



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

V-OLUK TİPİ YOĞUNLAŞTIRICILARIN FOTOVOLTAİK
UYGULAMALAR İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

HAZIRLAYAN
MUSTAFA ÇAKMAK

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ABİD USTAOĞLU

BARTIN-2019



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**V- OLUK TİPİ YOĞUNLAŞTIRICILARIN FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR
İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Mustafa ÇAKMAK

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper ERGÜN - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Mustafa ÇAKMAK tarafından hazırlanan “V- OLUK TİPİ YOĞUNLAŞTIRICILARIN FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı bu çalışma, 27.12.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU
(Danışman)

Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper ERGÜN

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “V- OLUK TİPİ YOĞUNLAŞTIRICILARIN FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

27.12.2019

Mustafa ÇAKMAK

ÖNSÖZ

Tabiatı kirlletmeyen enerji kaynaklarının kullanımı ve yaygınlaşması gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakmak için çok önemlidir. Böyle önemli bir konuda araştırma yapma fırsatını bulduğum için kendimi şanslı görüyorum. Değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU'na bu çalışmanın her aşamasında bana bilimsel anlamda verdiği destek ve katkılarından ötürü içtenlikle teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK'e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Umut ÖZBEY, Hande TORLAKLI ve Kübra KURTOĞLU'na yardımları için teşekkür ederim. Yaptığımız bu çalışma Bartın Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından finanse edilen 2018-FEN-A-013 numaralı bir araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Birimimiz ve çalışanlarına desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansa başladığım günden beri desteğini esirgemeyen, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Mustafa ÇAKMAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

V- OLUK TİPİ YOĞUNLAŞTIRICILARIN FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa ÇAKMAK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU

Bartın-2019, sayfa: 77

Bu çalışmada, V-oluk tipi yoğunlaştırıcının yansıtıcı reflektör olarak kullanıldığı görüntüsüz yoğunlaştırıcı ile fotovoltaik panelin birleştirilmesi sonucu oluşturulan yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) sistemde, yansıtma oranları farklı reflektör kullanımının PV yüzeyindeki ısınmaya etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle literatür çalışması yapılarak V-oluk tipi yoğunlaştırıcılar ile fotovoltaik sistemler ve bu iki sistemin bir arada bulunduğu uygulamalar araştırılmıştır. Yansıtma oranları ortalama olarak %71.6 ile %91.3 olan iki farklı reflektör ile fotovoltaik panellerin birleştirildiği V-oluk yoğunlaştırıcı-PV sistemler ile PV sistemin deneysel olarak performansları ölçülmüştür. Sistemlerin maliyet analizi yapılarak geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ölçümlerin sonucunda SM-CPV sistemden elde edilen çıkış gücü MS90-CPV sistemden %43, PV sistemden %18 fazladır. SM-CPV sistemden elde edilen akım, MS90-CPV sistem ile PV sistemden ortalama olarak sırasıyla %38 ve %13 daha yüksektir. SM-CPV sistemin V_{OC} değeri, MS90-CPV sistemden daha yüksek iken, MS90-CPV sistemden elde edilen I_{SC} , SM-CPV sistem ile PV sistemden ortalama olarak sırasıyla %16 ve %47 yüksektir. MS90-CPV sistemin ortalama PV yüzey sıcaklığı SM-CPV sistemden %11.9, PV sistemden %13.8 fazladır. Sistemlerden elde edilen çıkış gücünün fotovoltaik modül yüzey sıcaklığından doğrudan etkilendiği tespit edilmiştir. SM-CPV sistemin kurulum maliyeti, reflektör fiyatının ekonomik oluşu

sebebiyle MS90-CPV sisteme göre yaklaşık olarak %34 daha uygundur. Maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi SM-CPV sistemin 5 yıl, MS90-CPV sistemin 18 yıl, PV sistemin ise 6 yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntüsüz yoğunlaştırıcı; V-oluk; elektriksel performans; PV yüzey sıcaklık dağılımı.

Bilim Alanı Kodu: 91441

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EVALUATION OF V-TROUGH TYPE SOLAR CONCENTRATOR FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

Mustafa ÇAKMAK

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Abid USTAOĞLU

Bartın-2019, pp: 77

In this study, the effect of different reflector materials on PV cell temperature was experimentally investigated V-through concentrator, which is a non-imaging concentrator, was considered for the concentrating photovoltaic (CPV) system. Firstly, the literature survey was carried out. V-trough combined photovoltaic system and its applications were investigated. V-trough-PV system were designed, produced, and its experimental setup was installed. Two different V-trough reflectors having average reflectivities of 91.3% and 71.6% were adapted to the photovoltaic system. Their performances were experimentally compared with 1-Sun PV system. The cost analysis of the systems was made and the repayment periods were calculated. The output power obtained from the SM-CPV system is 43% higher than the MS 90-CPV system and 18% higher than the PV system at the result of measurements. The current obtained from the SM-CPV system is 38% higher and 13% higher than the MS90-CPV system and PV system on average, respectively. While the VOC value of the SM-CPV system is higher than the MS90-CPV system, the ISC obtained from the MS90-CPV system is 16% and 47% higher than the SM-CPV system and PV system on average, respectively. The average PV surface temperature of the MS90-CPV system is 11.9% higher than the SM-CPV system and 13.8% higher than the PV system. It was determined that the output power obtained from the systems was

directly affected by the surface temperature of the photovoltaic module. The cost of installation of the SM-CPV system is approximately 34% more favorable than the MS90-CPV system due to the economic cost of the reflector. As a result of the cost analysis, the repayment period was calculated as 5 years for SM-CPV system, 18 years for MS90-CPV system and 6 years for PV system.

Keywords: Non-image concentrator; V-trough; electrical performance; PV surface temperature distribution.

Scientific Field Code: 91441

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Enerji.....	2
1.2.1 Dünyada Enerji Tüketimi	2
1.2.2 Enerji Çeşitleri	3
1.2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	3
1.2.4 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
1.3 Güneş Enerjisi.....	7
1.3.1 Güneşin Yapısı	7
1.3.2 Güneşi Açılarını	8
1.3.3 Güneş Işığı Dalga Boyları	10
1.3.4 Türkiye’de Güneş Enerjisi Varlığı	12
1.4 Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	14
1.5 Isıl Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	15
1.6 Fotovoltaik Güneş Teknolojileri.....	18
1.6.1 Fotovoltaik Hücre Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	19
1.6.2 Fotovoltaik Panelin Yapısı.....	21
1.6.3 Fotovoltaik Panelin Performansını Etkileyen Faktörler.....	22
1.6.3.1 Sıcaklığın etkisi.....	22

1.7 Fotovoltaik Termal Sistemler (PV/T).....	24
1.8 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler (CPV).....	25
1.9 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Termal Sistemler (CPV/T)	26
1.10 Literatür Özeti.....	27
BÖLÜM 2 MATERYAL VE METOT	36
2.1 Materyal.....	36
2.1.1 V- Oluk Tipi Yoğunlaştırıcı.....	36
2.1.2 Güneş Pili (PV)	37
2.1.3 V-Oluk Yoğunlaştırıcı -PV Sistem Tasarımı	39
2.2 Deneysel Kurulum	41
2.2.1 Yansıtma Oranları Farklı Reflektörlerin Belirlenmesi.....	42
2.2.2 Fotovoltaik (PV) Modülün Oluşturulması	42
2.2.3 V-Oluk Yoğunlaştırıcı -PV Sistem İskeletinin Oluşturulması.....	43
2.2.4 V-Oluk Yoğunlaştırıcı - PV Sistem Montajının Yapılması	46
2.3 Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	47
2.4 Maliyet Analiz Metodu	50
2.5 V-Oluk Yoğunlaştırıcı-PV Sistemin Deneysel Uygulaması.....	50
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	53
3.1 Kullanılan Reflektörlerin Yansıtma Oranları ve Efficiliği.....	53
3.2 Fotovoltaik Panel Üzerinde Oluşan Sıcaklık Dağılımları.....	55
3.3 Sistemlerin Elektriksel Performansları	56
3.4 Sistemlerin Maliyet Analizi	62
BÖLÜM 4 SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: 2017 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları.....	2
1.2: Yenilenebilir enerji kaynakları.....	4
1.3: 2016 yılı Türkiye birincil enerji talebi oranları.....	5
1.4: Türkiyede elektrik enerjisi kurulu gücü gelişimi	6
1.5: Güneş sistemi ışınlam transferi	8
1.6: Deklinasyon açısı	9
1.7: Güneş açıları.....	9
1.8: Güneş ışınlamının enerji dağılım spektrumları	11
1.9: Türkiye güneş enerjisi haritası	12
1.10: Isıl güneş teknolojileri.....	15
1.11: Güneş enerjisi teknolojileri	17
1.12: Fotovoltaik pilin genel gösterimi	18
1.13: Dünyada güneş enerjisi uygulamaları	19
1.14: Güneş hücresinin yapısı	21
1.15: PV/T sistem.....	25
1.16: CPV Sistem	26
1.17: CPV/T Sistem.....	27
2.1: V-oluk geometrisi.....	36
2.2: Güneş hücresi eşdeğer elektrik şeması.....	37
2.3: Fotovoltaik hücrenin I-V ve P-V eğrileri	38
2.4: V-oluk tipi yoğunlaştırıcı - PV sistemin 2 boyutlu geometrisi	40
2.5: Spectrofometre cihazı.....	42
2.6: PV modül	43
2.7: 21°lik kabul açısına sahipV-oluk-PV sistemin çekmeceleri	44
2.8: Lazer cihazı ile kesimi yapılan çekmece ve aparatları.....	44
2.9: Çekmecelerin bağlantı parçaları.....	45
2.10: Çekmece kalıbının montaj işlemi	45
2.11: V-oluk-PV sisteminin montajı	46
2.12: MS-410 First class pyranometer ve iç kısmı.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
2.13: Graphtec gl240 datalogger	48
2.14: Testo 875-2 marka termal kamera.....	48
2.15: Multimetre ve Termokupl	49
2.16: Platforma monte edilen CPV ve PV sistemler	51
2.17: Deney akış şeması	51
2.18: Deney uygulaması	52
3.1: Reflektörlerin ışınım dalga boyuna bağlı soğurganlıkları.....	53
3.2: Reflektörlerin ışınım dalga boyuna bağlı yansıtıcılıkları.....	54
3.3: Zamanla güneş radyasyonu değişimi	54
3.4: Termal kamera görüntüleri.....	55
3.5: Sistemlerin zamana bağlı ortalama sıcaklık değerleri.....	55
3.6: Sistemlerin zamana bağlı I_{sc} ve V_{oc} değerleri	56
3.7: Sistemlerin I_{sc} ve V_{oc} 'na bağlı güç üretimlerinin zamanla değişimi.....	57
3.8: I_{sc} ve V_{oc} değerinin ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimi	57
3.9: I_{sc} ve V_{oc} 'na bağlı gücün ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimi	58
3.10: Sistemlerin zamana bağlı akım ve voltaj değerleri değişimi.....	59
3.11: Sistemlerin zamana bağlı güç üretimleri	60
3.12: Sistemlerin I ve V değerinin ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimi.....	60
3.13: Sistemlerin ortalama yüzey sıcaklıklarına bağlı güç üretimleri	61
3.14: Doluluk oranının zaman ve ortalama PV yüzey sıcaklığına bağlı değişimi	62

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Türkiyede elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı.....	6
1.2: Aylara göre Türkiye’de toplam güneş enerjisi potansiyeli	13
1.3: Bölgelere göre Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli.....	14
1.4: Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametre değişimi.....	22
1.5: GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametre değişimi.....	22
1.6: Güneş hücresine ışığın spektral etkisi	23
2.1: Farklı tip fotovoltaik hücrelerin karakteristik değerleri	39
2.2: CPV sistemin tasarım parametreleri.....	41
3.1: Her bir sistemin ürettiği güç.....	63
3.2: Her bir sistemin ürettiği enerji ve yıllık getirisi ile ortalama maliyet	63
3.3: PV sistemin geri ödeme süresi	64
3.4: SM-CPV sistemin geri ödeme süresi	65
3.5: MS90-CPV sistemin geri ödeme süresi	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Azimut Açısı
A_a	: Yoğunlaştırıcının Alıcı Kısmı
A_c	: Yoğunlaştırıcının Alçıklık Kısmı
C	: Yoğunlaşma Oranı
C_{tr}	: V-Oluk Tipi Yoğunlaştırıcının Yoğunlaştırma Oranı
EJ	: Eksa Joule
eV	: Elektronvolt
FF	: Dolgu Faktörü
H	: Reflektörün Yüksekliği
h	: Reflektörün Eğik Yüksekliği
I_d	: Diyot Akımı
I_g	: Güneş Hücresi Akımı
I_{maxP}	: Maksimum Güç Noktası Akımı
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
n	: Kollektör Düzleminin Normal Vektörü
η	: Verim
nm	: Dalga Boyu
P_{maxP}	: Maksimum Güç Değeri
r	: Güneş Işını Vektörü
s	: Kollektör Düzleminin Yatayla Yaptığı Eğim Açısı
V_{maxP}	: Maksimum Güç Noktası Gerilimi
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
W_{abs}	: Yoğunlaştırıcının Yutucu Düzleminin Genişliği
W_{ape}	: Yoğunlaştırıcının Açıklık Düzleminin Genişliği
Z	: Başucu Yüksekliği
α	: Güneş Işınlarnın Yatay Düzlemle Yaptığı Aç

θ	: Güneş Geliş Açısı
θ_{\max}	: Maksimum Kabul Açısı
Ψ	: Güneş Zenit (Başucu) Açısı
ψ	: Yoğunlaştırıcı Tepe Açısı
ω	: Saat Açısı
δ	: Yoğunlaştırıcının Kabul Açısı

KISALTMALAR

BESS	: Pil Enerjisi Depolama Sistemi
CEC	: Birleşik Eliptik Yoğunlaştırıcı
CPC	: Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı
CPV	: Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistem
CPV/T	: Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Termal Sistem
EVA	: Etilen Vinil Asetat
GA - WA	: Genetik Algoritma - Weibull Dağılımı
GaAs	: Galyum Arsenit
MS90-CPV	: MiroSun90-Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistem
PCM	: Faz Değiştirici Materyal
PFP	: Düz Tüp Plaka
PV	: Fotovoltaik
PV/T	: Fotovoltaik Termal Sistem
PVE	: Fotovoltaik Elektrolizör
PVP	: Fotovoltaik Pompa Sistemleri
PVS	: Fotovoltaik Sistem
SM-CPV	: Süper Ayna-Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistem
SODIS	: Güneş Enerjili Su Dezenfeksiyonu
SOLWAT	: Güneş Enerjisi Su Arıtma ve Yenilenebilir Elektrik Üretimi
V-Trough	: V-Oluk Tipi Yoğunlaştırıcı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Kainatın en temel unsurlarından biri olan enerji, teknolojik gelişmelerin ışığında önemini ve değerini gün geçtikçe daha da artırmaktadır. Dünyamızın ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük kısmı tükenebilir olan fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların çevre kirliliği ve iklim değişikliklerine sebep olmasının yanında tükenmeye yüz tuttuğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi günden güne artmaktadır. Rüzgar, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de güneştir. Güneş enerjisinin kapasitesi dünyanın enerji ihtiyacının çok üzerindedir. Bu temiz enerji kaynağından yeterince faydalanılması halinde kısıtlı sayıda ülkede çıkarılan fosil yakıtlara olan ihtiyaç ve devletlerin enerjiye ulaşmasında birbirlerine bağımlılıkları azalacaktır. Ayrıca çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunulmuş olacak ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılacaktır.

Fotovoltaik sistemlerde bulunan hücreler yüzeylerine gelen güneş ışınımını elektrik enerjisine çevirirler. Bu sistemlerde yüzey sıcaklığı arttıkça elde edilen verim düşmektedir. Kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemlerin verimini artırmak ve maliyetini düşürmek için fotovoltaik hücreyi oluşturan farklı yarı iletken malzemeler hali hazırda laboratuvar koşullarında test edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yansıtıcı reflektör olarak V-oluk tipi yoğunlaştırıcının kullanıldığı yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) sistemde, yansıtma oranları farklı reflektör kullanımının PV yüzeyindeki ısınmaya etkisinin deneysel olarak incelenmesidir. Bu sayede V-oluk tipi yoğunlaştırıcının CPV sistemlerde reflektör olarak kullanıldığında en uygun yansıtma oranının belirlenmesine ve böylece yoğunlaştırıcının PV yüzey sıcaklığına olan olumsuz etkisinin azaltılmasına çalışılmıştır. Burada kritik öneme sahip olan noktalar yoğunlaştırıcı maliyetinin PV ile kıyaslandığında uygun olması ancak, yoğunlaştırıcı kullanımının PV panelin yüzey sıcaklığını arttırarak verimi düşürmesidir. Fotovoltaik sistemlerden elde edilen verimin düşüklüğü yoğunlaştırıcı kullanılarak artırılmak istenmektedir.

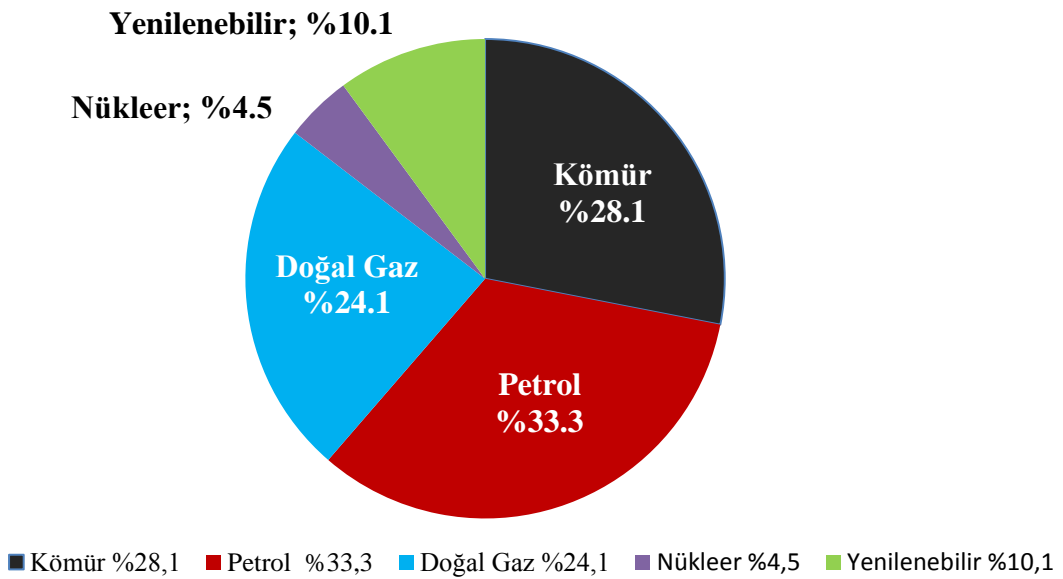
1.2 Enerji

Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. İnsanlığın yaşamını idame ettirebilmesi için ihtiyaç duyduğu temel unsurlardan birisidir. Ülkelerin kalkınmışlık düzeyleri enerji kullanım miktarı ile doğru orantılı olarak ifade edilmektedir.

Enerji kaynaklarından petrol, doğal gaz, odun, kömür, güneş ışınımı gibi doğrudan tüketilebilenlere birincil enerji kaynağı denir. Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi ile elde edilen elektrik, mazot, ahşap gibi enerji kaynaklarına da ikincil enerji kaynağı denir.

1.2.1 Dünyada Enerji Tüketimi

Teknolojik gelişmeler beraberinde enerji ihtiyacında artışa sebep olmaktadır. Ekonomik şekilde enerjinin hangi kaynaklardan sağlanacağı birincil enerji kaynaklarındaki tüketim oranlarına bakılarak yorumlanabilir. Şekil 1.1’de 2017 yılında dünyada toplam birincil enerji kaynakları tüketim oranlarının yüzdelik dilimler halinde gösterildiği grafikte görüldüğü üzere birincil enerji kaynakları arasında ilk sırayı %33.3 ile petrol elde ederken onu sırasıyla %28.1 ile kömür, %24.1 ile doğal gaz, %10.1 ile yenilenebilir enerji kaynakları ve %4.5 ile de nükleer enerji takip etmektedir.



Şekil 1.1: 2017 yılı küresel birincil enerji tüketim oranları (URL-1, 2018).

1.2.2 Enerji Çeşitleri

Enerjiyi çeşitlerine ayıracak olursak 8 ana başlıkta ele almak mümkündür.

Kinetik Enerji; Hareket eden cisimlerin sahip olduğu enerjidir. Cisimlerin hızlarının olması kinetik enerjilerinin varlığına işaret eder.

Potansiyel Enerji: Cisimlerin konumları sebebiyle sahip oldukları enerji olarak tanımlanır.

Isı Enerjisi: Cisimlerin sahip oldukları sıcaklıkları sebebiyle elde ettikleri enerji olarak tanımlanır.

Işık Enerjisi: Aydınlatma yeteneği olan cisimlerin sahip olduğu enerjidir.

Elektrik Enerjisi: Elektrik yüklerinin hareketleri sebebiyle cisimlerin sahip oldukları enerjidir.

Kimyasal Enerji: Kimyasal reaksiyonlar sonucu maddelerde depolanan enerjinin gerçekleşen reaksiyon sonucu açığa çıkmasıdır.

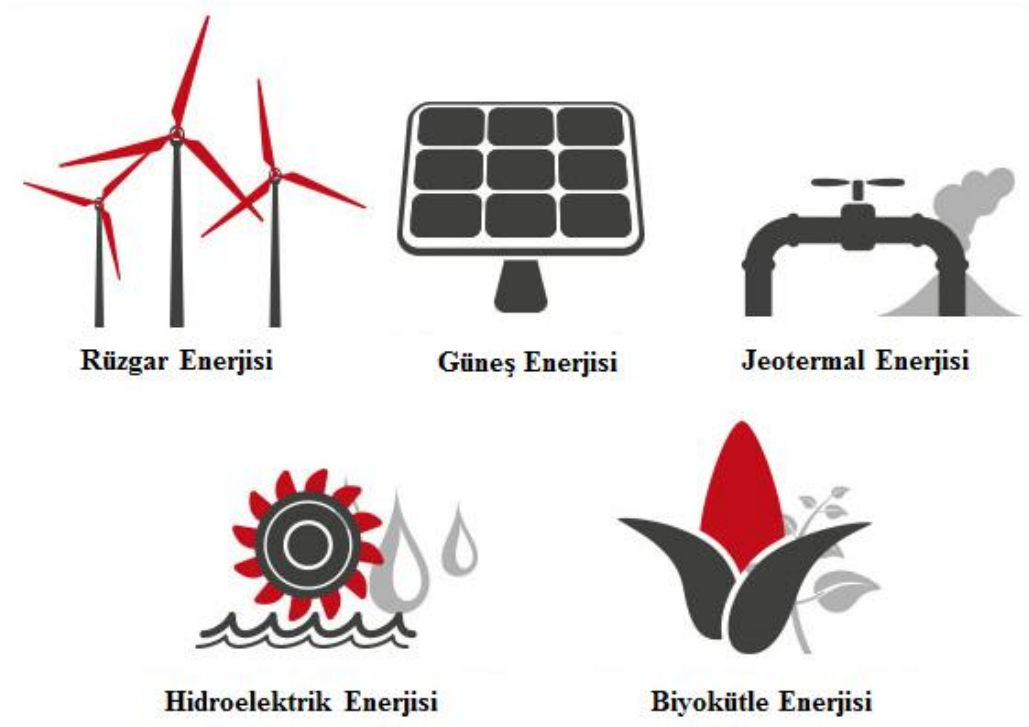
Nükleer Enerji: Atom çekirdeğinden elde edilen enerjidir.

Ses Enerjisi: Yüksek sese maruz bırakılan cam bardak gibi nesnelerin kırılması sesteki enerji sonucu olur.

1.2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan sürekli devam eden tabii süreçlerin sonucu elde edilen ve tükenmez olduğu kabul edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi, hidrolik enerji, dalga enerjisi ve biyokütle enerjisi olarak sıralamak mümkündür. Yenilenebilir enerji tanımını biraz daha açık ifade edecek olursak, sıralamasını yaptığımız enerji kaynaklarından herhangi birinden

elde edeceğimiz enerji ile bir sistemi çalıştırdığımızı düşünelim. Sistemin bir süre sonra tüketeceği bu enerji, enerjinin kaynağı ile kıyaslanamayacak kadar küçük kalacaktır. Şekil 1.2’de yenilenebilir enerji kaynakları görseli yer almaktadır.



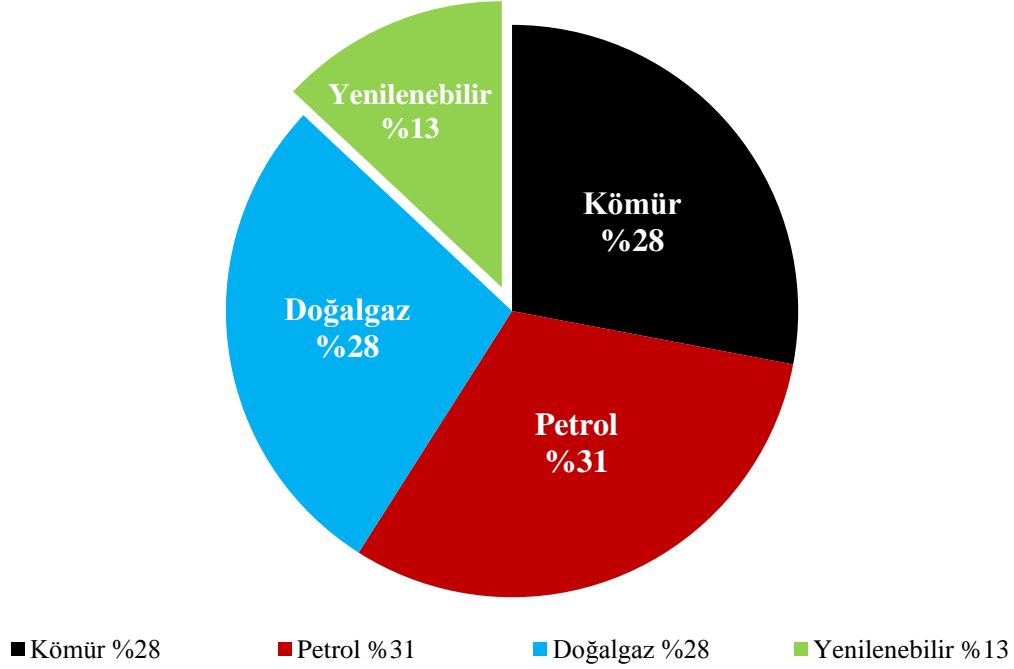
Şekil 1.2: Yenilenebilir enerji kaynakları (URL-2, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin artmasında düzensiz bir şekilde artan petrol fiyatları, ülkeler arası siyasette enerji ticaretinin tehdit unsuru haline gelişi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçlarındaki artış en temel nedenler olarak düşünülebilir. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynakları, çevreyi kirleten canlıların sağlığını bozan herhangi bir atığa yol açmayarak çevre dostu özellik taşıyor.

1.2.4 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye enerji ihtiyacının büyük bölümünü ithalat ile sağlamaktadır. Enerji ihtiyacını kendi öz imkanlarıyla karşılayamayan ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı 2016 yılı itibariyle %13 seviyesindedir. Ülkemiz enerji ihtiyacının %31’ini petrolden, %28’ini doğalgazdan ve %28’ini kömürden karşılamaktadır. Birincil enerji talebinin yerli üretim ile karşılanma oranı (TYÜKO) 2016 yılında %25.9 olarak gerçekleşmiştir (URL-3, 2012). Buradan anlaşılacağı üzere ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimine

açık konumdadır. Şekil 1.3'te Türkiye'nin 2016 yılı itibariyle birincil enerji talebinin karşılanmasında kullanılan kaynakların oranları yer almaktadır.



Şekil 1.3: 2016 yılı Türkiye birincil enerji talebi oranları (URL-3, 2012).

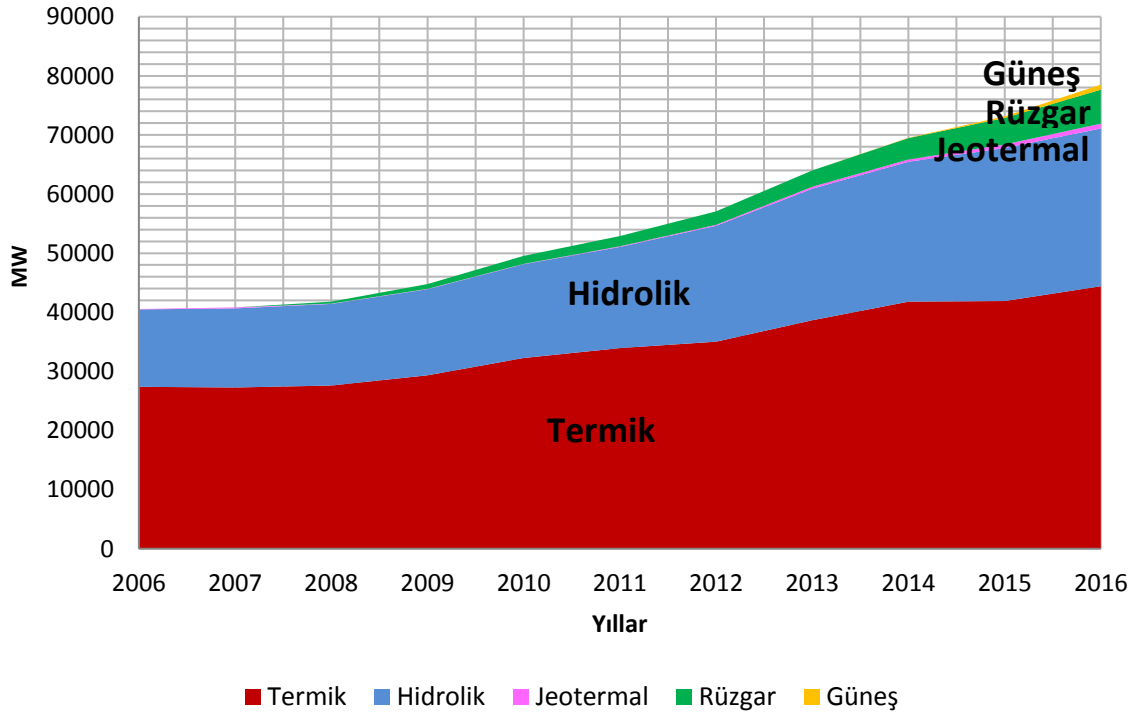
Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji talebindeki kullanımını %13 gibi düşük bir orana sahipken, toplam elektrik kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarından karşılanma oranlarına baktığımız zaman yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir yer tuttuğu görülmektedir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş'nin 2006-2016 yılları arasını içeren raporuna baktığımız zaman Türkiye kurulu gücü içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları arasından en büyük payın %33.99 ile hidrolik enerjiye ait olduğunu görmekteyiz. Hidrolik enerjiyi sırasıyla %7.33 ile rüzgar enerjisi, %1.06 ile güneş enerjisi ve %1.05 ile jeotermal enerji takip etmektedir. Tablo 1.1 ve Şekil 1.4'te Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü dağılımı ve gelişimi görülmektedir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde son yıllarda kullanım alanı bulunduğu görülmektedir.

Tablo 1.1: Türkiyede elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı (URL-4, 2010).

	Termik	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam (MW)
2006	27420.2	13062.7	23	59	-	40564.8
%	67.6	32.2	0.06	0.15	-	100
2016	44411.6	26681.1	820.9	5751.3	832.5	78497.4
%	56.58	33.99	1.05	7.33	1.06	100

Türkiye Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Gelişimi (2006-2016)



Şekil 1.4: Türkiyede elektrik enerjisi kurulu gücü gelişimi (URL-4, 2010).

Günümüzde bir çok devlet tarafından yenilenebilir enerjiye yatırım yapacak müteşebbise kredi verme, vergi indirimi, hibe gibi teşvik edici ve destekleyici imkanlar sunulmaktadır. Bu sayede enerji ihtiyacının milli imkanlarla karşılanması sağlanarak, ihracattaki payının oransal olarak aşağıya çekilmesi ve enerji ihtiyacını yönetmede politika belirleyen konuma geçilmesi hedeflenmektedir.

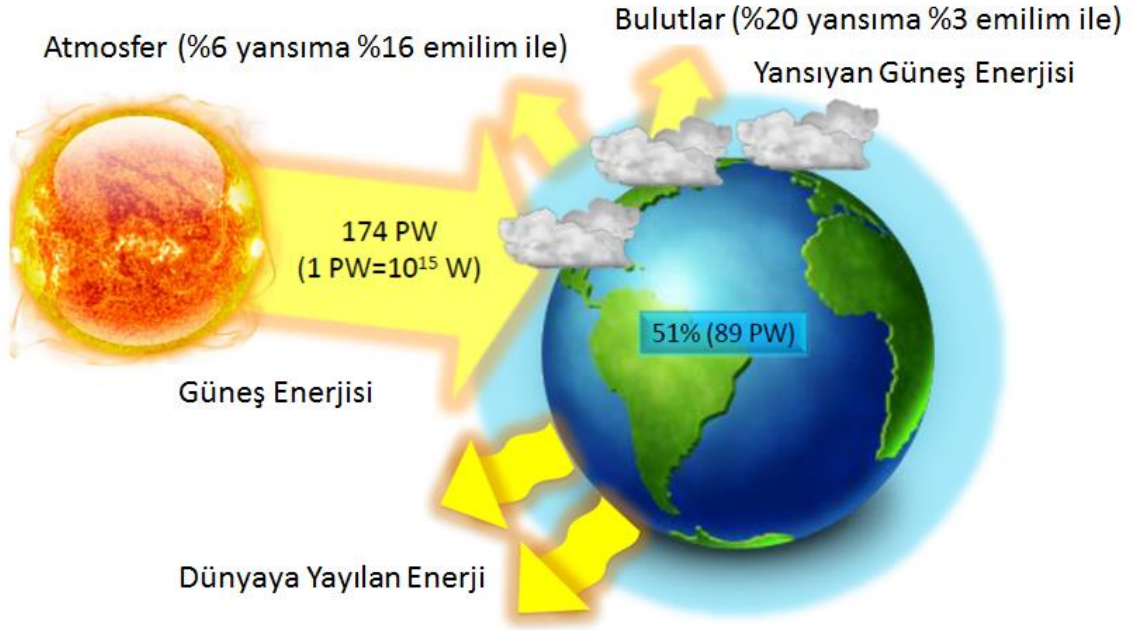
1.3 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki füzyon süreci, yani hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneş enerjisi, potansiyelinin büyüklüğü ile yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde öne çıkmaktadır. Çevre kirliliği ve iklim değişikliğine neden olma, sera gazı salınımı gibi olumsuz sonuçları olmayan bu temiz ve yenilenebilir enerjiden faydalanmak için yapılan birçok çalışma mevcuttur. 1970’li yıllardan başlayarak güneş enerjisinden faydalanmak için yapılan çalışmalar hız kazanmıştır (URL-5, 2018).

Güneş enerjisinden faydalanmak üzere yapılan çalışmaları iki ana başlıkta ele alacak olursak bunlar, fotovoltaik güneş teknolojileri ile ısıl güneş teknolojileri olarak ifade edilebilir. Bu teknolojiler sayesinde artık güneş enerjisinden elektrik, sıcak su gibi imkanları elde ediyor ve kullanıyoruz. Özellikle günlük hayatımızda bina çatılarında fotovoltaik güneş teknolojisine rastlamak mümkün olmaktadır. Isıl güneş teknolojilerinin kullanımının artması ile güneş enerjisinden daha fazla faydalanma imkanı elde edebileceğiz. Güneş enerjisi kullanımının artmasının temel belirleyicileri, kullanılan teknolojilerin günlük hayata uygulanabilirliği ve sistem maliyetlerinin azalması olacaktır.

1.3.1 Güneşin Yapısı

Güneş, çapı 1.392.000 kilometre olan ve dünyamızdan kütle olarak 333.000 kat daha fazla büyüklüğe sahip bir yıldızdır (URL-6, 2014). Atmosferimizin dışında yaklaşık olarak güneş enerjisinin şiddeti 1370 W/m^2 olarak tanımlanmaktadır. Bu değer yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden ötürü $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında olmaktadır. Güneş ile dünya arasındaki uzaklık 150 milyon km’dir. Güneşten dünyaya gelen enerji, dünyada yıllık olarak tüketilen enerjinin 20 bin katıdır. Atmosferin yapısı itibariyle güneş enerjisinin %50’si yeryüzüne ulaşabilmekte, %30’u geri yansıtılmakta ve %20’si de atmosfer ve bulutlarda tutulmaktadır (URL-5, 2018). Şekil 1.5’te güneş sistemi ışınım transferi görseli yer almaktadır.



Şekil 1.5: Güneş sistemi ışınım transferi (Ustaoglu, 2014).

Yaklaşık olarak küre şeklindeki güneş, enerjisini homojen olarak bütün yönlere ışınım yolu ile yayar. Güneşin yaklaşık olarak yüzey sıcaklığı 6000 K, merkezindeki sıcaklık ise 8×10^6 K – 40×10^6 K arasındadır. Güneşin yaydığı ışınım enerjisi yaklaşık olarak saniyede 4×10^{23} kW'tır. Güneş ışınımının dünyamıza ulaşması 8 dakikada gerçekleşir. Dünyada bir yıl boyunca tüketilen toplam enerji, yer kürenin güneş ışınlarından 40 dakikada soğurduğu enerjiye eşittir. Güneşin çekirdeğindeki füzyon işlemi sonucu açığa çıkarak uzaya yayılan enerji 386×10^6 EJ (Eksa Joule)'dür. 22.7 milyon ton petrol 1 EJ'e eşdeğerdir. Hidrojenin helyuma dönüşümünün 5 milyar yıl daha devam edeceği tahmin edildiğinden güneşin dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağı olduğu söylenebilir (URL-7, 2015).

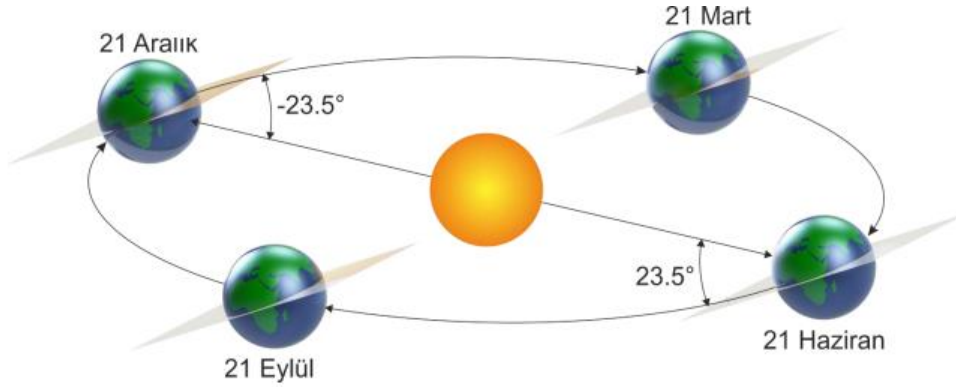
1.3.2 Güneşi Açıları

Güneş enerjisinden faydalanmak için yapılacak çalışmalara başlamadan önce güneş açıları hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Yerküre yüzeyi ve dünya üzerindeki diğer yüzeylerin güneş ışınları ile yaptıkları bu açılar güneş enerjisinden daha verimli bir şekilde istifade edebilmek için kısaca tanıyalım.

Enlem açısı (ϕ): Yeryüzündeki bir noktadan dünya merkezine birleştirilen doğrunun ekvator düzlemi ile yaptığı açısı enlem açısı denir.

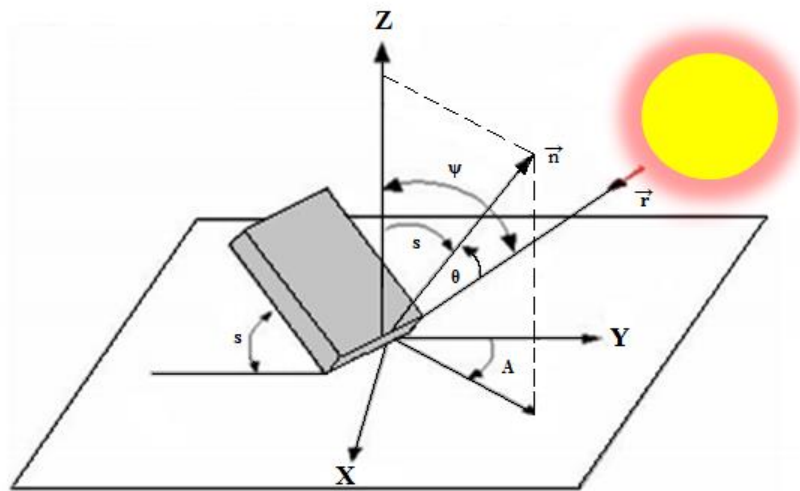
Deklinasyon açısı (δ): Güneş ışınları ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Deklinasyon açısı $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ aralığında değer almaktadır. Şekil 1.6’da görüldüğü üzere 21 Mart ve 21 Eylül’de deklinasyon açısı sıfırdır. ‘Cooper formülü yardımı ile hesaplanır. " n" 1 Ocaktan itibaren gün sayısını belirtir.

$$\delta = 23.45 \sin [360. ((284+n) / 365)] \quad (1)$$



Şekil 1.6: Deklinasyon açısı (URL-8, 2018).

Zenit açısı (ψ): Yatay düzlemin dikeyi ile güneş ışını arasındaki açıdır. Güneş ışınları dik konumda yeryüzüne gelirse zenit açısı sıfır olur. Güneşin doğarken ve batarken ise zenit açısı 90° olmaktadır. Şekil 1.7’de güneş açıları görülmektedir.



Şekil 1.7: Güneş açıları (URL-9, 2014).

- A** : Azimut açısı
n : Kollektör düzleminin normal vektörü
r : Güneş ışını vektörü
s : Kollektör düzleminin yatayla yaptığı eğim açısı
X : Batı
Y : Güney
Z : Başucu yüksekliği
 Ψ : Güneş zenit (başucu) açısı
 θ : Güneş geliş açısı

Azimut açısı (A): Dünyaya dik gelen güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümünün güney yönüyle yaptığı açıya güneş azimut açısı, kollektör düzleminin normalinin yatay yüzeydeki izdüşümünün güney yönü ile yaptığı açıya da yüzey azimut açısı denilmektedir.

Eğim açısı (s): Eğik düzlemin yatayla yaptığı açıya denir.

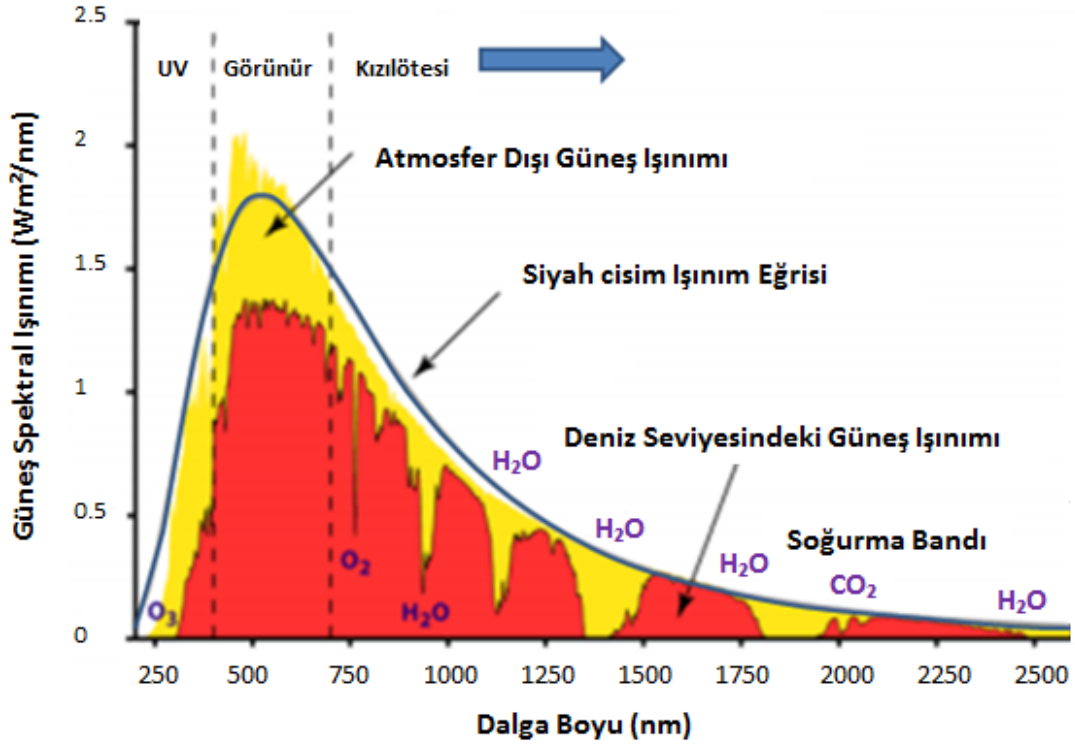
Güneş geliş açısı (θ): Kollektör düzlemine gelen güneş ışınlarının, düzlemin normali ile yaptığı açıya denir.

Yükseklik açısı (α): Güneş ışınlarının yatay düzlem ile yaptığı açıdır.

Saat açısı (ω): Güneş ışınlarının boylamı ile dikkate alınan yerin boylamı arasındaki açıyı ifade eder. 15° boylam bir saate eşittir.

1.3.3 Güneş Işığı Dalga Boyları

Yeryüzüne ulaşan güneş ışıkları dalga boyları itibari ile ultraviyole bölge, görünür bölge ve kızılötesi bölgeyi içermektedir. Güneş ışınları dalga boylarına göre 200 nm ile 2400 nm arasında değişen değerlerle yeryüzüne ulaşmaktadır. Şekil 1.8’de güneş ışınımının enerji dağılım spektrumları görülmektedir.



Şekil 1.8: Güneş ışınımının enerji dağılım spektrumları (Şenay, 2011).

Ultraviyole, görünür ve kızılötesi bölgeyi ihtiva eden güneş ışıklarının dalga boylarını buldukları bölge açısından yakından irdeleyelim.

Morötesi-UV Işımlar (200-400 nm)

Bu ışınların bulunduğu bölge 3 bölüme ayrılarak incelenir.

1. Ozon tabakası tarafından emilen, atmosferi geçemeyen ve dalga boyu 200-280 nm aralığındaki ışınların bulunduğu bölüm.
2. Ozon tabakası tarafından emilen, atmosferi geçemeyen ve dalga boyu 280-320 nm aralığındaki ışınların bulunduğu bölüm.
3. Atmosferi geçip yeryüzüne ulaşan ve dalga boyu 320-400 nm aralığındaki ışınların bulunduğu bölüm.

Görünür Işımlar (400-750 nm)

Gözle görülen renklerden oluşan bu bölge de 3 bölüme ayrılarak incelenir.

1. Mor-yeşil renk aralığındaki ışınların dalga boyu 400-520 nm

2. Yeşil-kırmızı renk aralığındaki ışınların dalga boyu 520-620 nm
3. Kırmızı renk aralığındaki ışınların dalga boyu 620-750 nm

Kızılötesi Işımlar (750-2400 nm)

Bu ışınların bulunduğu bölgeyi de yine 3 bölümde inceleyebiliriz.

1. Yakın kızılötesi ışınların bulunduğu ve dalga boyu 750-1400 nm aralığında olan bölüm
2. Orta kızılötesi ışınların bulunduğu ve dalga boyu 1400-2000 nm aralığında olan bölüm
3. Uzak kızılötesi ışınların bulunduğu ve dalga boyu 2000-2400 nm aralığında olan bölüm

Dünyamıza ulaşan güneş ışınlarının yaklaşık olarak %96.5'i görünür ve kızılötesi bölgede bulunmaktadır (URL-10, 2010).

1.3.4 Türkiye'de Güneş Enerjisi Varlığı

Coğrafi konumu itibariyle ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli oldukça tatmin edicidir. Ne yazık ki potansiyelinin yüksekliğine rağmen bu temiz ve yenilenebilir enerji kaynağından ülkemizde yeterince istifade edilememektedir. Aşağıda Şekil 1.9'da Türkiye'de güneşlenme sürelerini gösteren atlasa bakılarak ülkemizin avantajlı konumu daha iyi anlaşılacaktır.

Haritada görüldüğü üzere güney bölgelerimizde kuzey bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli daha yüksektir.



Şekil 1.9: Türkiye güneş enerjisi haritası (URL-11, 2017).

Ülkemizde yıllık olarak güneş enerjisinden yaklaşık 110 gün istifade edilmektedir. Aylık güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında Temmuz ayında yaklaşık 175 kWh/m² ile en yüksek değere ulaşılmaktadır. Yine yıllık olarak ortalama 2640 saatlik güneşlenme süresi yakalanmaktadır. Aşağıdaki Tablo 1.2’de ülkemizin aylık güneş enerjisi potansiyeli ve bunun karşılığında elde edilecek enerji ile aylık güneşlenme süreleri gösterilmektedir.

Tablo 1.2: Aylara göre Türkiye’de toplam güneş enerjisi potansiyeli (URL-12, 2015).

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay)(kWh/m ² -ay)		Güneşlenme Süresi (Saat/Ay)
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311.00	2640
Ortalama	308.0 Cal/cm²-gün	3.6 kWh/m²-gün	7.2 Saat/Gün

Güneş enerjisi potansiyelini bölgeler açısından değerlendirecek olursak, Karadeniz Bölgesinde güneş enerjisinden faydalanma imkanı yıllık olarak 1120 kWh/m² iken Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 1460 kWh/m² yıllık olarak güneş enerjisinden faydalanma imkanı bulunmaktadır. Diğer bölgelerimizin yıllık güneş enerjisi

potansiyelleri, en düşük güneş enerjisi kabiliyetine sahip Karadeniz Bölgesi ile en yüksek güneş enerjisi kabiliyetine sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi arasında yer almaktadırlar. Aşağıdaki Tablo 1.3'te ülkemizde yıllık olarak bölgesel güneş enerjisi potansiyeli ile bunun karşılığında üretilen enerji ve yıllık güneşlenme süreleri gösterilmektedir.

Tablo 1.3: Bölgelere göre Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli (URL-12, 2015).

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

1.4 Güneş Enerjisi Teknolojileri

Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılan çalışmalara bakacak olursak karşımıza uygulamada kullanılan birçok farklı yöntem, ekipman ve teknoloji çıkmaktadır. Bunca farklı yöntem ve teknolojiyi güneş enerjisi başlığı altında tablo haline getirerek özetlemeye çalışalım.

Güneş enerjisi teknolojilerini temelde fotovoltaik güneş teknolojileri ve ısı güneş teknolojileri olarak ikiye ayırabiliriz. Temelde iki ana başlık altında topladığımız bu teknolojiler fotovoltaik güneş teknolojileri ve ısı güneş teknolojilerinin bir arada kullanıldığı yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemler olarak da karşımıza çıkmaktadır.

1.5 Isıl Güneş Enerjisi Teknolojileri

Isıl güneş teknolojilerini kendi arasında düşük sıcaklık sistemleri, görüntülü yoğunlaştırıcı sistemler ve görüntüsüz yoğunlaştırıcı sistemler olmak üzere üçe ayırabiliriz. Düşük sıcaklık sistemleri düzlemsel güneş kolektörleri, vakumlu güneş kolektörleri, güneş havuzları, güneş bacaları, su arıtma sistemleri, güneş mimarisi, ürün kurutma ve seralar, güneş ocakları gibi cihazlar ve yöntemler ile güneş enerjisinden istifade edilen sistemlerdir (URL-5, 2018). Şekil 1.10'da farklı ısıl güneş teknolojileri bir arada görülmektedir.



Şekil 1.10: Isıl güneş teknolojileri (URL-13, 2010).

Güneş ışınımını belli bir noktada topladığı için görüntülü yoğunlaştırıcı sistemler olarak tanımlanan imajin sistemleri, doğrusal yoğunlaştırıcılar ve noktasal yoğunlaştırıcılar olarak iki sınıfta toplayabiliriz. Görüntülü yoğunlaştırıcı sistemlerdeki gibi güneş ışınımını

bir noktada toplamadan düzgün bir dağılımla yoğunlaştıran sistemlere görüntüsüz yoğunlaştırıcı sistemler denir. Görüntüsüz yoğunlaştırıcı sistemler (non-imaging) birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) (Rabl, 1976), v-oluk tipi yoğunlaştırıcı, iki boyutlu CPC (Liang ve Pereira, 2007), asimetric CPC (Tripanagnostopoulos vd., 1999), simetrik kesik CPC (Cabral ve Karlsson, 2018), dielektrik CPC (Yu vd., 2014), lens (mercek) duvarlı CPC (Guiqiang vd., 2013), birleşik eliptik (CEC) (Canavaro vd., 2016), birleşik hiperbolik (Reddy vd., 2018) ve Hiperboloid (Reddy vd., 2014) gibi farklı geometriye sahip olan güneş enerjisi sistemleridir. Şekil 1.11’de yukarıda ifade edilen kaynaklara dayanarak hazırlanan, güneş enerjisi teknolojilerini bir arada görmekteyiz.

GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

PV Güneş
Teknolojileri

Isıl Güneş
Teknolojileri

CPV Güneş
Teknolojileri

Düşük Sıcaklık
Sistemleri

Görüntülü Yoğunlaştırıcı
Sistemler

Görüntüsüz Yoğunlaştırıcı
Sistemler

Düzlemsel Güneş Kollekt.

Vakumlu Güneş Kollekt.

Güneş Havuzları

Güneş Bacaları

Su Arıtma sistemleri

Güneş Mimarisi

Ürün Kurutma ve Seralar

Güneş Ocakları

Doğrusal Yoğunlaştırıcılar

Doğrusal Fresnel Aynalı Sist.

Parabolik Güneş Kollektörü

Noktasal Yoğunlaştırıcılar

Merkezi Alıcı Sistem

Parabolik Çanak Sistem

Birleşik Parabolik (CPC)

V-Oluk Tipi

İki boyutlu CPC

Asimetrik CPC

Simetrik Kesik CPC

Dielektrik CPC

Lens Duvarlı CPC

Birleşik Eliptik (CEC)

Birleşik Hiperbolik

Hiperboloid

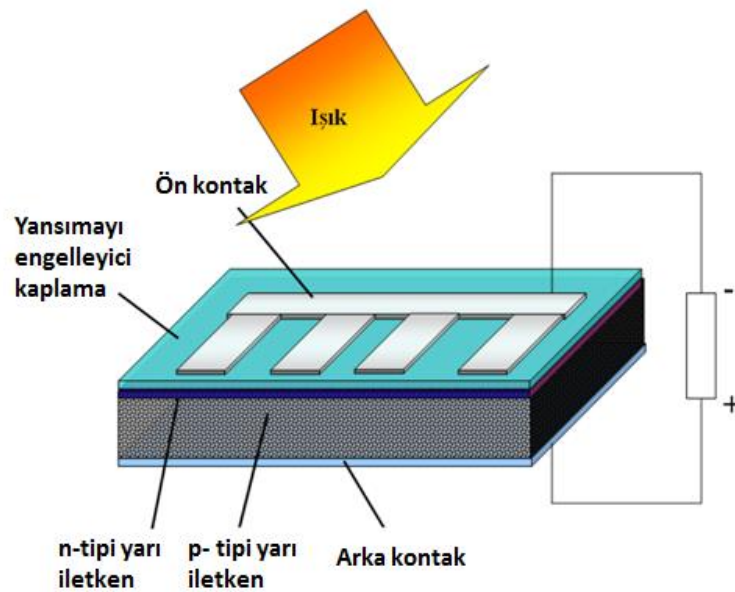
Şekil 1.11: Güneş enerjisi teknolojileri.

1.6 Fotovoltaik Güneş Teknolojileri

Güneş panelleri ilk olarak 1839 yılında Becquerel tarafından araştırılmıştır (Çelebi, 2002). 1914'te Albert Einstein tarafından yazılan Kuantum Mekanikî tezi ve bu teze dayanarak yaptığı çalışmalar fotovoltaik panelin temel yapı taşı olarak kabul edilmektedir (Uğur 2006). 1954 yılında ise modern güneş hücreleri geliştirilerek uzay uygulamalarında maliyeti yüksek elektrik üretim teknolojisi olarak kullanıma sunulmuştur (Çelebi, 2002).

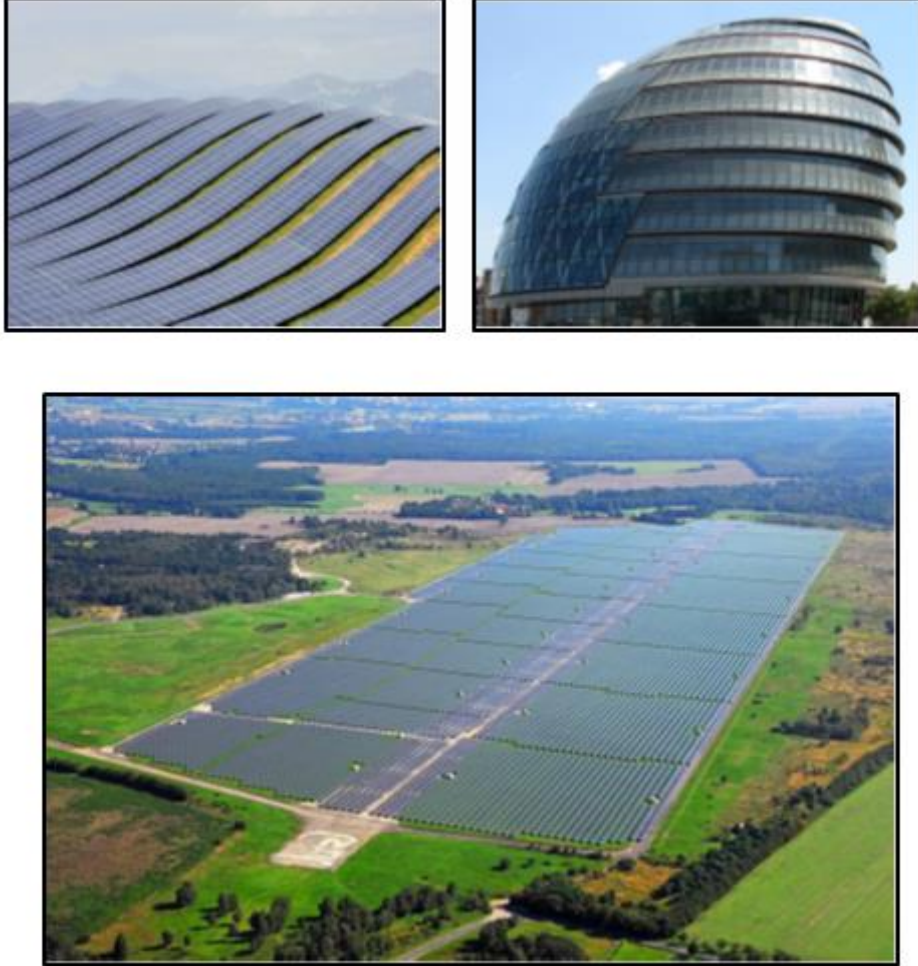
Günümüze gelecek olursak elektrik üretiminde, ısıtmada, hesap makinelerinde, saatlerde ve daha birçok farklı uygulamada kendine yer edinen, edinmeye çalışan güneş panellerinin kullanımının artacağı görülmektedir.

Fotovoltaik güneş panelleri güneş ışınımını doğrudan elektriğe çevirir. Bu paneller güneş ışığını elektriğe dönüştürmeyi hücreler sayesinde gerçekleştirir. Hücrelerin yapısını bir veya iki tabakalı yarı iletken malzemeler oluşturmaktadır. Hücreler üzerine gelen güneş ışığının yoğunluğu elde edilecek elektrik akımının büyüklüğünü belirlemektedir. PV hücrelerin yapısını oluşturan birçok yarı iletken malzeme çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı dünyamızda bolca bulunan silikon, diğer bir adıyla da silisyumdur (URL-14, 2018). Şekil 1.12'de fotovoltaik pilin genel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1.12: Fotovoltaik pilin genel gösterimi (Bedeloğlu, 2010).

Dünyada güneş enerjisi uygulamalarına örnek olarak Şekil 1.13'te sırasıyla Fransa' da PV dağları, Londra belediye binası ve Almanya Waldpolenz pv güç santrali görselleri yer almaktadır.



Şekil 1.13: Dünyada güneş enerjisi uygulamaları (URL-15, 2016).

1.6.1 Fotovoltaik Hücre Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş hücresi yapımında yaygın olarak kullanılan madde silikon yani silisyumdur. Doğada saf halde bulunmayan silikonu saflaştırma maliyeti fotovoltaik teknolojinin maliyetini yükseltmektedir. Bununla birlikte fotovoltaik hücre yapımında kullanılmak üzere birçok maddeden faydalanılmaktadır. Fotovoltaik hücre yapımında kullanılan bu maddeleri gruplandırma yaparak ele alacak olursak bunlar, kristal silisyum güneş hücreleri, ince film güneş hücreleri, galyum arsenit güneş hücreleri ve deneme aşamasında olan diğer hücreler olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.6.1.1 Kristal Silisyum Güneş Hücreleri

Bu hücrelerin güneş ışınımlarını emicilik oranı düşüktür. Buna karşın bu hücrelerden elde edilen verimin %12-18 aralığında olması tercih edilmelerini sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan kristal silikon güneş hücreleri için 25 yıllık garanti ömrü verilmektedir. Bu güneş hücrelerini monokristal ve polikristal hücreler olarak iki başlıkta ele alabiliriz.

Monokristal güneş hücreleri %15-18 aralığında verime sahip olmaları sebebiyle tercih edilmektedirler. 4-6 yıl aralığında yatırım maliyetini ödeyen sistemde 20 yılda %7 verim kaybı olur. Polikristal güneş hücreleri ise %12-15 aralığında verime sahip olup, monokristal hücrelere göre daha ucuzdur. 2-4.5 yıl aralığında yatırım maliyetini ödeyen sistemde 20 yılda %14 verim kaybı olur (URL-16, 2008).

1.6.1.2 İnce Film Güneş Hücreleri

Güneş ışınımlarını emicilik oranı yüksek olan bu hücrelerin, kristal silikon güneş hücrelerine kıyasla tercih edilememesinin sebebi %7-14 aralığında düşük verimlilik oranına sahip olmalarıdır. Bu güneş hücrelerini amorf silikon, kadmiyum tellür ve bakır indiyum galyum selenit hücreler olmak üzere üç başlıkta ele alabiliriz.

Amorf silikon güneş hücreleri %8-10 aralığında verime sahip olup 1.5-3.5 yıl aralığında yatırım maliyetini ödemektedir. Bakır indiyum galyum selenit güneş hücreleri ise %11-14 aralığında verime sahiptir (URL-16, 2008). Kadmiyum tellür güneş hücreleri %15 oranına kadar verime sahiptir (Britt ve Ferekides, 1993).

1.6.1.3 Galyum Arsenit Güneş Hücreleri

Galyum arsenit kullanılarak imal edilen güneş hücrelerinden %25-28 aralığında verim elde edilmektedir. Bu güneş pilleri uzay teknolojileri ve optik yoğunlaştırıcı güneş teknolojilerinde kullanım alanı bulmaktadır (URL-5, 2018).

Yukarıda bahsettiğimiz maddelerden üretilen güneş hücrelerinin yanında, araştırma ve geliştirme aşamasında bulunan ve çok daha yüksek verim oranını yakalayabilecek birçok madde güneş hücresi yapımında kullanılmak üzere denenmektedir.

1.6.2 Fotovoltaik Panelin Yapısı

Güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çeviren, fotovoltaik panelin yapısını oluşturan malzemeleri kısaca tanıyalım. Panelin darbelere karşı dayanımını artırmak ve montaj yapılma aşamasında kolaylık sağlaması bakımından kenar kısımlarında alüminyum çerçeve kullanılır. Gelen güneş ışığını geri yansıtma oranı düşük olan temperlenmiş cam ile panel üst yüzeyi kaplanır. Temperlenmiş cam yüzey kaplaması fotovoltaik panelin mukavemetini arttırmakta ve hücreleri olumsuz hava şartları sebebiyle oluşabilecek etkilerden korumaktadır. Kısaca EVA (etilen vinil asetat) olarak tanımlanan polimer levha güneş hücrelerini koruyucu bir görev üstlenmektedir. Güneş hücrelerinin alt ve üst yüzeylerini kaplayacak şekilde yerleştirilen EVA sayesinde modülün içerisine toz ile su girişi engellenmiş olur. Ayrıca meydana gelecek herhangi bir sarsıntı, darbe durumunda hücrelerin olumsuz etkilenmesinin önüne geçilir.

Fotovoltaik modülün temel ekipmanı olan güneş hücreleri “n” ve “p” tipi yarı iletken malzemelerden meydana gelmektedir. Güneş ışınları bu iki iletkenin birleşim noktası olarak tanımlanan eklem noktasına geldiğinde dış devreden akım geçer, bu da güneş hücrelerinin güç kaynağı olarak kullanılması anlamına gelir. Güneş hücrelerine yalıtıklık sağlayan destek malzemesi panelin alt tabakasını oluşturur. Bu malzemelerin yanında fotovoltaik panelin bağlantı kablolarını içeren bağlantı kutusu bulunmaktadır. Yukarıda bahsedilen malzemelerin fotovoltaik panelde kullanılacak çeşitleri panel verimini etkilemektedir (URL-16, 2008). Şekil 1.14’te güneş hücresinin yapısı görülmektedir.



Şekil 1.14: Güneş hücresinin yapısı (URL-17, 2017).

1.6.3 Fotovoltaik Panelin Performansını Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik panelden elde edilecek enerjinin büyüklüğü sıcaklık, ışınım, yüzey parametresi, spektral, gölgelenme, kirlilik gibi bir çok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bu etkenlerin fotovoltaik panelin performansını nasıl etkilediğini kısaca açıklayalım.

1.6.3.1 Sıcaklığın etkisi

Güneş panellerinin çalışması sırasında panel yüzeyindeki ısınmanın önemli sonuçları olmaktadır. Sıcaklık artışına paralel olarak kısa devre akımında artış görülürken, açık devre voltajında azalma görülmektedir. Gerilim ve akım değerinin çarpımına eşit olan güç çıkışında azalma görülmektedir. Bu azalmanın sebebi kısa devre akımındaki artışın açık devre voltajındaki azalmanın yanında yetersiz kalmasıdır. Tablo 1.4 ve 1.5'te Silisyum ve GaAs güneş pillerinin sıcaklığa bağlı parametre değişimleri görülmektedir.

Tablo 1.4: Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametre değişimi (Karamanav, 2007).

T (°K)	eV	V	%η
273	1.1312	0.750	26.83
300	1.1245	0.699	24.67
323	1.1185	0.654	22.80
353	1.1104	0.595	20.33
373	1.1048	0.555	18.67

Tablo 1.5: GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametre değişimi (Karamanav, 2007).

T (°K)	eV	V	%η
273	1.4345	1.047	29.51
300	1.4245	0.989	27.73
323	1.4120	0.940	26.19
353	1.3981	0.875	25.14
373	1.3887	0.830	22.75

1.6.3.2 Işınımın Etkisi

Fotovoltaik panelden elde edilecek kısa devre akımı, güneş ışınım değeri ile orantılı değerler alırken, açık devre gerilimindeki değişim çok sınırlıdır. Kısa devre akımına kıyasla açık devre gerilimindeki değişim ihmal edilebilecek seviyededir.

Fotovoltaik panelden elde edilebilecek maksimum gücün, güneş ışınımı ile orantılı değerler aldığı sonucuna varabiliriz.

1.6.3.3 Yüzey Parametresinin Etkisi

Gelen güneş ışığının yansımalarının azaltılması önemlidir. Bu amaçla yansımayı önleyici kaplama kullanılmaktadır. Kaplama sayesinde güneş panelindeki yansıma %0.33-%11 aralığında kalmaktadır (Karamanav, 2007).

1.6.3.4 Spektral Etki

Güneş hücreleri, gelen güneş ışığı enerjisinin tamamını kullanamaz. Görünür dalga boyundaki verim en yüksek iken, kızılötesi bölgede en düşüktür. Tablo 1.6'da güneş hücresine ışığın spektral etkisi görülmektedir.

Tablo 1.6: Güneş hücresine ışığın spektral etkisi (Karamanav, 2007).

RENK	DALGA BOYU (nm)	VOLT
MOR	410	3.11
MAVİ	470	3.34
YEŞİL	520	3.52
SARI	590	3.44
TURUNCU	650	3.22
KIRMIZI	725	3.20

Güneş hücresine gelen güneş ışınımının bir kısmı yansırken bir kısmı yarı iletken tarafından soğurulmakta, bir kısmı da hücre içerisinden geçmektedir. Hücrenin soğurduğu

ışınımlar elektrik üretmektedir (URL-18, 2016).

1.6.3.5 Gölgeleme

Güneş panellerinin gölgeleme durumunda, panelden elde edilecek verim önemli ölçüde azalmaktadır.

1.6.3.6 Kirlilik

Güneş panellerinde meydana gelebilecek kirlenme, tozlanma gibi durumlarda cam yüzeyin gelen güneş ışığını geçirme oranının azalacağı aşıkardır. Bu durumda fotovoltaik hücreye ulaşan ışınım miktarında azalma olacaktır. Bu azalmaya paralel olarak da panelden elde edilecek verim düşecektir.

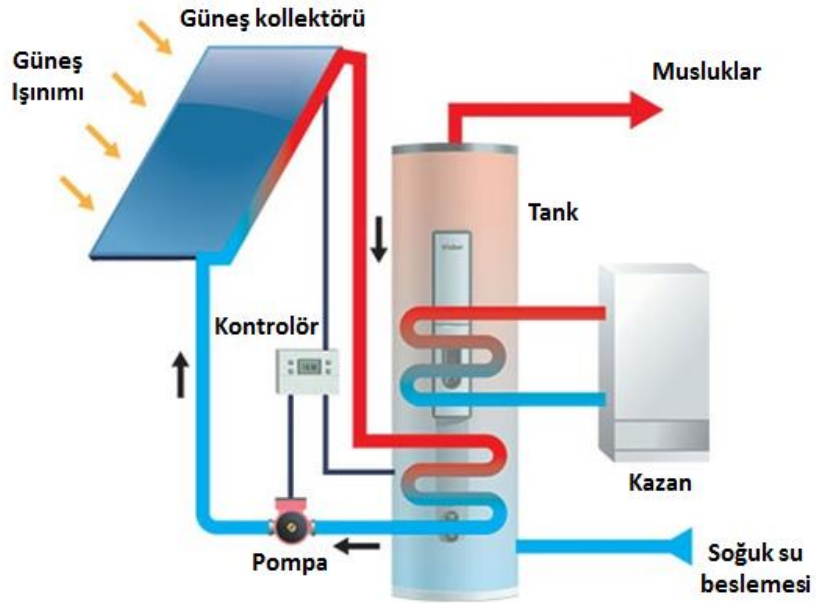
1.7 Fotovoltaik Termal Sistemler (PV/T)

Güneş enerjisi teknolojilerinden en yaygın kullanım alanına sahip olan fotovoltaik sistemlerde karşılaşılan en büyük problem, güneş ışınımı altındaki fotovoltaik hücrenin sıcaklığının yükselmesiyle veriminde meydana gelen düşmedir. Fotovoltaik hücrede meydana gelen bu sıcaklık artışının önüne geçmek için fotovoltaik termal (PV/T) olarak adlandırılan sistemler geliştirilmiştir.

Fotovoltaik hücrede meydana gelen sıcaklık artışının olumsuz etkileri, sisteme ilave edilen soğutucu akışkan sayesinde azaltılmakta, aynı zamanda ısıyı üzerine alan soğutucu akışkanın değerlendirilmesi ile toplam verim artırılmaktadır. Soğutucu akışkan hücredeki sıcaklık artışının önüne geçmekle sistemin verimindeki düşüşün de önüne geçer. Bununla da kalmayarak üzerine aldığı ısıdan farklı şekillerde yararlanılması imkanını sağlayarak toplam verimin artmasını temin eder.

Fotovoltaik termal sistemleri ilk olarak ele alan 1970'lerin ortasında Martin Wolf'tur (Wolf, 1976). Sıvı akışkan kullanılan PV/T sistemde toplam verimin %60-80 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Berne ve Lovvik 1995). PV/T sistemlerde akışkan olarak hava kullanıldığında, 20°C üzerindeki sıcaklıklarda havanın suya göre fotovoltaik hücre sıcaklığını soğutma etkisi düşüktür (Gül, M. ve Akyüz, E.). Elektriksel ve termal performansların incelendiği PV/T sistemde verimler sırasıyla %13.8 ve %54.6 olarak tespit

edilmiştir. Yine soğutucu akışkan debisindeki değişimin fotovoltaik panelden elde edilen toplam verimi etkilediği görülmüştür (Fudholi vd., 2014). Hava ve su soğutmalı PV/T sistemlerin karşılaştırılması yapıldığında toplam verimler havanın kullanıldığı sistemde %62.57, suyun kullanıldığı sistemde %70 olarak bulunmuştur (Rawat vd., 2017). Şekil 1.15'te PV/T sistem görülmektedir.



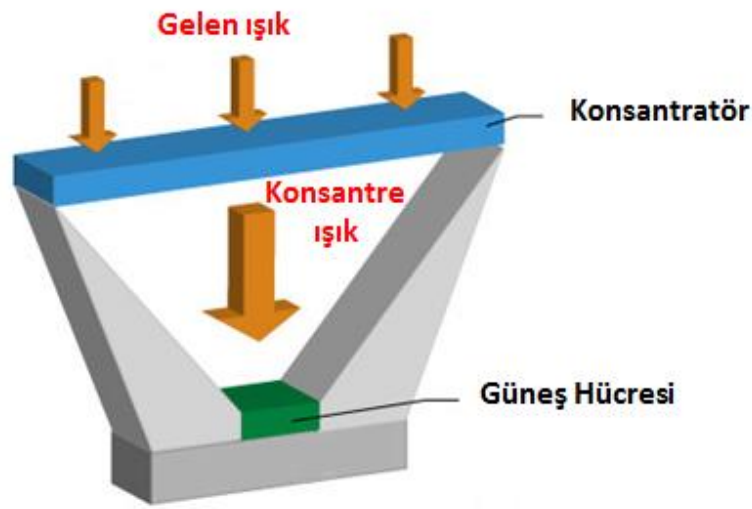
Şekil 1.15: PV/T sistem (URL-19, 2017).

1.8 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler (CPV)

Güneş enerjisinden faydalanmak üzere geliştirilen teknolojilerden biri olan fotovoltaik teknolojisi ile ısıl güneş teknolojilerinden biri olan yoğunlaştırıcıların bir arada kullanıldığı bu sistemler yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemler (CPV) olarak tanımlanır. Geleneksel yüksek performanslı silikon güneş pilleri düşük konsantrasyonlu reflektörler ile birlikte kullanıldığında daha fazla elektrik üretme potansiyeline sahip olurlar (Amanlou vd., 2016). Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemleri güneş ışığını yoğunlaştırarak fotovoltaik hücre üzerine düşüren teleskoplar olarak düşünülebilir (Ateş, 2009). CPV sistemlerde güneş ışığını güneş hücreleri üzerinde yoğunlaştırmak için yansıtıcı malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek maliyetli fotovoltaik sisteme göre maliyeti düşük yoğunlaştırıcının PV ile birleştirilerek kullanılmasıyla elde edilen CPV sistemin verimi fotovoltaik teknolojisinden daha üstün sonuçlar vermektedir. Düşük yoğunlaştırma oranına sahip görüntüsüz

yoğunlaştırıcı ile PV sistemlerin bir arada bulunduğu sistemler güneşe bakan bina çatılarında güç üretmek amacıyla kullanılabilir (Singh vd., 2016).

Güneş ışınımını küçük bir alana yoğunlaştıran bu teknolojinin avantajları; yoğunlaştırıcı olmayan PV ile kıyaslandığında aynı güneş ışınımını toplamak için daha az fotovoltaik hücreye ihtiyaç duyması, daha küçük bir alan kaplaması ve reflektör maliyetinin fotovoltaik hücre maliyetinden ucuz olması olarak sıralanabilir. Şekil 1.16'da CPV sistem gösterimleri yer almaktadır.



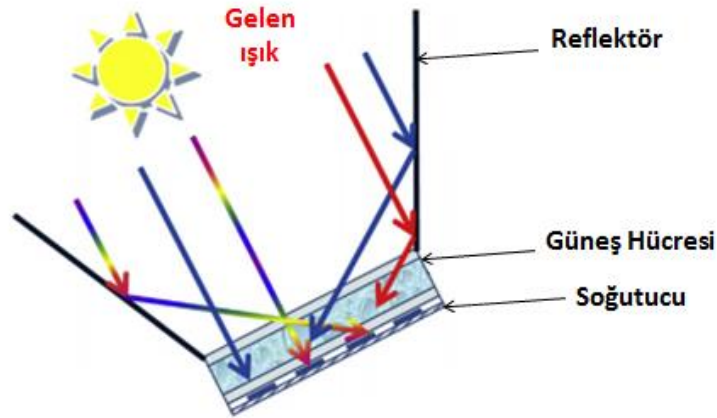
Şekil 1.16: CPV Sistem (URL-20, 2016).

Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemlerde hücreler üzerindeki ışınım eşitsizliği sebebiyle sistemin verimliliğinin azalması çözüme kavuşturulmalıdır. Fotovoltaik modül üzerindeki ışınım eşitsizliğini dikkate alarak sistemi tasarlamak sistemden elde edilecek genel performansın iyileşmesine yardımcı olacaktır (Baig vd., 2013). CPV sistemlerden beklenen, güneş ışığını fotovoltaik modül üzerinde verim kaybına sebep olmayacak şekilde eşit dağıtmasıdır.

1.9 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Termal Sistemler (CPV/T)

Elektriğin güneş enerjisinden elde edildiği geleneksel PVT sistemlerde, gelen güneş enerjisinin %85'i su yada hava soğutucusu tarafından kullanılmak üzere soğutulmuş ısı enerjisi olarak yansıtılır veya emilir (Monakar vd., 2016). Yoğunlaştırıcı fotovoltaik termal

sistemler (CPV/T) yakın zamanda geliştirilen tüm fotovoltaik termal üniteler arasında en büyük ilgiyi çekmektedirler (Kasaeian vd., 2018). Hibrit bir fotovoltaik ile termal enerji üretim sisteminin birleşiminden oluşan bu ünite performansını belirleyen anahtar bileşen güneş pili'dir. (Liv vd., 2011). Yoğunlaştırıcı PV sistemler geleneksel PV sistemlerden daha verimli olmalarına karşın, güneş ışınlarının yoğunlaştırıldığı PV modülündeki ısınma veriminin istenilen düzeyde elde edilmesinin önüne geçmektedir. Bu sebeple CPV sisteme ilave edilen soğutucu akışkan sayesinde hem ısınan PV modülün soğutularak veriminin yükseltilmesi, hem de soğutucu akışkanın üzerine aldığı ısının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Oluk tipi yoğunlaştırıcı fotovoltaik termal sistem üzerinde yapılan araştırmalarda güneş hücre dizisinin verimliliği %22'ye ulaşmış ve geleneksel PV sisteme göre elektrik üretim maliyeti %40 azaltılmıştır (Liv vd., 2011). Şekil 1.17'de CPV/T sistem görülmektedir.



Şekil 1.17: CPV/T Sistem (Qin vd., 2015).

1.10 Literatür Özeti

Schmitz vd. (2017) enerji verimliliğini ve güneş kaynağının uygun maliyetli olarak kullanımını amaçlayan yeni bir tasarım, optik karakterizasyonu ve tam sistem modülü sunmuşlardır. Seri üretim, yapısal sağlamlılık ve ölçeklenebilirlik için her 6 alıcı için 1733 yüksek geometrik konsantrasyon oranı ile optimize edilmiş modüller bir güneş enerjisinin bu sistem için gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Düzgün olmayan ışın dağılımlarının neden olduğu uyumsuzluk kayıplarını azaltacak şekilde her bir alıcı hibrit paralel ve seri düzende birbirine bağlı olan 36 üçlü kavşak CPV içermektedir. Kojenerasyon, yüksek performanslı mikrokanal ısı değiştiriciler kullanılarak sağlanmıştır. Bu ısı değiştiriciler ikinci termal

işlemler için yüksek dereceli ısının çıkmasını sağlamaktadır. Test edilen prototip ile ortalama güneş ışınım akışı elde edilmiştir. Birkaç tasarım parametreleri optimize edilerek, 89.8°C sıcaklıkta ve 12.1 kW_{el} gücünde PV modunda %28.5 güneş-elektrik verimliliği sağlanırken, kojenerasyon modunda ise aynı sıcaklık ve 11.3 kW_{el}/kW_{th} gücünde %26.6 verimlilik sağlanmıştır.

Amanlou vd. (2016) düşük konsantrasyonlu tek düze güneş ışınımı ile ilgili olarak kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. Amaç, düşük konsantrasyon oranlarında yansıtıcı oluklar (V-oluk tipi, silindirik ve birleşik parabolik yoğunlaştırıcılar) ve doğrusal fresnel yansıtıcıları için güneş ışınım olayının şablonunu tasarlamaktır. Ortak dikdörtgen fotovoltaik panellerde düzgün bir aydınlatma sağlamak için bu yoğunlaştırıcıların geometrik parametreleri üzerinde çalışmışlardır. Yüksek konsantrasyon oranı, düşük ayna gereksinimi ve en düzgün akı dağılımına sahip olan bir yoğunlaştırıcı üretmiş ve çevre koşullarında test etmişlerdir. Farklı yoğunlaştırıcıların optik simülasyon çıktısı, doğrusal Fresnel reflektörünün fotovoltaik panelde toplam sapma radyasyonunun %30 undan daha az standart sapma ile eşit ışınımaya sahip olduğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlar, standart silikon güneş hücreleri konsantrasyon konfigürasyonunda kullanılırken, doğrusal fresnel reflektörünün daha fazla enerji toplama potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, termal, elektrik ve fotovoltaik/termal yassı kollektörün toplam performansları hem yoğunlaştırıcı hem de yoğunlaştırıcı olmadan ölçülmüştür. Yoğunlaştırıcı kullanımı termal ve toplam verimi sırasıyla %16 ve %17.5 arttırmıştır. Yoğunlaştırıcılı ve yoğunlaştırıcısız PVT kollektör için toplam verimlilik sırasıyla %91 ve %78 dir.

Su vd. (2015) V-oluk tipi yoğunlaştırıcılı bir fotovoltaik elektrolizör (PVE) sisteminin çalışmasını deneysel ve sosyal olarak incelemişlerdir. V-oluk tipi yoğunlaştırıcı en uygun hale getirilmiş ve günlük ortalama konsantrasyon oranı yaklaşık 1.9 a ulaşmıştır. Sistemin özelliklerini analiz etmek için ışınlama akısı modeli, PV dizisi ve elektrolizör için alt modelleri içeren bir matematiksel model kurulmuş ve deneysel olarak doğrulanmıştır. Güneş enerjisinin hidrojen enerjisine dönüşüm verimi %5.62 den %6.12 ye çıkarılmıştır.

Kasaeianvd.(2018) oluk tipli ve fresnel ayna esaslı termal sistemler üzerinde deneysel çalışmalar ve analitik simülasyonlar altında bir inceleme yaparak gelecekteki çalışmalar için öneriler sunmuştur. İklim parametrelerine ağırlık verilerek PVT sistemleri üzerindeki etkisinin araştırılması önerilmiştir. Büyük ölçekli PVT sistemleri hakkında araştırma

yapmanın bu sistemlerin gelişimi için önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu konu ile ilgili fizibilite çalışması yapılması gerekliliği üzerinde durulmaktadır. En iyi simülasyon sonuçlarını elde edebilmek için farklı simülasyonların birbirleri ile karşılaştırılması, optimum ve yeni yöntemlerin araştırılmasının gerekli olduğu savunulmaktadır. Simülasyon sonuçlarının doğrulanması ve onaylanması açısından daha fazla veri tabanına ulaşılması ve bu bağlamda deneysel çalışmalara ağırlık verilmesi gerekli görülmektedir. Parabolik bazlı PVT birimlerini optimize etmek için Evrimsel Algoritma, Genetik Algoritma, Karınca Koloni ve Parçacık Sürüsü optimizasyonu gibi algoritmik optimizasyon yöntemlerinin denenmesi önerilmektedir. PVT ünitelerinin geliştirilmesi, bu ünitelerin diğer güneş cihazları ve yenilenebilir enerji kaynakları ile hibrit bir sistem haline getirilmesi ile mümkün olabileceği üzerinde görüş bildirmektedirler.

Tina vd. (2012) iki PVS, bir depolama sistemi (BESS) ve bir invertörden oluşan karmaşık bir PVS'nin örnek bir çalışmasını sunmaktadır. Bu sistem PVS'nin hem ada hem de şebekeye bağlı modlarda çalışmasını sağlamaktadır. İlk PVS modülleri güneye dönük ve 30° eğimli 2.76 kWp tek eksenli takip sistemidir. İkinci PVS ise 860 Wp oranlı düz aynalı yoğunlaştırıcıdan oluşan çift eksenli bir takip sistemidir. Bu sistem ITIS Marconi okulunun ana bina çatısına yüklenmiştir. PV sistemlerinde verimlilik düşük konsantrasyonlu bir sistemin maliyet etkinliğini değerlendirme için hesaplanmıştır. V-oluk-PV sistemin ürettiği gücün, fotovoltaiik sistemden %34 daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Qin vd. (2015) fotokatalitik hızı ve güneş enerjisi modüllerinin PV güç çıkışını artırmak amaçlı, eş zamanlı su arıtımı ve elektrik üretimi için imal edilmesi kolay bir V-oluklu SOLWAT sistemi geliştirmiştir. Kirletici olarak Acid Red 26 (AR26) ve fotokatalist olarak ticari TiO₂ kullanan konsantre olmayan bir SOLWAT sistemi karşılaştırılarak PV ve fotokatalitik performans analizi yapılmıştır. Deney sonuçları V-oluklu SOLWAT sisteminin konsantre olmayan SOLWAT sisteminden daha yüksek bir fotokatalitik bozunma oranına sahip olduğunu göstermektedir. V-oluklu SOLWAT sisteminin 10 mg/L, 15 mg/L ve 20 mg/L ilk kirletici konsantrasyonundaki tam renklenme süresi, konsantre olmayan sisteme göre sırasıyla %33.3, %42.9 ve %54.5 daha azdır. V-oluk ve konsantre olmayan SOLWAT sistemleri, referans standart güneş modül sisteminden daha düşük güneş modül sıcaklığı elde etmiştir. Kirleticinin renginin çözülmesi ile V-oluk SOLWAT sisteminin normalleştirilmiş I_{SC}'si hızla artarken, konsantre olmayan sistem nispeten daha yavaş bir artış göstermiştir.

Bione vd. (2004) düşük konsantrasyonlu oyuklar ile bağlanmış güneş izlemeli fotovoltaik pompalama sistemlerini, pompalanan su hacminin son maliyetini düşürmek için uygulanabilir bir alternatif olarak önermiştir. Bu araştırmada, yoğunlaşmalı ve yoğunlaşmasız takip sistemleri için “kullanılabilirlik yöntemi” ile pompalanan su hacminin uzun vadeli kazancı tahmin edilmektedir. Test edilmiş PV sisteminin karakteristik eğrisi kullanılarak uzun vadeli su hacmi hesaplanmıştır. Brezilyanın Recipe şehrinde yapılan deneyde yıllık pompalanan su hacminin, sabit sistemle elde edilen değer 1.41 katı olduğu görülmüştür. Bu durumda güneş enerjisinin gözlemlenen kazancı 1.23 civarında olmaktadır. PVP sistemi için pompalanan su hacminin yıllık faydaları 2.49 civarında iken, toplanan güneş radyasyonu için bu değer 1.74 olarak bulunmuştur. Sonuçlar sabit konfigürasyona kıyasla takip sistemi için %19, yoğunlaştırıcı sistem için %48 oranında maliyet düşüşünü göstermektedir.

Vaniya vd. (2016) zorlu rüzgar koşulları altında fotovoltaik panellerin V-oluk montajında reflektörlerin otomatik kapanması için akıllı bir sistemi rapor etmektedir. Sistem yazılımı otomatik çalışmayı etkinleştirirken sinyalizasyon, rüzgar hızı sensörü ve önceden ayarlanmış rüzgar hızı sınırı tarafından kontrol edilmektedir. PV-V-oluk dizisinin işlevsel ömrü boyunca güçlü rüzgarlar gibi şiddetli hava koşullarının kaçınılmaz olduğu göz önüne alındığında reflektörlerin bu şekilde katlanmasının zarar görme şanslarını azaltacağı, ayrıca PV dizisinin üzerine katlandığında ikincisinin de bu işlemde korunacağı sonucuna varmışlardır.

Sangani vd. (2008) daha iyi bir ısı dağılımı için V-oluk içerisine güneş hücrelerinin entegre edildiği bir yoğunlaştırıcı PV modülü tasarlamıştır. Bunun için V-oluk kanalları tek bir ince alüminyum (Al) metal levha kullanılarak yapılmıştır. Her biri 6 adet tek kristalli Si içeren 6 adet PV modül şeriti üretilmiş ve bunlar 6 adet V-oluk kanallarının içerisine monte edilmiştir. V-oluk duvarları ışık konsantrasyonunun yanı sıra ısı dağılımı için de kullanılmıştır. V-oluk duvarlarının soğutma için kullanılmadığı durumlarda 4 kat daha yüksek bir ısı dağılım alanı sağlanmıştır. V-oluklu modül içerisindeki hücre sıcaklığı, ışık konsantrasyonuna rağmen düz levha PV modülü ile neredeyse aynı kalmaktadır. V-oluk-PV sistemden elde edilen açık devre voltajının PV modüle kıyasla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Michael vd. (2018) yapıştırıcı olarak EVA kullanarak ve altına tek bir su kanalı ekleyerek silikon hücrelerini bir bakır metal levha üzerine lamine edilmesi ile yeni bir güneş fotovoltaik yoğunlaştırıcı üretmiştir. Bu yoğunlaştırıcının elektriksel performansı yansıtıcı aynalar kullanılarak daha da geliştirilmiştir. Işın takip analizinde 13° sabit eğim altında daha az yoğunlaştırırsa bile tek ayna düzenlemesinin eşit dağılımlı bir aydınlatma sağladığı 7 ay boyunca gözlenmiştir. Ancak iki ayna düzenlemesinde Haziran ayı dışındaki hiçbir ayda eşit bir dağılım görülmemiştir. Gün boyunca farklı geliş açlarına bağlı olarak güneş fotovoltaik yoğunlaştırıcı üzerindeki homojen olmayan aydınlatma, yansıtıcı ayna uzunluğunun 2.82 kat artırılması ile en aza indirilebilmektedir. V-oluk tipi yoğunlaştırıcının sabit eğimine ve camdaki yansıma kayıplarına bağlı olarak elektrik gücündeki artış öğlen 90-120 dakika boyunca gözlenmiştir. İki ayna düzenlemesinde bu durum 60 dakika olmaktadır.

Sangani ve Solanki (2007) konvensiyonel bir güneş PV modülü ile birlikte V-oluk tipi fotovoltaik (PV) yoğunlaştırıcı sistemleri, PV elektrik maliyetinin azalışını değerlendirmek üzere tasarlamış ve üretmiştir. V-oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemi farklı izleme modları için geliştirilmiştir. Bunlar mevsimlik, kuzey güney tek eksenli ve iki eksenli taktır. Bu izleme modlarına dayanan üç tasarım modeli yoğunlaştırma oranı 2 olan V oluku geliştirmek üzere kullanılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen farklı marka ve tipteki PV modülleri, yoğunlaştırma oranı 2 olan güneş yoğunlaştırıcısı ile beraber kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Geometrik konsantrasyon oranı 2 olan V-oluklu yoğunlaştırıcı sistemi, pasif olarak soğutulmuş modüller için PV düz plaka sistemine nazaran çıkış gücünü %44 arttırmıştır. Yüksek cam geçirgenliği nedeniyle, düşük oluk açılı tasarım modelleri daha yüksek çıkış gücü vermiştir. Düşük seri dirençli PV modülleri, çıkış gücünde daha yüksek kazanç sağlamıştır.

Singh vd. (2016) bu çalışmada iki geometri ve eşdeğer görüntülemeye sahip olmayan yoğunlaştırıcının optik ve enerji dönüşüm özellikleri ile ilgili bilgi vermektedir. Güneş ışınım olayı, açıklıkta ve PV yüzeyinde sırasıyla piranometre ve fotodiyotlar kullanılarak 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 52° olmak üzere 6 farklı kollektör eğim açısında ölçülmüştür. Deneysel verilerin analizi, V-oluk sisteminin CPC' den daha fazla güneş ışınımı dağılımına sahip olduğunu ve iki toplayıcının da geometrik konsantrasyon oranının 2.2 olmasına rağmen V-olukun daha yüksek bir optik konsantrasyona sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca V-oluk tipi yoğunlaştırıcının, belirli bir eğim açısında CPC sisteminden %17.2 daha

yüksek bir elektriksel güç çıkışına sahip olduğu görülmüştür. V-oluk CPC' den daha yüksek miktarda güneş radyasyonu yansıttığı için alıcı plaka sıcaklığı her zaman daha yüksek olmaktadır.

Saravanan vd. (2016) çeşitli büküm çalışmalarında helisel büküm bantlı V-oluklu termosifon güneş enerjili su ısıtıcısının sürtünme faktörü ve ısı performansının deneysel olarak incelemelerini yapmıştır. Düz tüp V-oluklu (PVT) güneş enerjili su ısıtıcısı ile düz tüp plaka (PFP) güneş enerjili su ısıtıcısının sonuçlarını karşılaştırmıştır. PVT güneş enerjili su ısıtıcısı için deneysel veriler denklemlerle karşılaştırılmıştır. Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için sırasıyla ± 15.06 ve ± 3.91 tutarsızlık bulunmuştur. Sonuçlar PVT toplayıcının PFP toplayıcıya kıyasla daha iyi termal performanslar sunduğunu göstermiştir. Güneş kolektöründe ilave yansıtıcı yüzeylerin kullanımı güneş konsantrasyonunda artışa neden olmuştur. Üstelik sarmal sargılı bandın kullanımı yükseltici tüpün içindeki girdap akışını yaratmış, bu da termal performans ve basınç düşüşünü azaltmıştır. Minimum büküm oranının 3 oluşu, düz oluk kolektörüne kıyasla %19.1 daha yüksek termal verim sunmuştur. Deneysel sonuçlara uymasını için Nusselt sayısı ve Sürtünme faktörü için ampirik korelasyonlar geliştirilmiş ve sapma sırasıyla ± 10.3 ve ± 6.74 e düşmüştür.

Baig vd. (2013) bu çalışmada bina entegrasyonu için kullanılan düşük konsantrasyonlu bir fotovoltaik sistemi modellemek, hücre metalleşmesini optimize etmek ve sıcaklığın sistemin toplam çıktısı üzerindeki etkilerini analiz etmek için odaklanmıştır. Elektriksel ve termal performansı belirlemek için ışın izleme ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve optik analiz gerçekleştirilmiştir. Düzensizlik durumunun cihazın çıktısına olan etkilerini anlamak için analiz yapmışlardır. 5° olay açısında düzensizlik nedeni ile güneş hücresi verimliliğinde yaklaşık %0.5 düşüş görülmüştür. Akım dağılımının düzensiz olmasından dolayı dolum faktöründe %1.85 lik düşüş gözlemlenmiştir. 1000 W/m² lik bir güneş ışınması altında güneş hücresinin performansını daha da azaltan hücre boyunca maksimum 349.5 °K hücre sıcaklığı gözlenmiştir.

Tang ve Liu (2011) düzlemsel aynaların görüntüleme prensibine, güneş geometrisine ve aylık radyasyona dayanarak bir V-oluk tipi yoğunlaştırıcının tabanındaki toplanan radyasyonu tahmin etmek amacı ile ayrıntılı bir matematiksel prosedür geliştirmiştir. Bu model V-oluklarının optik performansının herhangi bir yapısal ve montaj parametresi ile tahmin edilmesini ve bu gibi yoğunlaştırıcıların tasarımının optimize edilmesini

sağlamaktadır. Hesaplamalar V-oluk tipi yoğunlaştırıcının tabanındaki yıllık toplanabilir radyasyonun reflektör açısına, reflektörün yansıtıcılığına, eğim açısına ve iklim koşullarına bağlı olduğunu göstermiştir.

Al-Shohani vd. (2016) fotovoltaik modül ile birlikte kullanılan V-oluk tipi yoğunlaştırıcının yeni simülasyonunu sunmuştur. V-oluk tipi yoğunlaştırıcının optimum tasarımını belirlemek için gelişmiş bir ışın izleme yazılımı olan Optisworks kullanılmıştır. Optimum tasarımın belirlenmesi için V-oluk geometrik parametreleri, optik performans ve ışın dağılımı incelenmiştir. 4 geometrik konsantrasyon oranına (1.5, 2, 2.5 ve 3) ve 3 yansıtıcı materyale (ideal reflektör R100%, anotlanmış alüminyum R90% ve ayna R80%) sahip V-oluk tipi yoğunlaştırıcı incelenmiştir. Optisworks kullanılarak elde edilen etkin konsantrasyon oranının simülasyon sonuçları, yayınlanan deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında yaklaşık %1.99 sapma ile iyi bir uyum sergilemiştir. Sonuçlar, V-oluk tipi yoğunlaştırıcısının yoğunlaştırma oranlarının 1.5×, 2×, 2.5× ve 3× olduğu durumlarda optimum köşe açılarının sırasıyla 30° , 30° , 22° ve 19° olduğunu göstermektedir.

Künnemeyer vd. (2014) V-oluk tipi yoğunlaştırıcının fotovoltaik/termal güneş kolektörünün tasarlanan modelini analiz etmişlerdir. V-oluğun yansıtıcı alüminyumdan ziyade dayanıklı paslanmaz çelikten yapılabileceği ve tipik bir yıl boyunca gelen radyasyondan %25 lik bir artış sağlayabileceği gösterilmiştir. Bununla beraber soğutmanın iyileştirilmesi ve ısı kayıplarının azaltılarak termal verimliliğin artırılması için modifikasyonların gerekliliği belirtilmiştir.

Wang vd. (2016) temiz içilebilir suya ve yenilenebilir elektriğe erişim sağlamak için yassı PV hücreleri ile SODIS (güneş enerjili su dezenfeksiyonu) ilk kez birleştirilmesini gerçekleştirmiştir. SODIS sürecini arttırmak için V-oluk tipi yoğunlaştırıcı ve düşük konsantrasyonlu H₂O₂ uygulanmıştır. PV modülünün sıcaklığı ilave su tabakası nedeniyle önemli ölçüde azalmaktadır. Böylece enerji üretim verimliliği arttırılmıştır. PV modülündeki su tabakası ışığı hem yansıtıp hem emebilse bile V-oluk tipi yoğunlaştırıcıya sahip PV modülünün çıkış gücü yaklaşık 43 W (referans 26.1 W) olmaktadır. Bu da tüm sistemdeki güç tüketiminden fazladır. Bu nedenle fazla güç diğer uygulamalarda kullanılabilir. Bu nedenle fazla güç diğer uygulamalarda kullanılabilir.

Maiti vd. (2011) fotovoltaik modül sıcaklığını herhangi bir konsantrasyon olmadan gözlemlenen maksimum 65°C sıcaklıkta sınırlandırarak, V-oluktaki güçlendirilmiş güneş yalıtımından yararlanmak için bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. 56-58 °C erime aralığındaki parafin mumu faz değıştirci malzeme (PCM) olarak seçilmiş ve aşırı ısıyı emmek için modülün arkasına dahil edilmiştir. Balmumunun düşük ısı iletkenliği, balmumunun bulunduğu dolgulu metal dönüşlerin yardımı ile çözülmüştür. İç ve dış mekanlarda olmak üzere iki deney yapılmıştır. 0.06 mm kalınlığında bir PCM matris yatağı kullanılarak, iç mekan deneyindeki modül sıcaklığı 3 saat boyunca 60-65 °C de tutulmuştur. Bunun yokluğunda sıcaklık 15 dakika içerisinde 90°C ye çıkmıştır. Dış mekan çalışmalarında V-oluk modül sıcaklığı PCM düzeneği ile 78°C den 62°C ye düşürülmüştür. V-oluk PV-PCM sistemi kullanılarak gün içindeki çıkış gücü sıcaklığın kendi kendine ayarlanması ile 1.55 kat arttırılabilmektedir.

Vilela vd. (2004) fotovoltaik sistemlerin kullanımını Brezilyanın kırsal alanlarında yerel mahsüllerin taşınmasında önermişlerdir. Mevcut yoğunlaştırıcılar arasında V-oluk tipi yoğunlaştırıcıların en uygunu olduğunu düşünmüşlerdir. Çünkü modüllerin bulunduğu bölgede konsantrasyon oranı ve tepe açısının belirli kombinasyonları için homojen bir aydınlatma sağlamaktadır. Petrolina şehrinde damla sulama sistemi simüle edilmiştir. V-oluk tipi fotovoltaik pompalama ekipmanı tarafından aylık olarak sulanabilen maksimum yüzey tahmin edilmiştir. 1.3 kWp lik bir diziyle 2.11 hektarlık alan sulayabildiği bulunmuştur. Aynı fotovoltaik diziye sahip sabit bir fotovoltaik pompalama ekipmanı 1.20 hektarlık alanı sulayabilmektedir. Her iki durumda da toprakta depolanan su, bu katkının dikkate alınmadığı duruma kıyasla, sulanan alana %33 oranında bir artış sağlamıştır.

Shaltout vd. (1995) fotovoltaiklerin performansını arttırmak için iki eksenli bir takip sistemine sahip V-oluk tipi yoğunlaştırıcı tasarlamıştır. Bu sistem 50cmx18cm ölçülerinde iki düz aynadan oluşmuştur. Bir polikristal ve şekilsiz silikon güneş pilleri örneği sisteme sabitlenmiştir. Elektrik kazancını tahmin etmek için her türdeki benzer güneş pilleri sisteme ayrı tutturulmuştur. Ölçümler bir tam yıl boyunca farklı hava kütlelerinde günlük olarak yapılmıştır. Malzemelerin basitliği ve maliyeti dikkate alındığında, V-oluk tipi yoğunlaştırıcının güneş ışığını konsantre etmek için yaklaşık 1.6 konsantre oranı ile etkili bir yöntem olduğu görülmektedir. Bu sistem düzensiz silikon hücrelere uygulandığında yoğunlaştırıcısı olmayan hücrelere oranla %40 daha fazla güç kazancı elde edilmiştir.

Polikristal silikon hücrelere uygulandığında ise alüminyum ile kaplı aynaların en düşük yansıtıcılığa sahip olmasından dolayı beklenen düzeyde bir kazanç sağlanamamıştır.

Rosales ve Gutierrez (2018) çok sayıda muhtemel konfigürasyon ve söz konusu çoklu parametrelerin birbirine bağımlılığı göz önüne alındığında, bu çalışma genetik algoritmaları olası çözümlerin uzayında gezinmek için sezgisel bir yaklaşım olarak incelemektedir. Çalışılan algoritmalar arasında, “GA-WA” (Genetik Algoritma-Weibull Arias) adlı yeni bir genetik algoritma önerilmiştir. GA-WA, Weibull dağılımlarına dayanan yeni sezgisel süreçleri kullanır. Birçok V-oluk performans göstergesi, genetik algoritmalarla optimize edilebilecek objektif fonksiyonlar olarak önerilmiştir. Çalışılan genetik algoritmaların sezgisel parametreleri optimize edilmiş ve kapasiteleri bir vaka çalışmasında incelenmiştir. Sonuçlar, aynı vaka çalışması için interaktif yazılım VTDesign ile tasarlanan, raporlanan V-oluk kurulumlarıyla karşılaştırıldı. Bu çalışmada geliştirilenler gibi genetik algoritmaların performans göstergelerinin iyileştirilmesinde etkili olduğu, kişiselleştirilmiş senaryolarda solar V-oluk kurulumunun belirlenmesinde etkili ve esnek araçların etkili olduğu bulunmuştur.

Monakar vd. (2016) güneş enerjisinden fotovoltaiik termal (PVT) bir sistemde aynı anda üretilen elektrik ve ısı yaklaşık %60-70 oranında verimlidir. Bu proje çalışmasındaki ana hedefler iki sistemi birleştirmektir; Konsantratör olarak Parabolik Tekneli ve alıcı olarak kanal PV/T kollektörü. Parabolik Tekneli Konsantr PVT'nin performans çalışması, konsantr PVT'li su akışı ile yapılır ve değerlendirilir. CPVT sıcaklığının PVT'den daha yüksek olduğu görülmüştür. Güneş ışınımının bir PV yüzeyine yoğunlaştırılmasının sistemi daha ekonomik hale getirebilecek elektrik enerjisi çıkışını artırdığını göstermektedir.

BÖLÜM 2

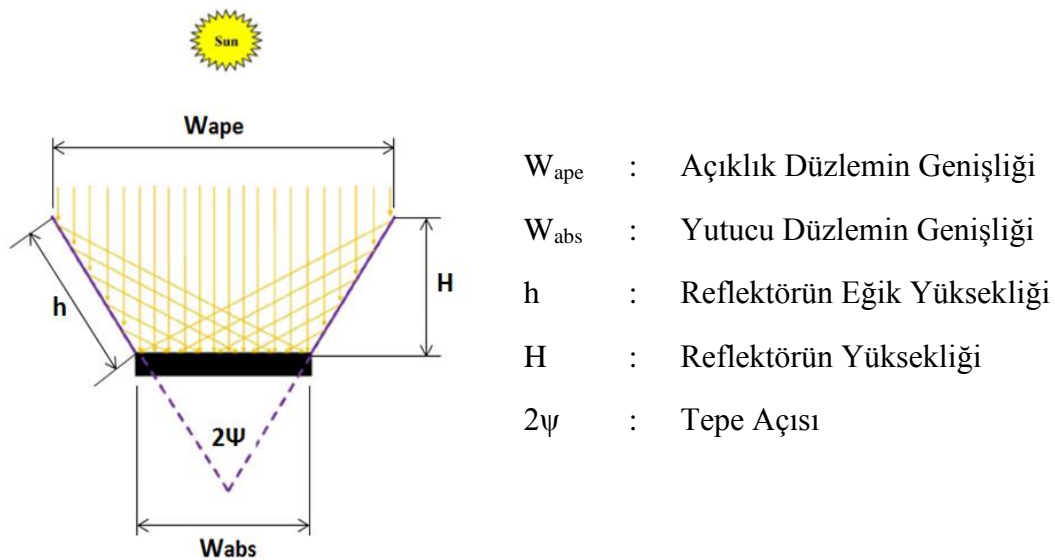
MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

2.1.1 V- Oluk Tipi Yoğunlaştırıcı

Fotovoltaik ve güneş enerjisi toplayıcılarının verimini artırmak için güneş enerjisini yoğunlaştırma fikri dikkat çeken bir alandır (Künemeyer vd., 2014). Güneş enerjisinin yoğunlaştırıldığı sistemlerden biri olan V-oluk yoğunlaştırıcısı güneş enerjisi uygulamalarında yansıtıcı reflektör olarak kullanılmaktadır. Sistem iki düz plakadan oluştuğu için imal edilmesi kolay ve maliyeti düşüktür.

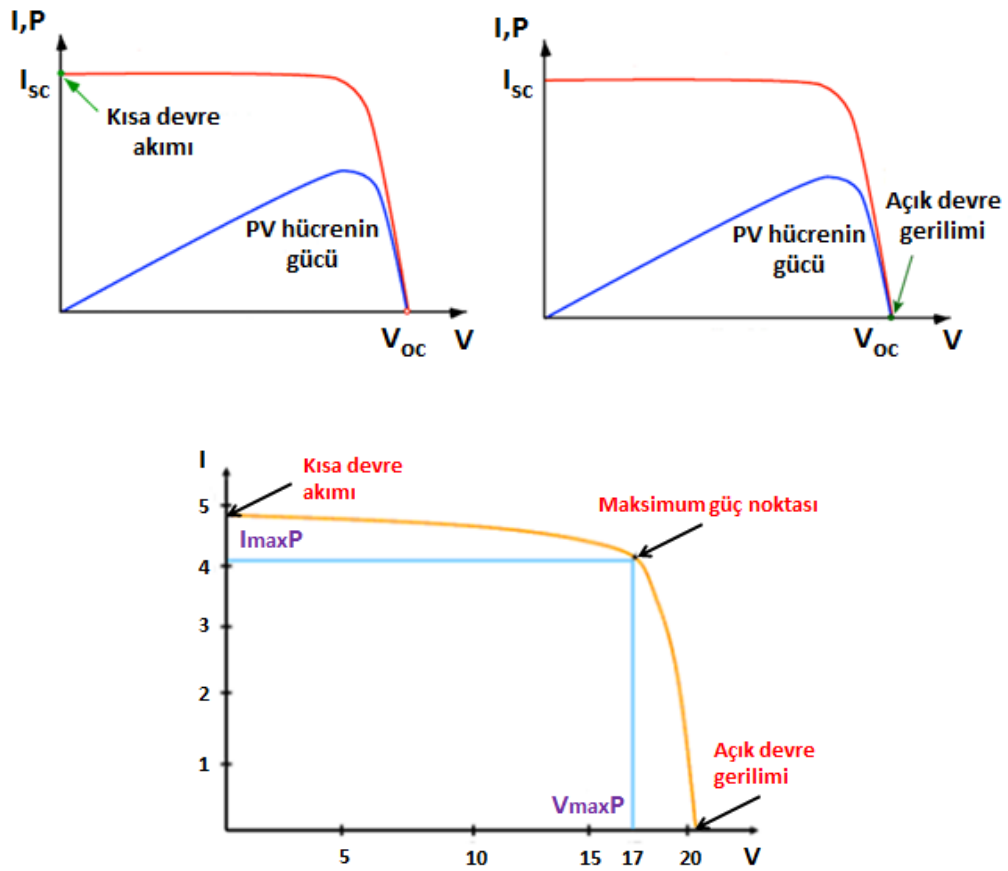
V-oluk tipi yoğunlaştırıcıların fotovoltaik uygulamalar için özellikle uygun olmasının sebebi yoğunlaştırma oranı ve tepe açısının belirli kombinasyonları için fotovoltaik modülün her yerinde aynı mükemmellikte bir aydınlanma sağlamasıdır (Vilela vd., 2004). Bu yoğunlaştırıcılar hakkında yapılan çalışmalar neticesinde yoğunlaştırma oranının 1,5x, 2x, 2,5x ve 3x olduğu durumlarda en uygun köşe açıları sırasıyla 30°, 30°, 22° ve 19°'dir (Al-Shohani vd., 2016). Şekil 2.1'de V-oluk tipi yoğunlaştırıcı geometrisi yer almaktadır.



Şekil 2.1: V-oluk geometrisi (Al-Shohani vd., 2016).

İdeal güneş panellerinde, çıkış akımı ve gerilimi bir noktaya kadar sabittir. Bu nokta aşıldığında çıkış akımı ve voltajın hızla değer kaybettiğini görürüz. Gerçekte ise güneş panellerinde akım sıfırdan farklı olduğu anda çıkış gerilimi düşer. Gerilimin düşme hızını belirleyen akımın belli bir değere ulaşmasıdır. Bu değere kadar gerilimin düşme hızı yavaşken, değerini aşılmasıyla hızlanmaktadır (Tek, 2018).

Güneş panellerinde akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) grafiklerinde ifade edilen temel değişkenler açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}), maksimum güç değeri (P_{maxP}), maksimum güç noktası gerilimi (V_{maxP}) ve maksimum güç noktası akımı (I_{maxP})'dır. Açık devre gerilimi, güneş hücresinden geçen akım sıfır iken hücre uçlarında ölçülen gerilimdir. Kısa devre akımı ise gerilim ve aydınlatmanın sıfır olduğu durumda hücreden geçen akımı ifade eder. Güneş hücresindeki direnç yükünün sıfırdan başlayarak artırılması ile maksimum güç noktasına ulaşılır. Bu noktada fotovoltaiik hücreden en yüksek elektrik enerjisi elde edilir. Şekil 2.3'te PV hücresinin I-V ve P-V eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.3: Fotovoltaiik hücresinin I-V ve P-V eğrileri (URL-18, 2016).

Güneş hücresinin maksimum çıkış gücünü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımına bağlı olarak tanımlayan değişken dolgu faktörü olarak tanımlanır. Dolgu faktörünü hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır (URL-18, 2016).

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

Dolgu faktörü güneş hücresinin idealliğinin bir göstergesidir. İdeal bir güneş hücresinde $FF=1$ 'dir.

Tablo 2.1: Farklı tip fotovoltaik hücrelerin karakteristik değerleri (Şenay, 2011).

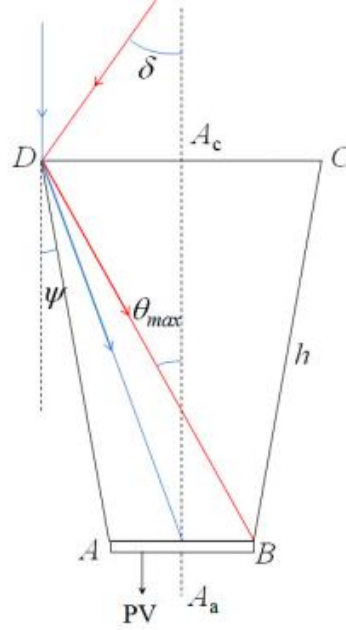
PV Hücre	Alan (cm ²)	V _{oc} (V)	I _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
Tek kristal Si	4.0	0.706	42.2	82.8	24.7
Tek kristal GaAs	3.9	1.022	28.2	87.1	25.1
Çok kristal Si	1.1	0.654	38.1	79.5	19.8
Amorf Si	1.0	0.887	19	74.1	12.7
CuInGaSe ₂	1.0	0.669	35.7	77.0	18.4
CdTe	1.1	0.848	25.9	74.5	16.4

Tablo 2.1'de farklı tip fotovoltaik hücrelerin karakteristik değerleri görülmektedir. Grafiklerdeki değerler sabit bir sıcaklık ve ışınım değeri için geçerlidir. Gerçek durumda ise ışınım ve sıcaklık değerinin sabit olması beklenemez, değişkenlik söz konusudur. Ayrıca güneş paneli için olumsuz olarak değerlendirilebilecek gölgelenme, tozlanma vb. durumların meydana gelebileceğini ama grafiklerin oluşumunda hesaba katılmadığını dikkate almak gerekmektedir.

2.1.3 V-Oluk Yoğunlaştırıcı -PV Sistem Tasarımı

Isıl güneş teknolojilerinden biri olan V- oluk tipi yoğunlaştırıcının Şekil 2.4'te 2 boyutlu geometrisi görülmektedir. Şekilde görülen AB aralığı fotovoltaik hücrelerin yerleştirileceği alıcı kısmı (A_a), DC aralığı ise açıklık alanı (A_c) ifade etmektedir.

Tasarımı gerçekleştirilen V-oluk tipi yoğunlaştırıcı-PV sistemde, normal kabul açısı ile gelen güneş ışınları, reflektörlerden yansıtılarak alıcı kısmın (A_a), merkezinde toplanmaktadır.



Şekil 2.4: V-oluk tipi yoğunlaştırıcı - PV sistemin 2 boyutlu geometrisi (Özbey, 2018).

V-oluk tipi yoğunlaştırıcı için θ_{max} değeri aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$\theta_{max} = 2\psi + \delta \quad (2)$$

Denklemde δ , V-oluk tipi yoğunlaştırıcının kabul açısıdır. Kabul açısına bağlı olarak gelen ışınım θ_{max} değerine kadar PV hücreye ulaşabilir. θ_{max} değeri aşıldığında gelen hiçbir ışın fotovoltaik hücreye ulaşamaz. V-oluk tipi reflektörün eğik yüksekliği h , aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilir (Özbey, 2018).

$$h = \frac{A_a \cos 2\psi}{2 \sin \psi} \quad (3)$$

V-oluk tipi yoğunlaştırıcının yoğunlaşma oranını bulmak için aşağıdaki denklem elde edilir. (Özbey, 2018).

$$C_{tr} = \frac{A_a}{A_c} = \frac{2}{\tan^2 \psi + 1} \quad (4)$$

Denklemden C_{tr} , V-oluk tipi yoğunlaştırıcının yoğunlaşma oranını ifade eder.

Yukarıdaki ifade edilen denklemler yardımıyla V-oluk tipi-PV sistemin geometrileri elde edilmiştir. Grafiklerin elde edilmesinde Origin programı, geometrilerin çiziminde ise AutoCAD programı kullanılmıştır. Tablo 2.2’de CPV sistemin tasarım parametreleri listelenmiştir.

Tablo 2.2: CPV sistemin tasarım parametreleri.

Parametre	V-Oluk
Kabul Açısı δ	21
Maksimum Kabul Açısı θ_{max}	41
Tekneli açı ψ	10
Konsantrasyon oranı Cr	1,9416
PV hücre uzunluğu (m)	0.052
GBM reflektör uzunluğu (m)	0.52
GBM reflektör yüksekliği h (m)	0.1407
Reflektör yüzey alanı A_r (m ²)	0.0732
PV modül alanı (m ²)	0.02704
Diyafram alanı A_c (m ²)	0.05247

2.2 Deneysel Kurulum

Tasarımı yapılan CPV sistemin deneysel olarak uygulamasını yapmak için yansıtma oranları farklı reflektörlerin belirlenmesi, PV modülün oluşturulması, sistem iskeletinin oluşturulması ve son aşamada montaj işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Yansıtma Oranları Farklı Reflektörlerin Belirlenmesi

Reflektörler olarak belirlenen %91.3 yansıtma oranına sahip ALANOD marka alüminyum MiroSun90 reflektör ile %71.6 yansıtma oranına sahip çelik sacdan imal edilen Süper Ayna reflektörün yansıtıcılık ve soğurganlıklarının ölçüm işlemi spektrofometre cihazı ile yapılmıştır. Bu işlem için her iki reflektörden 4x4 cm ebatında parçalar kesilerek spektrofometre cihazında teste tabi tutulmuştur. Şekil 2.5'te spektrofometre cihazı görülmektedir.



Şekil 2.5: Spektrofometre cihazı.

Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemler (V-oluk-PV) ile fotovoltaik sistemin performanslarının karşılaştırılacağı deneylerde iki farklı yoğunlaştırıcı reflektör kullanılmıştır. Bunun sebebi yansıtıcılığı, emiciliği ve bunlarla bağlantılı olarak maliyetleri farklı iki reflektörün aynı kabul açısı ve yoğunlaştırma oranına sahip V-oluk-PV sistemlerde birbirleri ile karşılaştırılmasıdır.

Autocad programında çekmece kalıbına göre uygun ölçülerde geometrisi çizilen reflektörler çekmece kalıbının hazırlanmasında olduğu gibi lazer cihazında kesilmiştir.

2.2.2 Fotovoltaik (PV) Modülün Oluşturulması

PV modül, gelen güneş ışınımının elektriğe dönüştürüleceği kısımdır. 21°'lik kabul açısına sahip olan V-oluk-PV sistemin çekmece kalıbının alt kısmına yerleştirilecek fotovoltaik modülün oluşturulması için 10 adet 52x52 mm boyutlarında güneş hücresi birbirlerine seri

olarak bağlanmıştır. Güneş hücrelerinin her biri yaklaşık olarak 0.86 A akım ve 0.43 W maksimum güç üretmektedir. Bağlantı yapılırken komşu hücreler arasında 2 mm boşluk bırakılmıştır. Hücrelerin birbiri ile birleştirilmesinde sıcak lehim cihazı kullanılmıştır.

Güneş hücreleri birbiri ile birleştirildikten sonra uzunluğu 60 cm kalınlığı ise 1 mm olan bakır bir plakanın üzerine yerleştirilmiştir. Bakır levha tercihinin yapılmasında, bakırın ısı transfer hızının yüksek olması etkili olmuştur. Bu sayede V-oluk-PV sisteme eklenecek soğutucu akışkana fotovoltaiik modülden ısı transferi daha hızlı olacaktır. Böylece fotovoltaiik modüldeki aşırı ısınmanın neden olduğu verim kaybı önlenilecektir.

Güneş hücrelerinin bakır plakaya bağlantısı EVA ile gerçekleştirilmiştir. EVA, hücreler ile bakır plakayı çok iyi yapışma özelliği sayesinde birbirine bağlar ve dış etkenlere karşı koruma sağlar. Şekil 2.6'da yukarıda ifade edilen işlemler sonrasında elde edilen fotovoltaiik modülün son hali görülmektedir.

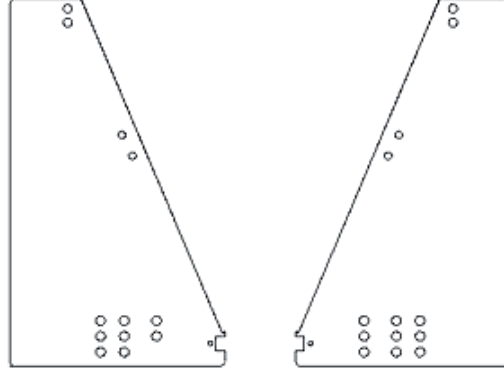


Şekil 2.6: PV modül.

2.2.3 V-Oluk Yoğunlaştırıcı -PV Sistem İskeletinin Oluşturulması

V-oluk tipi yoğunlaştırıcı sistem ile fotovoltaiik sistemin bir araya getirilerek değerlendirileceği bu çalışmada reflektör ve PV'nin yerleştirileceği iskeletin yani kasanın oluşturulması gerekmektedir. Çekmece olarak isimlendirdiğimiz sistemin iskeletini oluşturan parçaların geometrileri AutoCad programında çizilmiştir.

Değerlendirilecek olan V-oluk-PV sistemin kabul açısı (δ) 21° dir. V-oluk sistemi oluşturan eğrilerin boyutları ise 14.069 cm'dir. Her bir çekmece uzunluğu 580 mm olarak alınmıştır. Şekil 2.7'de çekmece çizimleri sonucunda elde edilen ve 21° lik kabul açısına sahip olan V-oluk-PV sistemin çekmeceleri yer almaktadır.



Şekil 2.7: 21° lik kabul açısına sahip V-oluk-PV sistemin çekmeceleri.

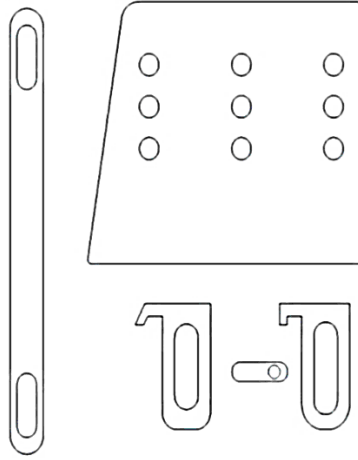
AutoCad programında çizimlerini gerçekleştirdiğimiz çekmece ve bağlantı parçalarının kesim işlemi lazer cihazı ile yapılmıştır. Çekmeceler 2 mm kalınlığındaki sac levhaların lazer cihazı ile kesilmesinden elde edilmiştir. Şekil 2.8'de lazer kesim cihazında çekmece kalıbını oluşturan çekmece ve aparatlarının kesim işlemi görülmektedir.



Şekil 2.8: Lazer cihazı ile kesimi yapılan çekmece ve aparatları.

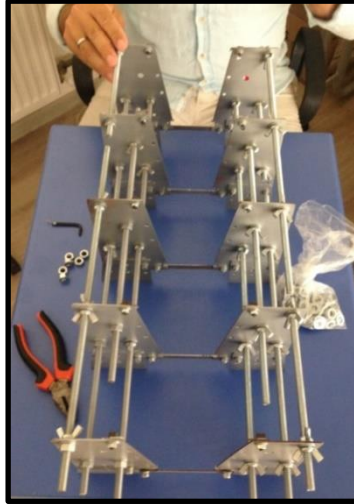
Elde edilen çekmeceler korozyona karşı önlem amacıyla boyanmıştır. Sistemin iskeletini oluşturan çekmeceler ile bağlantı parçalarının tasarımı yapılırken reflektörlerin çekmece kalıbına kolayca oturmasına ve sabitlenmesine dikkat edilmiştir. Reflektörlerin çekmece kalıbına sabitlenmesi mandallar yardımıyla sağlanmıştır. Ayrıca PV'nin rahatlıkla çekmece

kalıba yerleşimine imkan verecek şekilde ayarlanabilir bağlantı parçaları bulunmaktadır. Şekil 2.9'da V-oluk-PV sistemin bağlantı parçaları görülmektedir.



Şekil 2.9: Çekmecelerin bağlantı parçaları.

Montaj aşamasında lazer kesim cihazından elde edilen çekmece ve aparatlarının birleştirilmesi sağlanarak çekmece kalıbı oluşturulmuştur. Şekil 2.10'da çekmece kalıbının montaj işlemi görülmektedir.

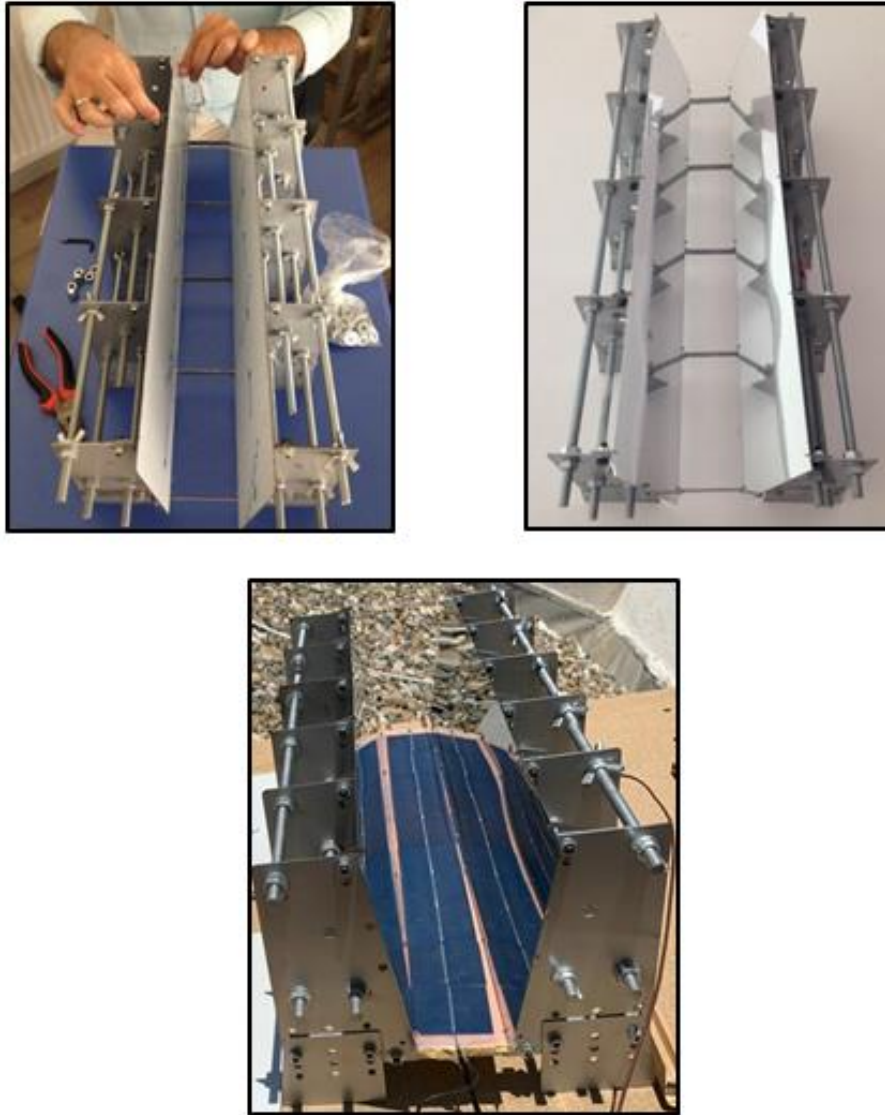


Şekil 2.10: Çekmece kalıbının montaj işlemi.

Kalıbının oluşturulması için 5'er adet çekmece, sistemin her iki yanına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu çekmecelerin birleştirilmesi için 8 mm kalınlığında millerden yararlanılmıştır. Çekmecelerin millere sabitlenmesi için civata ve pul kullanılmıştır.

2.2.4 V-Oluk Yoğunlaştırıcı - PV Sistem Montajının Yapılması

V-oluk yoğunlaştırıcı-PV sisteminin oluşturulması için V-oluk tasarımı yapılmış, yansıtıcı reflektörler ve fotovoltaik modül hazırlanmıştır. Yapılan tasarıma uygun olacak şekilde çekmece kalıbı oluşturulmuştur. Boyu 0.14 m ve genişliği 0.52 m olan iki adet reflektör kesimi yapılarak montajı yapılan çekmece kalıbına yerleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada çekmece kalıbına oturtulan reflektörlerin bağlantı elemanı olan mandallar ile sabitleme işlemi yapılmıştır. Reflektörleri çekmece kalına sabitledikten sonra fotovoltaik modül yerleştirilerek V-oluk-PV sistemin montajı tamamlanmıştır. Şekil 2.11’de sisteminin montaj aşamaları görülmektedir.



Şekil 2.11: V-oluk-PV sisteminin montajı.

2.3 Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deney uygulamalarında kullanılmak üzere pyranometer, datalogger, termokupl, termal kamera, multimetre gibi birçok ölçü aleti temin edilerek elde edilen değerlerin daha sağlıklı bir şekilde yorumlanmasına çalışılmıştır. Yatayda birim yüzeye gelen toplam ışınım miktarının ölçülmesi işleminde kullanılmak üzere pyranometer ölçüm sensörü kullanılmıştır.



Şekil 2.12: MS-410 First class pyranometer ve iç kısmı.

Şekil 2.12’de MS-410 First class pyranometer ölçüm sensörü görülmektedir. Işınım miktarının ölçülmesi için pyranometer yüzeye paralel olarak yerleştirilmelidir. Pyranometer iki katlı yarım küre cam altına yerleştirilen bakır ile bakır nikel karışımı bir tür sıcaklık sensörü içeren siyah metalden oluşur. Cihazın global ışınım miktarını ölçebilmesi için öncelikle siyah metal yüzeye gelen güneş ışığı emilerek elektrik hareketi elde edilir. Oluşan bu elektrik hareket gücünün belli bir zaman aralığında integrali alındığında global ışınım miktarına ulaşılmış oluruz.

Kısaca veri kayıt cihazı olarak tanımlayabileceğimiz datalogger, sensörler aracılığı ile elde edilen elektriksel sinyalleri sayesinde sıcaklık, basınç, nem, titreşim gibi verileri belirli bir zaman aralığı içerisinde izler ve kaydeder. Deney uygulamalarında GRAPHTEC GL240 10 kanallı bir datalogger kullanılmıştır.



Şekil 2.13: Graphtec gl240 datalogger.

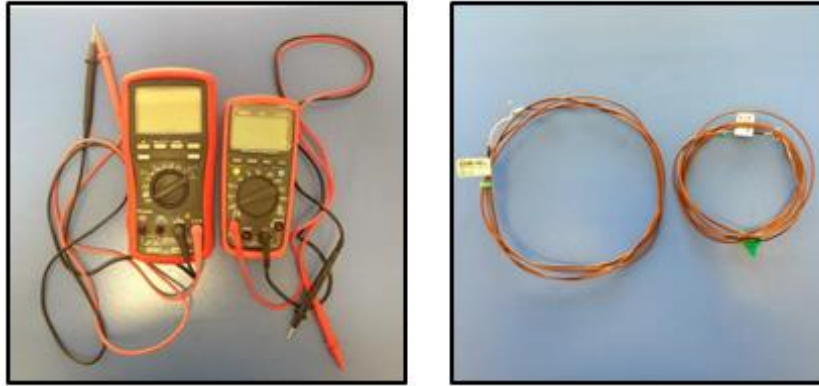
Şekil 2.13'te deney uygulamalarında kullanılan GRAPHTEC GL240 10 kanallı datalogger görülmektedir. Sıcaklık ölçüm sensörleri olan termokupllar ile global ışınım miktarını ölçen pyranometer datalogger'a bağlanarak belirlenen zaman aralığında ölçülen veriler kaydedilmiştir. Deney uygulama süresince elde edilen bu ölçüm verileri analiz edilmek üzere taşınabilir bir bilgisayara aktarılmaktadır.



Şekil 2.14: Testo 875-2 marka termal kamera.

Şekil 2.14'te deney uygulamasında kullanılan termal kamera görülmektedir. Termal kameralar gözle görülemeyen kızılötesi termal enerjiyi algılayarak ekrana görüntü olarak verirler. Deney uygulamasında fotovoltaik hücreler üzerindeki sıcaklık değerleri Testo 875-2 marka termal kamera ile görüntüleme yapılarak kaydedilmiştir. Kaydedilen bu görüntüler bilgisayara aktarılarak analiz edilmektedir. Yapılan analizlerde belirlenen

zaman aralığında PV hücresi üzerinde oluşan ortalama ve maksimum sıcaklık dağılımlarına bakılarak yorumlamak mümkün olmaktadır.



Şekil 2.15: Multimetre ve Termokupl.

Şekil 2.15'te deney uygulamalarında kullanılan multimetreler ve ısı çiftleri görülmektedir. Isıl çift olarak da adlandırılan termokupl iki farklı iletken malzemeden oluşan sıcaklık sensörü olarak tanımlanır. Bu farklı iletken malzemelerin iki ucu birleştirilip ısıtıldığında açıkta kalan uçlardan gerilim elde edilir. Birleştirilerek ısıtılan iki nokta sıcak nokta olarak, açıkta kalan iki nokta ise soğuk nokta olarak adlandırılır. Elde edilen gerilim değeri, ısı çifti olarak kullanılan malzemenin cinsi ve birleştirilen iki ucun ısınmasına bağlı olarak değişir. Isıl çiftler maliyetinin düşük olması ve sağlamlıkları sebebiyle sıklıkla kullanılırlar. Yapılan deney uygulamasında ısı çiftleri datalogger ile bağlantısı yapılmak suretiyle yoğun olarak kullanılmıştır.

Üzerinde birkaç ölçü işlevini bir arada bulunduran multimetreler ile akım, voltaj ve direnç ölçümü yapılmaktadır. Ölçüm yapılacak değer multimetrenin ortasında bulunan kademe düğmesi ile ayarlanır. Deney aşamasında sürekli olarak sistemlerden elde edilen voltaj ve akım değerleri kayıt altına alınmış ve sonrasında analiz yapmak üzere bilgisayara aktarılmıştır. Dirençler, elektrik akımına zorluk göstererek, uçları arasında gerilimin düşmesine sebep olurlar. Deneyin uygulanması sırasında gerek CPV sistem gerekse PV sistemden elde edilecek akım ve voltaj değerlerinin ölçümlerinde kullanılmak üzere dirençlerden yararlanılmıştır.

2.4 Maliyet Analiz Metodu

Maliyet analizi sayesinde yatırımın ömrü boyunca yıllık gider ve gelirlerinin bugünkü değerini hesaplamak mümkündür. Ayrıca uygulamaya konulacak projenin ne kadar zaman sonra kara geçeceği de bu analizle belirlenebilir. Maliyet analiz yöntemlerinden Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile çalışmamıza konu olan CPV ve PV sistemlerin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. NBD'nin pozitif değer aldığı durumlarda projelerin uygulanabilir olduğu kabul edilirken, NBD'nin negatif değer aldığı durumlarda projelerin yatırımının uygun olmadığı kabul edilmektedir (URL-22, 2019).

Net Bugünkü Değer aşağıda belirtilen formüller yardımıyla hesaplanır.

$$NBD = \sum_{n=0}^d \frac{NNA_n}{(1+i)^n} \quad (5)$$

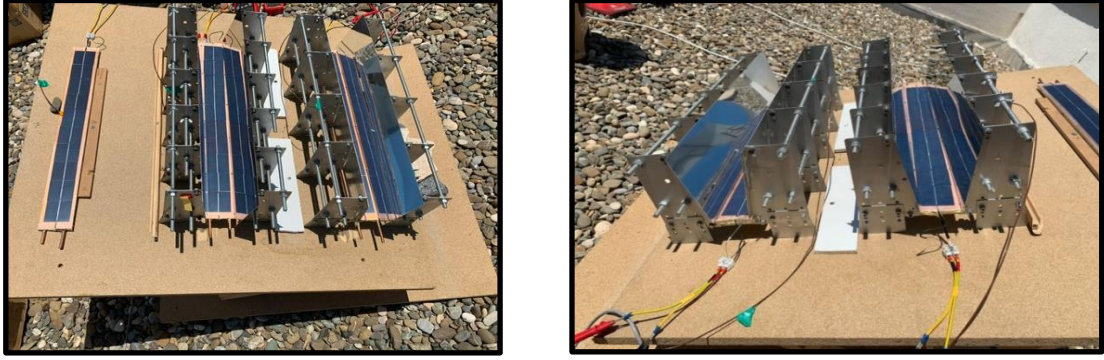
$$a = (1 + i)^n \quad (6)$$

Formüllerde belirtilen bileşenler aşağıdaki gibi ifade edilir.

- NNA : Döneme ait net nakit akışı
i : İskonto oranı
n : Periyot

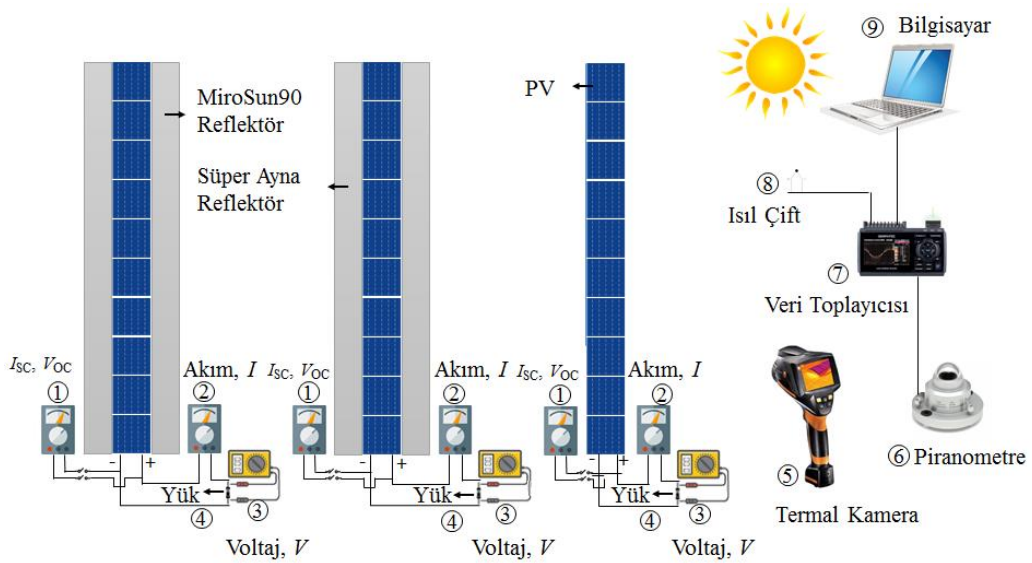
2.5 V-Oluk Yoğunlaştırıcı-PV Sistemin Deneysel Uygulaması

Yapılacak olan deney uygulamaları için Bartın Üniversitesi'nin Kutlubey Yazıcılar kampüsünde bulunan öğretim üyelerine ait idari binanın, 25 m yüksekliğindeki (41.58°N, 32.46°E) çatısı kullanılmıştır. Deney uygulamaları için havanın tamamen açık olması tercih edilmiştir. Platformun yönü güneye çevrilerek güneş ışınlarının dik olarak sistemlere ulaşması sağlanmıştır. İki farklı reflektörün denendiği V-oluk-PV sistemler ile PV sistemin aynı platforma yerleştirilmesiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. 20/07/2019 ve 08/08/2019 tarihlerinde gerçekleştirilen deneylerde sistemlerin üzerine yerleştirildiği platformun eğim açısı 29°'dir. Sistemler bu açı değerinde güneş ışınlarını dik olarak almaktadır.



Şekil 2.16: Platforma monte edilen CPV ve PV sistemler.

Şekil 2.16’da platforma montajı tamamlanmış CPV ve PV sistemlerin görüntüleri yer almaktadır. Her bir sistemin elde edilen açık devre voltajı ölçülürken multimedre sistemlere paralel, kısa devre akımını ölçerken seri olacak şekilde bağlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yatayda birim yüzeye gelen toplam ışınım miktarının ölçülmesinde kullanılan pyranometre üzerinde bulunan dengeleme ayarı sayesinde yüzeye paralel olarak yerleştirilmiştir. Pyranometre’ın datalogger’a bağlanmasıyla da belirlenen zaman aralığında ölçülen değerlerin kaydedilmesi sağlanmıştır. Kısaca veri kayıt cihazı olan datalogger zamana bağlı olarak hem pyranometre’den gelen verileri hem de üzerine bağlantısı gerçekleştirilen termokopllar yardımı ile ölçülen çevre sıcaklık değerlerini bilgisayara aktarmaktadır. Ayrıca sistemlerden elde edilen termal enerjinin resmedilmesi için deney düzeneğinin hemen karşısına konumlandırılan termal kamera aktif hale getirilmiştir. Şekil 2.17’de deney akış şeması görülmektedir.



Şekil 2.17: Deney akış şeması.

Deney düzeneğinin kurulması ve yapılan bağlantıların tekrar kontrol edilmesinden sonra deney için başlama komutu verilmiştir. Deney yapıldığı süre içerisinde sistemlerden elde edilen voltaj ve akım değerlerini gösteren multimetreler sürekli olarak takip edilerek resmedilmiştir. Deney platformunun karşısına konumlandırılan termal kamera ile de sistemlerin termal enerjisi belirli aralıklarla fotoğraflanmıştır. Bunun yanında pyranometer'dan gelen global ışınım miktarı ile termokopl'lardan gelen hava sıcaklık değerleri veri kayıt cihazı datalogger yardımıyla toplanarak bilgisayara anlık olarak kaydedilmiştir. Şekil 2.18'de deney sırasında çekilen görüntüler yer almaktadır.



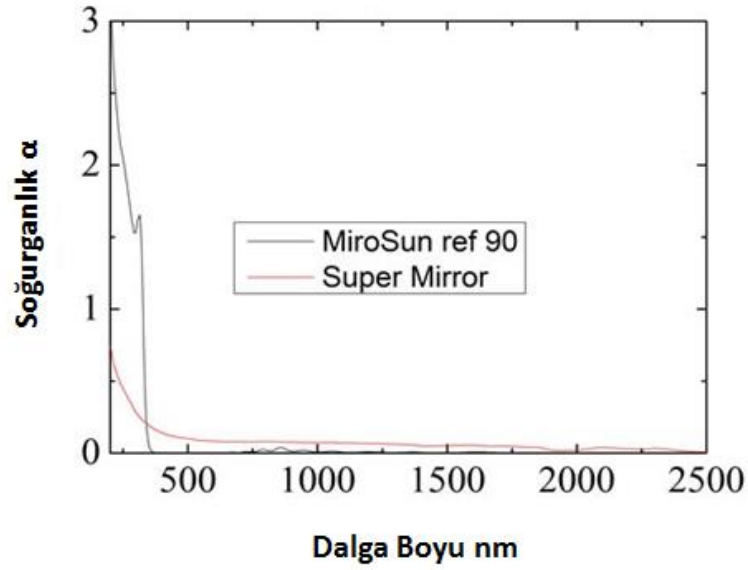
Şekil 2.18: Deney uygulaması.

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Kullanılan Reflektörlerin Yansıtma Oranları ve Emiciliği

Çalışmada kullanılan reflektörlerin emicilik ve yansıtıcılıkları spektrofometre cihazı yardımıyla ölçülerek grafikleştirilmiştir.

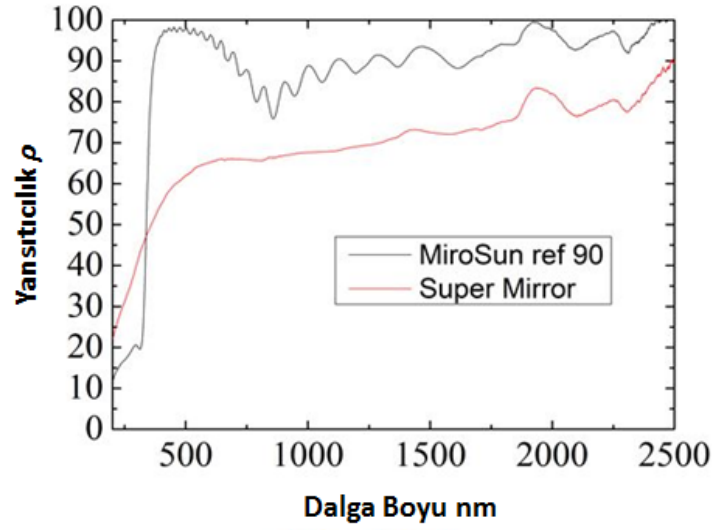


Şekil 3.1: Reflektörlerin ışınım dalga boyuna bağlı soğurganlıkları.

Şekil 3.1'de sistemlerin reflektör kısımlarını oluşturan MiroSun90 ve Süper Ayna'nın dalga boyuna göre soğurganlığı gösterilmektedir. Her iki reflektörün soğurganlıklarının ölçüm işlemi spektrofometre cihazı ile yapılmıştır.

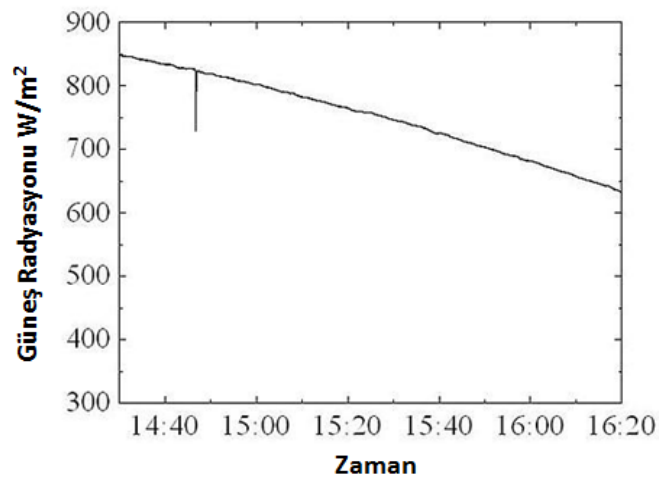
Reflektörler farklı dalga boylarında farklı enerji içermektedir. Fotovoltaik tarafından ne kadar enerji soğurulursa o kadar enerji üretilmektedir. Bu yüzden reflektörlerden bir o kadar da yansıtıcılık özelliğinin fazla olması istenmektedir. Özellikle 0-250 nm dalga boyları arasında MiroSun90 reflektörün soğurganlığının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Fakat 500-2500 nm dalga boyunda Süper Ayna reflektörün soğurganlığı daha fazladır ve bu da daha fazla enerji geçişinin sisteme ulaşmasını engellemektedir.

MiroSun90 reflektörün Süper Ayna reflektöre göre soğurganlığının daha az olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.2: Reflektörlerin ışınım dalga boyuna bağlı yansıtıcılıkları.

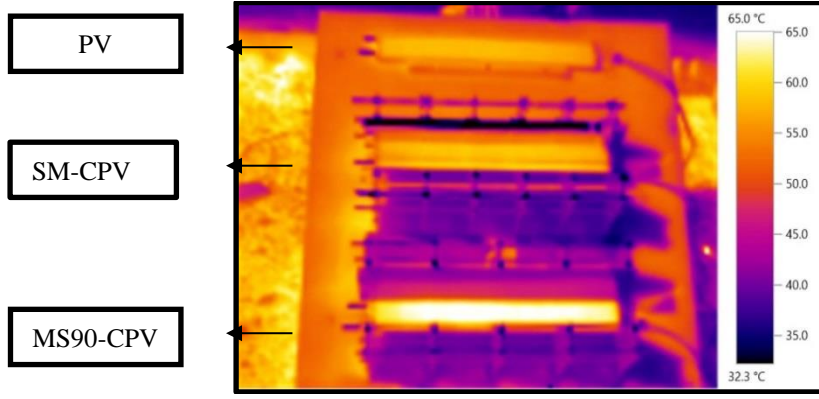
Şekil 3.2'de MiroSun90 ve Süper Ayna reflektörlerinin ışınım dalga boyuna göre yansıtıcılıkları verilmiştir. Her iki reflektörün yansıtıcılıklarının ölçüm işlemi spektrofometre cihazı ile yapılmıştır. Yansıtıcılık özelliği yüksek reflektörler fotovoltaik üzerinde daha fazla ışınımaya yani enerjinin oluşmasına, buna bağlı olarak da daha fazla elektrik üretimine katkı sağlarlar. MiroSun90 reflektörün yansıtıcılığı Süper Ayna reflektörden %27.5 daha fazladır. MiroSun90 reflektörünün enerji kazanımı açısından Süper Ayna reflektöre göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.3'te piranometer aracılığı ile elde edilen güneş radyasyonu değerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 3.3: Zamanla güneş radyasyonu değişimi.

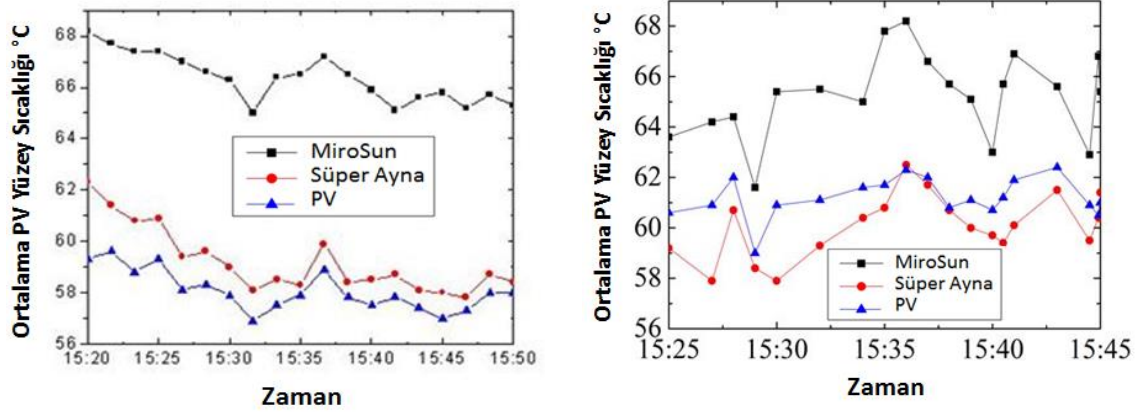
3.2 Fotovoltaik Panel Üzerinde Oluşan Sıcaklık Dağılımları

Şekil 3.4'te V-oluk-PV sistemler ile PV sistemin termal kamera ile çekilen görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.4: Termal kamera görüntüleri.

Termal kamera ile dakikada bir çekilen görüntüler bilgisayara aktarılmıştır. Testo Programı kullanılarak her üç sistem için ortalama sıcaklık ve maximum sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Origin programı ile grafik haline getirilmiştir.



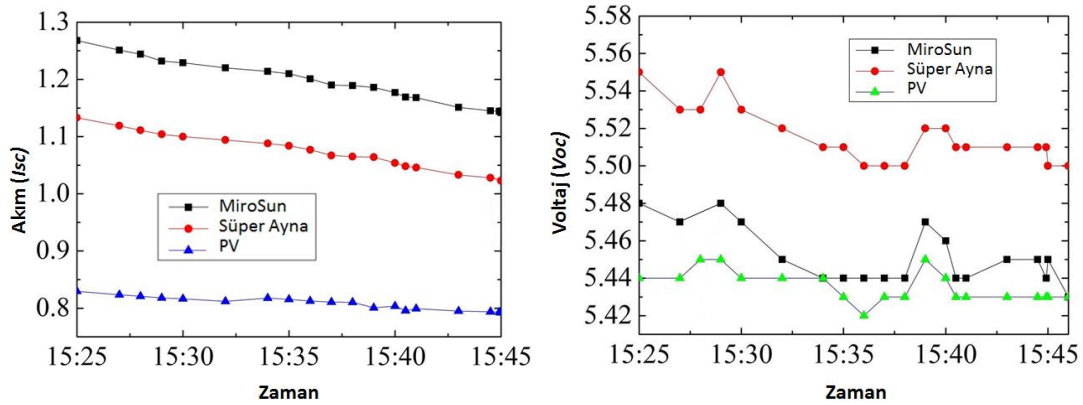
Şekil 3.5: Sistemlerin zamana bağlı ortalama sıcaklık değerleri.

Şekil 3.5'te farklı tarihlerde yapılan deneysel uygulamalarda sistemlerin belirlenen zaman aralığı için ortalama yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı olarak değişimleri görülmektedir. CPV sistemlerden, MS90-CPV sistemin ortalama PV yüzey sıcaklığının SM-CPV sisteme göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. PV yüzey sıcaklığının verimi düşürdüğünü dikkate aldığımızda SM-CPV sistemin daha avantajlı olduğu değerlendirilebilir. Fotovoltaik

sistemin ortalama yüzey sıcaklığı ise SM-CPV sistemle benzer sonuçlar göstermektedir. SM-CPV sistemde ortalama PV yüzey sıcaklığı PV sisteme göre daha hızlı bir düşüş göstermektedir. MS90-CPV sistemin ortalama PV yüzey sıcaklığı SM-CPV sistemden %11.9, PV sistemden %13.8 daha yüksektir.

3.3 Sistemlerin Elektriksel Performansları

Sistemlerin I_{SC} , V_{OC} ve bunlara bağlı olarak elde edilen güç değerlerinin yanında, yük altında elde edilen akım, voltaj ve güç değerlerinin zamana ve sıcaklığa bağlı olarak değişimlerinin grafiksel olarak açıklanacağı bu bölümde ayrıca doluluk oranlarının sistemler bazında karşılaştırılmasına da yer verilmiştir.

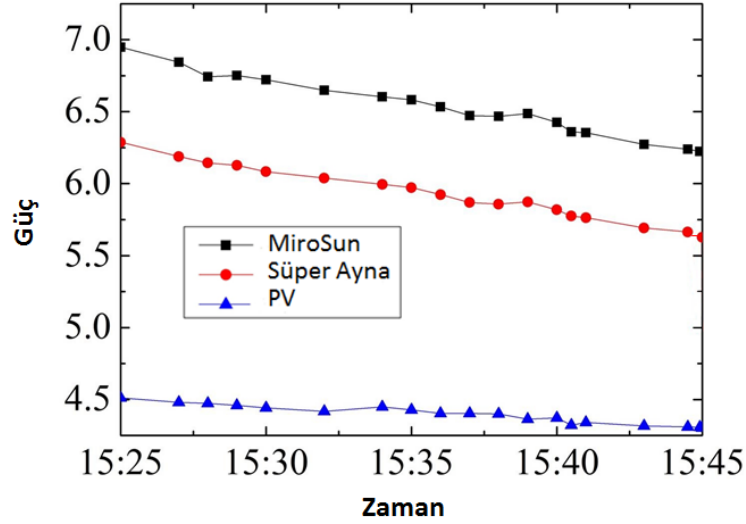


Şekil 3.6: Sistemlerin zamana bağlı I_{SC} ve V_{OC} değerleri.

I_{SC} ve V_{OC} değerlerinin zamana bağlı olarak değişimini gösteren Şekil 3.6'daki grafiklere bakıldığında her üç sistem için de elde edilen kısa devre akım değerinde zamanla negatif yönde bir değişim tespit edilmiştir. Sistemlerden elde edilen I_{SC} değerlerine bakıldığında MS90-CPV sistemden elde edilen I_{SC} değerinin en yüksek, fotovoltaiik sistemden elde edilen I_{SC} değerinin ise en düşük olduğu görülmektedir. MS90-CPV sistemden elde edilen I_{SC} , SM-CPV sistem ile fotovoltaiik sistemden ortalama olarak sırasıyla %16 ve %47 daha yüksek çıkmaktadır.

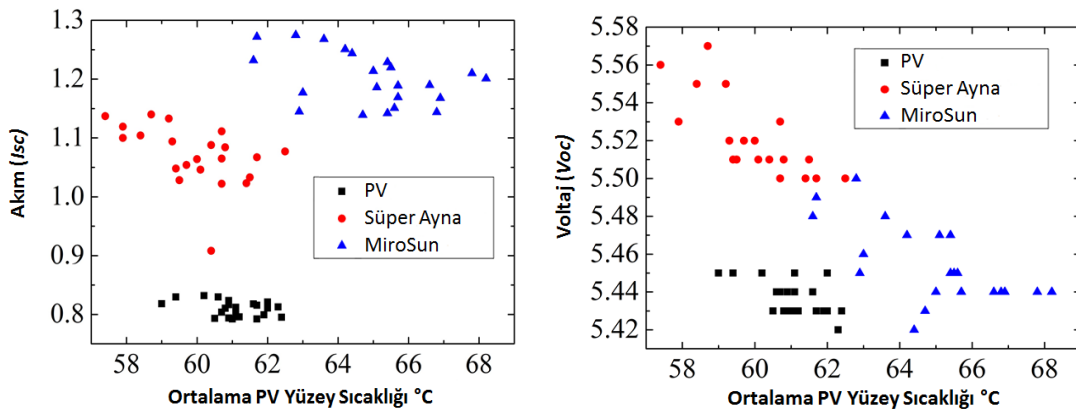
Her üç sistem için de elde edilen açık devre voltaj değerinin zamanla negatif yönde bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. SM-CPV sistemden elde edilen V_{OC} 'nin en yüksek, fotovoltaiik sistemden elde edilen V_{OC} 'nin ise en düşük olduğu görülmektedir. Fotovoltaiik

sistemden elde edilen V_{OC} değerinin zamanla değişiminin diğer sistemlerle kıyaslandığında çok sınırlı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7: Sistemlerin I_{sc} ve V_{oc} 'na bağlı güç üretimlerinin zamanla değişimi.

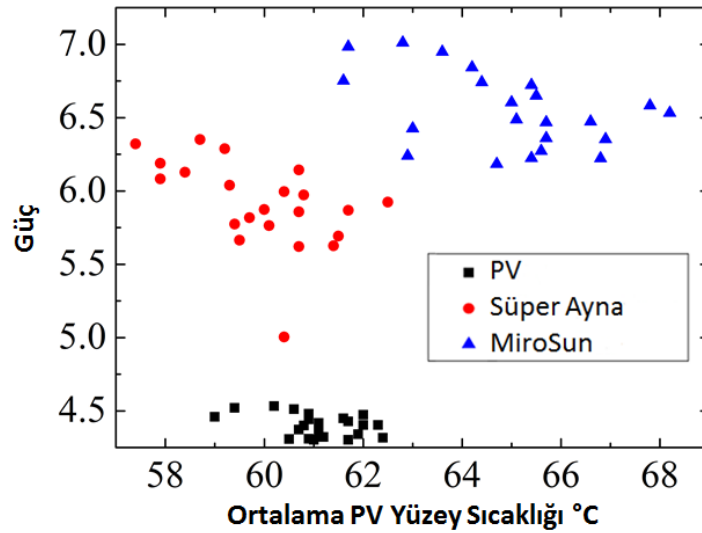
I_{sc} ve V_{oc} 'na bağlı olarak sistemlerden elde edilen gücün zamanla değişimini gösteren Şekil 3.7'deki grafiğe bakıldığında her üç sistem için de elde edilen gücün zamanla negatif yönde bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Sistemlerin ürettikleri güçlere bakıldığında ise MS90-CPV sistemden elde edilen gücün en yüksek, fotovoltaik sistemden elde edilen gücün ise en düşük olduğu görülmektedir. MS90-CPV sistemden I_{sc} ve V_{oc} 'na bağlı olarak elde edilen güç, SM-CPV sistem ile fotovoltaik sistemden ortalama olarak sırasıyla %8 ve %58 daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 3.8: I_{sc} ve V_{oc} değerinin ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimi.

I_{SC} ve V_{OC} değerlerinin ortalama fotovoltaik yüzey sıcaklığına göre değişiminin gösterildiği Şekil 3.8'deki grafiklere bakıldığında, her üç sistemde ortalama yüzey sıcaklığı ile buna karşılık gelen I_{SC} ve V_{OC} değerlerinin zamanla azaldığı görülmektedir. SM-CPV sistemin diğer sistemlere göre PV yüzey sıcaklığı daha düşük, elde edilen V_{OC} değeri daha yüksektir.

Grafiklerden elde edilen değerleri ifade edelim. Fotovoltaik sistem için ortalama yüzey sıcaklık değeri 60-62 °C aralığında ve buna karşılık gelen I_{SC} değeri 0.8 A, V_{OC} değeri ise 5.42-5.45 V aralığındadır. SM-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 58-62 °C aralığında ve buna karşılık gelen I_{SC} değeri 1-1.1 A, V_{OC} değeri 5.5-5.55 V aralığındadır. MS90-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 62-68 °C aralığında ve buna karşılık gelen I_{SC} değeri 1.1-1.3 A, V_{OC} değeri 5.42-5.5 V aralığındadır.

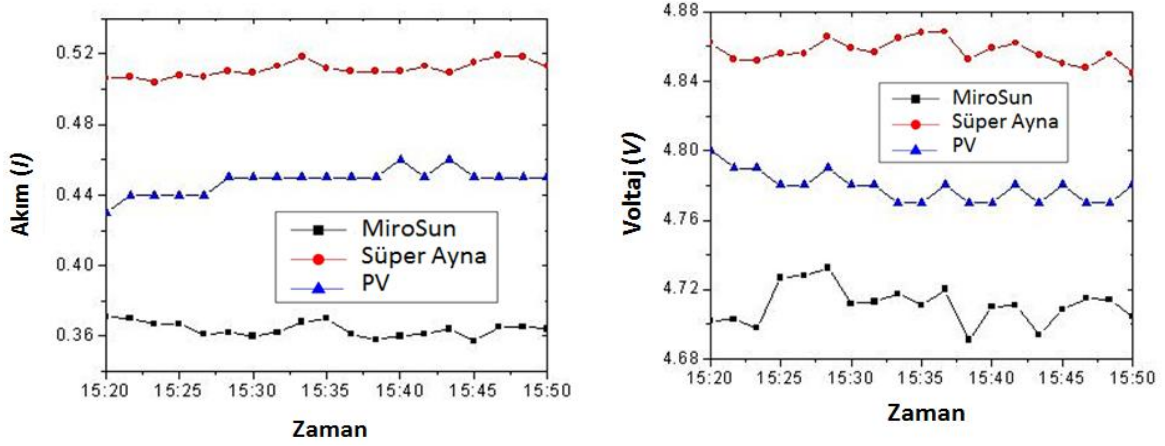


Şekil 3.9: I_{SC} ve V_{OC} 'na bağlı gücün ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimi.

Sistemlerin I_{SC} ve V_{OC} 'na bağlı güç üretimlerinin ortalama yüzey sıcaklıklarına göre değişimini gösteren Şekil 3.9'daki grafiğe bakıldığında, her üç sistem için de elde edilen gücün zamanla negatif yönde bir değişim gösterdiği tespit edilmiştir. MS90-CPV sistemin PV yüzeyi fazla ısınmasına karşın elde edilen güç değeri daha yüksektir.

Grafiklerden elde edilen değerleri ifade edelim. Fotovoltaik sistem için ortalama yüzey sıcaklık değeri 60-62 °C aralığında ve buna karşılık gelen I_{SC} ve V_{OC} 'na bağlı güç değeri 4.5 W'tır. Yoğunlaştırıcı reflektör olarak SM-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri

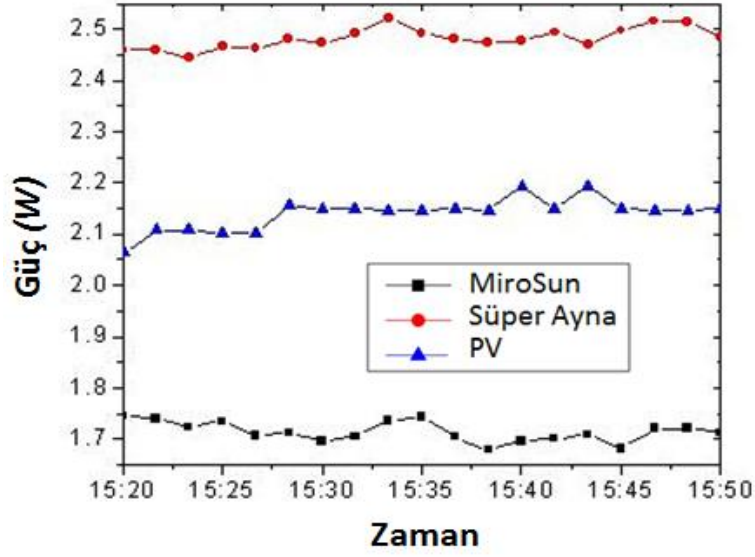
58-62 °C aralığında ve buna karşılık gelen I_{SC} ve V_{OC} 'na bağlı güç değeri 5.5-6.5 W aralığındadır. MS90-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 62-68 °C aralığında ve buna karşılık gelen I_{SC} ve V_{OC} 'na bağlı güç değeri 6.25-7 W aralığındadır.



Şekil 3.10: Sistemlerin zamana bağlı akım ve voltaj değerleri değişimi.

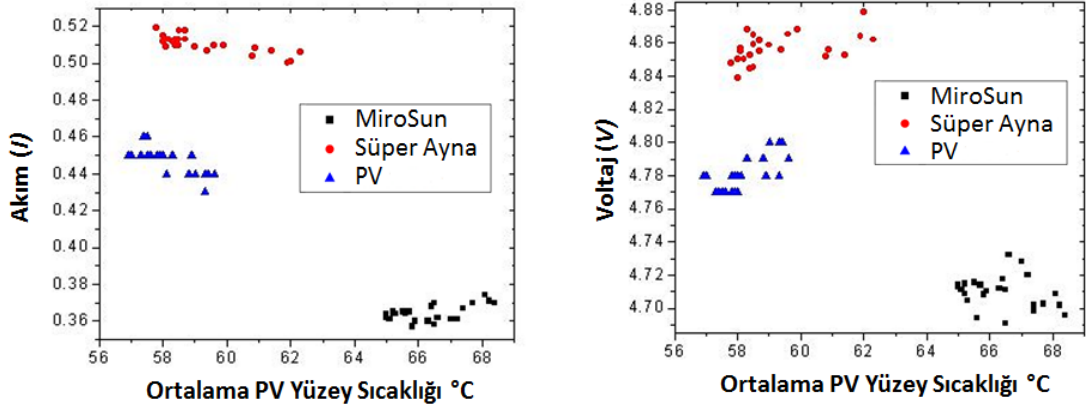
Akım ve voltaj değerlerinin zamana bağlı değişimini gösteren Şekil 3.10'daki grafiklere bakıldığında MS90-CPV sistemin akım değerinin zamanla çok az da olsa düştüğü görülürken diğer iki sistemin akım değerinde artış görülmektedir. SM-CPV sistemden elde edilen akım değerinin en yüksek, MS90-CPV sistemden elde edilen akım değerinin ise en düşük olduğu görülmektedir. SM-CPV sistemden elde edilen akım, MS90-CPV sistem ile fotovoltaik sistemden ortalama olarak sırasıyla %38 ve %13 daha yüksek çıkmaktadır.

Her üç sistemden elde edilen voltaj değeri zamanla negatif yönde bir değişim göstermektedir. Sistemlerden elde edilen voltaj değerinin reflektör olarak SM-CPV sistemde en yüksek, MS90-CPV sistemde ise en düşük olduğu görülmektedir. Fotovoltaik sistemden elde edilen voltaj değerinin zamanla değişiminin diğer sistemlerle kıyaslandığında sınırlı olduğu görülmektedir. SM-CPV sistemden elde edilen voltaj değeri MS90-CPV sistem ile fotovoltaik sistemden ortalama olarak sırasıyla %3.63 ve %3.41 daha yüksektir.



Şekil 3.11: Sistemlerin zamana bağlı güç üretimleri.

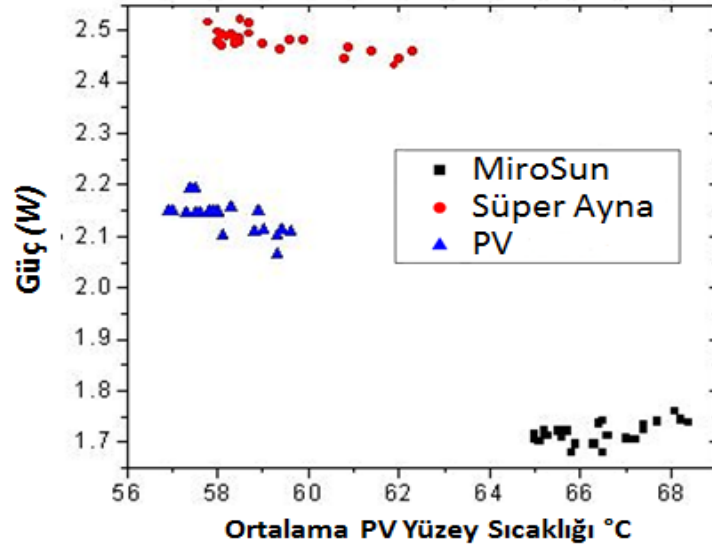
Sistemlerden elde edilen gücün zamanla değişimini gösteren Şekil 3.11'deki grafiğe bakıldığında MS90-CPV sistemden elde edilen güç değerinin zamanla az da olsa düştüğü görülürken diğer iki sistemden elde edilen güç değerinde artış görülmektedir. SM-CPV sistemden elde edilen güç değeri en yüksek, MS90-CPV sistemden elde edilen güç değeri ise en düşüktür. SM-CPV sistemden elde edilen güç, MS90-CPV sistem ile PV sistemden ortalama olarak sırasıyla %43 ve %18 daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 3.12: Sistemlerin I ve V değerinin ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimi.

Sistemlerden elde edilen akım ve voltaj değerinin ortalama PV yüzey sıcaklığına göre değişimini gösteren Şekil 3.12'deki grafiklere bakıldığında, SM-CPV sistemin PV yüzeyi, MS90-CPV sisteme göre daha az ısınmaktadır. En yüksek akım ve voltaj değerine SM-CPV sistemde ulaşılmaktadır.

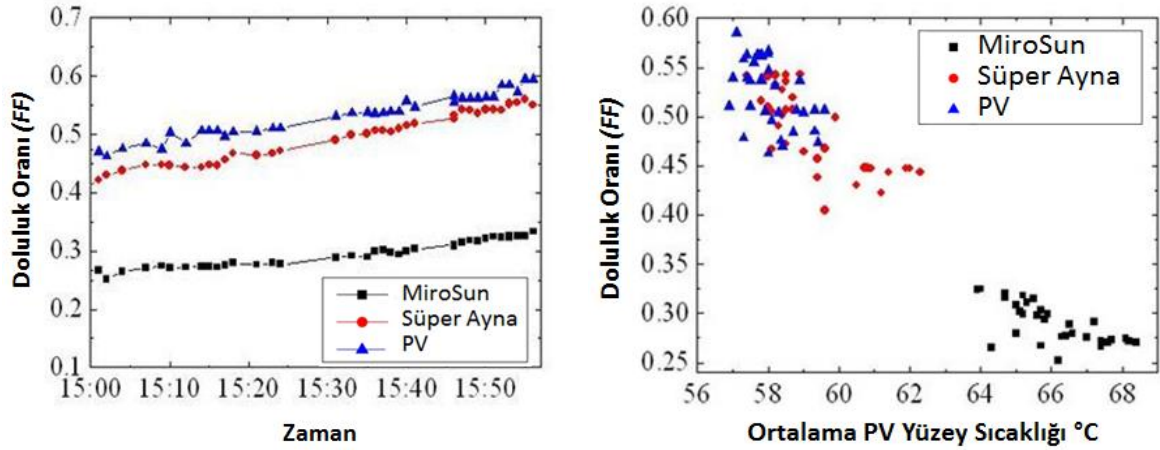
Grafiklerden elde edilen değerleri ifade edelim. Fotovoltaik sistem için ortalama yüzey sıcaklık değeri 56-60 °C aralığında ve buna karşılık gelen akım değeri 0.44-0.46 A, voltaj değeri 4.76-4.80 V aralığındadır. SM-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 58-62 °C aralığında ve buna karşılık gelen akım değeri 0.50-0.52 A, voltaj değeri 4.84-4.88 V aralığındadır. MS90-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 65-69 °C aralığında ve buna karşılık gelen akım değeri 0.36-0.38 A, voltaj değeri 4.70-4.72 V aralığındadır.



Şekil 3.13: Sistemlerin ortalama yüzey sıcaklıklarına bağlı güç üretimleri.

Sistemlerin ortalama yüzey sıcaklıklarına bağlı güç üretimlerini gösteren Şekil 3.13'teki grafiğe bakıldığında, fotovoltaik sistemde ortalama yüzey sıcaklık değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. SM-CPV sistemin PV yüzeyi, MS90-CPV sisteme göre daha az ısınmakta hatta PV sisteme yakın değerler almaktadır. En yüksek güç değeri SM-CPV sistemde elde edilirken MS90-CPV sistem en düşük güç değerine sahiptir.

Grafiklerden elde edilen değerleri ifade edelim. Fotovoltaik sistem için ortalama yüzey sıcaklık değeri 58-60 °C aralığında ve buna karşılık gelen güç değeri 2.1-2.2 W aralığındadır. SM-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 58-62 °C aralığında ve buna karşılık gelen güç değeri 2.4-2.5 W aralığındadır. MS90-CPV sistemde ortalama yüzey sıcaklık değeri 65-68 °C aralığında ve buna karşılık gelen güç değeri 1.7-1.8 W aralığındadır.



Şekil 3.14: Doluluk oranının zaman ve ortalama PV yüzey sıcaklığına bağlı değişimi.

Sistemlerin doluluk oranlarının zamanla ve ortalama PV yüzey sıcaklığına bağlı değişiminin gösterildiği Şekil 3.14'teki grafiğe bakıldığında PV sistemin en yüksek doluluk oranına sahip olduğu görülmektedir. SM-CPV sistem, PV sisteme çok yakın değerler alırken MS90-CPV sistem en düşük doluluk oranına sahiptir. Bunun yanında her üç sistemin de zamanla doluluk oranlarında artış görülmektedir. CPV sistemlerin doluluk oranının PV sistemin gerisinde kalmasının sebebi güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasına bağlı olarak fotovoltaik yüzeyin daha fazla ısınmasıdır. SM-CPV sistemin yoğunlaştırmaya rağmen PV sisteme çok yakın değerler alması oldukça önemlidir.

3.4 Sistemlerin Maliyet Analizi

Güneş enerjisi teknolojilerinin maliyetinin yüksekliği yaygın kullanımının önündeki en önemli engellerden biridir. Bu sebeple deney uygulaması yapılan sistemlerin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisinden ülkemizde yıllık olarak faydalanma süresi olan aydınlatma süresi 2640 saat, elektriğin kWh ücreti 0.944491 TL olarak alınmıştır (URL-23, 2019). PV modül ile boyu 0.14 m ve genişliği 0.52 m olan iki adet reflektörlerden oluşan CPV sistemler ile PV sistemin herbirinden elde edilen akım ve voltaj değerlerinden faydalanarak saatte ortalama olarak üretilen güce ulaşılmıştır.

Tablo 3.1: Her bir sistemin ürettiği güç.

Sistem	Üretilen Güç (W)
PV	2.14
SM-CPV	2.49
MS90-CPV	1.72

Sistemlerin ürettiği gücün gösterildiği Tablo 3.1’de yük altında gerçekleştirilen deney uygulamasında elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. SM-CPV sistem 2.49 W ile en yüksek güç değerine sahipken onu sırasıyla 2.14 W ile PV sistem ve 1.72 W ile MS90-CPV sistem takip etmektedir.

Tablo 3.2: Her bir sistemin ürettiği enerji ve yıllık getirisi ile ortalama maliyet.

Sistem	Ürettiği Enerji (kWh/yıl)	Yıllık Getiri (TL)	Yaklaşık Maliyet (TL)
PV	5.65	5.34	20.3
SM-CPV	6.57	6.2	23.17
MS90-CPV	4.54	4.29	35

Sistemlerin ürettiği enerji ve buna bağlı olarak yıllık getirisi ile ortalama maliyetlerinin gösterildiği Tablo 3.2’de, yıllık getirisi en yüksek olan SM-CPV sistem, yıllık getirisi en düşük olan ise MS90-CPV sistemdir. Sistemler tarafından üretilen gücün yıllık olarak ne kadarlık bir enerjiye karşılık geldiği, ülkemizin aydınlatma süresi ile her bir sistemin ürettiği gücün çarpımı yapılarak, PV sistem için 5.65 kWh, SM-CPV sistem için 6.57 kWh ve MS90-CPV sistem için de 4.54 kWh bulunmuştur. Bulunan bu değerler ile ülkemizdeki elektriğin kWh ücreti çarpılarak da yıllık getiri hesaplanmıştır. Bunun yanında sistemlerden kurulum maliyeti en uygun olan PV sistem, en yüksek olan sistem ise reflektör maliyetinin oldukça yüksek olduğu MS90-CPV sistemdir. MS90-CPV sistemin en düşük yıllık getiri ve en yüksek maliyete sahip olduğu görülmektedir.

Her üç sistemin geri ödeme süresini hesaplayarak tablo haline getirelim. Öncelikle PV sistemin geri ödeme süresinde, Tablo 3.2’de belirtilen değerleri Net Bugünkü Değer yönteminde yerine koyacak olursak;

$$NBD_{PV} = -\frac{20.3}{(1+0.10)^0} + \frac{5.34}{(1+0.10)^1} + \frac{5.34}{(1+0.10)^2} + \frac{5.34}{(1+0.10)^3} + \frac{5.34}{(1+0.10)^4} + \frac{5.34}{(1+0.10)^5} + \frac{5.34}{(1+0.10)^6}$$

$$NBD_{PV} = 2.96$$

elde edilir.

Tablo 3.3: PV sistemin geri ödeme süresi.

Periyot (Yıl)	0	1	2	3	4	5	6
Yatırım maliyeti (TL)	-20.3						
Yıllık Getiri		5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34
Faiz oranı	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
a	0.91	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56
NBD		4.85	4.41	4.01	3.65	3.32	3.01
		-15.45	-11.03	-7.02	-3.37	-0.06	2.96

PV sistemin yıllık getirisi ile yaklaşık maliyetinden hareket edilerek yatırımın geri ödeme süresinin hesaplandığı Tablo 3.3'te, PV sistemin 6 yılın sonunda geri ödemesini gerçekleştirdiği görülmektedir.

SM-CPV sistemin geri ödeme süresini hesaplayalım.

$$NBD_{SA} = -\frac{23.17}{(1+0.10)^0} + \frac{6.2}{(1+0.10)^1} + \frac{6.2}{(1+0.10)^2} + \frac{6.2}{(1+0.10)^3} + \frac{6.2}{(1+0.10)^4} + \frac{6.2}{(1+0.10)^5}$$

$$NBD_{SA} = 0.33$$

elde edilir.

Tablo 3.4: SM-CPV sistemin geri ödeme süresi.

Periyot (Yıl)	0	1	2	3	4	5
Yatırım maliyeti (TL)	-23,47					
Yıllık Getiri		6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Faiz oranı	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
a	0,91	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62
NBD		5,64	5,12	4,66	4,23	3,85
		-17,83	-12,71	-8,05	-3,82	0,03

SM-CPV sistemin yıllık getirisi ile yaklaşık maliyetinden hareket edilerek yatırımın geri ödeme süresinin hesaplandığı Tablo 3.4'e bakıldığında 5 yılın sonunda sistemin geri ödemesini gerçekleştirdiği görülmektedir.

MS90-CPV sistemin geri ödeme süresini hesaplayacak olursak;

$$\begin{aligned}
 NBD_{MS} = & - \frac{35}{(1+\%10)^0} + \frac{4.29}{(1+\%10)^1} + \frac{4.29}{(1+\%10)^2} + \frac{4.29}{(1+\%10)^3} + \frac{4.29}{(1+\%10)^4} + \frac{4.29}{(1+\%10)^5} + \frac{4.29}{(1+\%10)^6} \\
 & + \frac{4.29}{(1+\%10)^7} + \frac{4.29}{(1+\%10)^8} + \frac{4.29}{(1+\%10)^9} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{10}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{11}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{12}} \\
 & + \frac{4.29}{(1+\%10)^{13}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{14}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{15}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{16}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{17}} + \frac{4.29}{(1+\%10)^{18}}
 \end{aligned}$$

$$NBD_{MS} = 0.18$$

elde edilir.

Son olarak MS90-CPV sistemin Net Bugünkü Değer yöntemiyle hesapladığımız geri ödeme süresini tablo haline getirelim.

Tablo 3.5: MS90-CPV sistemin geri ödeme süresi.

Periyot	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Yatırım M.(TL)	-35																		
Yıllık Getiri		4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
Faiz oranı	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
a	0,91	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18
NBD		3,9	3,55	3,22	2,93	2,66	2,42	2,20	2,00	1,82	1,65	1,50	1,37	1,24	1,13	1,03	0,93	0,85	0,77
		-31,1	-27,55	-24,33	-21,4	-18,74	-16,32	-14,11	-12,11	-10,29	-8,64	-7,14	-5,77	-4,53	-3,4	-2,37	-1,44	-0,59	0,18

MS90-CPV sistemin yıllık getirisi ile yaklaşık maliyetinden hareket edilerek yatırımın geri ödeme süresinin hesaplandığı Tablo 3.5'te 18 yılın sonunda sistemin geri ödemesini gerçekleştirdiği görülmektedir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

V-oluk tipi yoğunlaştırıcının yansıtıcı reflektör olarak kullanıldığı CPV sistemde, yansıtma oranları farklı reflektör kullanımının PV yüzeyindeki ısınmaya etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yansıtma oranı ortalama olarak %71.6 ile %91.3 olan iki farklı reflektör ile fotovoltaik panellerin birleştirildiği V-oluk yoğunlaştırıcı-PV sistemler ile PV sistemin deneysel olarak performansları ölçülmüştür. Fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklığının uniformluğu, termal kamera kullanılarak maksimum ve ortalama sıcaklık değerlerinin analizi yapılmak suretiyle tespit edilmiştir. Sistemlerin açık devre voltajı, kısa devre akım değerleri ile elektriksel performansları multimetreler yardımıyla belirlenmiştir. Ayrıca güneş radyasyonunun ölçümü, yapılacak analizlerde kullanılmak üzere deney süresince anlık olarak kaydedilmiştir.

Uygulanan deneyler sonrasında gerçekleştirilen analizlerde aşağıda listelenen sonuçlar elde edilmiştir.

1. CPV ve PV sistem için uygulaması yapılan deneylerde elektriksel performans ile sistemlerden elde edilen çıkış gücünün fotovoltaik modül yüzey sıcaklığından doğrudan etkilendiği tespit edilmiştir.
2. CPV ve PV sistemlerin yük altındaki çalışma koşullarında yapılan ölçümlerinde MS90-CPV sistemden en düşük çıkış gücü elde edilirken, SM-CPV sistemden ise en yüksek çıkış gücü elde edilmiştir. SM-CPV sistemden elde edilen çıkış gücü MS90-CPV sistemden yaklaşık olarak %43, PV sistemden %18 daha fazladır. SM-CPV sistemden elde edilen akım, MS90-CPV sistem ile fotovoltaik sistemden ortalama olarak sırasıyla %38 ve %13 daha yüksek çıkmaktadır. SM-CPV sistemden elde edilen voltaj ise MS90-CPV sistem ile fotovoltaik sistemden ortalama olarak sırasıyla %3.63 ve %3.41 daha yüksektir.
3. Genel olarak bakıldığında soğurganlığı daha az, yansıtıcılık özelliği daha fazla olan yoğunlaştırıcı reflektör MiroSun90 kullanılan CPV sistemin PV yüzeyi fazla ısınmasına karşın elde edilen I_{sc} değeri daha yüksektir. Yük altındaki çalışma koşulları altında

sistemden elde edilen çıkış gücünün diğer sistemlerden geride kalması PV yüzeyinin aşırı derecede ısınmasından kaynaklanmaktadır. PV yüzey sıcaklığının düşürülmesi için sistemin soğutulması önerilmektedir. MS90-CPV sistemin ortalama PV yüzey sıcaklığı SM-CPV sistemden %11.9, PV sistemden %13.8 daha yüksektir.

4. Genel olarak bakıldığında soğurganlığı daha fazla, yansıtıcılık özelliği daha az olan yoğunlaştırıcı reflektör Süper Ayna kullanılan CPV sistemin PV yüzeyi daha az ısınmasına karşın elde edilen I_{SC} değeri MS90-CPV sistemden daha düşük çıkmaktadır. MS90-CPV sistemden elde edilen I_{SC} , SM-CPV sistem ile fotovoltaik sistemden ortalama olarak sırasıyla %16 ve %47 daha yüksek çıkmaktadır. SM-CPV sistemden elde edilen V_{OC} değeri ise diğer sistemlerden daha yüksektir.

5. %71.6 yansıtıcılık oranına sahip Süper Ayna reflektörün maliyeti %91.3 yansıtıcılık oranına sahip MiroSun90 ile karşılaştırıldığında oldukça uygundur. Maliyetinin uygun oluşu ve yük altındaki çalışma koşullarında veriminin en yüksek değere ulaşması sebebiyle ısı güneş enerjisi teknolojilerinden biri olan V-oluk tipi yoğunlaştırıcının reflektör olarak kullanıldığı CPV sistemlerde Süper Ayna reflektörün tercih edilmesi uygun olacaktır. Yansıtıcılık oranı yüksek reflektör kullanımı hem maliyet hem de elde edilen elektriksel verim açısından uygun değildir.

6. Termal kamera vasıtasıyla sistemlerden elde edilen görüntülerin analizi yapıldığında ortalama sıcaklık ve maksimum sıcaklık değerindeki farklılığın fotovoltaik hücre üzerindeki ışın dağılımının uniform oluşuna bağlı olduğu görülmüştür. Bu farklılığın sebep olduğu verim kaybını azaltılması ve oluşan sıcak bölgelerin uniform hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bunun sonucunda fotovoltaik modülden elde edilecek elektriksel performans ve gücün artırılmasına çalışılmıştır.

7. CPV ve PV sistemlerde hücre üzerinde meydana gelen aşırı ısınmanın önüne geçmek için sistemlerin soğutularak verimin artırılması sağlanabilir. Bu sayede hücre üzerindeki aşırı ısınma engellenerek sistemlerin aşırı ısınmasına sebep olan bu ısı termal enerji olarak değerlendirilir ve toplam verim artışı sağlamak mümkün olabilir.

8. Yoğunlaştırıcıların kullanıldığı CPV sistemler, PV sistemlere göre elektriksel güç, I_{SC} ve V_{OC} değerleri açısından karşılaştırıldığında daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

9. Deneysel uygulamalarda güneş ışınımının yoğunlaştırıcı sistemlere gelişinde yapmış olduğu açı zamanla orantılı olarak maksimum kabul açısına yaklaştıkça termal kamera görüntülerinde görüldüğü üzere ortalama sıcaklık değeri ile maksimum sıcaklık değeri arasında fark oluşturmaktadır. Yani güneş ışınımının maksimum geliş açısına yaklaşması fotovoltaik yüzeyde sıcak noktaların oluşumuna sebep olmaktadır. Elektriksel performansın azalmasına sebep olan bu sıcak noktaların oluşumunun engellenmesi için farklı yoğunlaştırıcı geometrileri belirlenebilir.

10. CPV ve PV sistemlerde fotovoltaik yüzeydeki ortalama sıcaklık değerleri birbiri ile kıyaslandığında, güneş radyasyonundaki azalmaya paralel olarak bütün sistemlerde ortalama PV yüzey sıcaklığı düşmüştür. Ortalama PV yüzey sıcaklıklarındaki düşüşün Süper Ayna reflektörünün kullanıldığı CPV sistemde, MiroSun90 reflektörün kullanıldığı sisteme göre daha fazla olduğu görülmüştür.

11. Güneş radyasyonundaki düşüğe paralel olarak her üç sistemde görülen fotovoltaik panel yüzey sıcaklığındaki düşüşün yük altındaki çalışma koşullarında sadece MS90-CPV sistemin çıkış gücünde azalmaya sebep olduğu görülmüştür.

12. Yapılan çalışmalar, CPV sistemlerde V-ölük tipi yoğunlaştırıcının yansıtıcı reflektör olarak kullanılmasının uygun olduğunu, bununla birlikte yansıtıcı reflektör seçiminde yansıtma oranının uygunluğunun temel belirleyici unsur olduğunu, yüksek yansıtma oranına sahip reflektör kullanımının PV yüzeyinde aşırı ısınmaya bağlı olarak verimi düşürdüğünü göstermiştir.

13. Sistemlerin kurulum maliyeti açısından kıyaslamasını yapacak olursak SM-CPV sistemin kurulum maliyetinin, reflektör fiyatının ekonomik oluşu sebebiyle MS90-CPV sisteme göre yaklaşık olarak %34 daha uygun olduğu görülmüştür.

14. Sistemlerin maliyet analizini yaparak geri ödeme süresini hesapladığımızda, SM-CPV sistemin geri ödeme süresinin 5 yıl olduğu görülmüştür. MS90-CPV sistemin geri ödeme süresi 18 yıl, PV sistemin geri ödeme süresi ise 6 yıl olarak tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Al-Shohani, W.A.M, Al-Dadah, R., Mahmoud, S. ve Algareu, A. (2016). Optimum design of V-trough concentrator for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 140: 241-254.
- Amanlou, Y., Hashjin, T.T., Ghobadian, B., Najafi, G. ve Mamat R. (2016). A comprehensive review of Uniform Solar Illumination at Low Concentration Photovoltaic (LCPV) Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 1430-1441.
- Ateş, M. (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş enerjisi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Haziran 2009
- Baig, H., Sarmah, N., Heasman, K.C. ve Mallick T.K. (2013). Numerical modelling and experimental validation of a low concentrating photovoltaic system. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 113: 201-219.
- Bedeloğlu, A., Demir, A. ve Bozkurt, Y. (2010). Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 4 No: 2 (43-58)*
- Bergene, T. ve Lovvik, O.M. (1995). Model Calculations On A Flat-Plate Solar Heat Collector with Integrated Solar Cells, *Solar Energy*, 55 (6): 453-462.
- Bione, J., Vilela, O.C. ve Fraidenraich N. (2004). Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. *Solar Energy*, 76 (6): 703-711.
- Britt, J. ve Ferekides, C. (1993). *Applied Physics Letters*, 62: 2851.
- Cabral, D. ve Karlsson B.O. (2018). Electrical ve thermal performance evaluation of symmetric truncated C-PVT trough solar collectors with vertical bifacial receivers. *Solar Energy*, 174: 683-690.
- Canavarro, D., Chaves, J. ve Pereira, M.C. (2016). A novel Compound Elliptical type Concentrator for parabolic primaries with tubuler receiver. *Solar Energy*, 134: 383-391.
- Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi; Cilt 17-No 3:17-33.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdı, M., Ruslan, I. ve Kazem, H. (2014). Performance analysis of photovoltaic thermal (pvt) water collectors, *Energy Conversion and Management*; 78: 641-651.

- Guiqiang, L., Gang, P., Yuehong, S., Jie, J. ve Riffat, S.B. (2013). Experiment and simulation study on the flux distribution of lens-walled compound parabolic concentrator compared with mirror compound parabolic concentrator. *Energy*, 58: 398-403.
- Gül, M. ve Akyüz, E. (2019). Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Bilim Enstitüsü Dergisi*, 21 (1): 444-458.
- Karamanav, M. (2007). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Kasaeian, A., Tabasi, S., Ghaderian, J. ve Yousefi, H. (2018). A review on parabolic trough/Fresnel based photovoltaic thermal systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91: 193-204.
- Künnemeyer, R., Anderson, T.N., Duke, M. ve Carson, J.K. (2014). Performance of a V-trough photovoltaic/thermal concentrator. *Solar Energy*, 101: 19-27.
- Li, M., Ji, X., Li, G.L., Wei, S.X., Li, Y.F. ve Shi, F. (2011). Performance study of solar cell arrays based on a trough concentrating photovoltaic/thermal system. *Applied Energy*, 88 (9): 3218-3227.
- Liang, D. ve Pereira, R. (2007). Diode pumping of a solid-slate laser rod by a two-dimensional CPC- elliptical cavity intervening optics. *Optics Communications*, 275 (1): 104-115.
- Maiti, S., Banerjee, S., Vyas, K., Patel, P. ve Ghosh, P.K. (2011). Self regulation of photovoltaic module temperature in V-trough using a metal-wax composite phase change matrix. *Solar Energy*, 85 (9): 1805-1816.
- Manokar, A.M., Winston, D.P. ve Vimala, M. (2016). Performance Analysis Of Parabolic Trough Concentrating Photovoltaic Thermal System. *Procedia Technology*, 24: 485-491.
- Michael, J.J, Iqbal, S.M., Iniyar, S. ve Goic, R. (2018). Enhanced electrical performance in a solar photovoltaic module using V-trough concentrators. *Energy*, 148: 605-613.
- Qin, L., Wang, Y., Vivar, M., Huang, Q., Zhu, L., Fuentes, M. ve Wang, Z. (2015). Comparison of photovoltaic and photocatalytic performance of non-concentrating and V-trough SOLWAT (solar water purification and renewable electricity generation) systems for water purification. *Energy*, 85: 251-260.
- Özbeç, U. (2018). Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik (CPV) Sistemlerde Fotovoltaik (PV) Yüzey Sıcaklığının Sistem Performansına Etkisinin İncelenmesi Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Rabl, A. (1976). Comparison of solar concentrators, *Solar Energy*, 18 (2): 93-111.

- Rawat, P. ve Dhiran, T.S. (2017). Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems, *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*; 3 (1).
- Reddy, K.S., Vikram, T.S. ve Mallick, T.K (2018). Experimental performance investigations of an elliptical hyperbolic non-imaging solar concentrator with trapezoidal surface receiver for process heat applications. *Journal of Cleaner Production*, 192: 735-750.
- Reddy, K.S., Vikram, T.S., Mallick, T.K ve Sharon, H. (2014). Design and optimisation of elliptical hyperboloid concentrator with helical receiver. *Solar Energy*, 108: 515-524.
- Rosales, A.A. ve Gutierrez R.M. (2018). Optimization of V-Trough photovoltaic concentrators through genetic algorithms with heuristics based on Weibull distributions. *Applied Energy*, 212: 122-140.
- Sangani, C.S. ve Solanki, C.S. (2007). Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91: 453-459.
- Sangani, C.S., Solanki, C.S., Gunashekar, D. ve Antony, G. (2008). Enhanced heat dissipation of V-trough PV modules for better performance. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92 (12): 1634-1638
- Saravanan, A., Senthilkumaar, J.S. ve Jaisankar, S. (2016). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of twist inserted V-trough thermosyphon solar water heating system. *Energy*, 112: 642-654.
- Schmitz, M., Wiik, N., Ambrosetti, G., Pedretti, A., Paredes, S., Ruch, P., Michel, B. ve Steinfeld, A. (2017). A 6 - Focus High Concentration Photovoltaic Thermal Dish System. *Solar Energy*, 155: 445-463
- Shaltout, M.A.M., Ghetas A. ve Sabry, M. (1995). V-Trough Concentrator On A Photovoltaic Full Tracking System In A Hot Desert Climate. *Renewable Energy*, 6 (5-6): 527-532.
- Singh, H., Sabry, M. ve Redpath, D.A.G. (2016). Experimental investigations into low concentrating line axis solar concentrators for CPV applications. *Solar Energy*, 136: 421-427.
- Su, Z., Ding, S., Gan, Z. ve Yang, X. (2016). Analysis of a photovoltaic-electrolyser direct-coupling system with a V-trough concentrator. *Energy Conversion and Management*, 108 (15): 400-410
- Şahan, M., Tokat, Ö. ve Okur, Y. (2015). Osmaniye’de Günlük Toplam Güneş Işınım Ölçümleri. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10 (2): 97-105.
- Şenay, G. (2011). Çok Eklemlili Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli ile Verim Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

- Tang, R ve Liu, X. (2011). Optical performance and design optimization of V-trough concentrators for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 85 (9): 2154-2166.
- Tek, S.C. (2008). Güneş Paneli Simülatörü. Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 4. Proje Yarışması
- Tina, G.M. ve Scandura, P.F. (2012). Case study of a grid connected with a battery photovoltaic system: V-trough concentration vs. single-axis tracking. *Energy Conversion and Management*, 64: 569-578.
- Tripanagnostopoulos, Y., Yianoulis, P., Papaefthimiou, S., Souliotis, M. ve Nousia, T. (1999). Cost Effective Asymmetric CPC solar collectors. *Renewable Energy*, 16 (1-4): 628-631.
- Uğur, E.M. (2006). Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- URL-1 (2018) http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektor_rapor_2017.pdf (25.07.2019)
- URL-2 (2017) <https://torapetrol.com/haberler/yenilenebilir-enerji-kaynaklari/> (10.06.2019)
- URL-3 (2012) http://www.tp.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektor_rapor_2017. (03.05.2019)
- URL-4 (2010) <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc> (03.05.2019)
- URL-5 (2018) http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (04.08.2019)
- URL-6 (2014) <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunes.pdf> (04.08.2019)
- URL-7 (2015)
https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/09677e0899d72e8_ek%281%29.pdf
(04.05.2019)
- URL-8 (2018) http://bsyayinevi.com/wp-content/uploads/2018/11/4_2_3.pdf (11.06.2019)
- URL-9 (2014) http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9615baca47aaf2f_ek.pdf
(13.06.2019)
- URL-10 (2010) <https://www.unienerji.com/arsivler/1382> (18.07.2019)
- URL-11 (2017) <https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx>
(18.07.2019)
- URL-12 (2015)
https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/09677e0899d72e8_ek%281%29.pdf
(20.05.2019)
- URL-13 (2010) <http://physics.muni.cz/~gszasz/download/janka/solar-thermal-electricity/>
(2019) <https://climatekids.nasa.gov/concentrating-solar/> (06.07.2019)

- URL-14 (2018) <http://www.solar-academy.com/menus/Gunes-Enerjisi.024513.pdf>
(25.06.2019)
- URL-15 (2016) Özçelik S., Fotovoltaik (PV) Teknolojileri, Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi
<http://fotonik.gazi.edu.tr/posts/view/title/teknoloji-10366> (20.05.2019)
- URL-16 (2008) <http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php>
Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü ESM 413 Enerji Sistemleri Laboratuvarı-2 deney-5 hibrit sistem&güneş paneli
http://enerji.yalova.edu.tr/Files/UserFiles/156/Enerji_Lab_2_deney_foyu/2018_Enerji_lab2_deney_foyleri/Deney_5_Hibrit_Gune.pdf (08.05.2019)
- URL-17 (2017) <https://mechaniclove.com/wp-content/uploads/2017/12/Construction-of-a-Solar-Cell.-How-To-Construct-A-Simple-Solar-Cell.png> (15.06.2019)
- URL-18 (2016) Öztürk, H.H. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler
http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf (10.07.2019)
- URL-19 (2017) <http://greenfieldspenrith.com/wp-content/uploads/2016/07/Solar-Thermal-System-Diagram.jpg> (16.07.2019)
- URL-20(2016) http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php
(01.08.2019)
- URL-21 (2012)
http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/G%C3%BCne%C5%9F%20Pillerinde%20%C3%9Cretilen%20Do%C4%9Fru%20Ak%C4%B1m%C4%B1n%20Temelleri.pdf (11.05.2019)
- URL-22 Kandilli, C. Faz Değiştiren Malzemelerle Bütünleştirilen Fotovoltaik Termal Sistemlerin (PVT) Termodinamik ve Ekonomik Performansının İncelenmesi
http://mmoteskon.org/?attachment_id=1946 (08.12.2019)
- URL-23 (2019) <https://encazip.com/elektrik-fiyatlari> (10.12.2019)
- Ustaoglu, A., Alptekin, M., Okajima, J. ve Marayuma, S. (2016). Evaluation of uniformity of solar illumination on the receiver of compound parabolic concentrator(CPC). *Solar Energy*, 132: 150-164.
- Vaniya, S.K., Bapat, P. ve Maiti, S. (2016). Development of seasonally tracked auto-folding reflectors for damage control in V-trough photovoltaic assembly. *Solar Energy*, 136: 254-259.
- Vilela, O.C., Bione, J. ve Fraidenraich, N. (2004). Simulation of grape culture irrigation with photovoltaic V-trough pumping systems. *Renewable Energy*, 29 (10): 1697-1705.

- Wang, Y., Jin, Y., Huang, Q., Zhu, L., Vivar M., Qin, L., Sun, Y., Cui, Y. ve Cui, L. (2016). Photovoltaic and disinfection performance study of a hybrid photovoltaic-solar water disinfection system. *Energy*, 106: 757-764.
- Wolf, M. (1976) Performance Analysis of combined heating and photovoltaic power systems for residence. *Energy Conversation*, 16: 79-90.
- Yu, X., Su, Y., Zheng, H. ve Riffat, S. (2014). A study on use of miniature dielectric compound parabolic concentrator (dCPC) for daylighting control application. *Building and Environment*, 74: 75.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa ÇAKMAK
Doğum Yeri ve Tarihi : Ortahisar/TRABZON - 06.01.1981

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Otomotiv Öğretmenliği,

Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Ustaoglu, A., Çakmak, M. ve Torlaklı, H. (2019) An Experimental Evaluation of Temperature Effect On Performance of V-Trough- Photovoltaic System. *Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi, Tam Metin Kitabı*, 355-363.

Ustaoglu, A., Özbey, U. ve Çakmak, M. (2019) V-Oluk Tipi Yoğunlaştırıcıların Fotovoltaik Uygulamalar İçin Değerlendirilmesi. *2017-FEN-B-003 No'lu Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi*.

Ustaoglu, A., Kandilli, C., Cakmak, M. ve Torlaklı, H. (2019) Experimental and economical analysis of V-trough concentrator with different reflectance characteristic in photovoltaic applications. *Energy Conversion and Management, Underreview*.

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Ford Tunalı (Servis Danışmanı/Trabzon)

Bursa Büyükşehir Belediyesi/Burulaş (Bakım Şefi)

Lütfullah Kocabaşoğlu Mesleki Eğitim Merkezi
(Motorlu Araçlar Teknolojisi Alan Şefi/Bartın)

Bartın İl Milli Eğitim Müdürlüğü
(İSGB İl Koordinatörü)

İletişim

E-Posta Adresi : mustafacakmak61@gmail.com
Tel : +90 533 326 10 90
Tarih : 27/12/2019 (Tez Savunma Tarihi)