



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Faruk BENLİ

**FOTOVOLTAİK (PV) VE FOTOVOLTAİK
TERMAL (PV-T) KOLEKTÖRLERİN
DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

OSMANIYE – 2018

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FOTOVOLTAİK (PV) VE FOTOVOLTAİK TERMAL
(PV-T) KOLEKTÖRLERİN DENEYSEL OLARAK
KARŞILAŞTIRILMASI**

Faruk BENLİ

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**OSMANIYE
EYLÜL - 2018**

TEZ ONAYI

FOTOVOLTAİK (PV) VE FOTOVOLTAİK TERMAL (PV-T) KOLEKTÖRLERİN DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Faruk BENLİ tarafından Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Arif ÖZBEK
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, ÇÜ

Yukarıdaki Jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2017-PT3-027

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

TEZ BİLDİRİMİ

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

Faruk BENLİ

ÖZET

FOTOVOLTAİK (PV) VE FOTOVOLTAİK TERMAL (PV-T) KOLEKTÖRLERİN DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Faruk BENLİ

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN

Eylül 2018, 55 sayfa

Günümüzde güneş enerjisinden ısı enerjisi ve fotovoltaik dönüşüm ilkesinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) güneş panelleri, üzerlerine düşen güneş ışınımının sınırlı bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Fotovoltaik panellerde elektriğe dönüştürülemeyen güneş ışınımının oluşturduğu ısı yükünü uzaklaştırmak ve değerlendirmek amacı ile fotovoltaik termal (PV-T) sistemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada; aynı çevre şartlarında özdeş güçlere sahip PV ve PV-T kolektörlerin performansları oluşturulan deney düzeneği kullanılarak deneysel olarak karşılaştırılmıştır. PV-T kolektörde çalışma akışkan olarak su kullanılmıştır. Kolektörlerin performansları ışınım, dış hava sıcaklığı, su giriş sıcaklığı ve su debisi gibi farklı parametrelere göre değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerle elde edilen sonuçlardan Adana ili iklim koşullarında PV-T kolektörün PV kolektöre göre elektriksel ve termal veriminin yüksek olduğu, ayrıca güneş ışınımının kolektörlerin performansı üzerine önemli etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Fotovoltaik termal, Deneysel, Karşılaştırma

ABSTRACT

EXPERIMENTAL COMPARISON OF PHOTOVOLTAIC (PV) AND PHOTOVOLTAIC-THERMAL (PV-T) COLLECTORS

Faruk BENLİ

M.Sc. Department of Energy Systems Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN

September 2018, 55 pages

Nowadays, it is widely used to generate electricity from solar energy by utilizing heat energy and photovoltaic conversion principle. Photovoltaic (PV) solar panels can turn a limited part of the sunlight falling on them into electrical energy. Photovoltaic thermal (PV-T) systems are used to remove and evaluate the heat load generated by solar radiation that can not be converted to electricity in photovoltaic panels. In this study; the performances of PV and PV-T collectors with identical powers in the same environmental conditions were compared experimentally using the experimental setup. Water was used as working fluid in the PV-T collector. The performances of the collectors were evaluated according to different parameters such as radiation, outside air temperature, water inlet temperature and water flow. The results obtained from the experiments show that the PV-T collector has a higher electrical and thermal efficiency than the PV collector in climate conditions of Adana and it was shown that solar radiation has a significant effect on the performance of the collectors.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic, Photovoltaic thermal, Experimental, Comparison



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez çalışması süresince deney düzeneğinin hazırlanmasında maddi ve manevi olarak desteğini esirgemeyen Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ő şirketine, Adana Fabrika Direktörü Ergin TURAN'a ve Elektrik Otomasyon Mühendisi Alper SATIK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI.....	i
TEZ BİLDİRİMİ.....	i
ÖZET.....	i
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Güneş Enerjisi.....	9
3.2. Fotovoltaik (PV) ve Fotovoltaik Termal (PV-T) Güneş Kolektörleri.....	16
3.3. Deney Düzenegi.....	20
3.4. Ölçüm Sistemi.....	28
3.5. Analizler.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
5. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	11
Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı	11
Çizelge 3.3. Türkiye'nin 2014 ile 2017 yılları arasında lisanslı ve lisanssız kurulu güç, puant talep, lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi, tüketim, ithalat ve ihracat verileri tablosu	13
Çizelge 3.4. Solimpeks PV-T 190 watt monokristalin teknik özellikler tablosu	22
Çizelge 3.5. Ölçüm noktaları ve ölçüm parametreleri tablosu.....	25
Çizelge 3.6. Ölçümlerde kullanılan debimetrenin teknik özellikleri	26
Çizelge 3.7. 2018 yılı yaz sezonunda farklı şartlarda yapılan deneyler ve deneylere ait bilgiler tablosu.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Türkiye'nin günlük ortalama ışınım değerleri	10
Şekil 3.2. Türkiye'nin günlük ortalama güneşlenme değerleri	10
Şekil 3.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)	12
Şekil 3.4. Türkiye'nin 1990 ile 2017 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına göre gelişim grafiği	13
Şekil 3.5. Türkiye'nin yıllar itibariyle elektrik enerjisi puant talep ve artış oranı grafiği	14
Şekil 3.6. Türkiye elektrik enerjisi üretimin kaynaklara göre dağılımı	15
Şekil 3.7. Adana ili için güneş enerji potansiyeli atlası	15
Şekil 3.8. Adana global radyasyon değerleri grafiği	16
Şekil 3.9. Adana güneşlenme süreleri grafiği	16
Şekil 3.10. Fotovoltaik panelden elektrik akımı oluşturma prensibi	17
Şekil 3.11. PV panel çeşitleri	18
Şekil 3.12. PV-T (Hibrit) güneş paneli	19
Şekil 3.13. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	21
Şekil 3.14. Deney düzeneğinin resmi	21
Şekil 3.15. Kullanılan PV-T kolektörün resmi.....	22
Şekil 3.16. Deney düzeneğinin montaj aşamaları	23
Şekil 3.17. Ölçüm noktaları	24
Şekil 3.18. Ölçümlerde kullanılan debimetre.....	25
Şekil 3.19. Ölçümlerde kullanılan su sıcaklık ölçer.....	26
Şekil 3.20. Ölçümlerde kullanılan yüzey sıcaklık ölçer.....	27
Şekil 3.21. Ölçümlerde kullanılan ışınım ölçer.....	27
Şekil 3.22. Ölçümlerde kullanılan rüzgar hızı ölçer	27
Şekil 3.23. Ölçümlerde kullanılan hava sıcaklık ölçer.....	28
Şekil 3.24. Ölçümlerde akım ölçmek için kullanılan ampüller.....	28
Şekil 3.25. Veri ölçme ve veri kayıt etme pano resmi	29
Şekil 3.26. Kontrol panosu ve USB bağlantı noktası.....	29
Şekil 4.1. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi	35
Şekil 4.2. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde sıcaklığın zamana göre değişimi..	35
Şekil 4.3. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde rüzgar hızının zamana göre değişimi	36

Şekil 4.4. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde elektriksel gücün zamana göre değişimi.....	36
Şekil 4.5. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde elektriksel verimin zamana göre değişimi.....	37
Şekil 4.6. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde elektriksel toplam verimin zamana göre değişimi.....	37
Şekil 4.7. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi.....	38
Şekil 4.8. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	38
Şekil 4.9. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	39
Şekil 4.10. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi.....	41
Şekil 4.11. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde sıcaklığın zamana göre değişimi.....	42
Şekil 4.12. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde yüzey sıcaklığın zamana göre değişimi.....	42
Şekil 4.13. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel gücün zamana göre değişimi.....	43
Şekil 4.14. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan yapılan deneyde elektriksel verimin zamana göre değişimi	43
Şekil 4.15. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel toplam verimin zamana göre değişimi	44
Şekil 4.16. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi.....	46
Şekil 4.17. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde sıcaklığının zamana göre değişimi.....	46
Şekil 4.18. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi	47
Şekil 4.19. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel gücün zamana göre değişimi.....	47

Şekil 4.20. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel verimin zamana göre değişimi	48
Şekil 4.21. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel toplam verimin zamana göre değişimi	48



SİMGELER ve KISALTMALAR

A	Alan	(m ²)
D	Boru iç çapı	(m)
F	Kanat verimi	(-)
F _R	Isıl kazanç faktörü	(-)
F'	Kolektör verim faktörü	(-)
h, α	Isı transfer katsayısı	(W m ⁻² K ⁻¹)
h _f	Boru içindeki ısı transfer katsayısı	(W m ⁻² K ⁻¹)
I	Kısa devre akımı	(A)
m	Akışkan kütle debisi	(kg saat ⁻¹)
t	Zaman	(s)
T	Sıcaklık	(K)
U	kolektör ısı kayıp katsayısı	(W m ⁻² K ⁻¹)
v	Hız	(m s ⁻¹)
V	Voltaj	(V)
W	Borular arasındaki boşluk	(m)
Q	Kolektör enerji dengesi	(W)
ρ	Yoğunluk	(kg m ⁻³)
τα	Etkin geçirgenlik soğutma katsayısı	(-)

Alt İndisler

a	Atmosfer
c	Hücre
ca	Hücreden atmosfere
eff	Etkin geçirgenlik soğutma katsayısı
oc	Açık devre
r	Rüzgar
sc	Kısa devre

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan en önemli kaynaklardan birisi olan enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Enerji, üretim işlemlerinde kullanılması zorunlu bir girdi ve toplumların refah düzeylerinin yükseltilmesi için gerekli bir hizmet aracı olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel taşlarından birisidir. Geleneksel enerji kaynaklarının tükenme eğilimine girdiği, enerji fiyatlarının artış göstermesinin beklendiği, enerji kullanımından kaynaklanan çevre sorunlarının büyüdüğü bir dönemde enerji planlaması, özellikle enerji kaynakları kıt, ithal kaynaklara bağımlı, yetersiz döviz kaynaklarına sahip ülkeler için yararlı ve zorunlu bir araç olarak görülmektedir. Enerji, ekonomik kalkınma ve modern yaşam için zorunlu bir girdidir. Ekonomik kalkınmanın ve toplumsal gelişmenin kaynağı olan enerji, ısı enerjisi, ışık (radyant enerji), mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji gibi değişik formlarda karşımıza çıkmaktadır. Enerji kaynaklarını genelde yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki grup altında toplamak mümkündür. Yenilenebilir enerji, pratik olarak sınırsız varsayılan, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir [1].

Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil ve nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Bu yakıtların gerek çevreye verdikleri zararlar ve gerekse birikimlerinin sınırlı oluşu, alternatif enerji kaynakları arayışına sebep olmuştur. Çevrenin korunması, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde oluşabilecek tehditlerin önlenmesi, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Böylece, enerjinin karşılanma ihtiyacına bağlı olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları üzerine araştırma geliştirme çalışmaları yoğunlaşmıştır. Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir [2].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından

düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [3].

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretmek için fotovoltaik (PV) olarak adlandırılan güneş panelleri (kolektörleri) kullanılmaktadır. Yarı iletken levhalardan oluşan fotovoltaikler, güneş ışığındaki elektromanyetik dalgalar, elektronları yarı iletken plakanın bir katmanından bir diğer katmanına hareket ettirerek elektrik akımı oluşturma prensibine dayanır [4]. Güneş enerjisinden elektrik üretimi sırasında güneş panellerinin yüzey sıcaklıklarında artışların meydana geldiği ve yüzey sıcaklıklarındaki sıcaklık artışlarından dolayı güneş panel verimlerini olumsuz etkilediğine dair literatürde pek çok akademik çalışma vardır. PV panellerin yüzey sıcaklığının düşürülebilmesi için panel alt yüzeyinden panel yüzey sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta sıvı yada gaz akışkanı dolaştırılmaktadır. Bu sayede panel yüzey sıcaklığı düşürülür iken soğutucu akışkanda eş zamanlı olarak ısıtılarak ısı enerjisi elde edilmiş olur. Güneş enerjisinden eş zamanlı elektrik ve ısı enerjisi elde edilen sistemlere ise PV-T kolektörler denir.

Bu çalışmada, Adana ili iklim koşullarında oluşturulan deney düzeneği ile özdeş güçlere sahip fotovoltaik (PV) ile fotovoltaik termal (PV-T) kolektörler deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde güneş kolektörleri, PV ve PV-T sistemler üzerinde deneysel ve teorik olarak pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca verilmiştir.

Al-Waeli ve ark. [5], PV-T sistemlerin çeşitli yönleri üzerinde literatür araştırması yapmışlardır. Yapmış oldukları araştırmalar kapsamında PV-T sistemleri elektriksel ve termal açıdan incelemişlerdir. Çalışmada güneş termal sistemlerin analizi, hava, su, hava/su, faz değişim malzemesi PCM ve nano akışkanlı sistemler gibi çeşitli sistem uygulamaları özetlenmiş ayrıca PV-T sistemini geliştirmeye yönelik birçok girişimin ışığında, elektrik değil de termal kısma odaklanılmasının öneminden bahsedilmiştir.

Sayın ve Koç [6], yapmış oldukları araştırmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitleri ve bunların kullanımının gerekliliğini anlatmışlardır. Daha sonra güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki önemi vurgulanarak bu enerjiden yararlanma biçimlerinden önemli bir tanesi olan fotovoltaik sistemler incelenmiştir. Çalışmada bu sistemlerin bileşenleri, malzemeleri, yapıları ve türleri anlatılmıştır. Fotovoltaik sistemler yapılar da kullanım biçimlerine göre gruplandırılmış ve bu kullanım biçimleri şekillerle ayrıntılı olarak ifade edilmiştir. Fotovoltaik sistemlerin yapılar da kullanımının avantajları ve dezavantajları sıralanarak bu sistemlerin yapılar da kullanımının gerekliliği ifade edilmiştir.

Bulut [7] yapmış olduğu araştırmada, 21 yıllık uzun dönem yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınım değerlerini kullanarak değişik açılardaki düzleme gelen ışınım değerlerini Adana ili için belirlemiş ve sonuçları analiz etmiştir.

Charalambousa ve ark. [8], PV-T sistemler üzerine literatür araştırması yapmışlardır. Pek çok araştırmacı tarafından elde edilen bulguları, özellikle PV-T sistemlerin performansını (elektriksel ve termal) etkileyen parametreler üzerinde daha kolay karşılaştırmayı mümkün kılmak amacı ile tematik bir şekilde sunmuşlardır. Yazarların çalışması, analitik ve sayısal modelleri, simülasyon ve deneysel çalışmaları ve termal / elektriksel çıktılarının nitel değerlendirmesini kapsamaktadır.

Joshi ve Tiwari [9], Hindistan'ın soğuk iklim şartlarına sahip olan Srinagar şehri için hava kolektörlü termal PV'nin ekserji analizini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, ekserji analizi için Srinagar şehrinin 1998-2001 yılları arasındaki dört yıllık verilere dayanarak dört iklim koşulu belirlemiş ve bu iklim koşulları için PV-T hava kolektörün performansını ve ekserji verimini hesaplamışlardır. Sonuç olarak PV-T hava kolektörün anlık enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla %55-65 ile %12-15 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Bu sonuçların literatürle uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Adnan ve ark. [10], PV-T kolektörlerin toplam verimliliğini etkileyen emici toplayıcıların yedi ayrı konfigürasyonunu tasarlamışlar ve kıyaslamışlardır. En yüksek verimi veren emici tasarımını belirlemek için simülasyonlar yapmışlardır. Bu simülasyonlarda, güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve akış hızı koşulları gibi parametreler ile analiz yapmışlardır. Araştırmacılar, bu simülasyonlara dayanarak, en yüksek termal verimliliği ve modül verimliliğini sırasıyla %50,12 ve %11,98 değerlerinde spiral akış tasarımlı PV-T kolektörde elde etmişlerdir.

Yılmaz ve ark. [11], fotovoltaik güneş pillerinin matematiksel modellerinin oluşturulması ve güneş enerjisi üretiminde etken olan değişkenlerin karakteristikleri nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Matlab paket program yardımıyla; gün ışığı, ortam sıcaklığının yanı sıra eşdeğer devrenin seri direnci, paralel kol sayısı, seri bağlı hücre sayısı, yarı iletken sabiti gibi birçok değişkeni göz önüne alan bir model oluşturmuşlardır. Yazarlar, modelin fonksiyon avantajı kullanılarak fotovoltaik (PV) güneş pillerinin en önemli karakteristikleri olan akım-gerilim, güç-gerilim grafiklerinin etkenlere göre değişimini incelemişlerdir.

Orhun ve ark. [12], PV panellerin hangi açıda maksimum verimi verdiğinin tespiti yönüne hesaplamalar yapmışlardır. Güneş panellerinin Afyonkarahisar bölgesine bir PV sisteminin 2012 yılı Nisan ayında hangi açı ile yerleştirilmesi durumunda maksimum verimin elde edilebileceği, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampus'ünden ölçülüp kaydedilmiş olan saatlik ışınım verilerini kullanılarak tespit etmişlerdir. Çalışmada sunulan yöntem kullanılarak farklı aylara ait güneş ışınım verilerinin değerleri farklı açılarla yerleştirilmiş yüzeylere dönüştürmüştür. Ayrıca,

çalışmada sunulan yöntem kullanılarak dünyanın herhangi bir bölgesi için en iyi yüzey panel açılarının tespit edilebileceği bildirilmiştir.

Kandilli ve ark. [13], PV-T kolektör verimleri üzerine deneysel ve matematiksel model tasarımlarını yaparak, her iki modelin verim karşılaştırmasını yapmışlardır. Isı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı ve monokristal silisyum fotovoltaik modülden oluşan bir PV-T sistemin iki boyutlu ısı transfer analizi ve termodinamik modellemesi COMSOL Multiphysics yazılımı yardımı ile gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, ölçülen ve model sonucu hesaplanan çıkış suyu sıcaklıkları arasında determinasyon katsayısını 0,94, korelasyon katsayısını 0,97; MSE değerini 3,67 ve RMSE değerini 1,92 olarak bulmuşlardır. Ortalama değerler üzerinden değerlendirmelerinde ise; 620 W/m^2 güneş ışınımı, 13°C dış ortam sıcaklığı koşulları altında, 20°C giriş suyu sıcaklığında, deney sonuçlarına göre hesaplanan ortalama ısıl verimi 0,27 olarak hesaplanırken, simülasyon sonuçlarına göre hesaplanan ortalama ısıl verimi 0,22 olarak bulunmuşlardır. PV-T modülün toplam enerji verimi ise deneysel olarak 0,38, simülasyon sonuçlarına göre 0,33 olarak ortaya koymuştur. Buna göre yazarlar, deney ve simülasyondan elde edilen sonuçların uyum içinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Huang ve Huang [14], yapmış olduğu çalışmada, PV-T kolektörün simülasyon modelini TRNSYS programı aracılığı ile yapmışlardır. Simülasyon modeli, farklı hava koşullarında sistem performansını tahmin etmek için geçici ve uzun vadeli değerlendirmeyi sağladığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, 1,44 kW kapasitesindeki PV-T kolektörü Tayvan'daki farklı bölgelerde değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, sistemin elektriksel ve termal verimini sırasıyla %11,7-12,4 ve %26,78-28,41 olduğu sonucuna varmışlardır.

Ooshaksaraei ve ark. [15], PV-T hava kolektörün termodinamiğin birinci ve ikinci yasa etkinliği üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Sistem performansını değerlendirmek için matematiksel model geliştirmişlerdir. PV hücrenin gereksinimlerine göre tek yönlü, çift yönlü paralel akış, çift yönlü karşı yönlü akış ve çift yönlü geri dönüşlü akış olmak üzere dört farklı hava bazlı fotovoltaik termal panel tasarlamışlardır. Dört farklı dizayndaki PV-T hava kolektörü termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre değerlendirilmişlerdir. Sonuç olarak, diğer üç modele

kıyasla enerji verimliliği açısından bakıldığında en iyi verim %57-61 değerlerinde çift yönlü paralel akışlı PV-T kolektörde olmuştur. Öte yandan tek yönlü hava akışlı sistemde %4,43-10,15 aralığındaki ekserji verimi değerleri ile tercih edilebileceğini ortaya koymuşlardır. Yazarlar, elektrik enerji üretimin ön planda olduğu sistemlerde tek yönlü hava akışlı PV-T, enerji verimliliğin ön planda olduğu sistemlerde ise çift yönlü hava akışlı PV-T kolektörlerin tercih edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Kabul ve Duran [16], yapmış olduğu deneysel çalışmada, PV panelin arka yüzeyine yerleştirilen borular içerisinden su geçirerek panelin yüzeyinde soğutma sağlamışlardır. Panelin ısısını alarak sıcaklığı artan suyun, bir su deposu içerisinde dolaştırılarak bünyesindeki ısıyı depodaki suya aktarması sağlanmıştır. Bu şekilde panelin soğutmasıyla hem PV sistemin verimi artırmayı hem de sıcak su temin etmeyi hedeflemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, soğutmalı ve soğutmasız paneller karşılaştırıldığında, sistemin soğutulmasıyla elektrik üretiminde yaklaşık % 35'lik bir güç artışı ve % 7'lik bir verim artışı olduğu sonucuna varmışlardır.

Başoğlu ve ark. [17], Monokristal, polikristal ve ince film olmak üzere, üç farklı fotovoltaik güç sisteminin performansı IEC 61724 standardına göre deneysel olarak incelemişlerdir. Tüm fotovoltaik sistemlerin performansları, belirlenen aylar için karşılaştırılmış ve ince film güneş panellerinin diğer panellere göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Othman ve ark. [18], yapmış olduğu deneysel çalışmada; hava ve su geçişi olan kombine bir PV-T kolektör tasarlamışlardır. Işınım şiddetinin 800 W/m^2 ve ortam sıcaklığının $24,4 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu zamanlarda kolektör içerisinden sabit debide $0,05 \text{ kg/s}$ hava ve $0,02 \text{ kg/s}$ su dolaşımı sağlamışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda; PV-T kombine kolektörün ortalama 145 W elektriksel güç ile elektriksel verimini %17 olarak hesaplamıştır. PV-T kombine kolektörün termal verimi ise 120 dakikalık deney süresince %70 olarak hesaplanmışlardır.

Esen ve Kapıcıoğlu [19], PV panellerin montaj yüksekliklerine bağlı verim kıyaslaması üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada dört adet aynı özellikli PV modülü farklı yükseklikte (0, 10, 20 ve 30 cm) eğimli bir alanda monte edilerek verimleri kıyaslamıştır. Yapılan çalışma sonucunda 20 cm yüksekliğindeki PV modülünün verimi en iyi %19.66 olarak hesaplanmıştır.

Hazami ve ark. [20], Tunus iklim şartlarında Tunuslu haneler için PV-T kolektörlerin kullanım potansiyeli üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, 2014 yılının Temmuz ayında açık havada kurdukları deney setindeki PV-T kolektörü aktif (su soğutmalı) ve pasif (su soğutmasız) durumlar için anlık olarak enerji ve ekserji hesaplamalarını yapmışlardır. Aktif durumda anlık olarak maksimum termal ve elektriksel verimler sırasıyla %50 ve %15 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca PV-T sistemin Tunus iklim şartlarında aylık/yıllık olarak değerlendirmesini TRNSYS paket programı yardımı ile yapmışlardır. PV-T sistemin aktif durumda elektriksel verimi ve ekserjisini sırasıyla %3 ve %2,5 arttırdığını hesaplamışlardır. Sonuç olarak Tunus'ta yer alan hanelerde yıllık elektrik ve sıcak su ihtiyaçlarından sırasıyla %14,60 ve %5,33 oranında kazanç sağlanabileceğini hesaplanmışlardır.

Gedik [21], modül sıcaklığının PV panelin verimine olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. PV yüzey üzerine gelen güneş ışınım şiddeti, panelin bulunduğu ortam sıcaklığı, panel arkası sıcaklık, gerilim ve akım değerleri deney süresince ölçmüştür. Deneylerde PV modülün bulunduğu ortam 10, 20, 30 ve 40 °C olmak üzere dört farklı sıcaklık değerine ayarlamıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak PV modülün verimi hesaplamıştır. Sonuç olarak; PV modül sıcaklığındaki artışın panel verimi düşürdüğü bildirilmiştir.

Saygın ve ark. [22], yapmış oldukları deneysel çalışmada; PV panel üzerine hava emişi sağlayacak şekilde ortası belirli bir açıklıkta olan cam kapak yerleştirmişlerdir. Sabit debili bir fan yardımı ile hava emişi sağlayarak panel üzerinde oluşan fazla ısıyı alıp paneli soğutmak amaçlı kullanılmışlardır. Yazarlar çalışmada PV panel ile kapak arasındaki mesafenin farklı değerleri için panelin elektriksel ve termal verimlerini hesaplamışlardır. PV modülün elektriksel ve termal verimlerinin en yüksek değerlerini, PV modül ile kapak arasındaki mesafenin sırasıyla 5 cm ve 3 cm olduğunda alındığını belirlenmişlerdir.

Kabul ve Yaşar [23], PV panellerde güneş enerjisinden elektrik üretimi esnasında panel sıcaklığının artması sonucu azalan elektriksel verimi, PV modülün su ve hava ile soğutulması durumu üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. PV panelin arka yüzeyine yerleştirilen borular içerisinden geçirilen su ve hava kanalları içerisinden geçirilen hava sayesinde panel yüzeyinde soğutma sağlanmıştır. Panelin ısınımlarını

sıcaklığı artan su, sıcak su ihtiyacında; hava kanalları içerisinde geçen hava ise panelin ısınıncı olarak iç ortam ısıtmasında kullanılabilir. Bu şekilde panelin soğutulmasıyla hem PV-T sistemin verimi artırılmış hem de sıcak su ve iç ortam ısıtılması sağlanmıştır.

Ömeroğlu [24], yapmış olduğu deneysel çalışmada, 900 W/m^2 ışınım şiddeti altındaki bir havalı PV-T sistemin termal ve elektriksel performansını incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiđi (CFD)” analizleri ile kıyaslanarak doğruluğu teyit edilmiştir. Farklı hava hızında ve farklı yüzey konfigürasyonunda deneyler yapmıştır. Isı transfer elemanı olarak bakır kanatçıklar kullanılmıştır. Sonuç olarak fotovoltaik panelin elektriksel ve termal veriminin aktif soğutma yapılarak nasıl iyileştirildiği ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında; özdeş güce sahip olan bir PV ve su soğutmalı bir PV-T panelin Adana ili iklim koşullarındaki performansı yapılan deneylerle karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

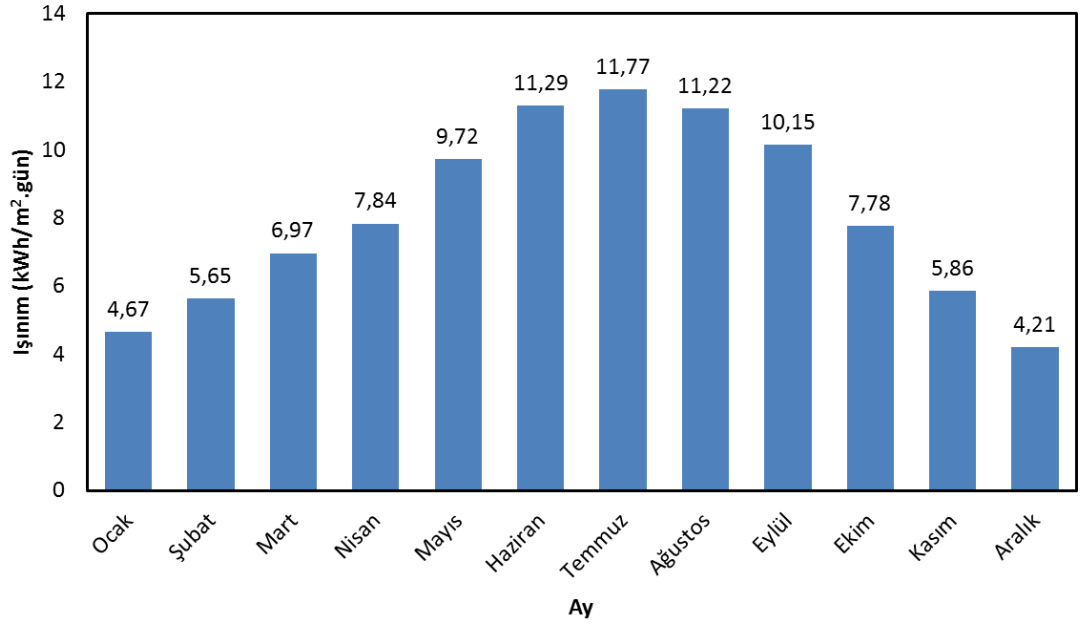
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Güneş Enerjisi

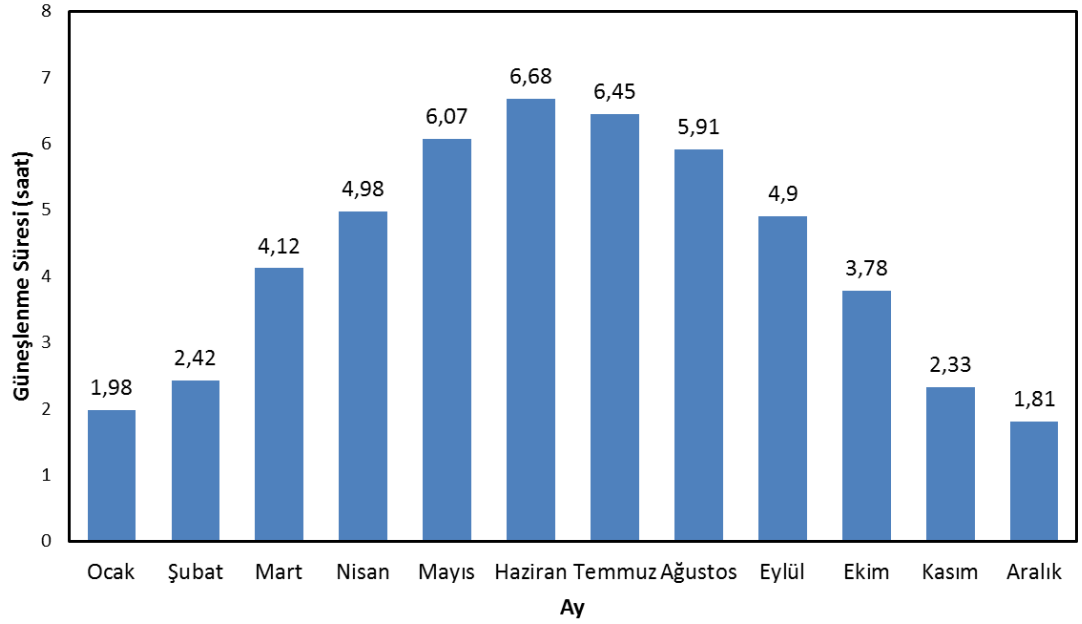
Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünya ile güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımın %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır [3].

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyar MJ enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 1.700 katıdır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısınım şiddeti $1.311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, yılda 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh

lik güneş enerjisi üretebilir. Sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de Türkiye’nin günlük ortalama ışınım değerleri ve güneşlenme değerleri sunulmuştur.



Şekil 3.1. Türkiye’nin günlük ortalama ışınım değerleri [4]



Şekil 3.2. Türkiye’nin günlük ortalama güneşlenme değerleri [4]

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

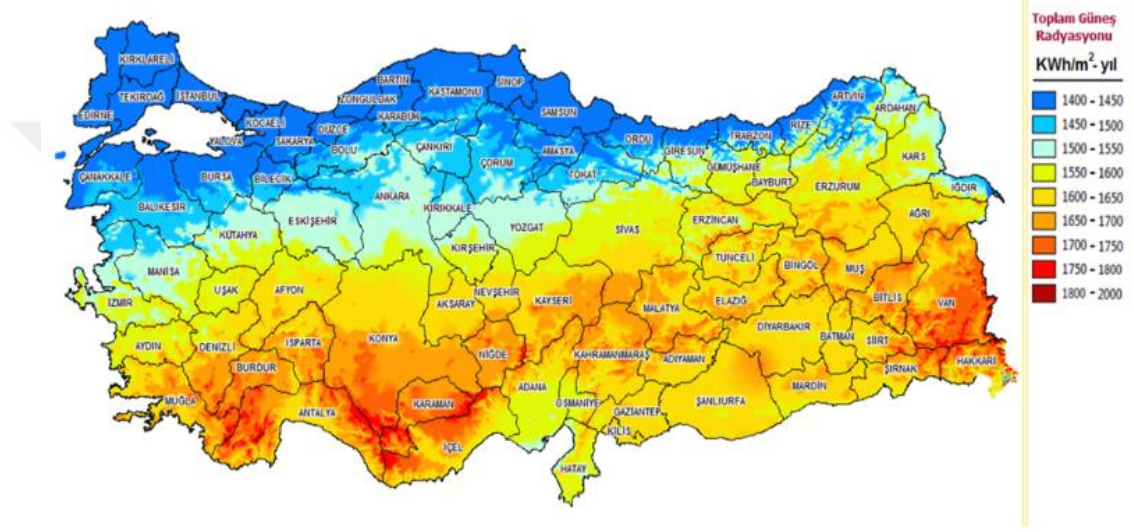
Çizelge 3.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [4]

Bölge	Top. Ort. Güneş enerjisi	En çok Güneş Enerjisi (Haziran)	En az Güneş Enerjisi (Aralık)
	kWh/m ² -yıl	kWh/m ²	kWh/m ²
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729
Akdeniz	1.390	1.869	476
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431
İç Anadolu	1.314	1.855	412
Ege	1.304	1.723	420
Marmara	1.168	1.529	345
Karadeniz	1.120	1.315	409

Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı [4]

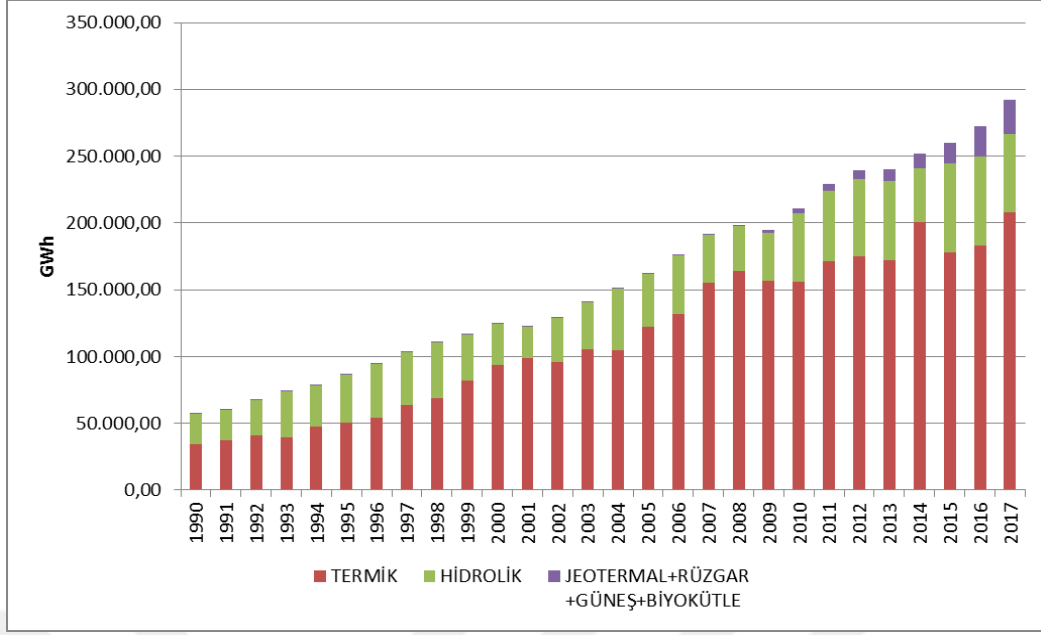
Bölge	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	Saat/yıl	Saat	Saat
Güneydoğu Anadolu	2.993	407	126
Akdeniz	2.956	360	101
Doğu Anadolu	2.664	371	96
İç Anadolu	2.628	381	98
Ege	2.738	373	165
Marmara	2.409	351	87
Karadeniz	1.971	273	82

Buna göre genel olarak Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretebilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık olmaktadır. Bölgeler arasında ise öncelikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Güneş enerjisi üretiminin yok denecek kadar az olduğu Karadeniz bölgesi dışında yılda birim metre kareden 1.100 kWh' lik enerji üretilebilir ve toplam güneşli saat miktarı ise 2.640 saattir. Buna göre Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık 1.015 kW saat kadardır. Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli atlası aşağıda Şekil 3.3'de gösterilmiştir [4].



Şekil 3.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası [4]

Türkiye'nin 1999 ile 2017 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi gelişimini gösteren grafik Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, jeotermal, rüzgar, güneş ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı her geçen yıl artmıştır.



Şekil 3.4. Türkiye'nin 1990 ile 2017 yılları arasında birincil enerji kaynaklarına göre gelişim grafiği [25]

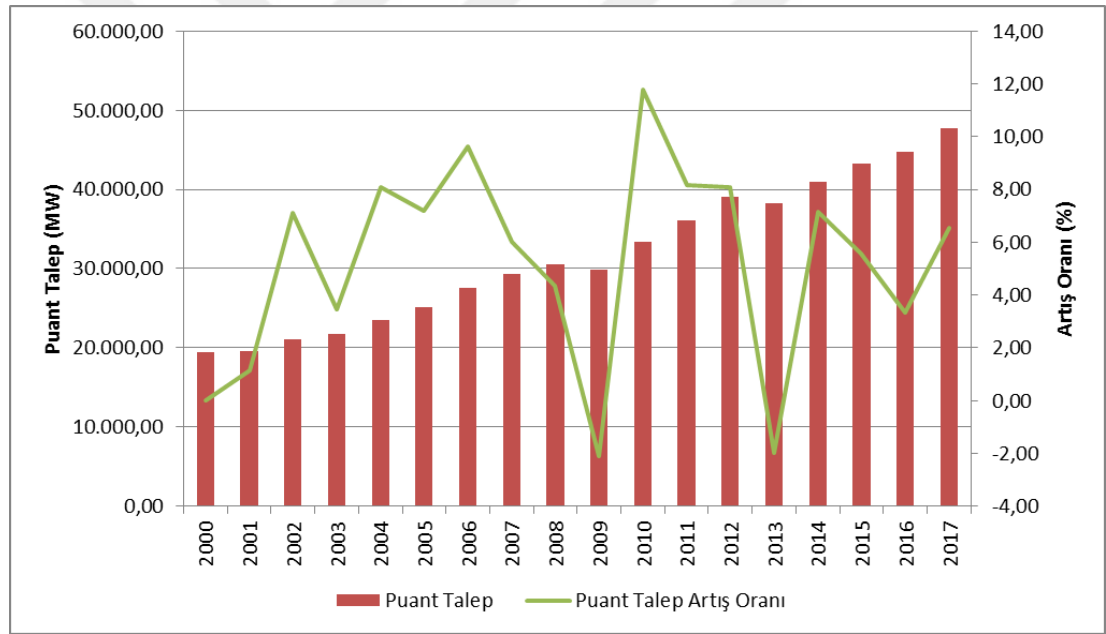
Türkiye'nin 2017 yılı sonu itibariyle lisanslı ve lisanssız kurulu güç, puant talep, lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi, tüketim, ithalat ve ihracata ilişkin verilerin geçtiğimiz yıllardaki değerler ile kıyaslaması Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Türkiye'nin 2014 ile 2017 yılları arasında lisanslı ve lisanssız kurulu güç, puant talep, lisanslı ve lisanssız elektrik üretimi, tüketim, ithalat ve ihracat verileri tablosu [25]

	Birim	2014	2015	2016	Değişim (%) 2015→2016	2017	Değişim (%) 2016→2017
Lisanslı Kurulu Güç	MW	69.520	73.146,90	77.563,44	6,04	81.563,32	5,16
Lisanssız Kurulu Güç	MW	29,99	359,04	1.048,21	191,95	3.173,32	202,74
Puant Talep	MW	41.003	43.289,00	44.733,98	3,34	47.659,65	6,54
Lisanslı Üretim	GWh	251.962	261.783,30	272.563,63	4,12	292.574,58	7,34
Lisanssız Üretim	GWh	3,92	222,72	1.137,87	410,89	3.031,56	166,42
Tüketim	GWh	257.220	265.724,40	277.522,01	4,44	292.003,54	5,22
İthalat	GWh	7.953	7.411,10	6.400,13	-13,64	2.729,06	-57,36
İhracat	GWh	2.696	2.964,60	1.442,08	-51,36	3.300,10	128,84

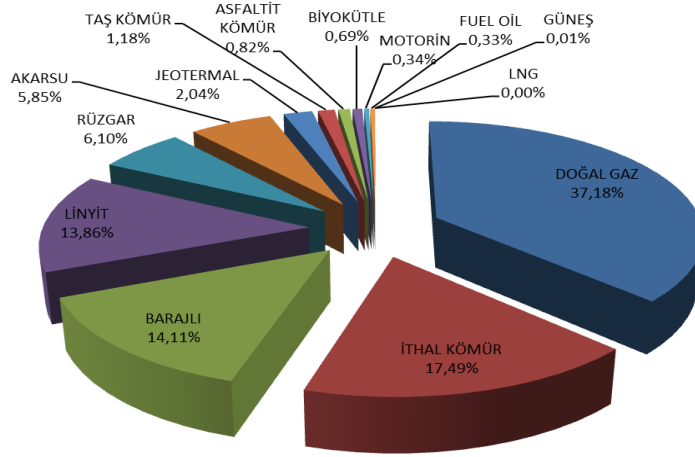
2016 yılına kıyasla 2017 yılında tüketim ve lisanslı üretimin sırasıyla %5,22 ve %7,34 oranlarında, puant talep ve lisanslı kurulu gücün sırasıyla %6,54 ve %5,16 oranlarında arttığı görülmektedir. Lisanssız kurulu güç ve üretim değerlerinin ise sırasıyla %202,74 ve %166,42 oranlarında arttığı görülmektedir. İthalat bir önceki yıla göre %57,36 azalış göstererek 2,73 TWh olarak gerçekleşmiştir. İhracat ise %128,84 oranında artış göstererek 3,30 TWh olarak gerçekleşmiştir. İhracatın ithalata oranı 2016 yılında % 22,53 iken, 2017 yılında %120,92'ye yükselmiştir.

Şekil 3.5'de Türkiye'nin yıllar itibariyle elektrik enerjisi talebi ve artış oranı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere elektrik enerjisi talebi 2009 yılından itibaren aralıksız artmakla beraber özellikle 2011 yılından 2013 yılına kadar artış hızında düşüş gerçekleşmiştir. 2017 yılında ise % 5,22 ile son 5 yılın en büyük artış oranı gerçekleşmiştir.



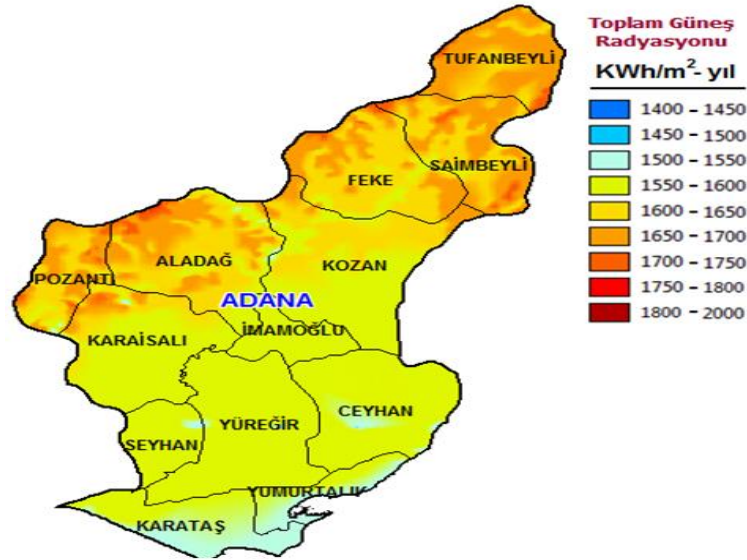
Şekil 3.5. Türkiye'nin yıllar itibariyle elektrik enerjisi puant talep ve artış oranı grafiği (MW-%) [25]

Türkiye lisanslı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir. Lisanslı elektrik enerjisi üretiminde 2016 yılında doğal gaz yakıtlı santrallerin payı %32,16 iken 2017 yılında %37,18'e, rüzgar santrallerinin payı %5,69 iken %6,10'a, jeotermal santrallerinin payı da %1,77 iken %2,04'e yükselmiştir [25]

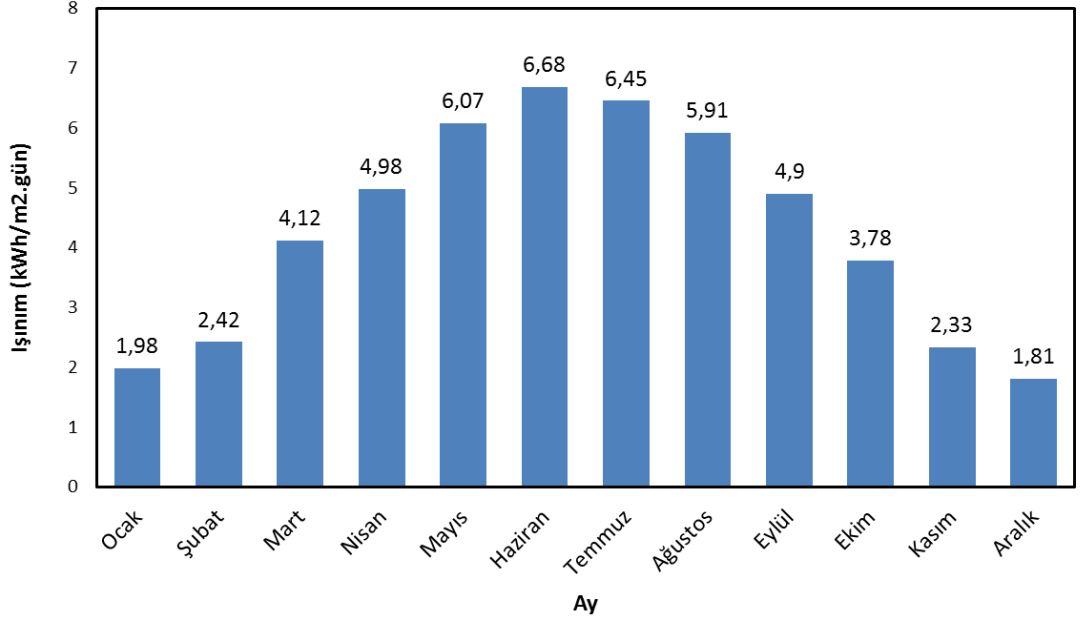


Şekil 3.6. Türkiye elektrik enerjisi üretimin kaynaklara göre dağılımı [25]

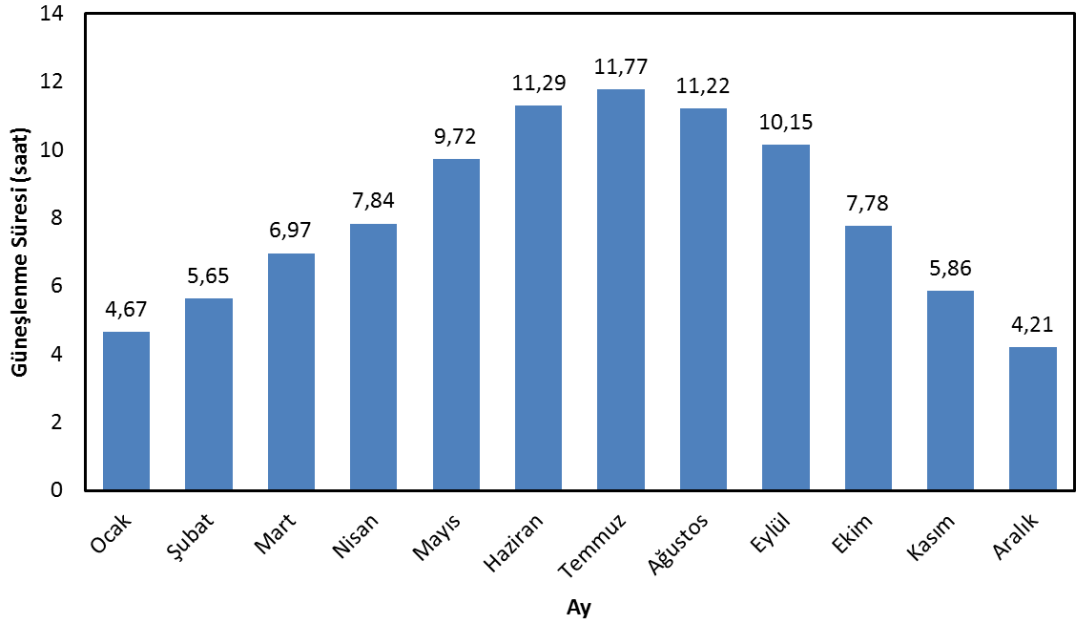
Bu tez çalışması kapsamında deneyleri gerçekleştirildiği Adana ilinin güneş enerjisi potansiyeli atlası Şekil 3.7’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi Adana bölgesinde yer alan ilçelerin büyük bir kısmı güneş enerjisi açısından iyi durumdadır. Adana ilinin global radyasyon (güneş ışınımı) değerleri ve güneşlenme süresinin aylara göre dağılımı ise sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’de verilmiştir [26].



Şekil 3.7. Adana ili için güneş enerji potansiyeli atlası [26]



Şekil 3.8. Adana güneş ışınım değerleri grafiği [26]

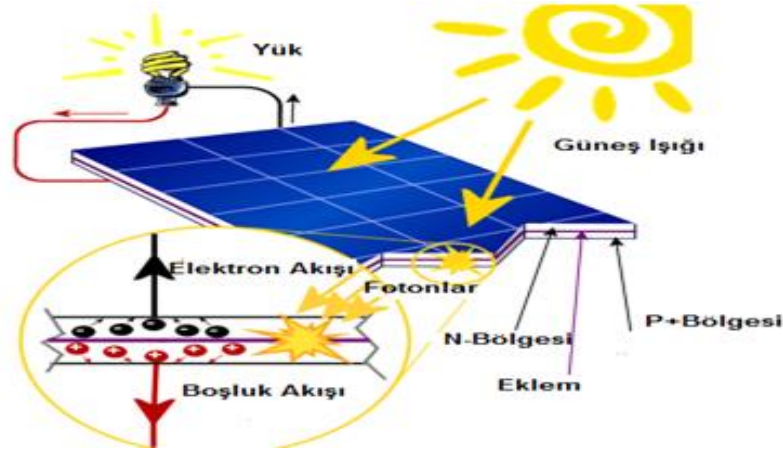


Şekil 3.9. Adana güneşlenme süreleri grafiği [26]

3.2 Fotovoltaik (PV) ve Fotovoltaik Termal (PV-T) Güneş Kolektörleri

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretmek için fotovoltaik (PV) olarak adlandırılan güneş panelleri (kolektörleri) kullanılmaktadır. Yarı iletken levhalardan oluşan fotovoltaikler, güneş ışığındaki elektromanyetik dalgalar, elektronları yarı iletken plakanın bir katmanından bir diğer katmanına hareket ettirerek elektrik akımı

oluşturma prensibine dayanır [4]. Şekil 3.10'da bir fotovoltaik panelden elektrik üretim prensibi verilmiştir.



Şekil 3.10. Fotovoltaik panelden elektrik akımı oluşturma prensibi [4]

Güneşten elektrik enerjisi üreten PV sistemler uygun modüller ile farklı güçlerde kolaylıkla tasarlanabilirler. PV paneller doğru akım (DC) gerilimi üretmektedir. Bu sebeple, elektrikle çalışan uygun güç ve gerilimdeki her türlü alıcı ile doğrudan beslenebilir. Ancak, fotovoltaik sistemlerin kurulumu maliyetli olduğu için, önceleri elektrik enerjisinin iletilmediği ya da iletilmesinde güçlük çekilen yerlerde kullanılmıştır. Geçmişte otoyolların aydınlatılması ve sinyalizasyonu, park bahçe aydınlatması, uzay uygulamaları, su pompaları ile ev ve küçük işyerleri gibi uygulamalarda tercih edilmiştir. Çeşitli üretim tekniklerinde ve değişik maddelerden üretilen PV panellerin verimleri, her geçen gün daha da artarak günümüzde %21'e; optik yoğunlaştırıcılar kullanıldığında ise %35'e kadar ulaşmıştır [27].

Fotovoltaik güneş panellerini; Monokristalin (Tek Kristalli), Polikristalin (Çok Kristalli), Esnek, İnce film, Fotovoltaik-Termal (PV-T) olmak üzere beş tip olarak ele almak mümkündür.

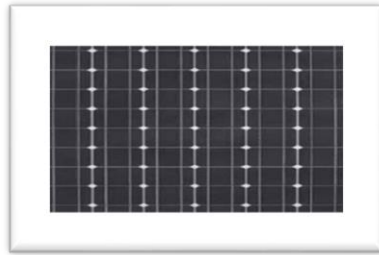
Monokristalin (Tek Kristalli) Güneş Paneli; yüksek verimli monokristalin hücrelerden meydana gelmektedir. Aynı gücü üreten polikristalin güneş hücrelerine oranla daha az yer kaplamaktadır. Üretimi esnasında yüksek teknoloji kullanıldığından üretim aşaması daha uzun sürmektedir. Yapısında sadece yüksek saflıktaki kristal kullanıldığından mono adını almaktadır. Uzun ömürlü sistemlerdir

ve verimlilikleri %13-%16 civarındadır. Monokristalin güneş paneli resmi Şekil 3.11(a)'da verilmiştir.

Polikristalin (Çok Kristalli) Güneş Paneli; üretim ekipmanlarına kolay ulaşılabilir olmasına rağmen enerji verimliliği monokristalin güneş hücreleri göre daha düşüktür. Monokristal saflığında üretilmemekte olup, heterojen yapısından ötürü polikristal adını almaktadır. Verimlilikleri %11-%16 değerlerindedir. Polikristalin güneş paneli resmi Şekil 3.11(b)'de verilmiştir.

Esnek Güneş Paneli; geleneksel güneş paneli teknolojisinden farklı olarak çatı uygulamaları için özellikle geliştirilmiştir. Kolay taşınabilir ve uygulanabilir. Kurulumu için herhangi bir konstrüksiyona veya profile ihtiyacı yoktur. Ancak verimliliği diğer panellere oranla daha düşüktür ve %4 ile %8 arasında değişmektedir. Esnek güneş paneli resmi Şekil 3.13(c)'de verilmiştir.

İnce Film Güneş Paneli (Fotovoltaik); ince film güneş hücreleri güneş ışınları emici özelliktedir. Kristal güneş panellerine oranla düşük verimlidir. Düşük veriminden ötürü yüksek güç üretebilmeleri için büyük alanlara ihtiyaç duymaktadır. %7 ile %11 arasında verimlilik değerlerine sahiptirler. İnce film güneş paneli resmi Şekil 3.11 (d)'de verilmiştir.



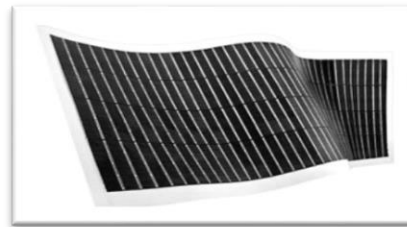
(a) Monokristalin Güneş Paneli



(b) Polikristalin Güneş Paneli



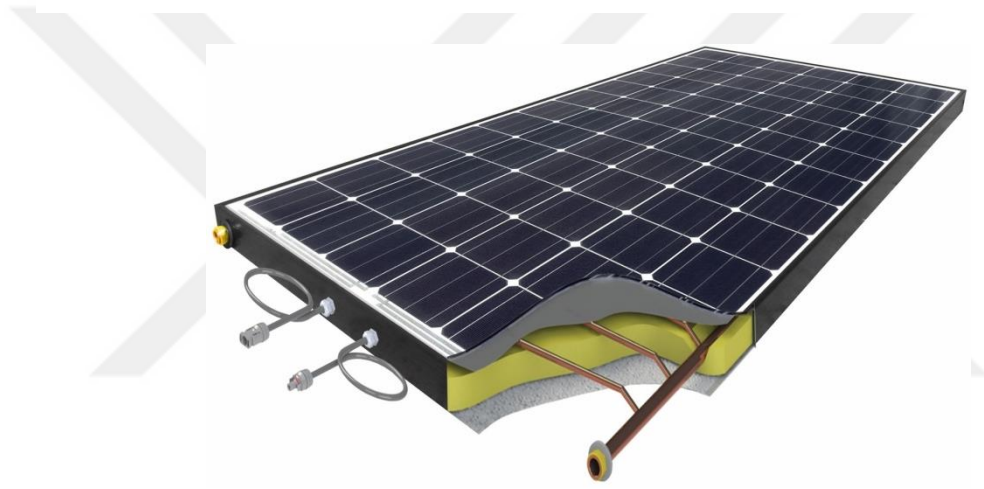
(c) Esnek Güneş Paneli



(d) İnce Film Güneş Paneli

Şekil 3.11. PV panel çeşitleri [28]

Fotovoltaik Termal Güneş Paneli (PV-T); aynı anda hem elektrik enerjisi üreten hem de sıcak hava veya kullanım suyu sağlayan hibrit sistemdir. En yaygın kullanılan PV-T panel sıcak suyun elde edildiği panellerdir. Bu güneş panelleri üst yüzeyindeki hücreler ile elektrik enerjisi üretirken, güneş panelinin arka yüzünde bulunan yüksek verimli bakır plakalar ile kullanım suyunu depolar. Güneş panelinin içerisinden geçen serin sıvının sirkülasyonu sayesinde hücrelerde oluşan sıcaklık uzaklaştırarak elektrik enerjisi üretimindeki verim artırılır. Böylece güneş ışınımından maksimum değerde geri dönüşüm elde edilmiş olur. PV-T sistemler, birbirinden bağımsız olarak kurulan güneş paneli (fotovoltaik) sistemleri ve termal sistemlere göre daha düşük kurulum maliyetine sahiptir. PV-T güneş paneli resmi Şekil 3.12’de verilmiştir [28].



Şekil 3.12. PV-T güneş paneli [28]

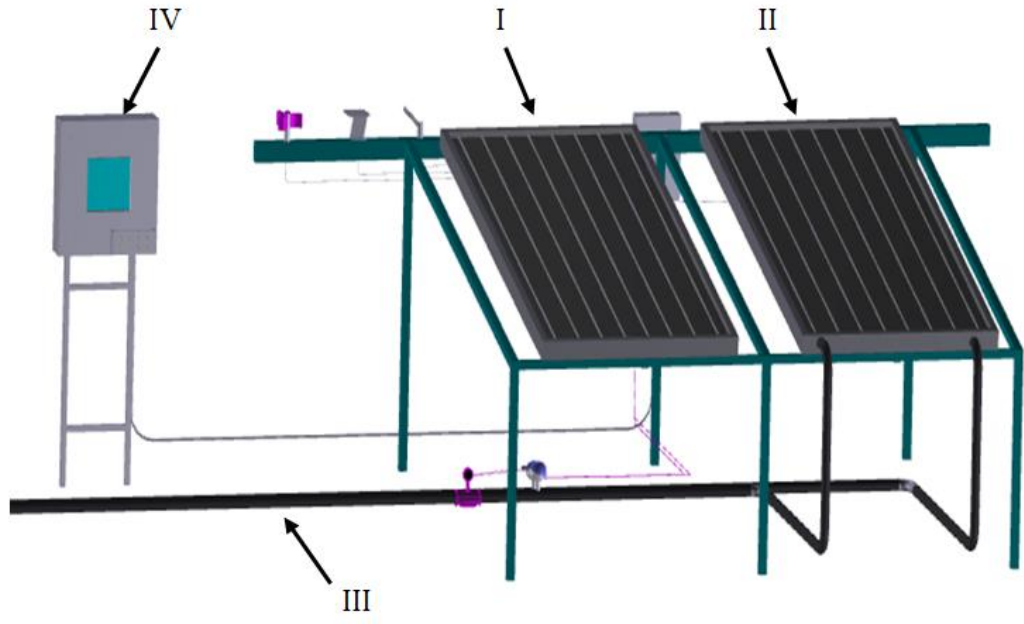
Fotovoltaik güneş panelleri, üzerlerine düşen güneş ışınımının sınırlı bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Üretildikleri malzemenin özelliklerine bağlı olarak, çok farklı dalga boylarında ışınım içeren güneş enerjisinin yalnızca spektral cevap aralıklarına karşılık gelen bölümünü elektriğe çevirirken, büyük bir oranı fotovoltaik malzemede ısı yükü oluşturur. Oluşan bu aşırı ısı yükü, hem fotovoltaik panellerin anlık verimini düşürmekte, hem de uzun vadede malzemenin yapısını bozabilmektedir. Fotovoltaik panellerde elektriğe dönüştürülemeyen güneş ışınımının oluşturduğu bu aşırı ısı yükünü uzaklaştırmak ve değerlendirmek amacı ile fotovoltaik termal (PV-T) sistemler tasarlanmıştır. PV-T sistemler ile hem oluşan aşırı ısı yükü fotovoltaik malzemedan uzaklaştırılabilmekte, hem de bu enerjiden ısı

olarak yararlanılabilmektedir. Böylece bir bakıma tek bir modülden hem elektrik hem ısı enerjisi elde eden bir enerji sistemi ortaya çıkmaktadır [27].

PV-T kolektör, PV modülü ve arkasına yerleştirilmiş olan emici plakadan oluşmaktadır. Emici plakanın iki ana görevi bulunmaktadır. Birincisi, fotovoltaik (PV) modülü soğutmak ve böylece elektrik üretim performansını arttırmak, ikincisi ise PV sistem tarafından çevreye atılan atık ısıyı yararlı işe çevirmektir [29].

3.3 Deney Düzeneği

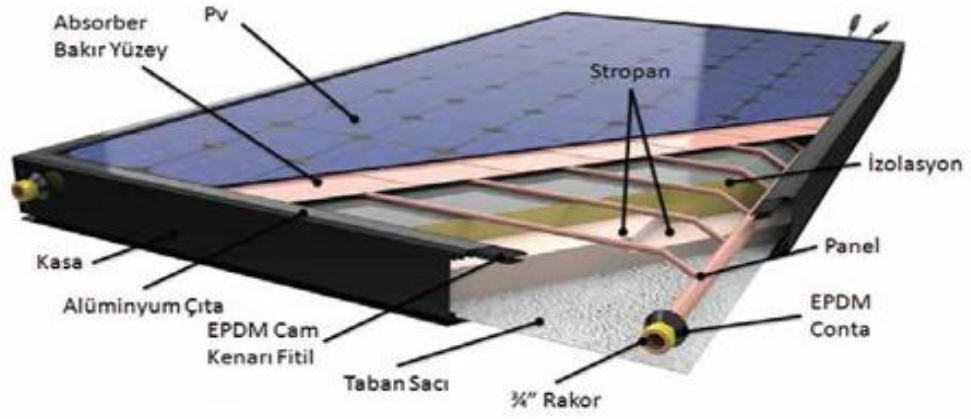
Bu tez çalışmasında, fotovoltaik panel (PV) ile fotovoltaik termal paneli (PV-T) deneysel olarak karşılaştırabilmek amacıyla bir deney düzeneği tasarlanarak kurulmuştur. Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş MDF Fabrikası'nın Adana'da yer alan üretim tesislerinde kurulan deney düzeneğinin şematik ve gerçek resmi sırasıyla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tasarımı yapılan deney düzeneğinde, PV ve PV-T olmak üzere 190 W özdeş güce sahip iki adet sıvı geçişli Solimpeks marka Povervolt serisi panel kullanılmıştır. PV-T panelin birinin içerisinden su geçirilmiştir. Diğerin ise alt izolasyonları sökülerek sıvı geçişi engellenmiş ve PV panel haline dönüştürülmüştür. Kullanılan PV-T panelin görsel resmi Şekil 3.15'de, teknik özellikleri ise Çizelge 3.4' de verilmiştir. Paneller deney düzeneğinin kurulduğu Adana ili enlem derecesi de düşünülerek 20° açı ile monte edilmiştir. Deney düzeneğinde PV-T kolektör için su, işlemede bulunan farklı sıcaklıklara sahip suyun dolaştığı absorpsiyonlu chiller ve hamsu hattından sağlanmıştır. Hatların birbirine karışmaması için her bir hat için ayrı kesici vanalar kullanılmıştır. PV-T kolektör girişinde su debisi, hatta yerleştirilen küresel vana ile ayarlanmaktadır. Deney düzeneğinin montaj aşamaları Şekil 3.16'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (I: PV panel, II: PV-T panel, III: Su hattı, IV: Kontrol panosu)



Şekil 3.14. Deney düzeneğinin resmi



Şekil 3.15. Kullanılan PV-T kolektörün resmi [28]

Çizelge 3.4. Kullanılan PV-T panelin teknik özellikleri [30]

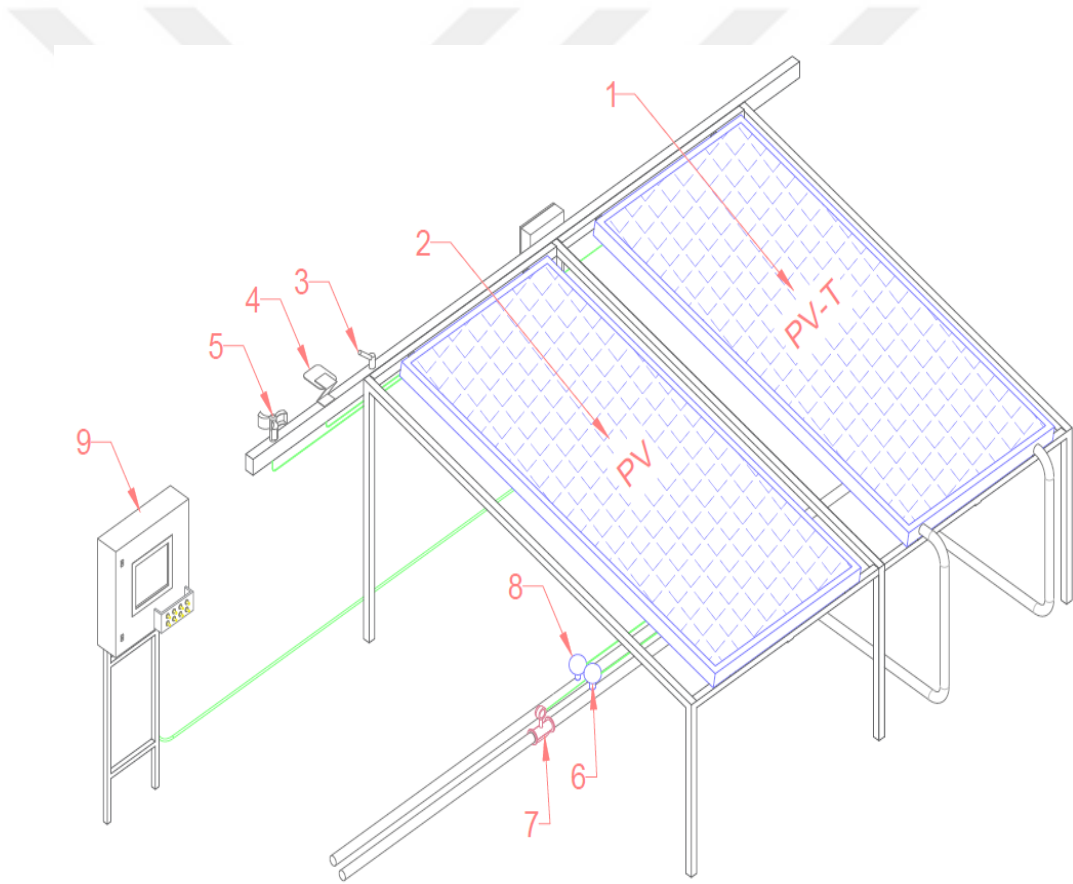
Marka	Solimpeks
Hücre Paneli	Monokristaline
Hücre Sayısı	72
Hücre Ebatları (mm)	125x125
WP (W) Nominal Güç	190
Imp (A) Nominal Akım	5,2
Isc (A) Kısa Devre Akımı	5,6
Vpm (V) Nominal Voltaj	36,4
Hücre Verimi (STC)	17,50%
Modül Verimi (STC)	14,88%
Soğutucu Yüzey	Bakır
Soğutucu Boru	Bakır



Şekil 3.16 Dency düzeneğinin montaj aşamaları

3.4 Ölçüm Sistemi

Panellerin performanslarını belirleyebilmek, detaylı enerji analizlerini ve karşılaştırmaları yapabilmek amacıyla deney düzeneği üzerinde ışınım, rüzgar hızı, atmosfer sıcaklığı, akım, voltaj, su giriş-çıkış sıcaklığı ve debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğindeki ölçüm noktaları Şekil 3.17’de verilmiştir. Çizelge 3.5’de ise deney düzeneğindeki farklı noktalar üzerinde ölçülen parametreler verilmiştir. Deney düzeneğinde, ölçülen farklı parametreler PLC ve veri kaydedicinin içerisinde yer aldığı kontrol panosu kullanılarak her 20 dakikada bir kayıt edilebilmektedir.



Şekil 3.17. Ölçüm noktaları

Çizelge 3.5 Ölçüm noktaları ve ölçüm parametreleri tablosu

Ölçüm İstasyonu	Ölçüm İstasyonu Yeri	Ölçülen Parametresi	Birim
1	PV-T	Panel Yüzey Sıcaklığı	°C
2	PV	Panel Yüzey Sıcaklığı	°C
3	Atmosfer	Sıcaklık	°C
4	Atmosfer	Işınım Şiddeti	W/m ²
5	Atmosfer	Rüzgar Hızı	m/sn
6	Su Giriş	Sıcaklık	°C
7	Su Giriş	Debi	kg/s
8	Su Çıkış	Sıcaklık	°C
9	Pano	PV akım-gerilim, PV-T akım-gerilim	A-V

Deney düzeneğinde suyun debisin ölçülmesi için “Micro Motion Elite Coriolis” serisi “Emerson” marka akış ölçüm cihazı (debimetre) kullanılmıştır. Debimetrenin resmi ve montaj sonrası resmi Şekil 3.18’ de, teknik özellikleri ise Çizelge 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.18. Ölçümlerde kullanılan debimetre [31]

Çizelge 3.6. Ölçümlerde kullanılan debimetrenin teknik özellikleri [31]

Parametre	Değer
Ölçüm aralığı	$\pm 0,01$
Kütle/hacim akış hassasiyeti	%0,05
Yoğunluk hassasiyeti	$\pm 0,0005$
Sıcaklık hassasiyeti	± 1 °C

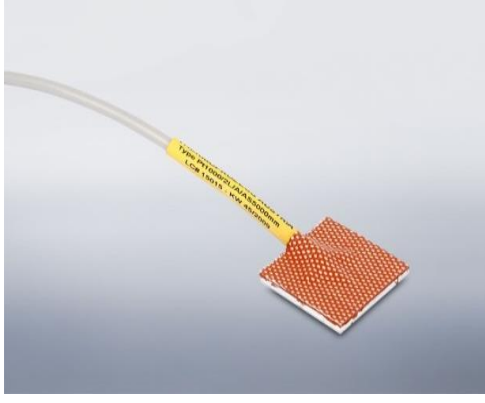
Su giriş ve çıkış sıcaklığı ölçmek için Elimko marka termometre kullanılmıştır. Rezistans termometreler -200°C den $+850^{\circ}\text{C}$ ye kadar çok çeşitli proseslerde yaygın olarak kullanılırlar. Özellikle düşük sıcaklıklarda termokupllara nazaran çok daha doğru değerler verdikleri için tercih edilirler. Ölçüm hassasiyeti $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ dir. Rezistans termometrenin resmi ve montaj sonrası resmi Şekil 3.19’da verilmiştir [32].

Yüzey sıcaklığı ölçmek için Fronius marka kendinden yapışkanlı yüzey sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Sensörün ölçüm aralığı -20 °C ile $+150$ °C aralığındadır. Sensörün ölçüm hassasiyetliği ise $\pm 0,45$ °C’dir. Yüzey sıcaklık ölçer sensörün resmi ve montaj sonrası resmi şekil 3.20’de verilmiştir.

Işınım ölçmek için Fronuis marka ışınım sensörü kullanılmıştır. Işınım ölçer cihazı 1 W/m^2 ile 1100 W/m^2 aralığında ölçüm alabilmektedir. Cihaz hassasiyeti yıllık olarak ortalama ± 5 ‘dir. Kullanılan ışınım sensörünün resmi ve montaj sonrası resmi Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.19. Ölçümlerde kullanılan su sıcaklık ölçer [32]



Şekil 3.20. Ölçümlerde kullanılan yüzey sıcaklık ölçer [33]



Şekil 3.21. Ölçümlerde kullanılan ışıınım ölçer [33]

Rüzgar hızı ölçmek için Fronuis marka rüzgar ölçer sensörü kullanılmıştır. Sensörün hassasiyeti 5 m/s de $\pm 5\%$ dir. Ölçümler sırasında kullanılan rüzgar hızı ölçer cihazın resmi ve montaj sonrası resmi Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Ölçümlerde kullanılan rüzgar hızı ölçer [33]

Ortam sıcaklığını ölçmek için Fronuis marka PT1000 kullanılmıştır. PT1000 'in ölçüm aralığı $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. PT1000 'in ölçüm hassasiyeti $\pm 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ölçümler sırasında kullanılan ortam sıcaklık ölçerin görseli ve montaj sonrası resmi Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Ölçümlerde kullanılan hava sıcaklık ölçer [33]

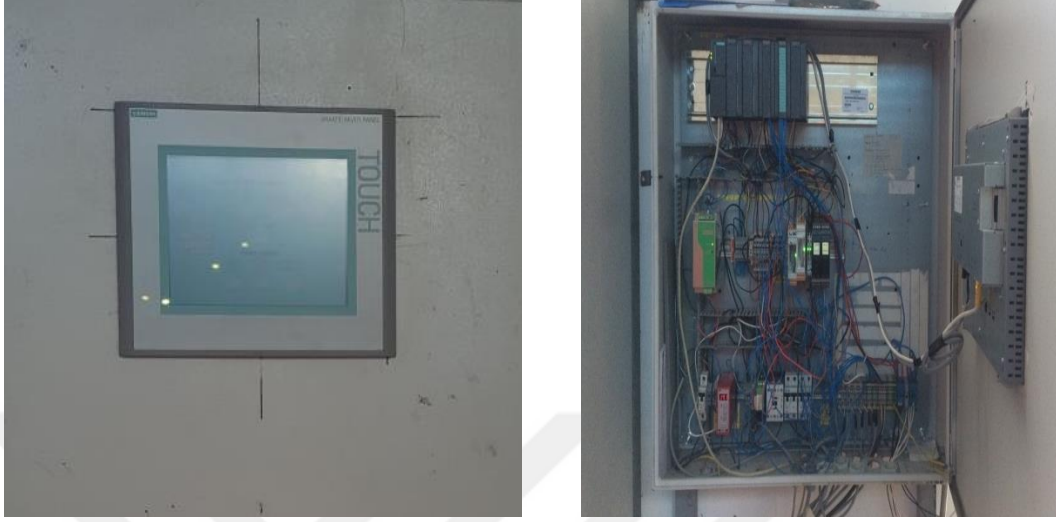
Deney düzeneğinde gerilim, PV ve PV-T kolektörlerden üretildiğinden direk panoda yer alan çevirici kullanılarak ölçülebilmektedir. Akım ise direnç yaratarak ölçülebilmek için, her iki panelde Narva marka 24 volt 70 watt gücünde dörder adet DC ampul kullanılmıştır. Ampüller birbirine paralel bağlanmıştır. DC ampulün görsel resmi ve ampüllerin panoya montaj sonrası resmi Şekil 3.29'da verilmiştir [34].



Şekil 3.24. Ölçümlerde akım ölçmek için kullanılan ampüller [34]

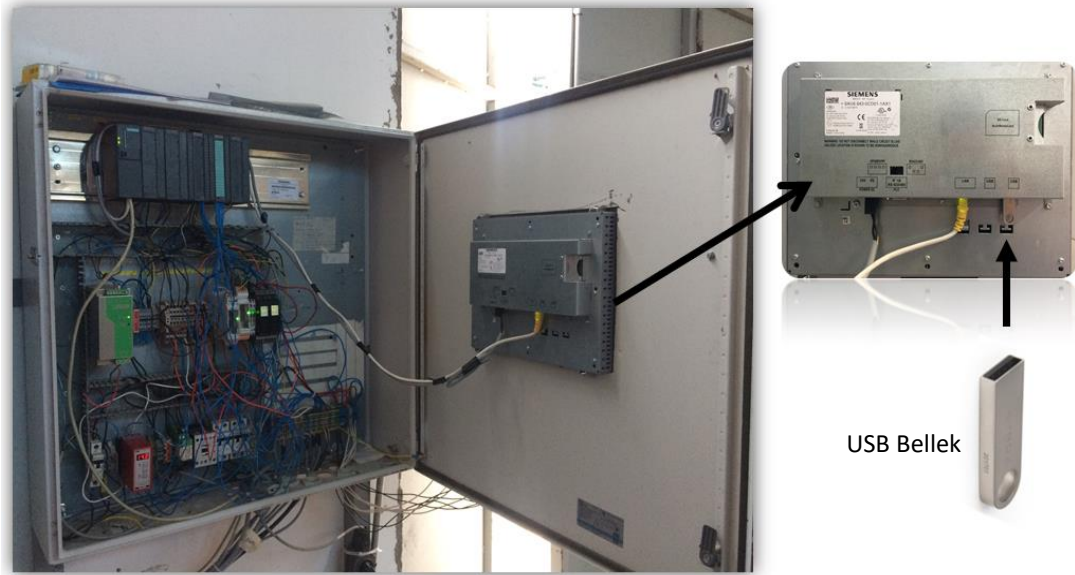
Deney düzeneğinde farklı parametrelerin (akım, voltaj, su debisi, giriş - çıkış su sıcaklığı ve panel yüzey sıcaklıkları, atmosfer sıcaklığı ve ışınlım) ölçülmesi ve anlık

olarak belirli aralıklarla kaydedilebilmesi için programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) kullanılmıştır. PLC aracılığı ile verilerin aktarılabilmesi için hazırlanan elektrik panosunun resmi Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Veri ölçme ve kayıt etme pano resmi

Pano üzerine bir adet “Siemens HMI Paneli” bulunmaktadır. HMI Panel, PLC sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş otomasyon sistemi ile kullanıcı arasında etkileşim sağlayan ünedir. Anlık alınan ölçüm verileri PLC tarafından HMI’ya aktarılmakta ve veriler USB Bellek (Şekil 3.26) ile sistemden çekilmektedir.



Şekil 3.26. Kontrol panosu ve USB bağlantı noktası

3.5. Analizler

PV ve PV-T panellerin performansının belirlenmesi ve analizlerin yorumlanması için aşağıdaki denklemlerden faydalanılmıştır.

PV panel enerji dengesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir [8,29];

$$E_{PV} = E_{PV,elektrik} + E_{PV,termal} \quad (1)$$

Burada E_{PV} , PV panelin elektriksel ve termal gücünü (W) ifade etmektedir. $E_{PV,elektrik}$ PV panelin elektrik üretimini (W) ve $E_{PV,termal}$ ise PV panelden olan ısı kayıplarını (W) ifade etmektedir. Bir PV panelin elektriksel gücü ($E_{PV,elektrik}$) aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir

$$E_{PV,elektrik} = V_{oc}I_{sc} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de V_{oc} açık devre voltajını ve I_{sc} kısa devre akımını göstermektedir. PV sistemden çevreye olan ısı kayıpları ($E_{PV,termal}$) eşitlik 3’te verilmiştir.

$$E_{PV,termal} = h_{ca} \cdot A_c \cdot (T_c - T_a) \quad (3)$$

Burada T_c hücre sıcaklığı (K) ve h_{ca} (W/m²K) PV hücreden çevreye olan konvektif ve ışımsal ısı kayıp (transfer) katsayısıdır. A_c panel yüzey alanı (m²)’dir. Kararlı halde güneş hücre sıcaklığı aşağıdaki gibi verilir. T_s güneş radyasyon sıcaklığıdır ve değeri 5777 K dir. T_a ise atmosfer sıcaklığıdır.

PV hücreden çevreye olan ısı kayıp katsayısı, rüzgar hızına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$h_{ca} = 2,8 + (3,0v_r) \text{ için } 0 \leq v_r \leq 7 \text{ ms}^{-1} \quad (4)$$

Burada v_r , PV panelin üzerinde ölçülen rüzgar hızıdır. Sonuç olarak PV panelin toplam enerji dengesi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$En_{PV} = V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_c - T_a) \quad (5)$$

Bir PV panelin verimi (n_{PV}) sistemin çıktı enerjisinin (elektrik ve termal enerji) , PV yüzey üzerine ulaşan girdi enerjisine (güneş ışınımına/enerjisine) oranı olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 6).

$$n_{PV} = \frac{E_{PV}}{I_s A_c} = \frac{V_{oc} I_{sc} + h_{ca} A_c (T_c - T_a)}{I_s A_c} \quad (6)$$

Bir PV panelin elektrik verimi ($n_{PV,D}$) ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [8]

$$n_{PV,D} = \frac{E_{PV,E}}{E_s} \quad (7)$$

Burada $E_{PV,E}$ PV sistem tarafından gün boyunca üretilen toplam elektrik enerjisini (W), E_s ise gün boyunca panel alanına gelen ışınım enerjisi (W) göstermektedir [8].

PV-T panel enerji dengesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$Q_{u,PV-T} = Q_T - Q_L \quad (8)$$

$$Q_{u,PV-T} = A_c F_R [(\tau\alpha)_{eff} I_s - U_L (T_i - T_a)] \quad (9)$$

Burada; $Q_{u,PV-T}$ toplam yararlı ısı, Q_T absorbe edilen güneş ısı, Q_L ısı kayıpları, F_R ısı kazanç faktörü, $(\tau\alpha)_{eff}$ etkin geçirgenlik soğurma katsayısı, U_L toplam ısı kayıp katsayısı (W/m^2K) ve T_i çalışma sıvısının panele giriş sıcaklığıdır. Kolektör ısı kazanç faktörü aşağıdaki gibi verilir [8,35].

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (10)$$

Burada F' panel verim faktörü olup, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D h_f} \right]} \quad (11)$$

Eşitlik 11'de W ısı taşıyıcı akışkanın geçtiği boruların arasındaki boşluğu (m), D borunun iç çapını (m), F standart kanat verimini, C_b sınır ve iletkenliği, h_f ise boruların içindeki ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Bir PV-T panelin verimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$n_{PV-T} = \frac{Q_{u,PV-T}}{I_s A_c} = \frac{F_R [(\tau\alpha)_{eff} I_s - U_L (T_i - T_a)]}{I_s} \quad (12)$$

PV-T panelin ısı performansını, su giriş ve ortam sıcaklığına, panel üzerine gelen güneş ışınlarının yoğunluğuna ve yansıtıcıya bağlı olmaktadır. PV-T paneli günlük toplam verimi, elektrik ve ısı verime benzer olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [8,36].

$$n_{PV-T} = \frac{n_E}{n_{güç}} + n_{I,PV-T} \quad (13)$$

Burada $n_{güç}$ işletimdeki bir santral için elektrik verimi olup değeri 0,38 olarak alınabilir [37].

Bu tez çalışmasında; kolektör ısı kayıp katsayısı (U_L) 4 W/m²K, F' için ortalama değeri 0,925 [38] ve etkin geçirgenlik soğurma katsayısı $(\tau\alpha)_{eff}$ ise 0,53 alınmıştır [39].

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

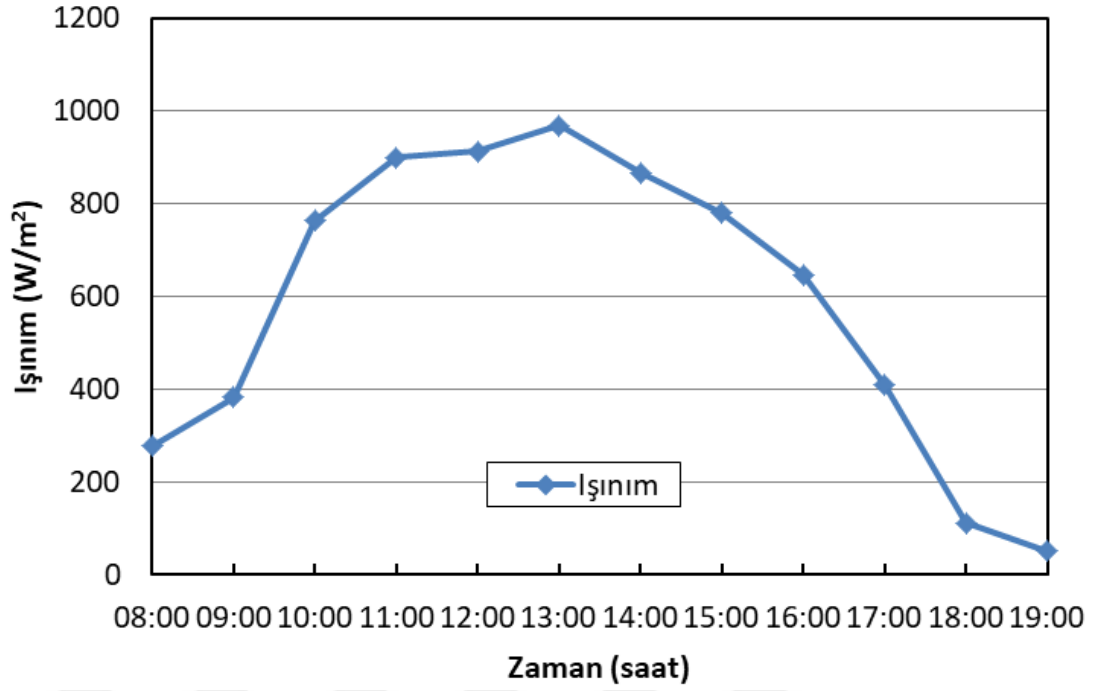
PV ve PV-T kolektörlerin performanslarını belirleyebilmek, detaylı enerji analizlerini ve karşılaştırmaları yapabilmek amacıyla Adana ili iklim koşullarında 2018 yılı Mayıs, Haziran Temmuz ve Ağustos aylarında deneyler (ölçümler ve hesaplamalar) yapılmıştır. Deneyler ışınımın etkili olduğu 08:00-19:00 saatleri arasında ortalama 11 saat devam etmiştir. Farklı dış hava şartlarında (sıcaklık, ışınım, rüzgar hızı vb.) gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Kolektörlerin performansları, farklı dış hava şartları dışında farklı su giriş sıcaklığı (10°C ve 26°C) ve su debisi (400 kg/saat ve 1000 kg/saat) için de karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.7’de 2018 yılı yaz sezonunda farklı şartlarda yapılan deneyler ve deneylere ait bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 3.7. 2018 yılı yaz sezonunda farklı şartlarda yapılan deneyler ve deneylere ait bilgiler tablosu

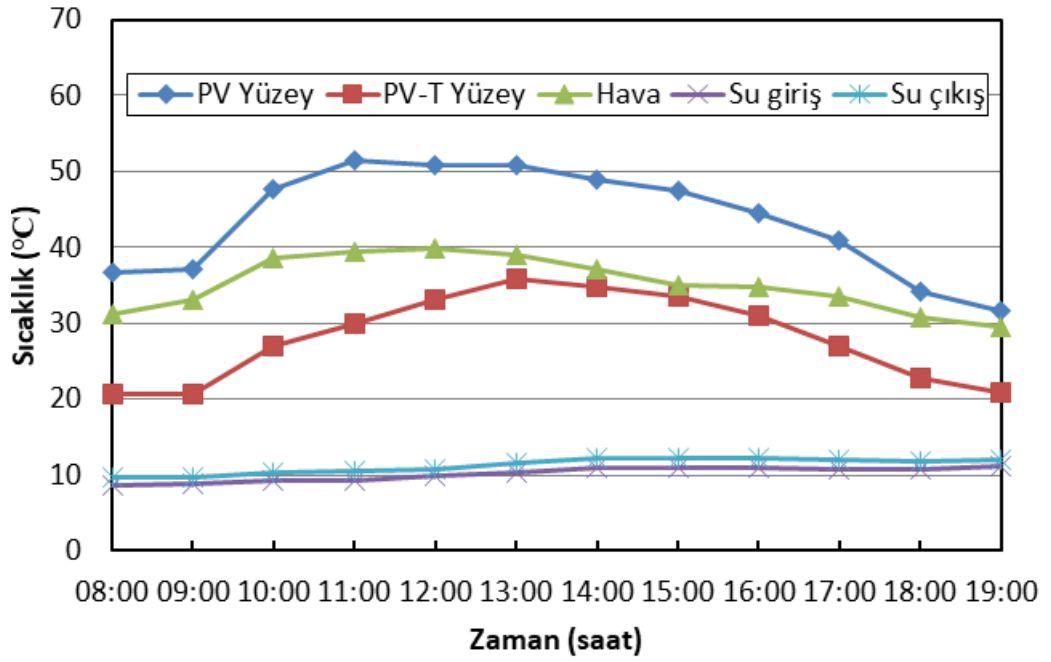
Deney Günü	Günlük Ortalama Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Günlük Ortalama Işınım (W/m².gün)	Su giriş Sıcaklığı (°C)	Su debisi (kg/saat)
01.05.2018	31,3	571	26	1000
02.05.2018	30,2	575	10	1000
06.05.2018	29,7	604	10	400
12.06.2018	31,2	605	26	1000
15.06.2018	30,1	618	10	1000
17.06.2018	33,4	611	10	400
28.06.2018	36,5	669	10	400
05.07.2018	36,8	642	10	400
06.07.2018	34,8	613	10	1000
13.07.2018	35,1	589	10	1000
18.07.2018	37,3	667	26	1000
01.08.2018	34,1	580	10	400
10.08.2018	35,5	613	10	1000
12.08.2018	34	599	26	1000

Şekiller 4.1-4.6'da örnek olarak 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yapılan deneyde PV-T kolektör içerisinde 1000 kg/saat debisinde 10 °C'de su dolaştırılmıştır. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde ölçülen ışıınım, sıcaklıkların ve rüzgar hızının zamana göre (gün boyunca) değişimi sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de ise ölçülen değerler kullanılarak PV ve PV-T kolektörler için hesaplanan güç, elektriksel verim ve toplam verimin zamana göre değişimini gösteren grafikler verilmiştir.

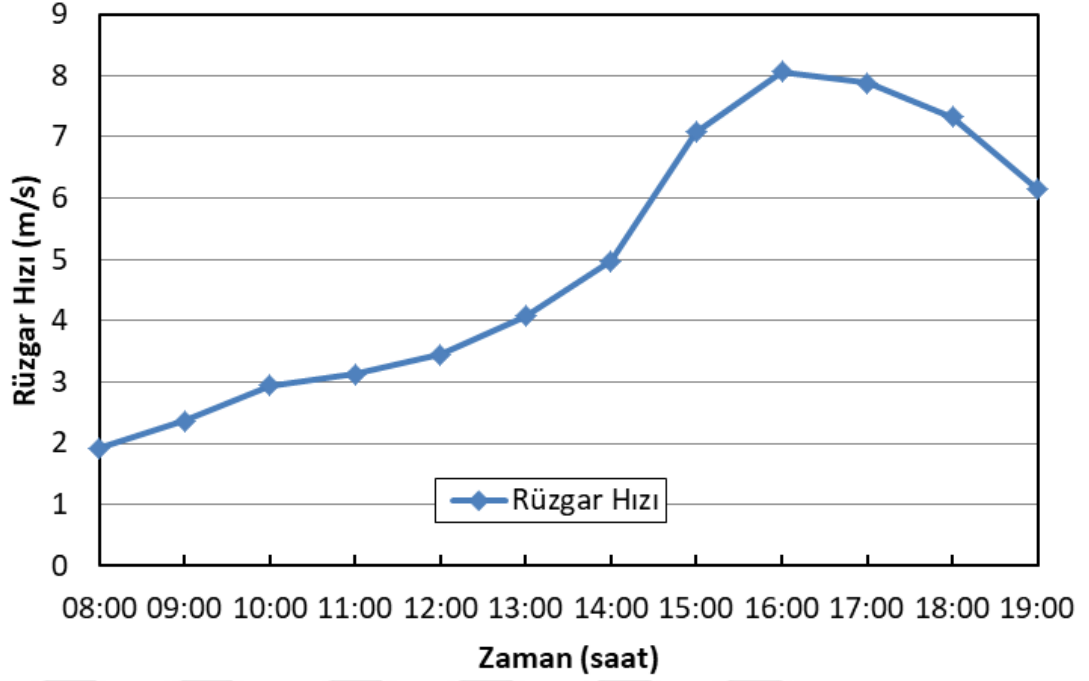
Şekil 4.1'den 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde ışıınım miktarının gün içerisinde 10 ile 1000 W/m² aralığında değiştiği, maksimum değerine öğlen saatlerinde ulaştığı ve günlük toplam ışıınım miktarının yaklaşık 7000 W/m².gün olduğu görülmektedir. Deney düzeneğinin farklı noktalarında ölçülen sıcaklıkların zamana göre değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekilden dış hava ve kolektör yüzey sıcaklıklarının gün içerisinde değişim gösterdiği ve öğle saatlerinde en yüksek değerine ulaştığı, PV-T kolektör yüzey sıcaklığı ile PV kolektör yüzey sıcaklığı arasında gün içerisinde 12-22°C'lik fark olduğu ayrıca su sıcaklıklarında değişim olmadığı görülmektedir. Şekil 4.3'de deney düzeneği etrafında ölçülen rüzgar hızının zamanla değişimi verilmiştir. Rüzgar hızı sabah saatlerinde 2 m/s iken gün içerisinde 8 m/s'ye kadar çıkmıştır. PV ve PV-T kolektörlerin elektrik üretimlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir. Şekilden kolektörlerle üretilen gücün ışıınıma bağlı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği (0-140 W) ve özellikle ışıınımın yüksek olduğu öğle saatlerinde PV-T kolektörde elde edilen gücün daha yüksek olduğu görülmektedir. PV-T kolektörde dolaşan soğuk suyun kolektör yüzey sıcaklığını düşürmesi sonucunda PV-T kolektörün elektriksel verimi artmakta (Şekil 4.5) ve böylece PV kolektöre göre daha fazla güç elde edilmektedir. PV ve PV-T kolektörde gün boyunca sırasıyla 743,5 W/gün ve 815,5 W/gün'lük üretim gerçekleştirilmiş ayrıca PV-T kolektörün PV 'ye göre %9,67 daha fazla elektrik ürettiği görülmüştür (Şekil 4.4). Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü üzere PV ve PV-T kolektörün günlük ortalama elektrik verimleri sırasıyla %6,83 ve %7,63 olarak gerçekleşir iken ortalama toplam verimleri sırasıyla %20,4 ve % 64,6 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlardan PV kolektörün yüzey sıcaklığının düşürülmesi ile elektrik üretim kapasitesinde, elektriksel verimde ve toplam verimlerde artış sağlanabileceğini gösterilmiştir.



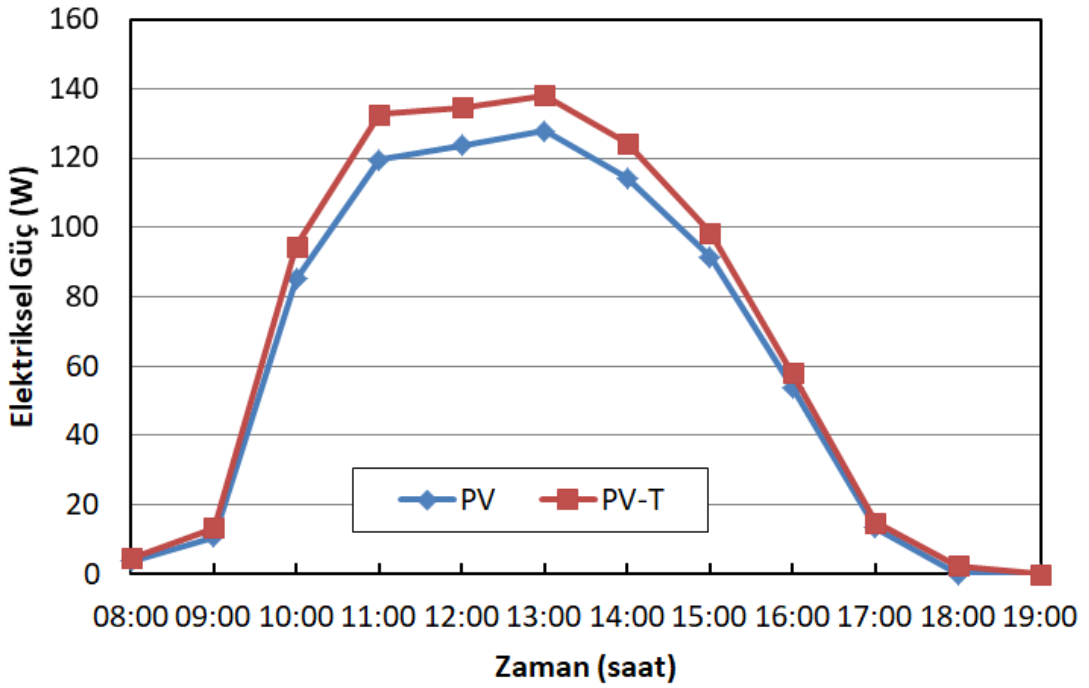
Şekil 4.1. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi



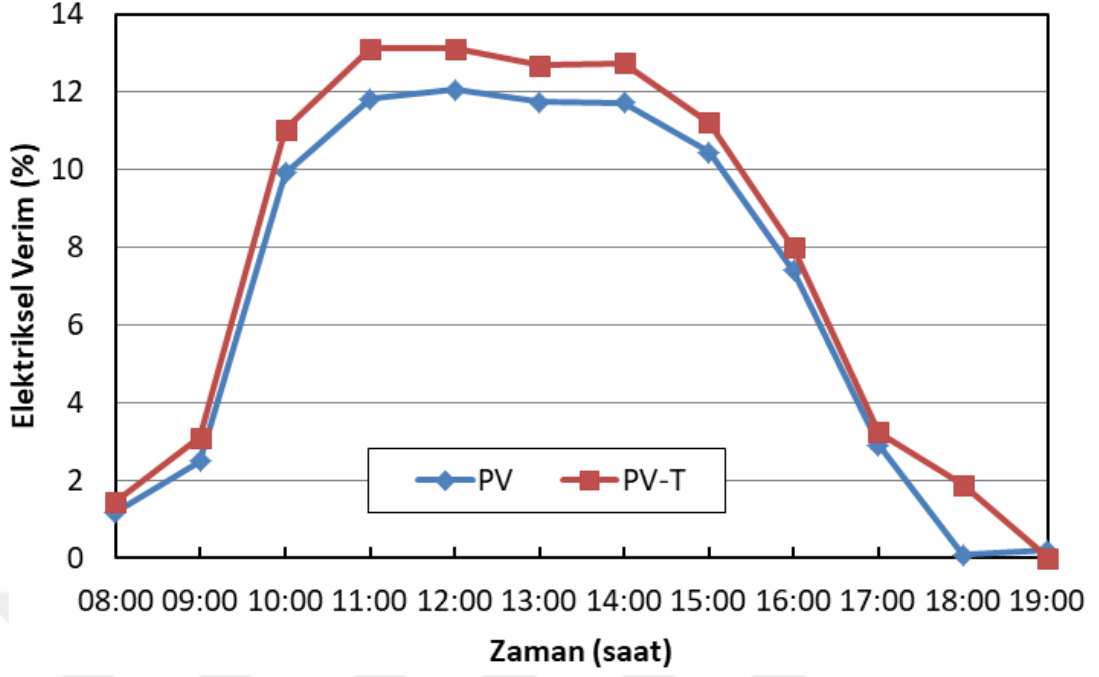
Şekil 4.2. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde sıcaklığın zamana göre değişimi



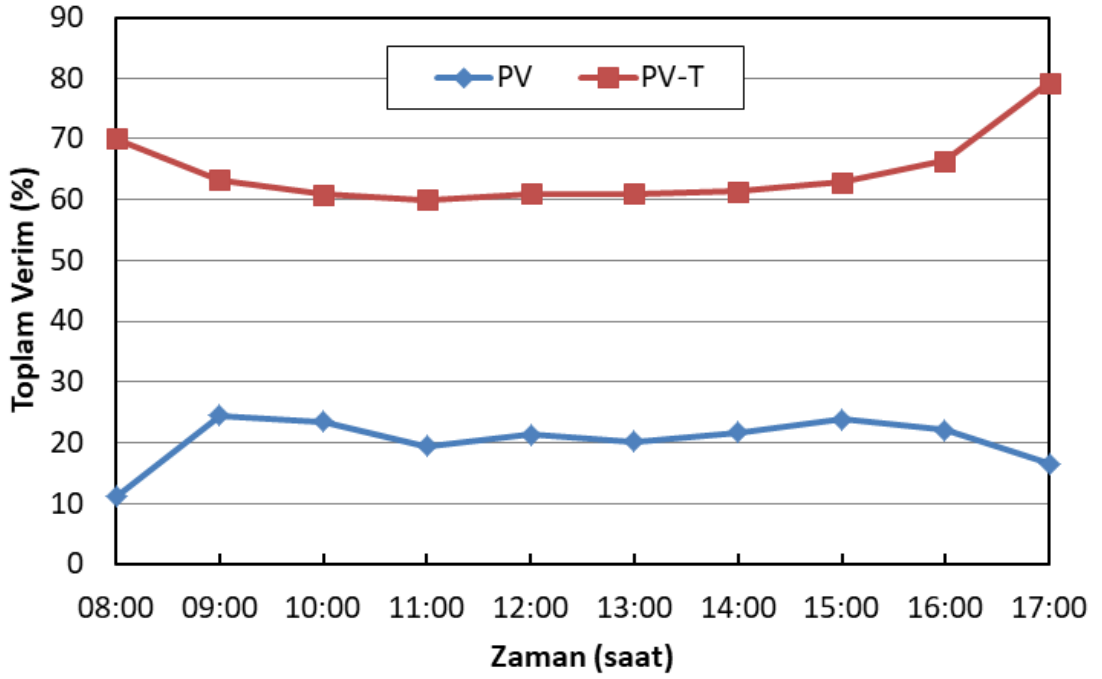
Şekil 4.3. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde rüzgar hızının zamana göre değişimi



Şekil 4.4. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde elektriksel gücün zamana göre değişimi



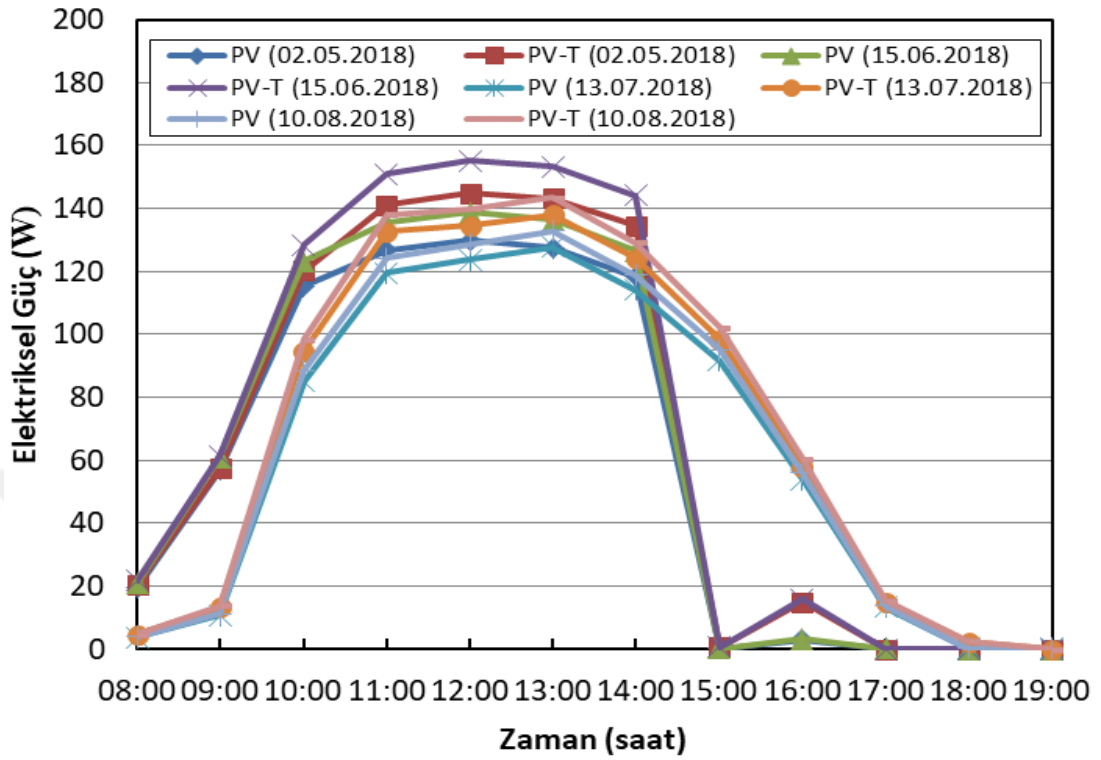
Şekil 4.5. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde elektriksel verimin zamana göre değişimi



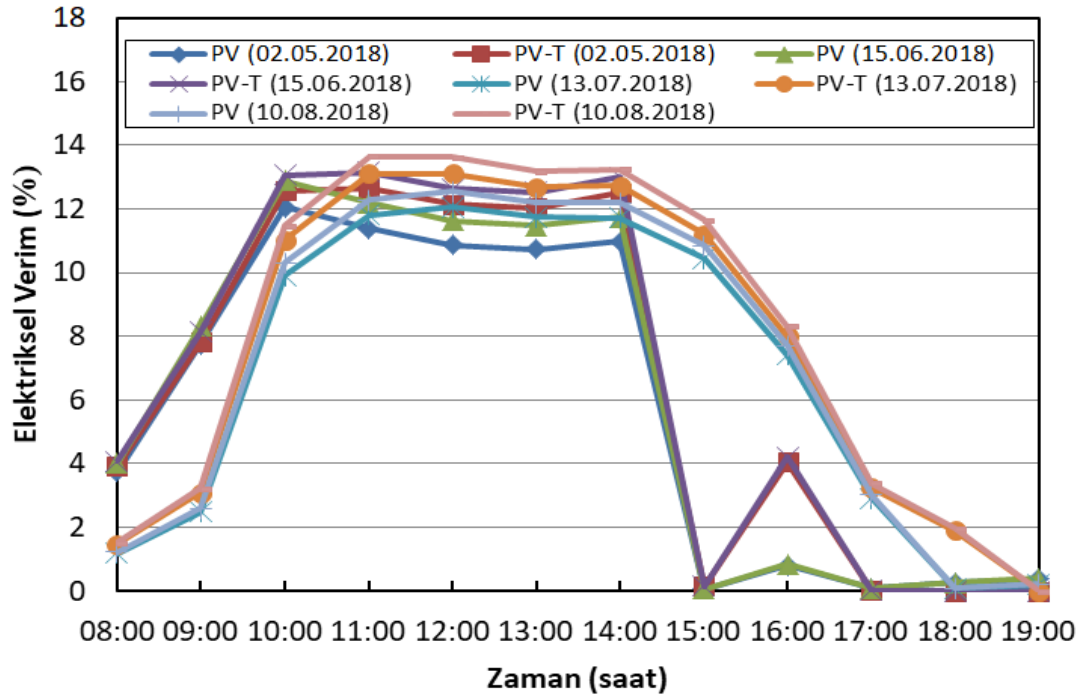
Şekil 4.6. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde toplam verimin zamana göre değişimi

Şekil 4.7-4.9'da sırasıyla örnek deneyle aynı şartlarda farklı ayları temsil eden günler için (su debisi ve su sıcaklığı) gerçekleştirilen diğer bazı deneylerde elde edilen güç, elektriksel verim ve toplam verimin zamanla değişimi verilmiştir. Şekillerden

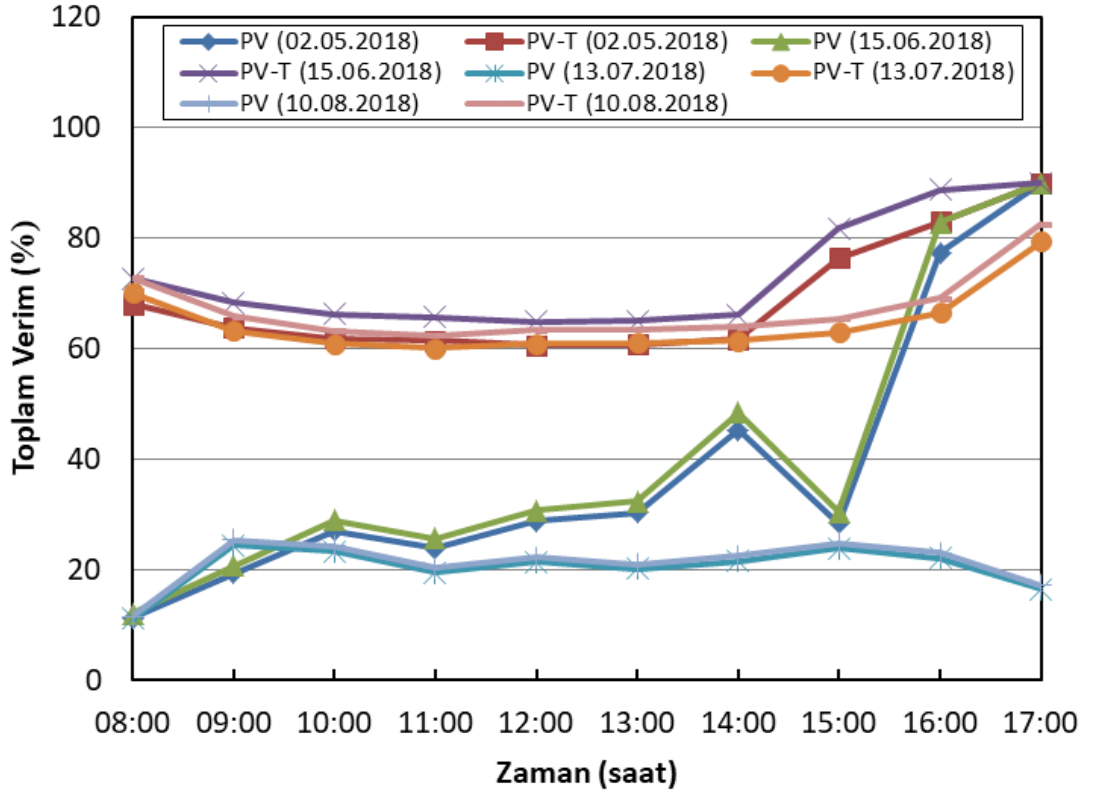
görüldüğü gibi yukarıdaki örnek gün için elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Aynı şartlarda farklı ayları temsil eden günler için (su debisi ve su sıcaklığı) gerçekleştirilen diğer bazı deneylerde elde edilen elektriksel gücün zamana göre değişimi



Şekil 4.8 Aynı şartlarda farklı ayları temsil eden günler için (su debisi ve su sıcaklığı) gerçekleştirilen diğer bazı deneylerde elde edilen elektriksel verimin zamana göre değişimi

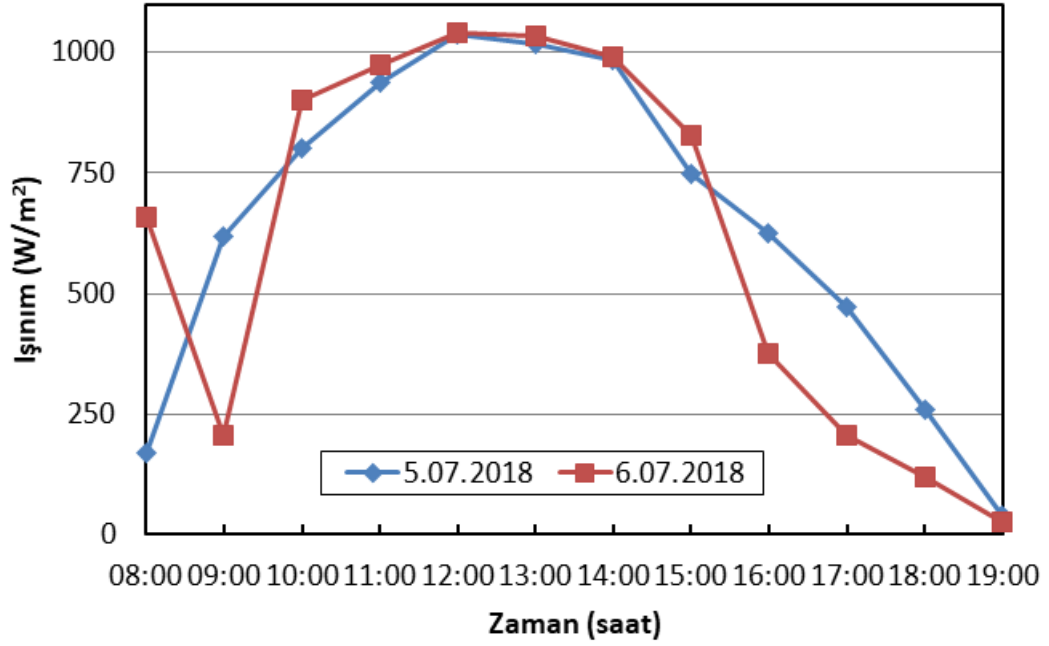


Şekil 4.9 Aynı şartlarda farklı ayları temsil eden günler için (su debisi ve su sıcaklığı) gerçekleştirilen diğer bazı deneylerde elde edilen toplam verimin zamana göre değişimi

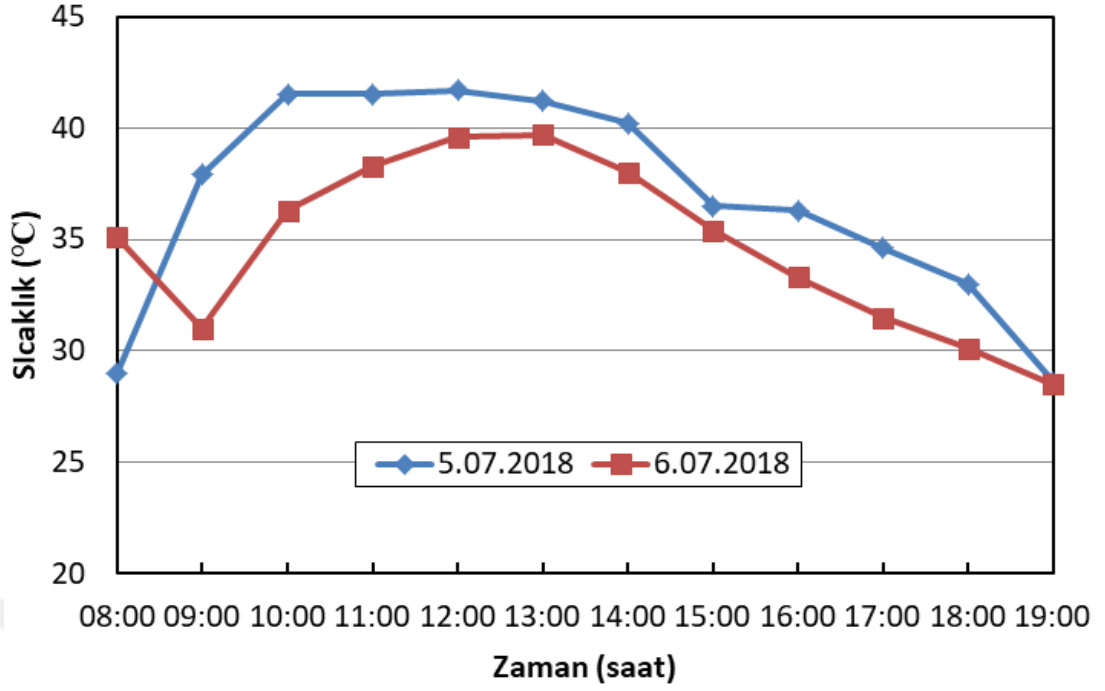
Bu tez çalışması kapsamında kolektörlerin performansları, farklı dış hava şartları dışında farklı su giriş sıcaklığı (10°C ve 26°C) ve su debisi (400 kg/saat ve 1000 kg/saat) için de karşılaştırılmıştır. Öncelikle su debisinin kolektörler üzerine etkisini görebilmek için benzer dış hava şartlarına sahip 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerde gerçekleştirilen deneyler ele alınmıştır. Bu kapsamda 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerde PV-T kolektör içerisinde 400kg/saat ve 1000 kg/saat farklı debilerdeki 10°C sıcaklığındaki su dolaştırılarak PV ve PV-T kolektörün performans analizi yapılmıştır. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneylerde ışıının, dış hava sıcaklığının ve yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. PV-T kolektör içerisinde 400 kg/saat ve 1000 kg/saat farklı debilerdeki 10°C sıcaklığındaki suyun PV-T kolektör içerinden dolaştırıldığında panel yüzeyin soğutulmasına bağlı olarak gücün zamana, elektriksel verimin zamana ve toplam verimin zamana göre değişimi gösteren grafikler ise Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmiştir.

Şekil 4.10'dan 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneylerde ışınım miktarının gün içerisinde 10 ile 1050 W/m² aralığında değiştiği, en yüksek değerine ise öğlen saatlerinde ulaştığı görülmektedir. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneylerde günlük toplam ışınım miktarları sırasıyla 7710 ve 7360 W/m².gün olduğu görülmektedir. Şekil 4.11'de hava sıcaklığının zamana göre değişimi verilmiştir. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde hava sıcaklığının gün içerisinde 29-42°C aralığında değişmektedir. Şekil 4.10 ve 4.11'den, 05.07.2018 ve 06.07.2018 günlerinin yaklaşık aynı iklim koşulunda olduğu anlaşılmış ve su debi karşılaştırması için bu günlerin ele alınmasına karar verilmiştir. Şekil 4.12'de 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde PV-T kolektör içerisinden iki farklı debide (400 ve 1000 kg/saat) 10°C de su dolaştırıldığında PV ve PV-T kolektörlerin yüzey sıcaklıklarının öğlen saatlerinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. 05.07.2018 tarihinde yapılan deneyde PV-T kolektör yüzey sıcaklıkları ile PV kolektör yüzey sıcaklıkları arasında gün içerisinde 12-25°C değişim görülür iken debinin yüksek olduğu 06.07.2018 tarihinde yapılan deneyde 16-27°C'lik fark olduğu görülmektedir. PV ve PV-T kolektörlerin elektrik üretimlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekilden 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde PV ve PV-T kolektörlerle üretilen gücün ışınımına bağlı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği görülmektedir. 05.07.2018 tarihinde yapılan deneyde PV ve PV-T kolektörlerde üretilen elektrik sırasıyla 0-127 W ve 0-138 W aralığında gerçekleşirken 06.07.2018 tarihinde yapılan deneyde 0-131 W ve 0-146 W aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Şekilden farklı debilerde PV-T kolektörün yüzey sıcaklığının PV kolektörden daha düşük sıcaklıklara inmesi durumunda daha fazla elektrik ürettiği görülmektedir. PV-T kolektörde dolaşan soğuk suyun kolektör yüzey sıcaklığını düşürmesi sonucunda PV-T kolektörün elektriksiz verimi artmakta (Şekil 4.14) ve böylece PV kolektöre göre daha fazla güç elde edilmektedir. PV ve PV-T kolektör için yapılan deneylerde, 05.07.2018 tarihinde gün boyunca sırasıyla 785,1 W/gün ve 862,9 W/gün'lük üretim gerçekleştirirken 06.07.2018 tarihinde gün boyunca sırasıyla 830 W/gün ve 925 W/gün'lük üretim gerçekleşmiştir. Ayrıca 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihinde yapılan deneylerde günlük üretilen elektrik gücü olarak PV-T kolektörün PV 'ye göre sırasıyla %9,9 ve %11,45 daha fazla elektrik ürettiği görülmektedir (Şekil 4.13). Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de görüldüğü üzere

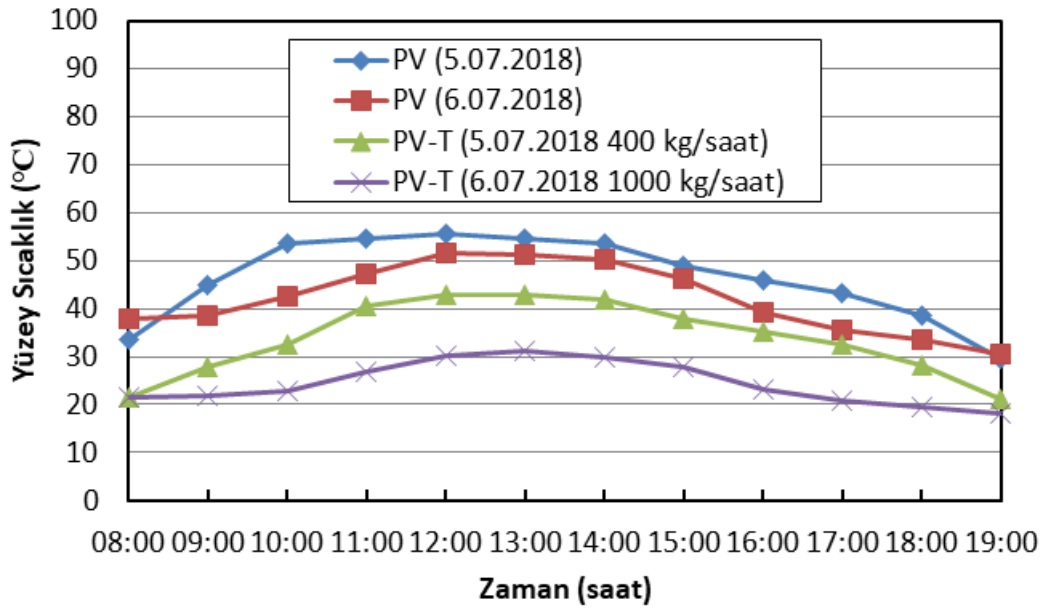
05.07.2018 tarihinde yapılan deneyde PV ve PV-T kolektörün günlük ortalama elektrik verimleri sırasıyla %6,84 ve %7,55 olarak gerçekleşir iken ortalama toplam verimleri sırasıyla %29,86 ve % 66,46 olarak gerçekleşmiştir. 06.07.2018 tarihinde yapılan deneyde ise PV ve PV-T kolektörün günlük ortalama elektrik verimleri sırasıyla %6,85 ve %7,62 olarak gerçekleşir iken ortalama toplam verimleri sırasıyla %33,45 ve % 70,72 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlardan, su debisindeki artışa bağlı olarak PV kolektörün yüzey sıcaklığının düşürülmesi ile elektrik üretim kapasitesinde ve elektriksel verimde artış sağlanabileceğini görülmüş ayrıca aynı çevre ve proses şartlarında su debisi ile PV-T kolektörün toplam verimi arasında doğru orantı olduğunu anlaşılmıştır.



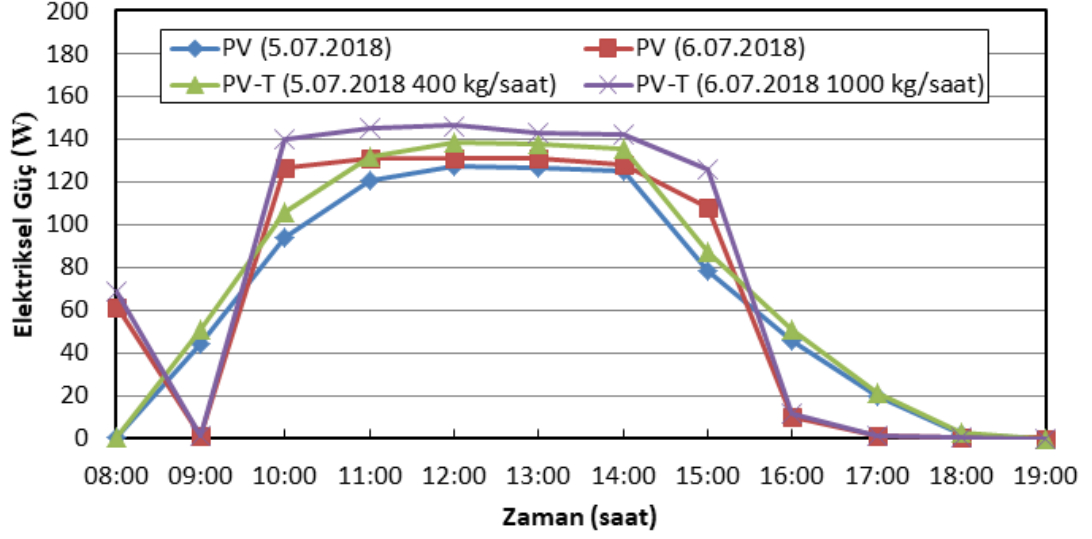
Şekil 4.10. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi



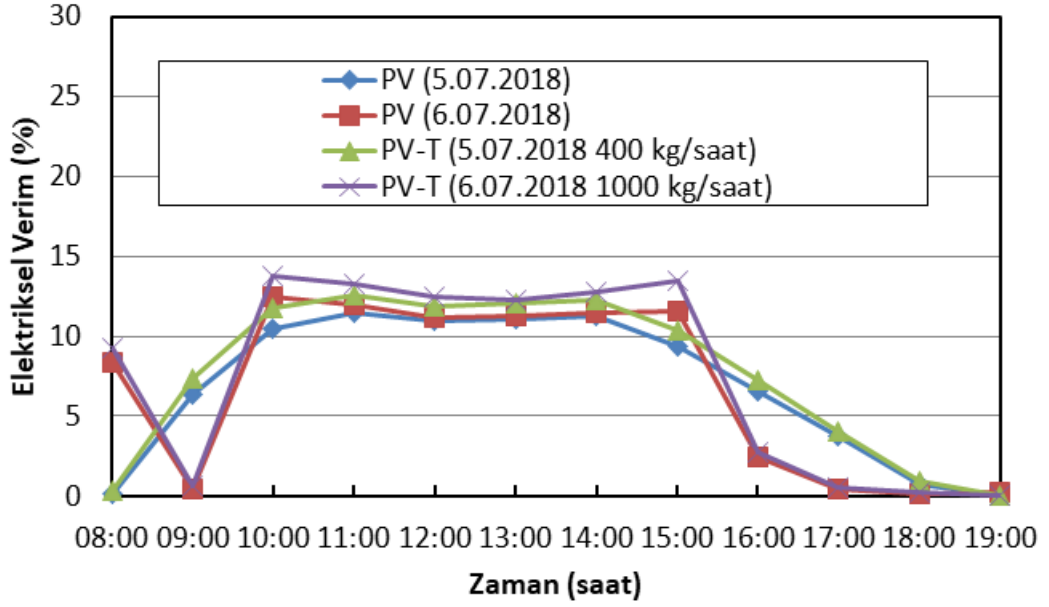
Şekil 4.11. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde sıcaklığının zamana göre değişimi



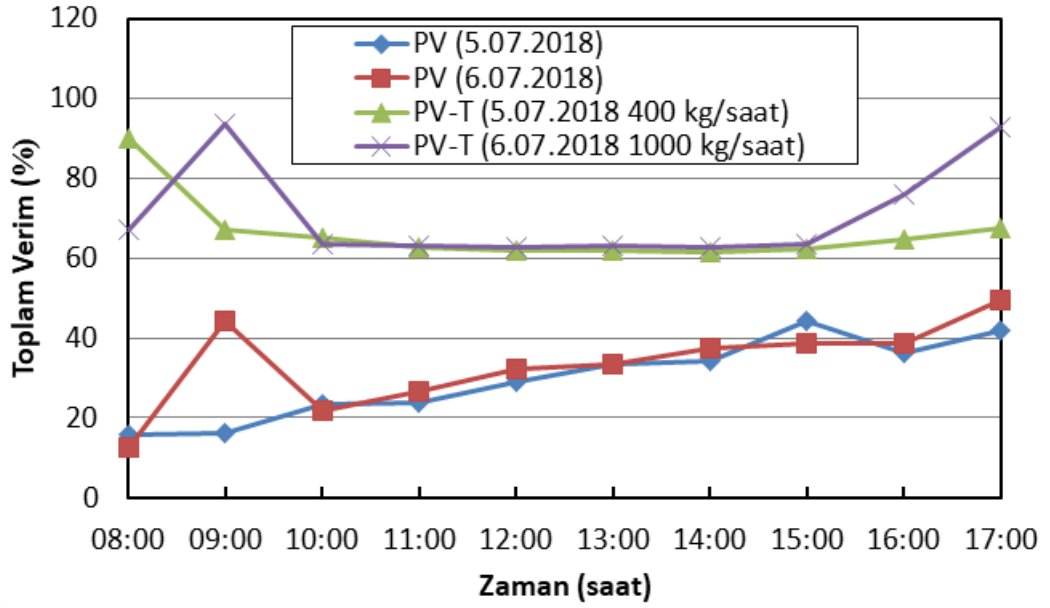
Şekil 4.12. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde yüzey sıcaklığının zamana göre değişimi



Şekil 4.13. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel gücün zamana göre değişimi



Şekil 4.14. 05.07.2018 ve 06.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel verimin zamana göre değişimi

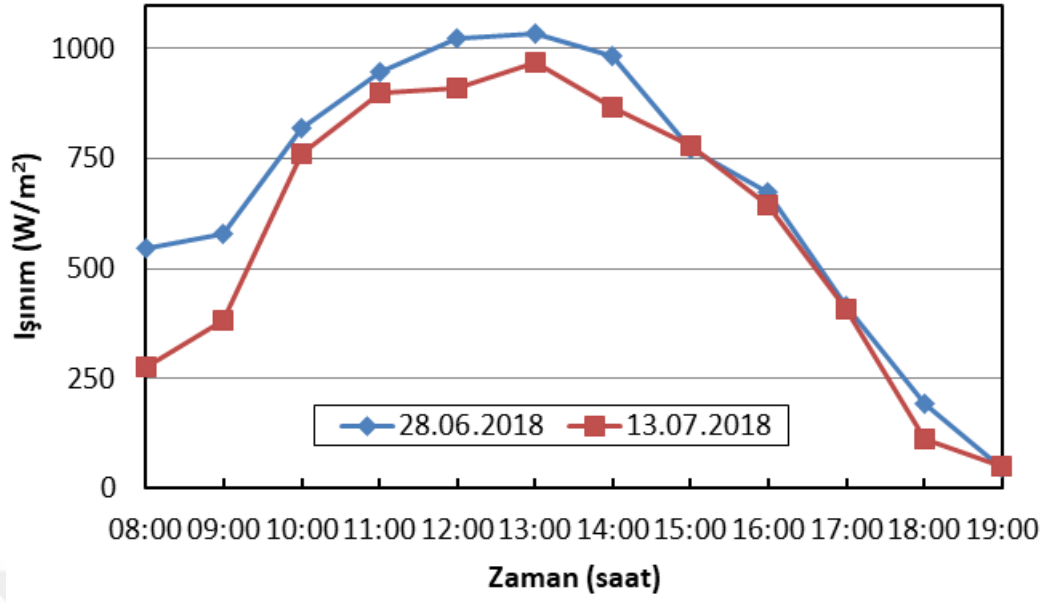


Şekil 4.15. 05.07.2018 ve 6.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde toplam verimin zamana göre değişimi

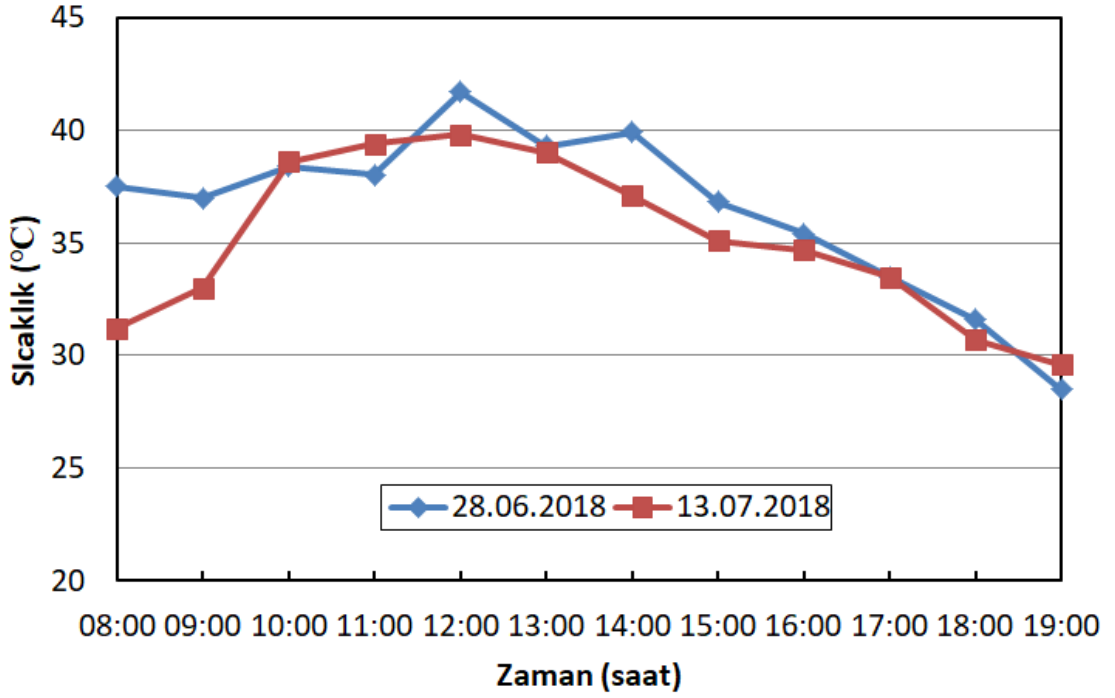
Bu tez çalışması kapsamında kolektörlerin performansları ayrıca farklı su giriş sıcaklığı (10°C ve 26°C) için de karşılaştırılmıştır. Öncelikle su sıcaklığının kolektörler üzerine etkisini görebilmek için benzer dış hava şartlarına sahip 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerde gerçekleştirilen deneyler ele alınmıştır. Bu kapsamda 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerde PV-T kolektör içerisinde 10°C ve 26°C 'de 1000 kg/saat debide su dolaştırılarak PV ve PV-T kolektörün performans analizleri yapılmıştır. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneylerde ışınım, dış hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklıklarının, gücün, elektriksel ve toplam verimin zamana göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.

Şekil 4.16'dan 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneylerde ışınım miktarının gün içerisinde 10 ile 1050 W/m^2 aralığında değiştiği, en yüksek değerine ise öğlen saatlerinde ulaştığı görülmektedir. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneylerde günlük toplam ışınım miktarları sırasıyla 8033 ve 7066 W/m^2 .gün olduğu görülmektedir. Şekil 4.17'den hava sıcaklığın zamana göre değişimi verilmiştir. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde hava sıcaklığı gün içerisinde sırasıyla $29\text{-}42^{\circ}\text{C}$ ile $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$ aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Şekil 4.16 ve 4.17'den, 28.06.2018 ve 13.07.2018 günlerinin yaklaşık aynı iklim koşulunda olduğu anlaşılmış ve su sıcaklığı karşılaştırması için bu günlerin ele alınmasına karar

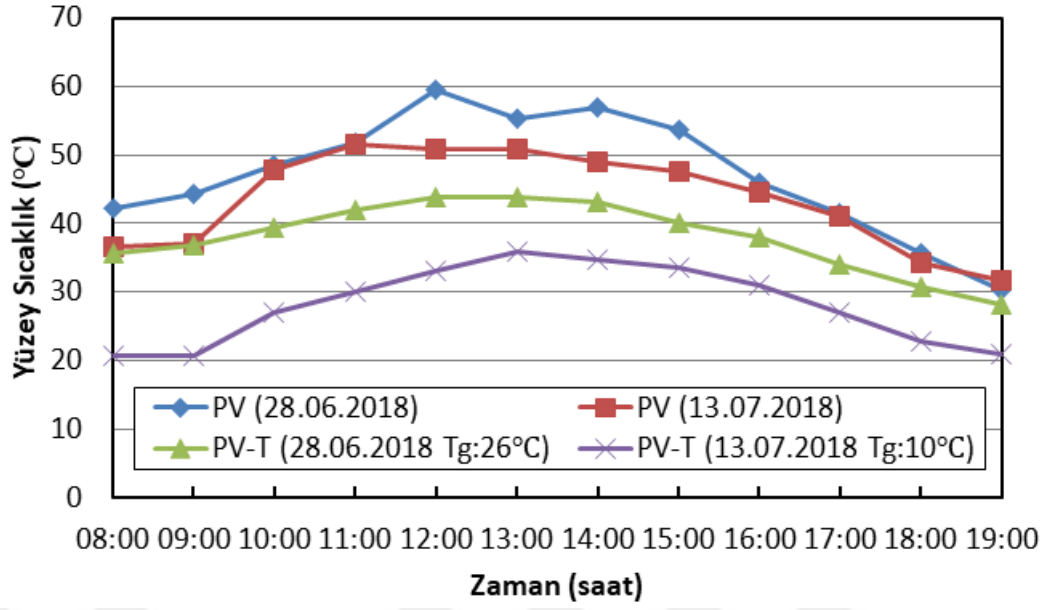
verilmiştir. Şekil 4.18'den 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde PV-T kolektör içerisinde iki farklı giriş sıcaklıklarında (10°C ve 26°C) 1000 kg/saat debisinde su dolaştırıldığında PV ve PV-T kolektörlerin yüzey sıcaklıklarının öğlen saatlerinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. 28.06.2018 tarihinde yapılan deneyde PV-T kolektör yüzey sıcaklıkları ile PV kolektör yüzey sıcaklıkları arasında gün içerisinde sırasıyla 5-15 °C değişim görülür iken 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde 10-21°C'lik fark olduğu görülmektedir. PV ve PV-T kolektörlerin elektrik üretimlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekilden 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde PV ve PV-T kolektörlerle üretilen gücün ışıma bağı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği görülmektedir. 28.06.2018 tarihinde yapılan deneyde PV ve PV-T kolektörlerde üretilen elektrik sırasıyla 0-127 W ve 0-137 W aralığında gerçekleşirken 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde 0-130 W ve 0-140 W aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4.19'dan farklı giriş sıcaklıklarında PV-T kolektörün yüzey sıcaklığının PV kolektörden daha aşağı sıcaklıklara çekilmesi durumunda daha fazla elektrik ürettiği görülmektedir. PV-T kolektörde dolaşan soğuk suyun kolektör yüzey sıcaklığını düşürmesi sonucunda PV-T kolektörün elektriksel verimi artmakta (Şekil 4.20) ve böylece PV kolektöre göre daha fazla güç elde edilmektedir. Ayrıca 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihinde yapılan deneylerde günlük üretilen elektrik gücü olarak PV-T kolektörün PV 'ye göre sırasıyla %6,3 ve %9,67 daha fazla elektrik ürettiği görülmektedir. (Şekil 4.19). Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görüldüğü üzere 28.06.2018 tarihinde yapılan deneyde PV ve PV-T kolektörün günlük ortalama elektrik verimleri sırasıyla %7 ve %7,43 olarak gerçekleşir iken ortalama toplam verimleri sırasıyla %27,26 ve % 57,66 olarak gerçekleşmiştir. 13.07.2018 tarihinde yapılan deneyde ise PV ve PV-T kolektörün günlük ortalama elektrik verimleri sırasıyla %6,83 ve %7,63 olarak gerçekleşir iken ortalama toplam verimleri sırasıyla %32,48 ve % 68,36 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlardan, su sıcaklığındaki düşüşe bağlı olarak PV kolektörün yüzey sıcaklığının düşürülmesi ile elektrik üretim kapasitesi ve elektriksel verimde artış sağlanabileceği görülmüş ayrıca aynı çevre ve proses şartlarında giriş su sıcaklığı ile PV-T kolektörün toplam verimi arasında beklendiği gibi ters orantı olduğu anlaşılmıştır.



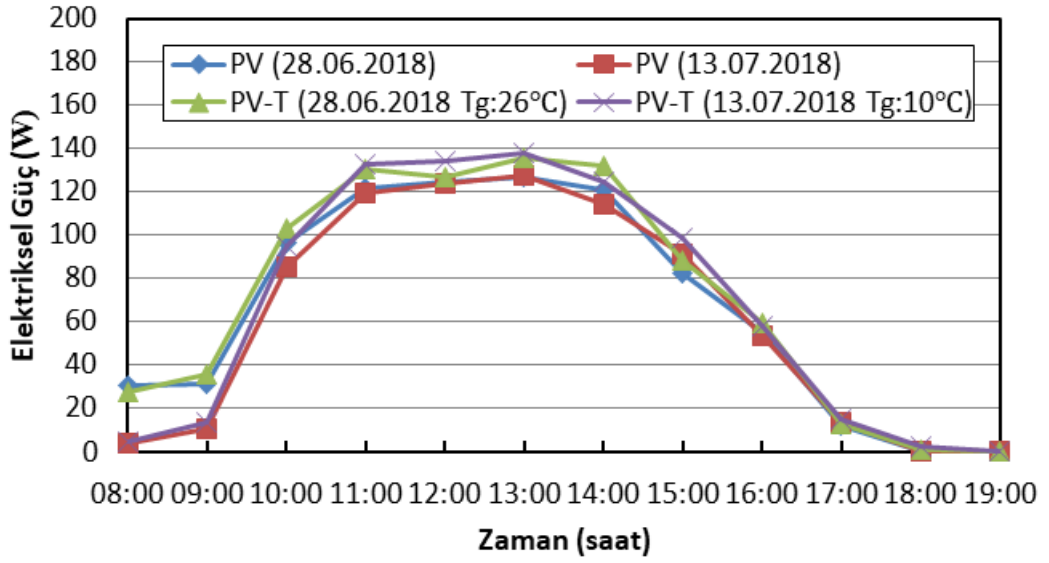
Şekil 4.16. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde ışınımın zamana göre değişimi



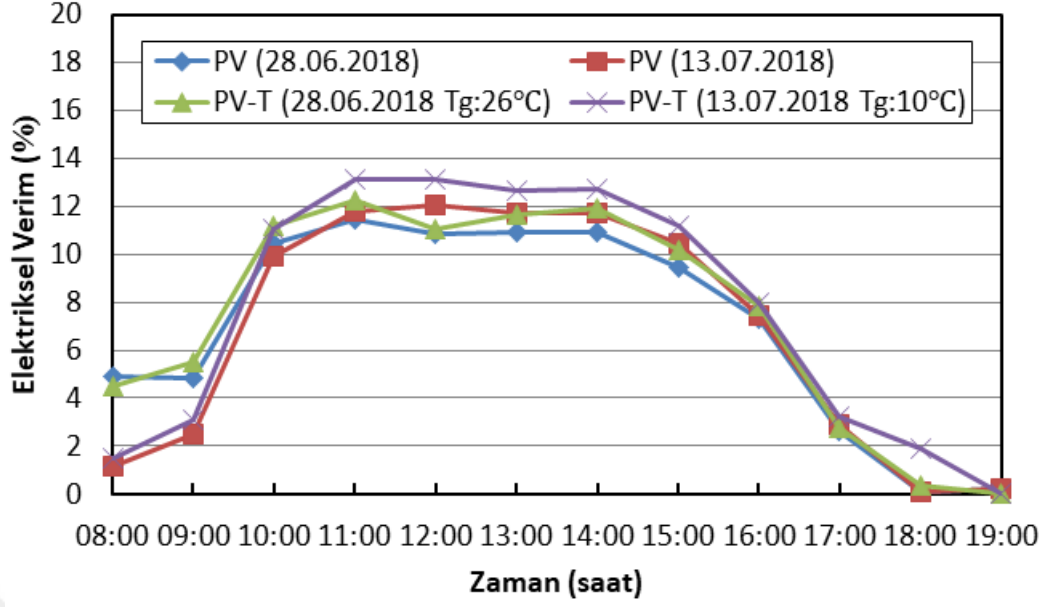
Şekil 4.17. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde sıcaklığın zamana göre değişimi



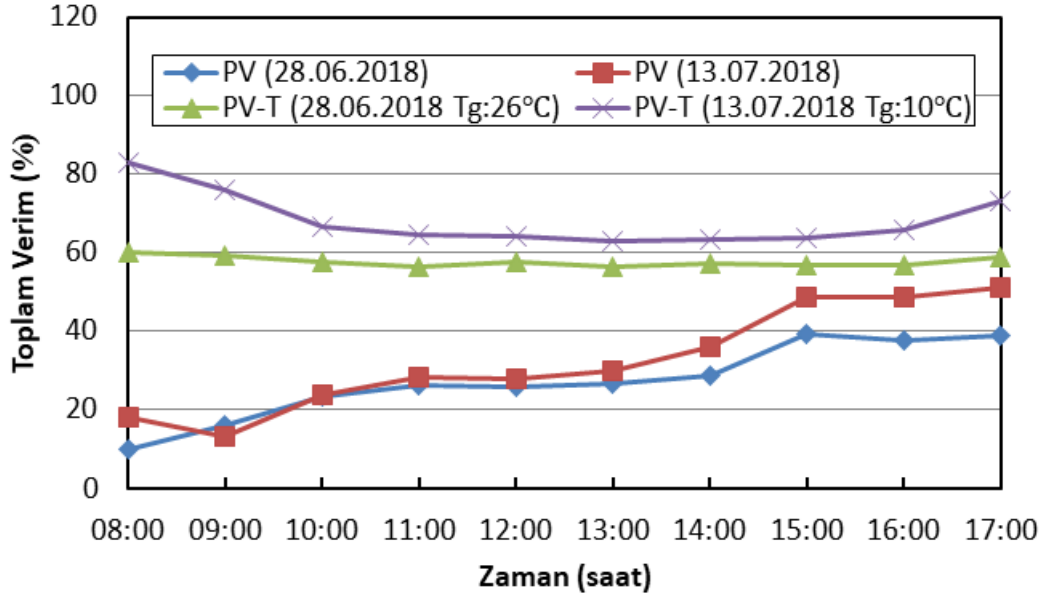
Şekil 4.18. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde yüzey sıcaklığın zamana göre değişimi



Şekil 4.19. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel gücün zamana göre değişimi



Şekil 4.20. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde elektriksel verimin zamana göre değişimi



Şekil 4.21. 28.06.2018 ve 13.07.2018 tarihlerinde yapılan deneyde toplam verimin zamana göre değişimi

5. SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünülmesini ve hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir. Fosil yakıtların neden olduğu sera gazlarının küresel ısınma ve iklim değişikliklerine yol açması ve nükleer enerji kaynaklarının toplumsal, çevresel zararları sebebiyle yenilenebilir enerji kullanımı zorunluluk haline gelmiştir [40].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) paneller yardımı ile elektrik enerjisi elde edilirken panel yüzey sıcaklıklarındaki artışa bağlı olarak verim kayıplarının önüne geçmek için fotovoltaik termal (PV-T) kolektör kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, bir PV ve PV-T kolektör deneysel olarak ele alınmıştır. Adana’da kurulan deney düzeneğiyle gerçekleştirilen deneyler ile PV ve PV-T kolektörlerin termodinamik analizleri yapılmıştır. Kolektörlerin performansları, farklı dış hava şartları dışında farklı su giriş sıcaklığı (10°C ve 26°C) ve su debisi (400 kg/saat ve 1000 kg/saat) için de karşılaştırılmıştır. Tez çalışması sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- PV ve PV-T kolektörlerle üretilen gücün dış hava koşullarına, özellikle de ışıma bağlı olarak gün içerisinde değişim gösterdiği ve ışımanın yüksek olduğu öğle saatlerinde en yüksek değerlerine ulaştığı görülmüştür.
- PV-T kolektörde dolaşan suyun kolektör yüzey sıcaklığını düşürmesi sonucunda, PV-T kolektörün elektriksel veriminin PV kolektörlere göre daha yüksek olduğu ve böylece PV kolektöre göre daha fazla güç elde edildiği görülmüştür.
- PV-T kolektörün elektriksel verimi ve üretim kapasitesi dışında toplam veriminin de PV kolektörlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Dış hava koşulları dışında PV-T kolektörün üretim kapasitesi, elektriksel ve toplam verimini etkileyen diğer önemli parametrelerin, sistemde dolaşan suyun debisi ve sıcaklığı olduğu tespit edilmiştir.
- PV-T kolektörde kullanılan suyun debisindeki artışın üretim kapasitesi, elektriksel ve toplam verimde artışa sebep olduğu görülmüştür.

- PV-T kolektörde kullanılan suyun sıcaklığının düşmesi; üretim kapasitesi, elektriksel ve toplam verimi arttırmaktadır.
- PV-T kolektörde kullanılan suyun debisinin yüksek veya su sıcaklığının düşük olması, bu kolektörlerin PV kolektörlere göre çok daha avantajlı olmasını sağlamaktadır.
- PV ve PV-T kolektörlerin farklı dış hava (ışınım, atmosfer sıcaklığı, rüzgar hızı) ve su (sıcaklık, debi) koşullarında günlük elektriksel verim ortalamaları sırasıyla %6-8 ve %7-10 aralığında gerçekleşmiştir.
- PV ve PV-T kolektörlerin farklı dış hava (ışınım, atmosfer sıcaklığı, rüzgar hızı) ve su (sıcaklık, debi) koşullarında günlük toplam verimler ortalamaları sırasıyla %20-33 ve %57-69 aralığında gerçekleşmiştir.
- Dış hava şartları, su debisi ve su sıcaklığına bağlı olarak PV-T kolektörün PV kolektöre göre %6-12 daha fazla elektrik üretebildiği tespit edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasıyla PV ve PV-T kolektörler üzerine etkiyen güneş ışınımın şiddetinin ve yüzey sıcaklığının etkisi detaylı olarak incelenmiş ve ışınım miktarına bağlı olarak hücre sıcaklığındaki artış ile beraber PV panelde gerçekleşen performans düşüşleri gözlenmiştir. PV panellerin verimlerini artırmak için kolektör yüzeyinin soğutulması gerektiğinin, dolayısıyla PV-T kolektörlerin kullanımının önemi ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Avcı, Ö., Türkiye-Avrupa birliği enerji üretim ve tüketiminin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, yüksek lisan tezi, Adana, 2009.
- [2] Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M., Ertunç, H.M., Güneş panelleri, için yüksek verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) tasarımı, bildiri kitabı, Kocaeli, 11-13 Eylül 2014.
- [3] "Güneş" Erişim Adresi: www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes Erişim Tarihi: 10.07.2017
- [4] Yanıktepe, B., Özalp, C., M. Savrun, M., Rüzgar-Güneş hibrid güç sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi uygulama örneği, 6th international advanced technologies Symposium (IATS'11), Elazığ-Turkey, 16-18 Mayıs 2011.
- [5] Al-Waeli, H.A., Sopian, K., Kazem, H.A., Chaichan, M.T., Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects, renewable and sustainable energy reviews 77 (2017) 109–130, February 2017.
- [6] Sayın, S., Koç. İ., Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (pv) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, s.ü. müh.-mim. fak. derg., 26(3), Konya, 2011.
- [7] Bulut, H., Adana ilinde eğik yüzeylere gelen güneş ışınım miktarının belirlenmesi, çukurova üniversitesi mühendislik-mimarlık fakültesi 30.yıl sempozyumu, Adana, 16-17 Ekim 2008.
- [8] Charalambous, P.G., Kalogirou, S.A., Maidment, G., Karayiannis, T.G., Photovoltaic thermal (PV-T) collectors, 3rd international conference on heat powered cycles, Cyprus, October 2004.
- [9] Joshi, A.S., Tiwari, A., " Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) air collector" renewable energy 32 (2223–2241) January 2007.
- [10] İbrahim, A., Othman, M.H., Ruslan, M.A., Alghoul, M.Y., Zaharim, A., Sopian, K., Performance of photovoltaic thermal collector (pvt) with different absorbers design, issn:1790-5079, issue 3, volume 5, Malaysia, March 2009.
- [11] Yılmaz, Ş., Aksu, M., Özer, Z., Özçalık, H.R., Matlab ile gerçekleştirilen

fotovoltaik (PV) güneş pili modeli ile güneş enerjisi üretimindeki önemli etkenlerin tespit edilmesi, elektrik-elektronik ve bilgisayar mühendisliği sempozyumu, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa.

- [12] Orhun, M., Koca, B.Y, Hocaoglu, F.O., Çınar, S.M., Farklı yüzey açılarındaki ışınım şiddetlerinin Afyonkarahisar bölgesi için karşılaştırılması ve güneş panellerinden elde edilebilecek en yüksek elektrik enerjisi üretimi için uygun açılarn tespiti, Afyon Kocatepe ün. fen bilimleri dergisi, (12), 025201 (1-5), Afyon, 2012.
- [13] Kandilli, C., Külahlı, G., Savcı, G., Fotovoltaik termal (PV-T) sistem 2d termodinamik modellemesi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, 11. ulusal tesisat mühendisliği kongresi, İzmir, 17/20 Nisan 2013.
- [14] Huang, C.Y., Huang, C.J., A study of photovoltaic thermal (PV/T) hybrid system with computer modeling, International journal of smart grid and clean energy, July 2013.
- [15] Ooshaksaraei, P., Aghili, K., Sopian, K., Zulkifli, R., Zaidi, S.H., Steady state characterization of bifacial solar cellsat different configurations of air-based photovoltaic thermal solar panels, Journal of Renewable and Sustainable Energy 6, 033140, 2014.
- [16] Kabul, A., Duran, F., Isparta ilinde fotovoltaik/termal (PV-T) hibrit sistemin performans analizi, SDU international journal of technological science, 6(1), 31-43, Isparta, Nisan 2014.
- [17] Başoğlu, M.E., Kazdaloğlu, A., Bilgin, M.Z., Erfidan, T., Çakır. B., Farklı güneş paneli teknolojilerinin kocaeli ili için performans değerlendirmesi kocaeli, elektrik-elektronik- bilgisayar ve biyomedikal mühendisliği sempozyumu, Bursa, 27 – 29 Kasım 2014.
- [18] Othman, M.Y., Tabook, M.A.S., Sopian, K., Roslan, M.H., Ibarahim, Z., An experimental study of PV/T Combi with water and air heating system, Journal of Novel Applied Sciences, ISSN 2322-5149, April 2015.
- [19] Esen, H., Kapıcıoğlu, A., Farklı yüksekliklere yerleştirilen güneş pillerinin verimlerinin incelenmesi, beü fen bilimleri dergisi,4(2), 198-204, 2015.
- [20] Hazami, M., Riahi, A., Mehdaoui, F., Nouicer, O., Farhat, A., Energetic and

exergetic performances analysis of a PV/T (photovoltaic thermal) solar system tested and simulated under to Tunisian (North Africa) climatic conditions,Energy, 107 (2016) 78-94, Tunisia, July 2015.

- [21] Gedik, E., Experimental investigation of module temperature effect on photovoltaic panels efficiency, journal of polytechnic, 19 (4), 569-576, May 2016.
- [22] Saygın, H., Nowzari, R., Mirzaei, N., Aldabbagh, L.B.Y., Performance evaluation of a modified PV/T solar collector: A case study in design and analysis of experiment, solar energy 141, 210–221, April 2017.
- [23] Kabul, A., Yaşar, E., Fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi, SDU international journal of Technological science, 9(1), 17-32, Nisan 2017.
- [24] Ömeroğlu, G., Fotovoltaik-Termal (PV / T) sistemin sayısal (CFD) ve deneysel analizi, Fırat üniv. müh. bil. dergisi, 30(1), 161-167, 2018.
- [25] "EPDK Elektrik piyasası 2017 gelişim raporu" Erişim Adresi <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu> Erişim Tarihi 13.08.2018
- [26] Adana güneş atlası Erişim adresi:
<http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx> Erişim Tarihi:10.07.2017
- [27] Kandili, C., Fotovoltaik Thermal (PV-T) Sistem 2D Termodinamik Modellemesi ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması, 11. Ulusal Tesisat Kongresi İzmir, 2013.
- [28] "Güneş Panel Çeşitleri" Erişim adresi: <http://solimpeksgunespaneli.com/gunes-paneli-fotovoltaik-cesitleri-nelerdir/> Erişim Tarihi:10.07.2017
- [29] Öztürk, M., Fotovoltaik Sistemlerin ve Fotovoltaik Termal Kolektörlerin Termodinamik Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makine Cilt:52 Sayı:619, 2011.
- [30] "Solimpeks PV-T Teknik Özellikler" Erişim Adresi:
<http://www.solimpeks.com/solar/?product=volther-powervolt>, Erişim Tarihi: 11.07.2017
- [31] "Debimetre" Erişim Adresi:
<https://www.emerson.com/documents/automation/ELITE-Coriolis-Ak-ve-Yo->

unluk-l-erler-tr-66666 Erişim Tarihi: 10.07.2017.

- [32] “Su Giriş/Çıkış Sıcaklık Ölçer” Erişim Adresi: <http://www.elimko.com.tr/tr/urunlerimiz/ek-bilgiler-1/cihaz-termo-eleman-baglanti-yontemleri> Erişim Tarihi: 10.07.2017.
- [33] "Yüzey sıcaklık ölçme sensörü, Işınım ölçme sensörü, rüzgar hız ölçme sensörü ve ortam sıcaklık ölçme probu" Erişim Adresi: https://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-C013DDB7-EB0F851E/fronius_istanbul/hs.xsl/30_2739.htm#.WkY-NshJZPY Erişim Tarihi: 10.07.2017.
- [34] "Ampul" Erişim Adresi: <http://www.narva.com.au/products/browse/h4> Erişim Tarihi : 10.05.2017.
- [35] Duffie. J.A., Beckman. W.A., Solar engineering of thermal process, ISBN 0-471-51056-4, A Wiley Interscience Publication, Newyork, 2006.
- [36] Huang. B.J., Lin. T.H., Hung. W.C., Sun. F.S., Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems, Solar Energy, 79, 443-448, 2001.
- [37] Kostic. L.Y., Pavloic. T.M., Pavlovic. Z.T., Optimal design of orientation of PV-T collector with reflectors, Applied Energy, 87, 3023-3029, 2010.
- [38] Grigorios. I., Flat-Plate Solar Collectors for Water Heating with Improved Heat Transfer for Application in Climatic Conditions of the Mediterranean Region, Chapter 7 p.179-180, Durham University, 2009
- [39] De-Vries, D.W., Design of a photovoltaic/thermal combi-panel Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven DOI: 10.6100/IR516491, 1998
- [40] Yakıncı, Z. D., Kök, M., Yenilenebilir enerji ve toplum sağlığı, İ.Ü. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, 2017

ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı** : Faruk BENLİ
2. Doğum Tarihi : 01.09.1985
3. Ünvanı : Makine Mühendisi
4. Öğrenim Durumu: Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Ömer Halisdemir Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Adana Erkek Lisesi	2003

Mekanik Bakım ve Yardımcı İşletmeler Şefi olarak Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş Adana MDF fabrikasında yaklaşık 8 yıldır görev almaktayım. Görev aldığım süre zarfında MDF tesisi kurulumu ve devreye alma çalışmalarında faal olarak görevde aldım.

Almış olduğum eğitimler; zaman ve toplantı Yönetimi, yönetim ilişkileri geliştirme programı, kişisel koruyucu donanım ve ekipmanlar, iş güvenliği, ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 50001 enerji yönetim sistemi, SAP, QDMS, çelik bant yama yapma, çelik bant pah kırma, pompa eğitimi, hidrolik ve pnömatik eğitimler, enstrüman eğitimi, kaynak eğitimi, fanlar, bantlar, helezonlar, pnömatik transfer sistemleri, şeklinde sıralanmaktadır.