kelaiaia, R., and Zaatri, A., "An experimental validation of the effect of partial shade on the I-V characteristic of PV panel", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 96 (9–12): 4165–4172 (2018).
69. Lu, F., Guo, S., Walsh, T. M., and Aberle, A. G., "Improved PV module performance under partial shading conditions", *Energy Procedia*, 33: 248–255 (2013).
70. El Iysaouy, L., Lahbabi, M., Bhagat, K., Azeroual, M., Boujoudar, Y., Saad El Imanni, H., Aljarbough, A., Pupkov, A., Rele, M., and Ness, S., "Performance enhancements and modelling of photovoltaic panel configurations during partial shading conditions", *Energy Systems*, 1–22 (2023).
71. Mustafa, R. J., Gomaa, M. R., Al-Dhaifallah, M., and Rezk, H., "Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic systems", *Sustainability (Switzerland)*, 12 (2): 1–17 (2020).
72. Bhallamudi, R., Kumarasamy, S., and Sundarabalan, C. K., "Effect of dust and shadow on performance of solar photovoltaic modules: Experimental analysis", *Energy Engineering: Journal Of The Association Of Energy Engineering*, 118 (6): 1827–1838 (2021).
73. Keskin, V., "Exergoeconomic analysis of a photovoltaic array affected by dynamic shading", *Journal Of Scientific Reports-A*, (052): 35–50 (2023).
74. Anand, V. P., Ameen, E., and Pesala, B., "Experimental investigation of the shading losses on solar module system performance", *2014 International Conference On Advances In Electrical Engineering, ICAEE 2014*, 1–4 (2014).
75. Yaouba, Bajaj, M., Welba, C., Bernard, K., Kitmo, Kamel, S., and El-Naggar, M. F., "An experimental and case study on the evaluation of the partial shading impact on PV module performance operating under the sudano-sahelian climate of cameroon", *Frontiers In Energy Research*, 10: 1–13 (2022).
76. Aydın, E., "Kanatçık yapı destekli faz değıştiren madde ile fotovoltaiik panel pasif soğutması", *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2022).
77. Internet: Ubuy, "TES 1333R Solar Power Meter",

<https://www.ubuy.com.gh/product/GHYP3Z2-tes-1333r-solar-power-meter> (2024).

78. Internet: Ubuy, "TES 1333R Solar Power Meter", <https://www.ubuy.com.gh/product/GHYP3Z2-tes-1333r-solar-power-meter> (2024).
79. Internet: Komponentci, "Dijital Voltmetre Ampermetre DC 0-100V 10A", <https://www.komponentci.net/> (2024).
80. Internet: Motorobit, "10R 50W 5% Alüminyum Direnç 50W Alüminyum Direnç", <https://www.motorobit.com/10r-50w-5-aluminyum-direnc> (2024).

ÖZGEÇMİŞ

Saleh ALNAKHLANI ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Devrim Lisesi, Fen Bilimleri alanından mezun oldu. 2016 yılında Sana Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp aynı bölümden 2020 yılında mezun oldu. İki yıldan mezun olduktan sonra, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.