



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



PV VE PVT-SU GÜNEŞ
KOLLEKTÖRLERİNİN VERİMLERİNİN
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Muhammet ÖKSÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammet ÖKSÜZ tarafından hazırlanan “PV VE PVT-SU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN VERİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 22/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

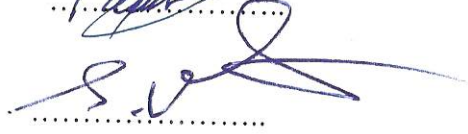
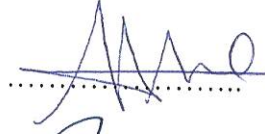
Danışman

Doç. Dr. Faruk KÖSE

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Selçuk DARICI

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

LEE Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından, 191010021 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Muhammet ÖKSÜZ

Tarih: 22.11.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PV VE PVT-SU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN VERİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Muhammet ÖKSÜZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Faruk KÖSE

2019, 78 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Faruk KÖSE
Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Dr. Öğretim Üyesi Selçuk DARICI**

Bu çalışmada, Fotovoltaik (PV) panel yapımında kullanılan ve polivinil florür türü olan tedlar yerine, temperlenmiş cam kullanılmıştır. PVT-su paneldeki hücrelerin soğutulması amacıyla, bakır borulardan su sirküle edilmiştir. Bu sayede, elektrik üretiminde artış elde edilmeye çalışılmıştır. Yeni üretilmiş, cam-cam PV panel ve cam-cam PVT-su paneli, aynı ortam şartlarında deneysel olarak ölçülmüştür. Yapılmış bu ölçümler ile PV sistemin PVT sisteme dönüştürülmesi ile verim karşılaştırılması da ele alınmıştır. PV paneldeki yüzey sıcaklığı, ışınım ile doğru orantılıdır. Analizlerde PVT ve PV sistemin ısı ve elektriksel performansının değerlendirilmesi yapılmıştır. 18 Eylül 2019-9 Kasım 2019 tarihleri arasında, 800 W/m² 'den yüksek ışınım değerleri, ışınımın en yüksek olduğu gün ve ortalama haftalık değerler için analizler yapılmıştır. Testlerde üç farklı debi (0,05 kg/sn, 0,1 kg/sn ve 0,15 kg/sn) kullanılmıştır.

. PVT panelde, küçük debilerin sirkülasyonu ile daha yüksek su çıkış sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Testlerde kullanılan en yüksek kütleli debi olan 0,15 kg/s için en yüksek ısı verim elde edilmiştir. 0,05 kg/s kütleli debi için ise en düşük ısı verim kaydedilmiştir. 0,05 kg/s kütleli debi, daha yüksek sıcaklık farkları elde edilebilmek için önerilir. PV ve PVT sistem için elektriksel değerler neredeyse eşit kaydedilmiştir. PVT sistemin en alt ve en üst sıralı hücrelerin sıcaklığı ölçüm sırasında PV ile aynı sıcaklıkta ölçüldüğü için; elektriksel verimde artış sağlanamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Cam-cam panel, PV panel verimi, PVT-su panel verimi, güneş enerjisi

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFICIENCIES OF PV AND PVT-WATER SOLAR COLLECTORS

Muhammet ÖKSÜZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Asoc. Prof. Dr. Faruk KÖSE

2019, 78 Pages

**Jury
Asoc. Prof. Dr. Faruk KÖSE
Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Asst. Prof. Dr. Selçuk DARICI**

In this study, tempered glass was used instead of polyvinyl fluoride type tedlar which is used in photovoltaic (PV) panel construction. The PV panel and the photovoltaic/thermal hybrid (PVT-water) panel produced from the same PV panel for providing rapid cooling of the PV cells. Thus, an increase in electricity production was attempted. The differences in electricity production and water temperature in the newly produced glass PV panel and PVT-water collector were experimentally measured at the same environmental conditions. With these measurements, conversion of PV system to PVT system and efficiency comparison were also discussed. The surface temperature in the PV panel is directly proportional to the radiation. In analysis, evaluation of thermal and electrical performance of PVT and PV systems is discussed. Between September 18, 2019 and November 9, 2019, analyzes were conducted for the obtained values of radiation higher than 800 W/m^2 , the day of peak radiation and average weekly values. Three different mass flow rates of 0.05 kg/sec, 0.1 kg/sec and 0.15 kg/sec were circulated during the tests. In PVT, higher outlet water temperature values were obtained with the circulation of small mass flow rates. The highest thermal efficiency was obtained for the highest mass flow rate of 0.15 kg/sec. The lowest thermal efficiency was recorded for 0.05 kg/sec mass flow. Higher efficiencies can be obtained by circulating low mass flow rates for inlet and outlet water temperature differences. In PVT system a mass flow rate of 0.05 kg/sec is recommended to achieve higher temperature differences. In PV and PV panels, nearly equal results of electrical efficiency were recorded during the test period. Since, the temperature of the upper and lower cells of PVT was measured at the same temperatures as the PV during the measurements, the electrical efficiency for PVT could not be achieved more than PV.

Keywords: Glass to glass panel, PV panel efficiency, PVT-water panel efficiency, solar energy

ÖNSÖZ

Günümüzde fosil kaynakların hızla tükenmesi, çevreye yaydığı sera gazlarının hava kirliliğine neden olması, küresel ısınma etkilerinin önemli derecede hissedilmesi, çevreye karşı duyarlılığın artması ve enerji fiyatlarının hızlı yükselişi, yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Türkiye elektrik sisteminde de başta rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinin kurulması teşvik edilmektedir. Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi potansiyeli konusunda önemli bir coğrafi konuma sahiptir. Bu potansiyeli değerlendirmek için ülkemizde güneş santralleri kurmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışması, PV ve PVT kolektörlerinden maksimum verim sağlamak için en uygun malzemeleri belirlemek üzere yapılan örnek bir çalışma olacaktır. PV panel yapımında kullanılan ve polivinil florür türü olan tedlar yerine temperlenmiş cam kullanılarak ısı geçişinin daha fazla olması sayesinde, PV paneli ve aynı PV panelinden üretilen PVT-su (PV/ısı hibrit) panelinin, PV hücrelerinin hızlı soğuması sağlanacak ve bu sayede elektrik üretiminde artış elde etmeye çalışılacak, elde edilen veriler yayımlanarak literatüre kazandırılacaktır.

Bu tez çalışmasında PV ve PVT sistemler üzerine bana çalışma fırsatı sunan Solimpex A.Ş. firmasına, sağladığı imkanlardan dolayı teşekkür ederim.

Deney cihazlarının temininde sağladığı desteklerden dolayı Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Ali SERTKAYA hocama desteklerinden dolayı teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam süresince desteklerini ve bilimsel katkılarını esirgemeyen, değerli görüşleriyle bana destek olan, yol gösteren danışman hocam sayın Doç. Dr. Faruk KÖSE'ye sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet ÖKSÜZ

KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Üretimi	4
1.2 Sürdürülebilir Kalkınmanın Bir Parçası Olarak Güneş Enerjisi	5
1.3 Güneş Enerjisi: Fotovoltaik	6
1.3.1 Güneş hücresi PV dizisinin kalbi	7
1.4 PV'nin Teknolojik Faydaları	7
1.5 PV'nin Çalışma Prensibi	9
1.6 Şebekeye Bağlı PV Dizileri	10
1.7 PV Teknolojisinin Açıklaması	11
1.8 Bağımsız Fotovoltaik Alt Sistemleri	12
1.8.1 Modüller	12
1.8.2 Aküler	12
1.8.3 Şarj kontrol cihazı	13
1.8.4 İnvertörler	13
1.9 Hibrit PVT Kavramı	14
1.9.1 PVT-su sistemi	15
1.9.2 PVT-hava sistemi	15
1.10 PVT Sistemleri İçin Uygulama Yönleri	16
1.11 Düz Plaka PVT-su Kollektör Sınıflandırması	17
1.12 PVT Prensipileri ve Performansı	20
1.13 Hava İle PVT'nin Soğutulması	21
1.14 PVT'nin Su ile Soğutulması	22
1.15 PVT'nin Su veya Hava İle Soğutulması	22
1.16 PVT Sistemlerinde PCM Kullanımı	23
1.17 PVT Sistemlerinde Isı Borularının Kullanılması	23
1.18 Cam-Cam PVT Sistem Tasarımı	24
1.19 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Önemi	25
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1 PVT-Su Enerji Denge Denklemleri	42
3.2 Deney Düzeneginin Tanıtılması	44
3.3 Deneyde Kullanılan Cihaz Ve Malzemeler	47

3.3.1 Güneş hücresi.....	47
3.3.2 Fotovoltaik/ısı kolektör.....	47
3.3.3 Pano	48
3.3.4 Piranometre	49
3.3.5 Şarj kontrol cihazı.....	49
3.3.6 Akü.....	50
3.3.7 Su sıcaklık ölçümü.....	51
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	52
4.1 PVT ve PV Sistemin Isıl Performansının Değerlendirilmesi	53
4.2 PV ve PVT Sistemin Elektriksel Performansının Değerlendirilmesi	60
4.3 Belirsizlik Analizi	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
5.1 Sonuçlar	68
5.2 Öneriler	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ

ŞEKİLLER

Şekil 1.1	Güneş enerjisi olan bir Küba köyü okulu (Seifried ve Witzel, 2010)	6
Şekil 1.2	PV bir dizinin kalbi, silikon güneş hücresi (Seifried ve Witzel, 2010)	10
Şekil 1.3	Şebekeye bağlı PV dizileri (Seifried ve Witzel, 2010)	11
Şekil 1.4	Şebeke dışı (off-grid) PV dizileri (Seifried ve Witzel, 2010)	14
Şekil 1.5	PVT-su sistemi (Mojumder ve ark., 2011)	15
Şekil 1.6	PVT-hava sistemi (Mojumder ve ark., 2011)	16
Şekil 1.7	PVT sınıflandırması (Aste ve ark., 2014)	19
Şekil 1.8	Kapalı ve açık PVT kollektörü (Aste ve ark., 2014)	19
Şekil 1.9	PVT-su kollektör sistemin görünümü (Shyam ve ark., 2016)	19
Şekil 1.10	Tipik PV sistemi bileşenleri (Al-Waeli ve ark., 2017c)	20
Şekil 1.11	Cam-Cam PV Paneli (Jaiganesh ve Duraiswamy, 2013)	24
Şekil 3.1	Tedlar yerine cam kullanılmış PV panel katmanları	40
Şekil 3.2	Tedlar kullanılarak üretilmiş PVT paneli	41
Şekil 3.3	Tedlar yerine cam kullanılarak üretilen PVT paneli	41
Şekil 3.4	PVT-su kollektör tasarımı	42
Şekil 3.5	Deney setinin akış şeması	44
Şekil 3.6	PVT-su ve PV sistemi deney seti	44
Şekil 3.7	Sirkülasyon pompası ve debimetre	45
Şekil 3.8	Su giriş sıcaklığı ölçmek amacıyla PVT-su sistemine bağlanan sensör	45
Şekil 3.9	Ortam sıcaklığı sensörü (solda) ve anemometre (sağda)	46
Şekil 3.10	Pano üzerindeki ekran	46
Şekil 3.11	Güneş hücresi	47
Şekil 3.12	PVT-su kollektördeki borulama sistemi	47
Şekil 3.13	Deneyde kullanılan pano	48
Şekil 3.14	Piranometrenin görünümü	49
Şekil 3.15	Şarj kontrol cihazı	50
Şekil 3.16	Akünün görünümü	50
Şekil 3.17	Termokulp görünümü	51
Şekil 4.1	18.09.2019-09.11.2019 tarihleri arasındaki ışıınım değerleri	52
Şekil 4.2	18.09.2019-09.11.2019 tarihleri arasındaki ortam sıcaklığı değerleri	53
Şekil 4.3	800 W/m ² 'den yüksek ışıınım değerleri için sıcaklık değerleri (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)	54
Şekil 4.4	800 W/m ² 'den yüksek ışıınım değerleri için, su giriş-çıkış sıcaklık farkları (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)	55
Şekil 4.5	En yüksek ışıınının olduğu günde elde edilen PVT ve PV hücre sıcaklık değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışıınım:1023,25 W/m ²)	55
Şekil 4.6	En yüksek ışıınının olduğu günde elde edilen giriş ve çıkış su sıcaklık değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışıınım:1023,25 W/m ²)	56
Şekil 4.7	Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, su giriş- çıkış sıcaklık değerleri	57
Şekil 4.8	Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, saatlik ısı verim değişimi	58
Şekil 4.9	Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, su sıcaklık farkları (T _ç -T _g)	59
Şekil 4.10	Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, zaman- su sıcaklık farkı ilişkisi	60

Şekil 4.11 800 W/m ² 'den daha yüksek ışıınım için PV ve PVT'den üretilen elektrik gücü değerleri (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)	61
Şekil 4.12 En yüksek ışıınımın olduğu günde PV ve PVT için elde edilen elektriksel akım değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışıınım:1023,25 W/m ²).....	62
Şekil 4.13 En yüksek ışıınımın olduğu günde PV ve PVT'den üretilen elektrik gücü değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışıınım:1023,25 W/m ²).....	63
Şekil 4.14 800 W/m ² 'den yüksek ışıınım değerleri için PV ve PVT'nin elektriksel verimi (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)	64
Şekil 4.15 PVT panelin soğutulamayan hücreleri	65

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1 Farklı bölgelerde çatı üstü sistemler için beklenen PV üretim maliyetleri (IREC, 2010).....	7
Çizelge 1.2 PVT hibrit kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014)	15
Çizelge 1.3 Güneş enerjili soğutma sistemleri için düz plaka kolektörlerin avantajları ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014)	18
Çizelge 1.4 Güneş enerjisi sistemleri için hava kolektörlerin avantajları ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014).....	22
Çizelge 1.5 Güneş enerjisi sistemleri için ısı borulu kolektörlerin avantajları ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014).....	23

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_m : PV modül alanı (m^2)
 b : PV modülün genişliği (m)
 d : Absorber kalınlığı (m)
 D : Boru çapı (m)
 $\dot{E}_{\text{elektrik}}$: Elektriksel ekserji (W)
 $\dot{E}_{\text{ısı}}$: Isıl ekserji yıkımı (W)
 $I_{(t)}$: Güneş ışınımı (W/m^2)
 L : PV modül uzunluğu (m)
 \dot{m} : Havanın kütleli debisi (kg/s)
 n : Yıl
 T_{ag} : Akışkan giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_{ay} : Arka yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_h : PV hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 T_{panel} : PV modül sıcaklığı ($^{\circ}C$)
 η_e : Elektriksel Verimden
 η_i : Isıl Verim

Kısaltmalar

ABD: Amerika Birleşik Devletleri
AC: Alternatif Akım
ANFIS: Adaptif Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi
BIPVT: Binaya Entegre Fotovoltaik Isıl
CPC: Parabolik Yoğunlaştırıcı
CPV: Konsantre Fotovoltaik
CPVTS: Konsantre Fotovoltaik/Isıl Sistemi
C-Si: Kristalin Silikon
DC: Direkt akım
FPSWHS: Düz Plakalı Güneş Enerjisi Isıtma Sistemi
G2G-PVTS: Cam-Cam Fotovoltaik Isıl Sistem
G2T-PV: Cam-Cam Fotovoltaik Sistem
ICSSWH: Entegre Kollektör-Depolama Güneş Enerjisi
MLPANN: Çok Katmanlı Algı Yapay Sinir Ağı
MPP: Maksimum Güç Noktası
PCM: Faz Değişim Malzemeleri
Pc-Si: Polikristalin Silikon
PLVTD: Düzlemsel Sıvı-Buhar Isıl Diyotu
PV: Fotovoltaik
PVT: Fotovoltaik-Isıl
PV-TEC: Entegre Termoelektrik Soğutucu
RBFANN: Radyal-Temelli Yapay Sinir Ağı
STC: Standart Test Koşulları
TESPI: Isıl Elektrik Güneş Paneli Entegrasyonu
TRNSYS: Geçici Sistem Simülasyon Aracı

1. GİRİŞ

Günümüzde, ticari güneş pilleri %30'dan daha düşük bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmekte ve dönüşüm verimi, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Hızlı nüfus ve sanayileşme artışıyla, enerji ihtiyaçları da artmaktadır. Dünyada kısıtlı olan yakıtların tükenmesi hızla devam etmektedir. Enerji kaynaklarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına başvurulmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi geleceğe umut verici bir kaynak olarak görülmektedir. Hibrit PV/Termal (PVT) solar sistemleri, son yıllarda elektrik ve termal enerjisi elde edebilmek için dünya çapında yaygınlaşmaya başlamıştır. Piyasada bulunan güneş panelleri düşük verimle çalışırken, sıcaklık artıka, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme verimi de düşmektedir. Güneş panellerinde, elektrik enerjisi verimi arttırmanın yanı sıra termal enerji elde edebilmek için hibrit PVT solar sistemi geliştirilmiştir.

PV panelinin verimliliğini arttırmak için, 1970'lerden bu yana sıcaklığı düşürerek, kombine PVT sistemi alanında araştırmalar başlatılmıştır. Kombine PVT sistemi, elektriksel verimini arttırmak için ve PV panel sıcaklığını gözlemlemek için daha uygundur. Hava veya su, PVT ısı sistemde çoğu araştırmacılar tarafından soğutucu olarak kullanılmıştır. PVT sistemi, güneş enerjisini aynı alanda aynı anda ısı enerjisine ve elektrik enerjisine dönüştürür. Kern ve Russell (1978) tarafından verimliliği arttırmak ve PV panelinin ısını azaltmak için PVT sistemini oluşturmada yenilikçi bir fikir ortaya koymuştur. Zondag ve ark. (2002) tarafından dört farklı model analiz edilerek bir 3B dinamik model ve 3B, 2B ve 1B üç kararlı durum modeli, ısı verimin simülasyonu hesaplanmıştır. Onlar, doğru tahmin için zamana bağlı modelin gerekli olduğu sonucuna varmıştır. Zondag ve ark. (2003) dokuz farklı tasarımla gerçekleştirilmiş değerlendirmeler yapmıştır. Kaplanmamış kollektörün ısı verimi %52 ve tek kapak levha-tüp tasarımının ısı verimi %58 iken PV tasarımının üzerindeki kanal tipik olarak %65 ısı verime sahip olduğunu ortaya çıkmıştır. He ve ark. (2006) tarafından bir alüminyum alaşımlı yassı kutu tipi hibrit güneş kollektöründe test gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, doğal su sirkülasyonu ile elde edilen ısı veriminin %40 olduğunu göstermiştir. Cam-Cam tipi PVT, analitik olarak, Adeli ve ark. (2012) tarafından tartışılmıştır. Analitik ve deneysel olarak, tedlar kullanılan PV paneller yerine, cam-cam tipi PV paneller değerlendirilmiştir.

Soğutucu olarak ferrofluidlerin bir PVT sisteminin genel verimliliği üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar, %3'lük bir ferrofluid kullanarak,

sistemin genel verimliliğinin %45 oranında arttığını ve 50 Hz frekanslı bir alternatif manyetik alan uygulandığında, toplam verimliliğin damıtılmış suya kıyasla %50'ye yükseldiğini göstermektedir. PV sistemine bir ısı kolektör eklenerek alternatif bir manyetik alan altında ağırlıkça %3'lük bir ferrofluid kullanılarak toplam ekserji enerjisinin 48W'a kadar arttırılabileceği öngörülmüştür (Ghadiri ve ark., 2015).

PV/ısı ve konsantre PV/ısı modüller için kullanılan yeni bir optik su filtresinin deneysel bir araştırması yapılmıştır. Sonuçlar, su tabakası kalınlığının artmasının, geçirgenliğin azalttığı ve spektrum geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir (Al-Shohani ve ark., 2016a).

PVT kolektörü, Malezya tropik iklim koşullarında, dış ortamda tasarlanıp imal edilmiş ve test edilmiştir. PVT kolektörü, PV modülün altına takılı, özel olarak tasarlanmış dikdörtgen tüp absorber (paslanmaz çelik malzeme, 15 mm yükseklik, 25 mm genişlik ve 1 mm kalınlık) içerir. PVT kolektörü, farklı nano-akışkan tipleri (SiO_2 , TiO_2 ve SiC) ile deneysel olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, SiC nano-akışkanlı PVT kolektörün, %81,73'lük en yüksek kombine PV ve PVT verime sahip olduğunu ve %13,52'lik PVT elektrik verime sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır (Al-Shamani ve ark., 2016).

PVT güneş kolektörünün performansını artırmak için, faz değiştirme malzemesi ile entegre edilmiş bir PVT güneş kolektörü üzerinde karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. PVT kolektördeki faz değiştirme malzemesi katmanının pozisyonunun, PVT kolektörün performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuçlar PVT kolektördeki üst faz değişim malzemesi modunun PVT kolektörün ısı ve elektriksel performansını önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. PVT kolektörün, üst faz değişim materyali modunda, genel verimliliğinin faz değişim materyali olmadığı duruma göre %10,7 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, üst faz değişim malzemesine sahip bir PVT kolektör için, 3 cm kalınlığındaki faz değişim malzemesi katmanının hem elektriksel hem de ısı performansın yüksek olması için önerilmiştir (Su ve ark., 2017).

PVT ile bileşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) kolektörleri kullanılarak, çevresel ve ekonomik analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, aynı havza alanına sahip ve benzer iklim şartları ile 0,14 m derinliği için çift eğimli PVT-CPC aktif güneş enerjisi damıtma sistemi için exergo-ekonomik parametre, çevresel-ekonomik parametre ve kojenerasyon verimliliği, tek bir eğimden elde edilenlere göre

sırasıyla %16,22, %21,48, %8,56 ve %5,73 daha yüksek olduğunu ortaya çıkmıştır (Singh ve Tiwari, 2017b).

PVT absorber ile Düzlemsel Sıvı-Buhar Isıl Diyotu (PLVTD) içeren bir PV panel, Entegre Kollektör-Depolama Güneş Enerjisi (ICSSWH) güneş simülatörü altında, Ulster Üniversitesi'nde test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları ışığında, sıfır sıcaklık artış koşullarında (depolanan su sıcaklığı çevre sıcaklığına eşit olduğunda) sırasıyla %60 ve %9'luk anlık ısı ve elektriksel verim bulunmuştur. Ayrıca, 20 °C ortam sıcaklığında nominal kullanım koşullarında (~ 0,05 m²/KW) verimler %40 ve %6'ya düşmüştür. 100 litrelik tankta, arka arkaya 6 saatlik ve 18 saatlik depolama sürelerinden dört gün sonra, 57 °C'lik su sıcaklığı elde edilmiştir (Pugsley ve ark., 2016).

Binaya entegre PVT (BIPVT) kollektörlerin performansı, üç kollektörlerin PVT verimliliği ve birincil enerji tasarrufu verimliliği ile belirlenmiştir. Serpantin akış absorber olarak bilinen birinci kollektör, Osilatör akış absorber olarak bilinen ikinci kollektör ve Paralel-serpantin akış absorber olarak bilinen üçüncü kollektör kullanılmıştır. Sonuçlar Paralel Serpantin akış absorberin 0,041kg/sn'lik kütle akış hızında en yüksek verimi verdiğini göstermiştir. PV için %13 verim, PVT için ise %65 ve %52 ısı verim elde edilmiştir. Buna ek olarak, 0,011 kg/s-0,041 kg/s kütleli debi için, %76-%86 arasında birincil enerji tasarruf verimi elde edilmiştir(Sopian ve ark., 2013).

PV panelin maksimum elektrik dönüşüm verimliliği, Standart Test Koşulları (STC) altında, % 8-18 civarındadır. Yeni tasarlanan Cam-Cam PVT sistem (G2G-PVTS), birleşik PV ve Düz Plakalı Güneş Enerjisi Isıtma Sistemi (FPSWHS) olarak adlandırılır. Bu teknolojiye, su, bakır kanatların içinde bir soğutucu olarak işlev görür ve PV panelinin ısını absorblayıp doğal su akışı yoluyla yalıtımlı depolama tankında depolanır. Test sonucu, G2G-PVT elektrik verimliliğinin, geleneksel G2T-PV panelinden %0,7 daha yüksek olduğunu ve ayrıca % 44,37 ısı verimin de depolandığını göstermektedir. Elektrik ve ısı enerjinin eşzamanlı dönüşümü bu sistem tarafından etkili alan kullanımı ile elde edilebilir. G2G-PVTS panelinin genel verimi artırılabilir (Jaiganesh ve Duraiswamy, 2013).

Bu çalışmada, PV panel yapımında kullanılan ve polivinil florür türü olan tedlar yerine temperlenmiş cam kullanılmıştır. PV paneli ve aynı PV panelinden üretilen PVT hibrit (PVT-su) panelinin, PV hücrelerinin hızlı soğuması sağlanmayı amaçlanmıştır. Bu sayede, elektrik üretiminde artış elde etmeye çalışılmıştır. Yeni üretilmiş cam-cam

PV panel ve PVT-su kollektöründeki elektrik üretimi ve su sıcaklığındaki farklar, aynı ortam şartlarında deneysel olarak ölçülmüştür. Yapılmış bu ölçümler ile PV sistemin PVT sisteme dönüştürülmesi ile elektriksel ve ısı verim karşılaştırılması da ele alınmıştır.

1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Üretimi

Gelişen dünyada, enerji ihtiyacı, her yıl %4 ile %5 oranında artmaktadır. Günümüzde, bu ihtiyacı karşılamak için daha çok fosil yakıtların kullanılması, sınırlı enerji kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Günümüzde, tüketimdeki artışlar göz önüne alınarak yapılan projeksiyonlara göre, çok yakında petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların büyük ölçüde tükeneceği öngörülmüştür.

Enerji kaynağı olarak fosil yakıtlarının kullanımı hava kirliliğine sebep olmaktadır. Bu fosil yakıtların kullanımı nedeniyle, dünyanın ortalama sıcaklığı son yıllarda en yüksek seviyelere çıkmıştır. Bundan dolayı, doğal afetlerde ciddi oranda artış meydana gelerek; milyonlarca dolar zarara neden olmaktadır.

Fosil yakıtların kullanımı ile çevreye salınan zehirli gazlar atmosferde birikmektedir. Uzun süre birikme etkilerini azaltmak için fotosentez, çürüme gibi doğal dönüşümler olsa da, fosil yakıt tüketimindeki artış sonucunda, bu gazların kısa süreli birikimi gerçekleşmektedir.

Diğer yandan, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile enerji ihtiyacının büyük bir kısmı bu kaynaklardan temin edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli avantajları, çevreye çok fazla zarar vermeden temiz bir şekilde enerjinin üretilmesidir. Rüzgâr ve güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli kaynaklar olarak görülmektedir. İsmi geçen enerji kaynaklarından elektrik/ısı enerjisi elde edebilmek için sistemin kurulum maliyetleri en önemli maliyetler arasındadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi sırasında işletme maliyeti diğer fosil yakıtların kullanıldığı enerji üretimi sırasındaki işletme maliyetlerine göre daha azdır. Bunun sebebi, enerji kaynağı için ekstra olarak bir ödemenin yapılmamasıdır. Bu da işletme maliyetinde önemli bir kazanç sağlanmasına neden olmaktadır.

1.2 Sürdürülebilir Kalkınmanın Bir Parçası Olarak Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, hiçbir şekilde, sürdürülebilir kalkınmanın tek gereği değildir, ancak gelişmekte olan ülkelerin kırsal alanlarındaki yaşam standartlarının iyileştirilmesi gerekiyorsa, enerji arzı da arttırılmalıdır. Küba, güneş enerjisinin tüm köyler için yaşam standartlarını nasıl yükseltebileceğine dair ilginç bir örnek sunar.

Küba devriminden kısa bir süre sonra, 1959 yılında, kapsamlı kırsal elektrifikasyon başlamıştır. 1960'dan 1992'ye kadar, kırsaldaki hane halkının elektrik enerjisi ile olan payı %4'ten %79'a yükselmiştir. Kalanı kapsayacak şekilde gridi genişletmek çok pahalı olacağından, uzak yerlerdeki yaklaşık 500.000 bina 1990'larda elektrik sahibi değildi. 1987'de, Küba hükümeti en uzak köylere bile elektrik sağlamak için iddialı bir program başlatmıştır. İlk aşamada, bu bölgelerdeki tüm sağlık kliniklerinde güneş enerjisi sistemleri kurulmuştur. Her köyde bir doktor ve bir hemşire tarafından görevlendirilen bir sağlık kliniği vardır. Bu hizmet, Küba'nın sağlık sisteminin Latin Amerika için bir model olmasının nedenlerinden biri sayılır. 400W çıkışlı güneş enerjisi dizisi, tıp için bir buzdolabına ve küçük bir televizyona güç veriyor. Ayrıca, genellikle köyün buluşma yeri olan kliniğin yeterli ışık almasını sağlar. 2002 yazında, 320 sağlık kliniğinde, bu güneş enerjisi sistemleri kurulmuştur (Seifried ve Witzel, 2010).

İkinci aşamada, uzak köylerdeki okullarda güneş enerjisi sistemleri kurulmuştur. Küba hükümeti, 1900 okulda 165W'lık paneller kurup dersliklerin aydınlatılması, renkli bir televizyonun ve VCR'nin çalıştırılması için yeterli güç sağlamıştır. Okul başına maliyet 1480 ABD doları civarında tespit edilmiştir. Yerel halk, güneş paneli, batarya ve cihazlara hizmet vermek için eğitilmiştir. Bu okullar için güneş enerjisi programı 2002 yılında tamamlanmıştır. Güneş enerjisi olan bir Küba köyü okulu Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Güneş enerjisi olan bir Küba köyü okulu (Seifried ve Witzel, 2010)

2003 yılında başlayan üçüncü aşamada, bütün evler beş yıl içinde güneş enerjisi ile güç alma hedefi konulmuş. Bunların çoğu, Küba'da yerel olarak üretilen panellerle karşılanacaktı.

1.3 Güneş Enerjisi: Fotovoltaik

PV sistemler güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için hücreler kullanır. Hücre, bir yarı iletken malzemenin bir veya iki katmanından oluşur. Işık hücreye parladığında katmanlar arasında elektrik alanı oluşturarak elektriğin akmasına neden olur. Işık yoğunluğu arttıkça, elektrik akımı da artar. PV hücrelerde kullanılan en yaygın yarı iletken malzeme, kumda bulunan bir element olan silikondur. Hammadde olarak mevcudiyetinde herhangi bir sınırlama yoktur. Silikon, dünya kütleğinde en bol bulunan ikinci malzemedir. PV bir sistemin çalışması için parlak güneş ışığına ihtiyaç duyulmaz, bulutlu günlerde de elektrik üretilebilir. Farklı bölgelerde çatı üstü sistemler için beklenen PV üretim maliyetleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Farklı bölgelerde çatı üstü sistemler için beklenen PV üretim maliyetleri (IREC, 2010)

Bölge	Güneşli saatler	2007	2010	2020	2030
Berlin	900	0,44	0,35	0,20	0,13
Paris	1000	0,39	0,31	0,18	0,12
Washington	1200	0,33	0,26	0,15	0,10
Hong Kong	1300	0,30	0,24	0,14	0,09
Sydney/Buenos Aires/Bombay/Madrid	1400	0,28	0,22	0,13	0,08
Bangkok	1600	0,25	0,20	0,11	0,07
Los Angeles/Dubai	1800	0,22	0,17	0,10	0,07

1.3.1 Güneş hücresi PV dizisinin kalbi

Isıl güneş teknolojileri, güneş ışınlarını ısıya dönüştürür. PV sistemleri ise, güneş enerjisi kullanmanın başka bir yoludur. Bu teknoloji fizikte iyi bilinen bir etkiye dayanmaktadır: bazı yarı iletkenler ışığı doğrudan elektrik akımına dönüştürür. Güneş hücresi PV dizinin kalbidir. Mümkün olan en geniş alana, ince bir şekilde yayılmış olan bu yarı iletken, gelen ışığı doğrudan elektrik akımına dönüştürür. İlk güneş hücresi 1954'te silikon kullanılarak yapılmış olup ve şu anda dünya çapında yapılan tüm güneş hücrelerinin %90'ı hala bu temel yarı iletken malzeme kullanılarak üretilmektedir.

1.4 PV'nin Teknolojik Faydaları

PV güç sistemleri, basit enerji dağıtımının üstünde ve ötesinde birçok benzersiz fayda sunar. PV sistemleri, iş yaratma, enerji bağımsızlığı ve kırsal kalkınma açısından önemli sosyal faydalar sağlar. Aşağıda, bu güneş yararlarının kısaca açıklamasını sunuyoruz (IREC, 2010).

PV yakıtı ücretsizdir. Güneş, güneş panellerini çalıştırmak için gereken tek kaynaktır. Güneş dünyanın sonuna kadar parlamaya devam edecek. Ayrıca, PV hücrelerinin çoğu silikondan yapılır ve silikon, bol ve toksik olmayan bir elementtir.

PV; gürültü, zararlı emisyon veya kirlenici gaz üretmez. Enerji elde etmek için doğal kaynakların yakılması duman oluşturabilir, asit yağmuruna neden olabilir, suyu ve/veya havayı kirlitebilir. Önde gelen bir sera gazı olan CO₂ de üretilir. Güneş enerjisi, yalnızca güneşin gücünü yakıt olarak kullanır. Zararlı yan ürünler oluşturmaz ve küresel ısınmanın azaltılmasında aktif olarak katkıda bulunur.

PV sistemleri son derece emniyetli ve güvenilirdir. Bir PV modülün tahmini ömrü 30 yıldır. Ayrıca, modülün performansı çok yüksektir ve 25 yıl sonra ilk gücün %80'inden fazlasını sağlar. Bu özellikleri, PV'leri uzun vadede çok güvenilir bir

teknoloji haline getirir. Ek olarak, Avrupa düzeyinde, tüketicilerin güvenilir ürünler satın almalarını garanti eden, yüksek kalite standartları belirlenmiştir.

PV modülleri geri dönüştürülebilir ve bu nedenle üretim sürecinde kullanılan malzemeler (silikon, cam, alüminyum vb.) yeniden kullanılabilir. Geri dönüşüm sadece çevre için değil, aynı zamanda bu malzemeleri üretmek için ihtiyaç duyulan enerjiyi ve dolayısıyla üretim maliyetini azaltmaya yardımcı olmak için de faydalıdır. PV paneller neredeyse hiç bakım gerektirmez ve kolay kurulum sunar.

PV paneller kırsal alanlara elektrik temininde oldukça pratik çözümdür. Güneş sistemleri, kırsal alanlara (özellikle elektrik bulunmayan gelişmekte olan ülkelerde) katma değer sağlar. Ev aydınlatması, hastane soğutma sistemleri ve su pompalama, şebekesiz sistemler için yapılan uygulamalardan bazılarıdır. Uzak bölgelerdeki telekomünikasyon sistemleri, PV sistemlerinin iyi bilinen kullanıcılarıdır.

PV paneller, gelecekteki binaların ana bileşeni olacaktır. Bu sistemler, çatıları ve cepheleri kaplayarak, binaların tükettiği enerji için kaynak olarak kullanılabilir. Gürültü üretmezler ve çok estetik bir şekilde entegre edilebilirler. Yenilenebilir enerjileri kamu ve konut binalarında gerekli bir enerji kaynağı haline getirmek için Avrupa inşaat mevzuatı gözden geçirilmiş ve halen incelenmektedir. Bu gerçek, PV sistemlerinin yapılı çevreye daha iyi entegrasyonu için birçok fırsat sunan eko-binaların ve pozitif enerji binalarının (E + Binalar) gelişimini hızlandırmaktadır.

PV enerji geri ödeme süresi sürekli azalmaktadır. Bu süre bir PV modülü için 1,5-3,0 yıl arasında değişen çok kısa süredir. Buna göre, bir modül üretimi için gerekenden 6-18 kat daha fazla enerji üretebilir.

PV paneller binlerce yerel iş imkânları yaratır. Son birkaç yılda, yıllık ortalama %40 büyüme gösteren PV sektörü, Avrupa'da ve dünyadaki binlerce iş fırsatları oluşturulmasına katkıda bulunuyor.

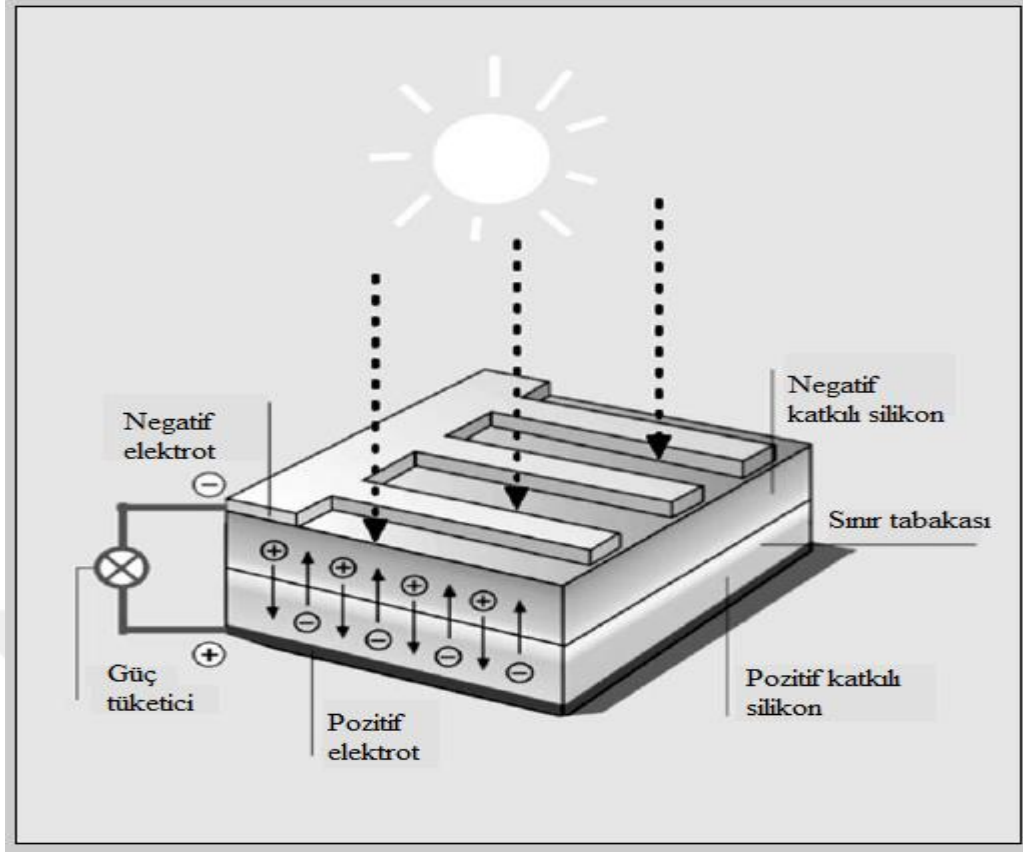
PV, Avrupa'nın enerji arz güvenliğini artırmaya katkıda bulunur. Avrupa'daki yıllık elektrik talebinin %100'ünü karşılamak için, Avrupa topraklarının yaklaşık % 2'sinin PV modülleri tarafından kaplanması gerekir. Bu nedenle, PV'ler, Avrupa'nın enerji arz güvenliğini arttırmada önemli bir rol oynayabilir.

1.5 PV'nin Çalışma Prensibi

Doping adı verilen bir işlem ile, farklı elektrik özelliklerine sahip (genellikle bor ve fosfor) iki tabaka oluşturmak için oldukça saf silikondan oluşan, 0,2 mm'den daha ince olan bir gofret oluşturulur. Güneş hücresine ışık ulaştığında, yük taşıyıcılar (elektronlar) bir katmandan diğer katmana akar, bu da kontaklarda 0,5 V'luk bir voltaj oluşturur. Güneş hücresi içindeki bu voltaj nispeten sabit kalır, ancak hücreden çıkan akım hücrenin boyutuna ve ışığın yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yaygın olarak kullanılan (doğru akım 12V gibi) voltaj seviyelerine ulaşmak için, çoklu güneş hücreleri paralel olarak bağlanır. Hücrelerin üstteki cam bir panel ile arkadaki plastik bir folyo arasındaki iki levha arasında lamine edilmesiyle, bitmiş bir güneş paneline sahip olursunuz.

Piyasada yaygın olarak satılan kristalimsi güneş hücrelerinin verimliliği, standart test koşulları altında, genellikle yaklaşık %15 civarındadır (Seifried ve Witzel, 2010). Panel yüzey sıcaklığının artması, güç verimini düşürür. Bu nedenle panellerin yüzey sıcaklığını düşürmek adına, doğal havalandırmanın iyi bir fikir olduğunu düşünülmektedir.

Burada tarif edilen silikon gofretlere ek olarak, ince filmler ile üretilen paneller pazarın kabaca %10'unu kaplayacak şekilde büyümüştür. İnce film hücreleri genellikle amorf silikondan veya bir miktar bakır, indiyum, galyum ve selenyumdan (CIS ve CIGS) oluşur. İnce film hücreleri, geleneksel kristal silikon güneş hücrelerinden çok daha incedir ve üretim yöntemleri de çok farklıdır. PV bir dizinin kalbi, silikon güneş hücresi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2 PV bir dizinin kalbi, silikon güneş hücresi (Seifried ve Witzel, 2010)

1.6 Şebekeye Bağlı PV Dizileri

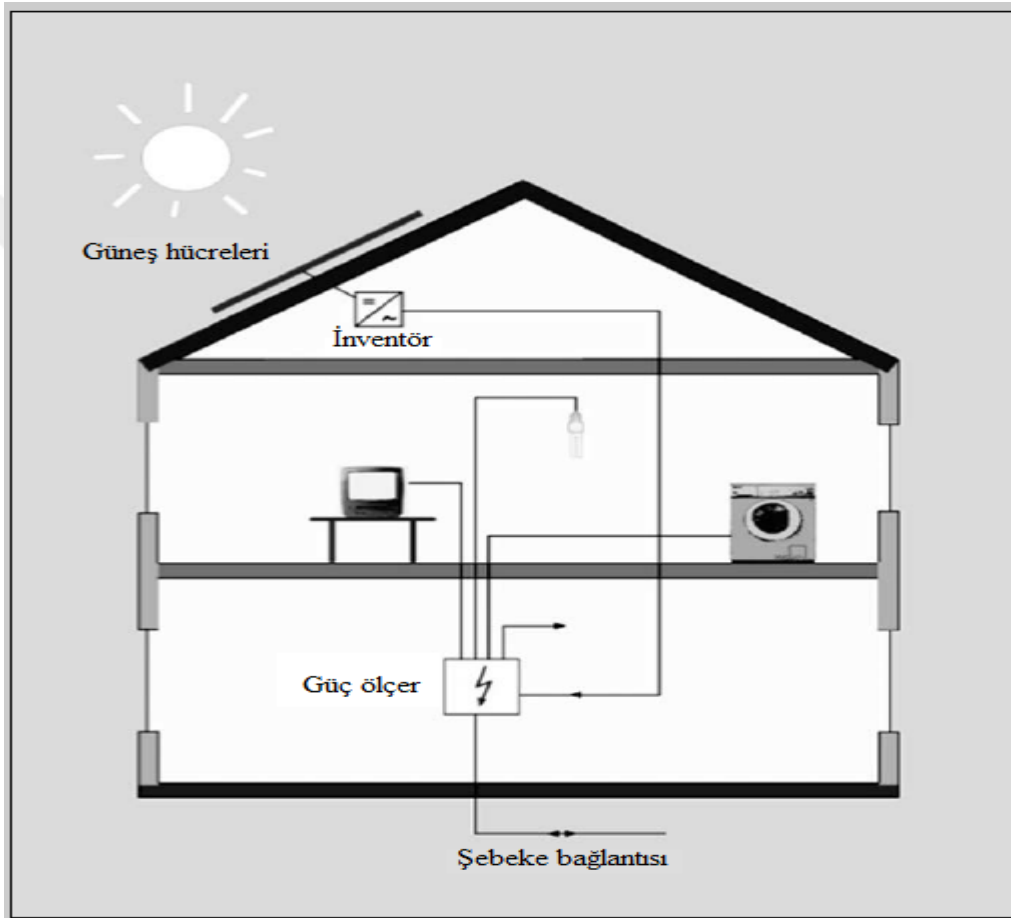
PV'lerden üretilen güç birçok avantaj sunar (Seifried ve Witzel, 2010):

- Emisyonlar: PV dizileri sessizdir ve atık gaz yaymaz.
- Servis ömrü: Hareketli parçaları olmadığından, güneş panellerinin kullanım ömrü çok uzundur. Üreticiler güneş panelleri için 20 yıl ve daha uzun garanti süreleri veriyorlar.
- Çevresel etki: Silikon güneş hücreleri işletme sırasında çevre dostudur ve çevreye zarar vermeden geri dönüştürülebilir.
- Kaynaklar - silikon, dünya kabuğundaki en yaygın ikinci elementtir, bu yüzden hammaddeden tükendiğimizi hayal etmek zordur.
- Çok çeşitli uygulamalar: PV'ler, cep hesaplayıcılarından ve kol saatlerinden büyük güneş enerjisi santrallerine kadar çok sayıda uygulamada kullanılabilir.

Bu faydalar ve PV'leri teşvik eden birçok hükümet politikası sayesinde, konut binaları üzerindeki şebekeye bağlı diziler, birçok ülkede, ortak bir görüş haline gelmiştir. Bina uygulamaları genellikle, 1-10 kW arasında değişen nominal bir elektrik

çıktıya sahiptirler. Güneş panelleri, bir invertörün alternatif akıma dönüştürdüğü doğru akım (DC) üretir, böylece güç şebekeye aktarılabilir.

Yaklaşık 2 kW tepe çıktısı olan bir PV dizisi, yaklaşık 20 m² çatı alanı kaplayacaktır. Yerel koşullara ve dizinin oryantasyonuna bağlı olarak, bu dizi Alman enlemlerinde yılda yaklaşık 1700-2000 kWh enerji üretecek, kabaca enerji tüketen dört kişilik bir ev kadar güç üretecektir (Seifried ve Witzel, 2010). Şebekeye bağlı PV dizileri Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Şebekeye bağlı PV dizileri (Seifried ve Witzel, 2010)

1.7 PV Teknolojisinin Açıklaması

PV enerji, PV etki gösteren yarı iletkenler kullanarak, elektrik enerjisi üretme yöntemidir. PV enerji üretiminde, PV malzeme içeren birkaç hücreden oluşan güneş panelleri kullanılır.

PV sistemler bağımsız ve şebekeye bağlı sistemler olarak gruplandırılabilir. Bağımsız sistemlerde, güneş enerjisi verimi enerji talebine uyar. Güneş enerjisi çoğu zaman bağlı yüklerin gerektirdiği anlık güçle çakışmadığından, depolama sistemleri

(bataryalar) kullanılır. PV sistemi ek bir güç kaynağı tarafından destekleniyorsa örneğin bir rüzgâr veya dizel jeneratör, bu hibrit bir sistem olarak bilinir. Şebekeye bağlı sistemlerde, kamu elektrik şebekesi enerji depolama işlevi görür ve ürettikleri enerjinin kullanılmayan kısmı şebekeye verilir. Şebekeden elektrik beslemesi yapmanın mümkün olmadığı veya uygun maliyetli olmadığı veya istenmediği yerlerde, bağımsız PV sistemler kurulabilir. Bu tip PV sistemleri genellikle şebekeye bağlı PV kurulumlarından çok daha küçüktür.

Şebeke dışı PV sistemlerinin üç ana kategorisi:

- Sadece DC güç sağlayan PV sistemleri,
- Bir invertör üzerinden AC gücü sağlayan PV sistemleri,
- PV hibrit sistemler: dizel, rüzgâr veya hidro.

Güneş enerjisi sistemlerinin uygulama yelpazesi sürekli büyüyor. Elektrik şebekesi ile beslemenin maliyetli olduğu gelişmekte olan ülkelerde, bağımsız sistemler kullanmak için büyük bir potansiyel var. Teknolojik yenilikler ve düşük maliyetli yeni üretim yöntemleri, sanayileşmiş ülkelerde de potansiyel yaratmaktadır. Bu tür uygulamalar arasında su pompaları, telekomünikasyon, küçük güneş enerjisi sistemleri, adalar için daha büyük üniteler kurulabilir. Gelişmekte olan ülkelerdeki bazı köylerde, şebeke gücüne beş kilometreden uzak olunmasından dolayı, kırsal alan elektrifikasyonu için, PV enerji kullanmaya başlanılmıştır.

1.8 Bağımsız Fotovoltaik Alt Sistemleri

Bağımsız PV sistemleri farklı elemanlardan oluşur. Bu kısımda her birinin teknik açıklamasını sunulmuştur.

1.8.1 Modüller

PV dizilerindeki modüller genellikle büyük sistemler için 12V, 24V ve 48V'a kadar nominal DC voltaj verecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu durum, modüllerin genellikle seri bağlandığı anlamına gelir. Modüllerin daha kolay bağlanmasını sağlamak için, fiş uçlu modüller yerine bağlantı kutularına sahip modüller kullanılmalıdır (ızgaraya bağlı dizilerdeki uzun şeritleri yapılandırmak için kullanılır).

1.8.2 Aküler

Enerji üretimi ve enerji talebi genel olarak çakışmadığından, çoğu bağımsız sistemde enerji depolaması gereklidir. Gün içerisinde üretilen güneş enerjisi akşama kadar çok gerekli değildir ve bu nedenle geçici olarak depolanmaları gerekir. Ayrıca,

bulutlu havalarda da enerji temini yapılmalıdır. Şarj edilebilir kurşun-asit batarya, bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan en yaygın tiptir. Bunlar uygun maliyetlidir ve büyük-küçük şarj akımlarını yüksek verimle yönetebilir. PV sistemlerinde, depolama kapasiteleri genellikle 1-100 kWh arasında olup, MWh aralığında birkaç sistem de uygulanmıştır. Ticari olarak temin edilebilen diğer şarj edilebilir pil tipleri, nikel-kadmiyum, nikel metal hidrit ve lityum iyon pillerdir.

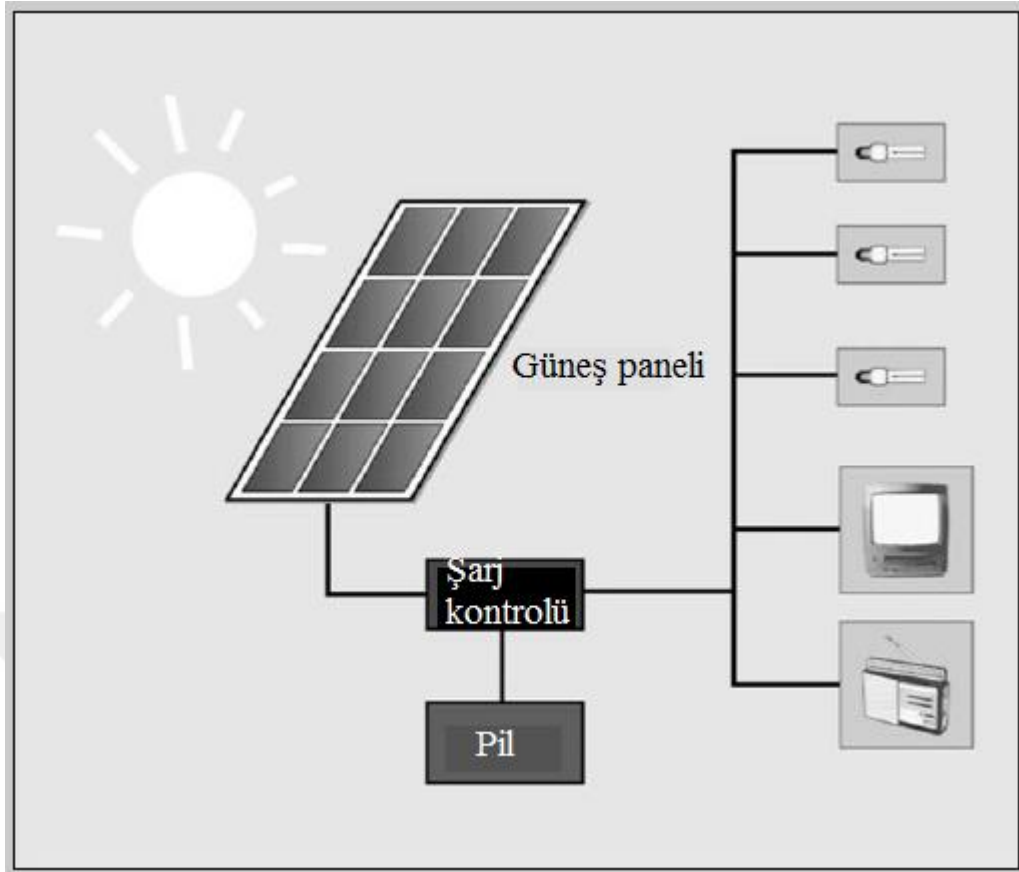
1.8.3 Şarj kontrol cihazı

Bağımsız sistemlerde, PV dizisinin voltajı, akülerin voltajına uygun olmalıdır. Bu işlem şarj kontrol cihazı tarafından düzenlenir. Akülerin uygun şekilde şarj edilmesini sağlamak için bu cihazın çıkış şarjı ve nominal voltajı, akü voltajından yüksek olmalıdır. Öte yandan, kablolarda ve yüksek sıcaklıklarda yükselen diyot hattında, genellikle %1-%2 ile sınırlı bir voltaj düşümü vardır. Bu nedenle şarj kontrol cihazı, akü voltajını ölçer ve aküyü aşırı şarj etmeye karşı korur. Düşük güneş ışınımı periyotları sırasında, PV gerilimi azalır, bu nedenle akü, Pv dizi ile deşarj olur. Bunu önlemek için ters akım diyotu kullanılır. Bu koruma elemanı genellikle şarj kontrol ünitesine entegre edilmiştir. Üç ana tip şarj kontrol cihazı vardır: seri, şönt (paralel kontrol cihazları) ve maksimum güç noktası (MPP).

Şarj regülatörünün görevleri şunlardır: akü şarjının optimizasyonu; aşırı yüklenmeye karşı koruma; istenmeyen boşalmanın önlenmesi; derin deşarj sınırlaması ve akülerin şarj durumuna ilişkin bilgilerin sağlanması.

1.8.4 İnvvertörler

Bağımsız bir PV sisteminde, inverter, DC'yi AC'ye dönüştürerek, geleneksel AC yüklerini sağlayan elektrikli cihazdır. Bağımsız bir invvertörün amacı, elektrikli ev aletleri, aydınlatmalar vb. birçok elektrikli cihazın çalışmasını sağlamaktır. Sinüs dalgalı, modifiye sinüs dalgalı ve kare dalgalı olmak üzere üç farklı tipte invvertör mevcuttur. Şebeke dışı (off-grid) PV dizileri Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Şebeke dışı (off-grid) PV dizileri (Seifried ve Witzel, 2010)

1.9 Hibrit PVT Kavramı

Genel olarak, PVT paneli kullanılmaktaki en önemli amaç, hem panel yüzeyindeki sıcaklığı ısıya dönüştürmek, hem de elektrik üretiminde verim artışı elde etmeye çalışmaktır. Buna ek olarak, PV montajının binanın ön veya eğimli tepesine yapılması durumunda, binanın güneş ışınlarına doğrudan temasından kaçınılması sayesinde, istenilmeyen sıcaklıklardan da etkinilmemiş olunur. Birçok PV panel çeşidi vardır. Bina entegrasyonu için en çok kullanılan PV modülleri; şekilsiz silikon (a-Si), polikristalin silikon (pc-Si) veya kristalin silikon (c-Si) olup, %5-%14 arasında etkinlik göstermektedirler. (Tripanagnostopoulos ve Tselepis, 2003). Genel olarak performansları sıcaklık artışıyla artmakta ancak daha yüksek sıcaklıkta çalışmaya başladığımızda azalmaktadır. Sonuç olarak; yüksek bir sıcaklık seçtiğimizde, elektrik üretimi önemli miktarda azalmaktadır. Dolayısıyla, arzu edilen miktarda elektrik üretimi elde etmek istiyorsak, başka bir amaç için kullanılabilecek bir miktar ısı çıkartmalı ve PV modülünün ısı ekstraksiyon ünitesini makul bir sıcaklık seviyesinde tutmalıyız. PVT hibrit kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

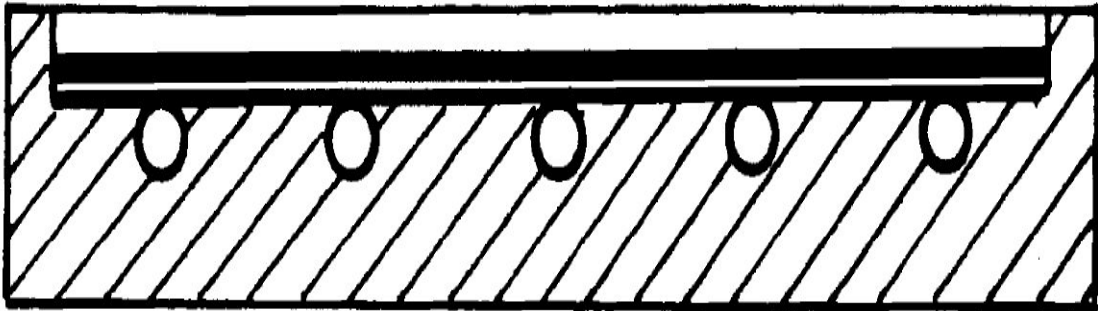
Çizelge 1.2 PVT hibrit kollektörlerinin avantaj ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014)

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Paralel ısı ve enerji üretimi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PV hücre performansı nedeniyle besleme sıcaklığı sınırlıdır ▪ Standart ısı kollektörden daha düşük verim ▪ Şeffaf PV panel, donuk panellerden daha düşük verime sahiptir ▪ Kurulumun karmaşıklığı

Temel olarak iki tip Hibrit PVT sistemi kullanılmaktadır . Bunlar PVT-su ve PVT-hava kollektörleridir. Bu kollektörler aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

1.9.1 PVT-su sistemi

Bu sistemlerde sıvı olarak su, PVT sistemini soğutarak sıcaklığı kontrol etmek için kullanılır. PV hücreleri doğrudan absorber veya çekirdekte dielektrik malzemeli bir kapak plakası üzerinde düzenlenir. PV hücreleri ve absorber veya alçı plaka arasındaki tek temasın yüksek bir ısı temas olduğunu göstermektedir. Isı ileten akışkan, absorber üzerindeki kanalların ortasından geçip bundan ısıyı toplar. Hürelere absorber eklenirse, PV hücrelerinin sıcaklığı düşürülür, bu da PV hücrelerinin önemli bir elektriksel verimi ile sonuçlanır. PVT-su kollektörleri, su akış prototipine göre ayırt edilir. Bunlar, Şekil 1.5'te gösterildiği gibi tabaka, boru, kanal, serbest akış ve absorber tipine göre ayrılır.

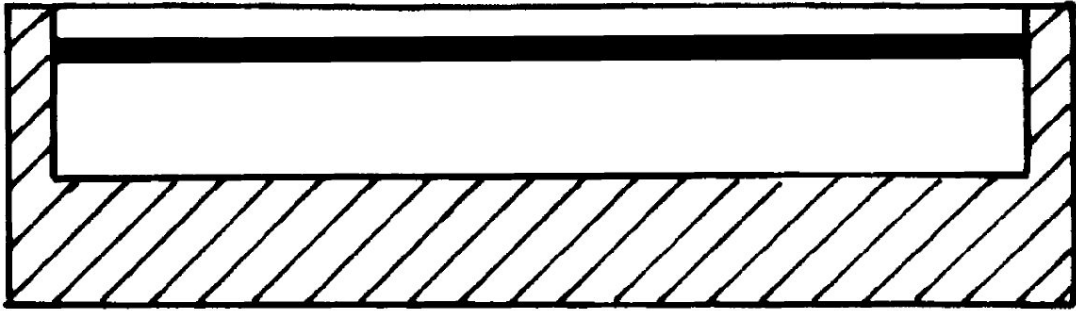


Şekil 1.5 PVT-su sistemi (Mojumder ve ark., 2011)

1.9.2 PVT-hava sistemi

Diğer PVT kollektör tipi, hava bazlı bir sistemdir. Su yerine hava, PVT sistemini soğutmak için kullanılır. PV hücreleri, sargı levhasının içine veya bir emiciye bağlanır. Sistemin soğutulması, doğal veya zorlanmış hava ile olabilir. PVT kollektörleri hava tipi, havanın akış düzenine göre de ayırt edilir. Bunlar, tek ve çift geçişli hava akışına,

absorberin her iki tarafındaki havanın akışına, absorberin altındaki havanın akışına ilişkin olarak sınıflandırılabilir. Su ile çalışan PVT sistemleri yıl boyunca etkili bir şekilde kullanılabilir. Gün boyunca dış ortam sıcaklığının neredeyse yılın 6 ayı boyunca 20 °C'nin üzerinde olması nedeniyle, hava tipi PVT sistemlerinin etkili elektrik üretimi açısından, azalan bir dönemsel uygulanmasını engeller (Charalambous ve ark., 2007). PVT-su sistemleri ayrıca binaların elektrik giderlerine de enerji sağlayabilir. Bu nedenle, PVT-su sistemleri açıkça tüm açılardan PVT-hava sistemlerinden daha iyi bir seçenek olarak görülür. PVT-hava sistemi Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 PVT-hava sistemi (Mojumder ve ark., 2011)

1.10 PVT Sistemleri İçin Uygulama Yönleri

PVT-su sistemleri, su ısıtması için pratik sistemler olmakla birlikte maliyet sorunu nedeniyle, ticari uygulamalarda yeterince geliştirilmemiştir. Su sirkülasyonu ve ısı ekstraksiyonu için önerilen birkaç yöntem mevcuttur, ancak pratik bir şekilde, PV modülünün arka yüzeyine yerleştirilen borular ile PV yüzey sıcaklığının düşürülmesi düşünülmektedir. PVT-hava sistemlerinde, genellikle PV modüllerinin arkasına bir hava kanalı monte edilir. Kanalda PV modül sıcaklığından daha düşük sıcaklığa sahip hava (genellikle ortam havası) dolaşır ve böylelikle hem PV'de yüzey soğutma hem de ısı enerjisi elde edilebilir. PVT sistemlerinde, PV modülünün hücreleri, kristalimsi (c-Si), poli kristalimsi silikon (pc-Si) veya amorf-silikon (a-Si) tipi ile yapılmamış olması durumunda ısı ünitenin maliyeti aynıdır (Tripanagnostopoulos, 2007). Bu nedenle, monte edilen termik ünitenin, PV modül alan başına ilave maliyetinin oranı farklıdır ve c-Si veya pc-Si PV modüllerine kıyasla, a-Si kullanılması durumunda, neredeyse iki katı civarındadır.

PVT-su kolektörleri, sistem tasarımı ve işletiminde PVT-hava kolektörlerinden daha fazla sınırlamaya sahiptir. Bu durum, PVT-su'da, PV arka yüzeyi ile iyi bir ısı teması olması gereken ısı eşanjörü elemanından kaynaklanırken, PVT-hava

sistemlerinde hava, doğrudan PV modüllerinin ön ve/veya arka yüzeyinden ısıtılır. Ancak, havanın düşük yoğunluğundan dolayı havanın ısı verimi, suyun ısı veriminden daha azdır. PVT-hava sistemini verimli ve efektif kılmak için iyileştirmeler gereklidir. PVT kollektörleri, absorberin düşük iletkenliğe sahip olmasından dolayı, tipik ısı kollektörlere kıyasla daha az verimlidir. Çoğu PVT-hava sisteminde, hava, PV arka yüzeyi ile sistem ısı yalıtımı arasında oluşturulmuş bir kanal boyunca sirküle edilir. Ancak bazı farklı uygulamalarda ise, PV modülün her iki tarafındaki kanallardan seri veya paralel akış olarak sirküle edilir. Zorlanmış konveksiyonda, PV modülünün arka yüzeyinden doğrudan hava ısıtma işlemi gerçekleşmektedir. Isıl verim kanal derinliğine, hava akış moduna ve hava akış hızına bağlıdır. Küçük kanal derinliği ve yüksek akış hızı, ısı verimi artırır. Ancak, fanın artan gücü nedeniyle, basınçlı hava akışı durumunda, sistemin net elektriksel verimi, basınçtaki düşüşü de artırır. (Bhargava et al., 1991). Doğal hava sirkülasyon kullanılan uygulamalarda, küçük kanal derinliği hava akışını azaltır ve bu da PV modül sıcaklığının artmasına sebep olur (Bhargava et al., 1991).

1.11 Düz Plaka PVT-su Kollektör Sınıflandırması

PVT kollektörleri genellikle bileşenlerine ve içindeki sıvıların nasıl aktıklarına bağlı olarak sınıflandırılır. Literatürde kabul edilen en geniş sınıflandırma Zondag ve ark. (2003) tarafından ve Şekil 1.7'de de gösterilen dört ana başlığa ayrılmıştır. PVT-su kollektör su akış düzenine ve ısı değişim yöntemine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

- a) tabaka ve tüp
- b) kanal,
- c) serbest akış
- d) iki absorber tipi

Tabaka ve tüp tipi, metal veya polimerik malzemeden yapılmış kanallı bir plakadan oluşur. Isı eşanjörü, dairesel enine kesit kanallarının genellikle lehimlendiği ve paralel olarak düzenlendiği düz bir plakadan oluşur.

Kanal tipi PVT-su birinciden farklıdır, çünkü akışkan kanalı, PV bileşenin üzerinde bulunur. Bu kanal PV hücrelerin üzerine bir cam yerleştirilerek gerçekleştirilir. Bu durumda, sıvı yoluyla güneş radyasyonu geçirgenliğinin analizi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır, çünkü bu tabakanın varlığı bileşenin performansını düşürebilir. Ek olarak, c ve d tiplerinde olduğu gibi, elektrikli bileşenin altındaki kanallarda akışkan bulunduğu

durumlarda, elektrik güvenliğini sağlamak dikkatli olmak gereklidir. Güneş enerjili soğutma sistemleri için düz plaka kolektörlerin avantajları ve dezavantajları Çizelge 1.3'te verilmiştir.

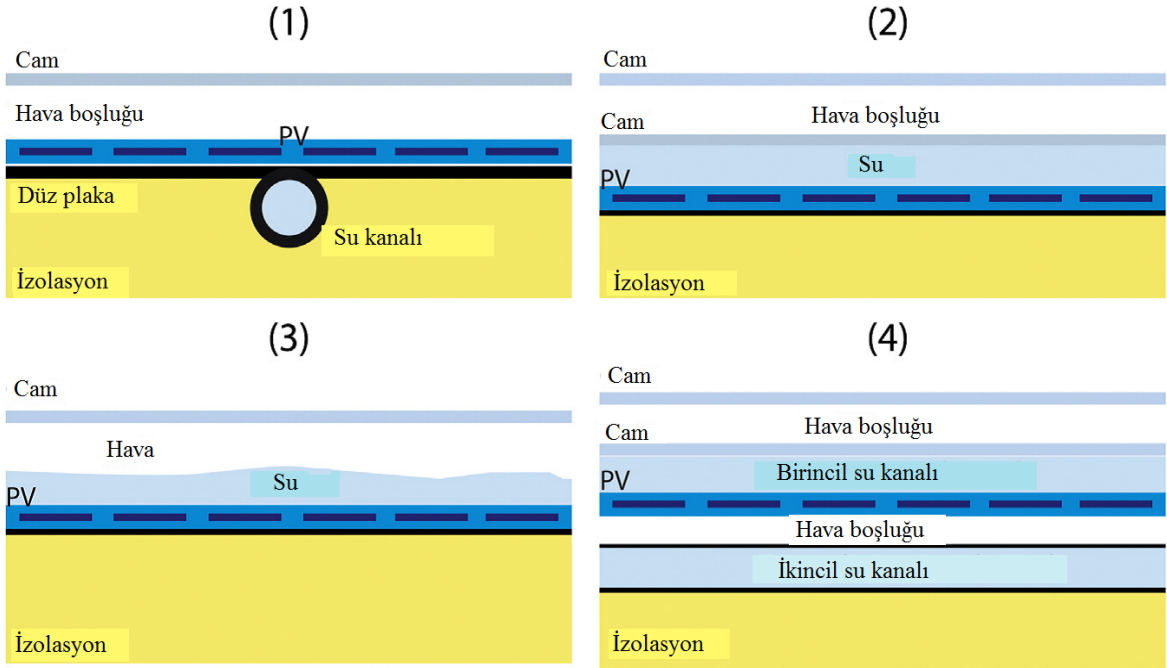
Çizelge 1.3 Güneş enerjili soğutma sistemleri için düz plaka kolektörlerin avantajları ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014)

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basit ve kanıtlanmış teknoloji ▪ Kolaylıkla kullanılabilir ▪ Hareketli parçası yok ▪ İyi maliyet-performans oranı ▪ Çatı ve zemin yüzeyine kolay kurulum 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yaklaşık 100 °C (212 °F) sıcaklık sınırı ▪ Düşük verimlilik

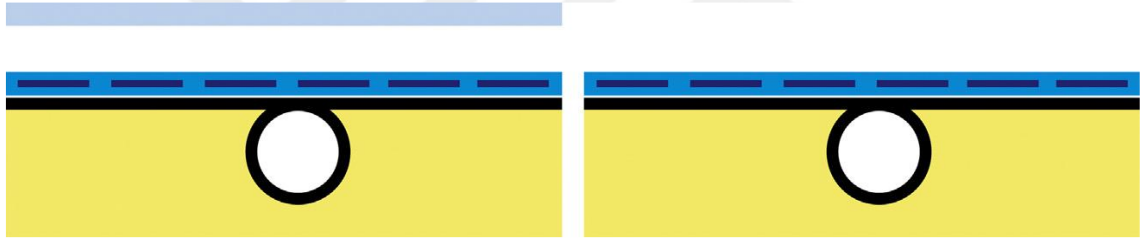
Serbest akışlı kolektörlerde, akışkan PV modülün üzerinde serbest bir şekilde akar. Bu yapılandırma, modülde güneş enerjisinin azalmasıyla birlikte, kapakta yoğunlaşma oluşumuna yol açabilecek serbest bir yüzeyin gerçekleştirilmesinin zorluğundan dolayı hala teorik olarak kalmıştır.

Çift kanallarla karakterize edilen iki absorber tipi PVT-su sistemi, birincil absorber olarak yarı saydam bir PV modül kullanır. Isı transfer sıvısı üstünden akar ancak, altında bir hava tabakası ile aralıklı olarak, ikincil kanallı absorber rolü olan bir siyah metal plaka vardır. Bu sistem, yapımını karmaşık hale getiren, ağırlığı ve nihai maliyeti artıran birçok unsurdan oluşur.

PVT modülleri, Şekil 1.8'de gösterildiği gibi şeffaf ön kapak tarafından oluşturulan hava boşluğunun varlığına veya yokluğuna bağlı olarak da sınıflandırılabilir. Bu iki tip PVT kolektörlere kapalı ve açık kolektör denir (Eicker and Dalibard, 2011; Kim and Kim, 2012). Bununla birlikte, PV hücreler için her zaman koruyucu bir tabaka gerektiğine dikkat etmek önemlidir.



Şekil 1.7 PVT sınıflandırması (Aste ve ark., 2014)



Şekil 1.8 Kapalı ve açık PVT kolektörü (Aste ve ark., 2014)

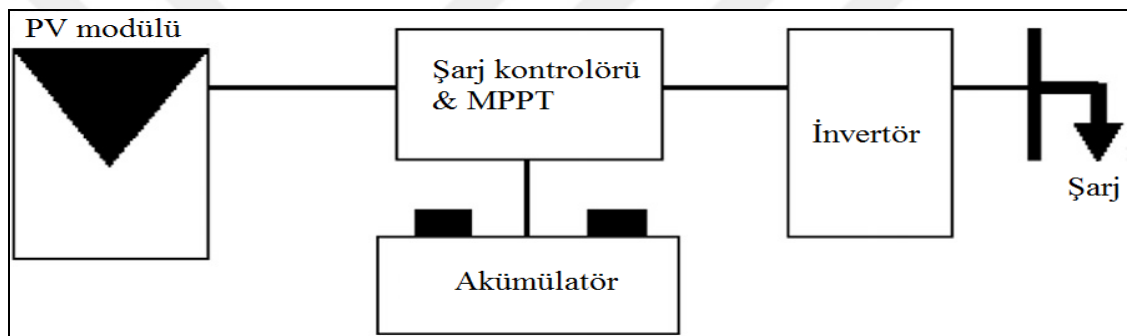
PVT-su kolektör sistemin görünümü Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9 PVT-su kolektör sistemin görünümü (Shyam ve ark., 2016)

1.12 PVT Prensipleri ve Performansı

Genel olarak, PV modülleri farklı sistem konfigürasyonlarında, bağımsız, şebekeye bağlı, hibrit ve izleme sistemleri şeklinde kullanılır. Bir PV sistemi genellikle, PV modül/dizi, şarj kontrolörü ve Şekil 1.10'da gösterildiği gibi invertör, maksimum güç noktası izleme (MPPT) ve pil (isteğe bağlı) içerir. PV'ye ilgi giderek artmakta olup, günümüzde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Çok sayıda araştırmacı, PV tasarımının ve verimliliğinin nasıl geliştirileceğine dair araştırmalar yapmıştır. Güneş sistemleri, ısıl ve fotoelektrik olmak üzere iki ana türe ayrılabilir. Bununla birlikte, üçüncü bir sistem olan hibrit sistem de son zamanlarda geliştirilmiştir. PVT sistemlerinin gelecekte önemli bir rol oynaması beklenmektedir (Al-Waeli ve ark., 2017c).



Şekil 1.10 Tipik PV sistemi bileşenleri (Al-Waeli ve ark., 2017c)

Yapılan bir birçok çalışmada (Kazem ve Chaichan, 2016; Gasparin ve ark., 2016; Kapsalis ve Karamani, 2015; Al-Sabounchi ve ark., 2013), yüksek sıcaklıkların, PV sisteminin açık devre voltajında düşüşe yol açtığı ve bunun da elektrik verimliliğini azalttığını göstermiştir. Bir soğutucunun eklenmesi, PV yüzey sıcaklığını düşürerek, sisteminin genel verimliliğinde artışa neden olacaktır. Ayrıca, sistemden ısıl enerji olarak kaybedilen enerjinin bir kısmının geri kazanılması sağlanır. PVT sistemlerinde, sistemi soğutmak için su, hava veya her ikisi de kullanılabilir (Sandnes ve Rekstad, 2002).

Bir PV sisteminin düşük maliyetli olması, birincil sistemin gerekli maliyetini belirlediği süreç olması nedeniyle, çok önemlidir. PVT sisteminin verimlilik tahmini, kollektörden kazanılan ısıya kıyasla üretilen elektriğin değerini belirlemek için kritik öneme sahiptir. Atık ısı geri kazanımı, hibrit sistemin genel verimliliğinin, herhangi bir PV sistemininkinden daha yüksek olmasını sağlar (Chow ve ark., 2008). Her ne kadar

PVT sistemleri üzerine araştırmalar 1970'lerde başlasa da, bunlar hala başlangıçtaki gelişim aşamasında olup, daha yüksek elektriksel verim ve düşük maliyetleri nedeniyle, bireysel PV sistemlerine göre verimli bir alternatif olacağı öngörülmüştür (Sardarabadi ve ark., 2012). Yapılan araştırmalar, çatıda mevcut alana bağlı olarak PV sistemlerinin binalarla entegrasyonuna odaklanmaktadır. Ana hedef, hem elektrik hem de ısı enerjisi üreten PVT sistemlerini düşük ve kabul edilebilir maliyetlerle bulmaktır. Bu, tüm sistemin maliyetinin mümkün olduğunca düşük olması gerektiği anlamına gelir. Bu amaca, uygun tasarım, uygun vizyon ve kantitatif üretim ile ideal bir sistemin, maliyet düşürücü etkileri kullanılarak ulaşılabilir. Tüm bunlara ek olarak, sistem, binaların mimari tasarımını bütünleştirmek ve tamamlamak için; güzel geometrik şekiller ile tasarlanmalıdır (Bazilian ve ark., 2001).

PVT sistemlerinin yararları aşağıdaki gibidir (An ve Liu, 2007):

1. Hem PV hem de ısı kollektörler güneş spektrumunun farklı bir bölümünü kullanır. Kollektör kızılötesi dalgalar kullanır, güneş hücreleri ise görünür ışık dalgaları kullanır. İki sistemin birlikte kullanılması, tüm güneş spektrumunun daha etkin kullanılmasına neden olabilir.
2. İki ayrı sistemin kurulmasına kıyasla, toplam maliyeti azaltan, tek bir kurulum maliyetinin olmasıdır.
3. Kurulum için gereken toplam alan, her bir sistem için ayrı ayrı kurulum alanından daha az olacaktır.
4. PVT sistemi, yaz aylarında, yalıtımın artması ile ısı verimin artırılması avantajına sahiptir.
5. Bina dış cephesinde iki ayrı sistemi kullanmaya kıyasla, tek ve özdeş görünüm sağlanabilecek.

PVT sistemlerinin öneminin, bazı ısı kayıpların restorasyonu ile üretilen elektriğin kabul edilebilir bir düzeye çıkarılması ihtimaline bağlı olduğunu söyleyebiliriz.

Sistemin genel performansını değerlendirmek için, PVT verimliliğinde aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{ısı}} + \eta_{\text{elektriksel}} \quad (1.1)$$

1.13 Hava İle PVT'nin Soğutulması

Hava bazlı PVT inovasyonu, %20-%40 arasında değişen genel verimliliğe (elektriksel+ısı) sahip olması nedeniyle, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kristalin silikon hücrelerin verimi %10–12 iken, geri kalan verim, ısı kısımdan gelmektedir (Al-Waeli ve ark., 2017c). Güneş enerjisi sistemleri için hava kolektörlerin avantajları ve dezavantajları Çizelge 1.4’te verilmiştir.

Çizelge 1.4 Güneş enerjisi sistemleri için hava kolektörlerin avantajları ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014)

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yapımı basittir ▪ Kurulumu kolaydır ▪ Sistemin devre dışı bırakılma sırasında durgunluk problemi yok 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kullanım için sıcak suyu üretimi ancak, ek ısı eşanjörü ile mümkündür ▪ Hava kanalları binadaki su borularından daha fazla alan gerektirir ▪ Hava fan gücü, sıvı nakli için pompa gücünden daha büyüktür

1.14 PVT’nin Su ile Soğutulması

Su; düşük fiyatı, bulunabilirliği ve soğutma özellikleri nedeniyle, PVT sistemlerinde soğutma için kullanılan en yaygın sıvı tipi olarak düşünülebilir (Tyagi ve ark.,2012). PVT kolektörü ile düz plaka kolektöründeki parçalar aynıdır. Tek fark ise, düz kolektörün üstündeki şeffaf camın, kolektörün üzerinde kurulu tahta PV ile yerleştirilmiş olmasıdır. PV paneli kolektöre, etilen vinil asetattan (EVA) ve Tedlar’dan oluşan yapışkan bir malzeme ile lamine edilir (Chow, 2003). PV paneli altına kolektör yerleştirmenin amacı panel yüzeyindeki ısıyı çekmek olup, böylece çıkış voltajını ve akımını artırmak hedeflenir. Elde edilen ısıdan, kullanım suyu veya alan ısıtması gibi farklı amaçlar için yararlanılabilir (Zhang ve ark., 2012).

1.15 PVT’nin Su veya Hava İle Soğutulması

PV modülleri, dış ortamlarda bulunur ve bu da çevresel koşullara maruz kalmasını neden olur. PV modülleri, modülün daha yüksek verimle çalışmasını sağlamak için atılması gereken atık ısı üretir. Bu atık ısı, ortam ısıtmalarında, kullanım suyu ön ısıtmasında ve buna benzer diğer uygulamalarda kullanılabilir. PV’nin atık ısı geri kazanım sistemi ile kombinasyonuna hibrit sistem adı verilir ve her iki sistemin de gereksinimlerini karşıladığı için faydalıdır. Hibrit PVT sistemi, istenmeyen panel yüzey sıcaklığından PV panellerinden kurtarır ve bu ısı başka amaçlar için kullanılabilir. PVT sistem uygulamalarında kullanılan üç çeşit soğutma sıvısı (hava, su ve soğutucu) vardır (Al-Waeli ve ark., 2017c). Hava ve su PVT sistemleri, düşük işletme maliyetlerine ve minimum malzeme kullanımına sahip olup, elektriksel veriminin artmasına neden olur.

Çift kanallı PVT kollektörü çoğu araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Bu sistem daha iyi ısı verime ve daha geniş uygulamalara sahiptir.

1.16 PVT Sistemlerinde PCM Kullanımı

Birçok araştırmacı, hücre sıcaklığını, ortam hava sıcaklığına yakın koruyarak, ısı performansını artırmak için, güneş pillerine faz değişim malzemeleri (PCM) eklemeyi önermiştir. Güneş piline PCM katmanı eklenmesi, güneş pilinin verimliliğini artırarak atık ısını emer. PCM malzemeleri, PV hücresinden aktarılan ısının çoğunu depolayabilen yüksek gizli ısı depolama özelliklerine sahiptir ve hava veya su soğutması kullanarak sistem daha da geliştirilebilir. Bazı araştırmacılar, su ile çalışan PVT sistemlerinin çöl ve kırsal alanlardaki verimini araştırmıştır.

1.17 PVT Sistemlerinde Isı Borularının Kullanılması

PV modülünün verimliliği, panel yüzey sıcaklığından etkilenir. PV hücre sıcaklığı artışının sonucunda; üretilen elektrik enerjisinde azalması meydana gelmektedir. PV elektrik verimliliği, standart çalışma koşulları için % 6-%15 arasında değişmektedir (Al-Waeli ve ark., 2017c). PV modülünü soğutmak etkinliğini artırır. Araştırmacılar, PV panel sıcaklığını, değişken güneş radyasyonu koşulları altında düşük tutmak için, farklı çözüm önerileri sunmuştur. Bu çözümler, hava ve/veya su ile soğutma prosedürleri olarak iki gruba ayrılabilir (Du ve ark., 2013).

Güneş enerjisi sistemleri için ısı borulu kollektörlerin avantajları ve dezavantajları **Çizelge 1.5**'te verilmiştir.

Çizelge 1.5 Güneş enerjisi sistemleri için ısı borulu kollektörlerin avantajları ve dezavantajları (Kohlenbach ve Jakob, 2014)

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kanıtlanmış teknoloji ▪ Kolaylıkla kullanılabilir ▪ Hareketli parçaları yok ▪ Mümkün olan daha yüksek sıcaklıklar ▪ Daha yüksek verimler ▪ Bireysel tüpler hafiftir ve kurulumu kolaydır ▪ Hasarlı bir tüp kolayca değiştirilebilir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 200 °C (392 °F) 'ye kadar yüksek durgunluk sıcaklığı ▪ Daha yüksek maliyet ▪ Isı borusu modelleri açılı montaj gerektirir

Havanın soğutucu olarak kullanılması, suyun soğutucu olarak kullanılmasına göre, daha az ısı transferi anlamına gelmektedir. PV panel yüzey sıcaklığı, hava soğutmasına rağmen, yaz mevsiminde yüksek seviyelere ulaşabilir. Bu ikilem için alışılmadık bir muamele, PV panellerinin sıcaklığını stabilize ettiği için PCM kullanımı

olup, PV paneller için en iyi sıcaklık seviyesi, PCM ilavesiyle elde edilebilir. Suyun soğutma sıvısı olarak kullanılması, çalışma sıcaklığını hava kullanmaktan çok daha fazla düşürdüğü için çekicidir. Ayrıca, nano-akışkanların kullanılmasının su bazlı sistemlerden daha iyi soğutma verimi sağladığı bulunmuştur. Bununla birlikte, soğuk ortamlarda, soğutucu olarak suyun kullanıldığı durumlarda, donmayı önlemek için, yüzey aktif maddelerin eklenmesini gerektirir. Soğutma sistemi olarak bir ısı borusunun kullanılması, bu iklim koşulları için bir çözüm olarak önerilmiştir. Isı borusu teknolojisi son yıllarda yaygın olarak çalışılmıştır. PVT sistemini soğutmak için ısı borularının kullanılması, sistem verimliliğini artırmak, sistem tasarımını kolayca değiştirmek gibi birçok avantaja sahiptir (Al-Waeli ve ark., 2017c).

1.18 Cam-Cam PVT Sistem Tasarımı

Bu sistem ısıl sistemle birleştirilmiş, G2G-PV (G=Glass) panelinden oluşmaktadır. Şekil 1.11 Cam-Cam PV (G2G- PV) panelini gösterir, konvansiyonel PV paneli gibi çalışır ve ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Aynı zamanda, G2G- PV panelinin alt camı, G2T (T=Tedlar) tipi PV panelindeki ısıdan daha fazla ısı enerjisi iletir. PV panelinin arkasına yerleştirilen ısıl sistem ısıyı kontrol eder ve G2G-PV panelinin sıcaklığını düşürür. Su tarafından kontrol edilen ısı, sıcak su depolama tankında tutulur. Bu yöntemle hem elektriksel verim artırılır, hem de PV panelinin yüzey sıcaklığı düşürülür (Jaiganesh ve Duraiswamy, 2013).



Şekil 1.11 Cam-Cam PV Paneli (Jaiganesh ve Duraiswamy, 2013)

1.19 Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Önemi

Bu çalışmada, PV katmanlarından olan tedlar yerine cam kullanılarak üretilmiş PV paneli (Cam-cam) ve aynı PV panelinden üretilmiş PVT-su paneli prrotip olarak üretilmiştir. PV ve PVT-su panellerinin akım, voltaj değerleri düzenli olarak kayıt altına alınmıştır. Buna ek olarak, PVT-su panelindeki su giriş ve su çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu çalışmada, deneysel sonuçlar, teorik sonuçlarla birlikte değerlendirilmiştir.

Ülkemizde PVT sistemler gibi önemli bir konu üzerinde yapılan çalışmalar çok sınırlıdır. Dolayısı ile bu çalışma, PVT sistemler üzerine çalışma yapacak araştırmacılara yardımcı olacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Zamanla değişen sıcaklık etkisi dikkate alınarak, PV modül üzerindeki sıcaklık profili Jones ve Underwood (2001) tarafından incelenmiştir. Ortalama 25 °C ortam sıcaklığı için, PV sıcaklığının bulutlu ve güneşli günlerde, 27-52 °C arasında değiştiğini belirtmişlerdir. PV paneline gelen ışınım miktarının % 80'den fazlası elektrik enerjisine dönüştürülemede, bu ışınım ya yansıtılmakta ya da ısı enerjisi olarak depolanıp kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür (Tiwari ve Dubey, 2010).

Düz yüzeyli PVT-su kolektörleri için ilk çalışma Wolf (1976) tarafından yapılmıştır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda, PVT-su kolektör sistemlerinin, düşük maliyetli ve teknik olarak uygulanabilir olduğu ortaya çıkmıştır. Hendrie (1982) tarafından yapılan bir çalışmada, üç adet tam boyutlu düz yüzeyli prototip PVT kolektörleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, kolektörlerin ısı veriminin %40 ve elektriksel veriminin %6,5 olduğu kaydedilmiştir. Havanın kütleli debisinin 100-300 kg/h arasında ve suyun kütleli debisinin 40-120 kg/sa arasında durumlarda bir kanal tip PVT kolektör Prakash (1994) tarafından modellenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, debi değerinin artmasının, hava tipi kolektörlerde, su tipi kolektörlere göre daha fazla verim artışına sebep olduğu ortaya çıkmıştır.

PVT sistemini araştırmak için farklı hücre alanları ve debilerde, sonlu farklar yöntemi, Garg ve Agarwall (1995) tarafından kullanılmıştır. Maksimum ısı verim için, 0,03 kg/s kütleli debi kullanılması önerilmiştir. PVT sistemin aynı standartlardaki elektriksel ve ısı enerjilerinin ekserji analizini kullanarak karşılaştırılması, Fujiwa ve Tani (1997) tarafından yapılmıştır. En fazla elektriksel ekserji üretimi kaplamasız PVT kolektörde, en düşük ısı ekserji üretimi kaplamasız PVT'de ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi destekli ısı pompasının düşük ışınım altında STK değerinin düşük olduğu kaydedilmiştir (Ito ve ark., 1997). Bu durum, düz kolektörün çevreden enerji elde etmek için optimize edilmemiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Levha ve boru yapısına dayalı iki adet prototip PVT sistemi Huang ve ark. (1999) tarafından yapılmıştır. Levha ve boru yapısının ısı performanslarının yeterli olması için polikarbonat çok kanallı yapı W/D=1 oranı önerilmiştir. Geçici Sistem Simülasyon Aracı (TRNSYS) programı ile PVT-su kolektör sistem için bir simülasyon geliştirilmiştir (Kalogirou, 2001). Sistemde, PV paneller, pompa, fark termostatı, akü grubu, sıcak su depolama tankı ve inverter kullanılmıştır. PVT kolektör ile yıllık verim

ortalamasının, %2,8'den %7,7'ye çıktığı görülmüş olup, bir evin sıcak su ihtiyacının %49'unun bu sistem ile karşılanabileceğini öngörülmüştür (Kalogirou, 2001).

Hong Kong tropikal iklim şartlarında Ji ve ark. (2003) tarafından binalara bütünleşmiş PVT-su sistemi, farklı hücre yapılarında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ince film hücre ve mono kristal yapısına sahip PVT-su kolektörlerin elektriksel verimi sırasıyla %4,3 ve %10,3 ve ısı verimlerinin ise sırasıyla %47,6 ve %43,2 olarak kaydedilmiştir. Hong Kong gibi tropikal iklimine sahip şehirlerde PVT sistemin geniş çaplı uygulama potansiyeli öngörülmüştür (Ji ve ark., 2003). PVT kolektör kullanımı ile binalarda %38 oranında alandan tasarruf sağlayacağı belirtilmiştir (Elswijk ve ark., 2004). Bu da bina başına düşen kullanılabilir alan bakımından önemlidir.

PVT sistemler ile su soğutmalı çalışma Tripanagnostopoulos ve ark. (2005) tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık toplam elektrik üretimini 203,15 kWh, 165,92 kWh ve 198,26 kWh olarak sırasıyla standart PV modülü, sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için elde edilmiştir. Sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için, toplam ısı enerji üretimi sırasıyla 862,55 kWh ve 597,63 kWh olarak kaydedilmiştir. Standart PV modülü, sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için elektriksel verim sırasıyla, %10,50, %8,57 ve %10,25 olarak elde edilmiştir. Sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörü için ısı verimleri sırasıyla, %44,58 ve %30,89 olarak kaydedilmiştir (Tripanagnostopoulos ve ark., 2005).

Yoğunlaştırılmış PVT kolektör verimi üzerine çalışma, Coventry (2005) tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarına göre, ısı verim, elektriksel verim ve toplam verim sırasıyla %58, %11 ve %69 olarak elde edilmiştir. Alüminyum alaşımlı düz kutu tip ısı absorber üzerinde polikristal PV modüle sahip, hibrit PVT- su soğutmalı kolektör ile test yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarına göre, toplam verim ve elektriksel verim sırasıyla, %40 ve %9,87 olarak elde edilmiştir (Ji ve ark., 2006). Sistemin ısı ve elektriksel verimini arttırmak için absorber ve PV modül arasında iyi bir ısı kontak oluşturulabilir (He ve ark., 2006). Fransa'da PV modüller üzerinde yapılan bir çalışma sonucunda, cam kaplı ve camsız PV modüllerinin yıllık elektriksel verimi sırasıyla %6,8 ve %9,4 olarak elde edilmiştir (Fraisie ve ark., 2007).

İnce film ve polikristal PV paneller üzerindeki çevresel performans analizi çalışması Pacca ve ark. (2007) tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, enerji geri ödeme süresi ince film ve polikristal modüller için sırasıyla 3,2 ve 7,5 yıl olarak ortaya çıkmıştır. CO₂ emisyonu için ince film ve polikristal modüller için sırasıyla 34,3

ve 72,4 g CO₂/kWh değerler elde edilmiştir. PV ve sıcak su kolektör sisteminin, farklı çalışma şartları ve farklı mevsimlerdeki performansını belirlemek için deneysel çalışma Chow ve ark. (2007) tarafından yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Hong Kong şehrinde yaz mevsiminin sonunda yapılmış deneylerde sıfıra düşmüş sıcaklıktaki ısı ve elektriksel verimleri sırasıyla %38,9 ve %8,56 olarak elde edilmiştir.

Doğal sirkülayonlu bir PVT-su kolektörü Ji ve ark. (2007) tarafından hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu sistem ile %65 civarında enerji kazanımı sağlanabildiği ortaya koymuştur. Kuzey Kıbrıs'ta iklimsel şartlar dikkate alınarak, PVT sistemden enerji üretimi için deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, 2 adet 0,6 m²'lik PVT-su kolektörü kullanarak 2,8 kWh/gün ısı enerjisi, 7 kWh/gün elektrik enerjisi elde edilmiştir (Erdil ve ark., 2008).

Bilgisayar simülasyon kullanılarak BIPVT-su kolektörlerin, klasik PV sistemlere göre daha ekonomik olduğu ve doğal dolaşımın zorlanmış dolaşımına göre daha yüksek ısı performans gösterdiğini ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda Hong Kong iklim şartlarında, yıl bazında BIPVT-su kolektörün ısı verimi %37,5 ve elektriksel verimi %9,39 olarak kaydedilmiştir (Chow ve ark., 2009). PVT sisteminde boru içindeki akış miktarının artması ile elektriksel ve ısı veriminde artış meydana gelmektedir (Chow, 2010). Aynı alana sahip ve aynı PV panele sahip, PVT kolektör ve standart termosifonik güneş kolektörünün verimliliğinin ölçülmesi açısından yapılan deneysel inceleme sonucunda, PVT kolektörün ve termosifonik güneş kolektörün ısı veriminin sırasıyla, %40 ve %75 olduğu ve elektriksel verimlerinin sırasıyla, %10 ve %13 olduğu bulunmuştur (He ve ark., 2011).

Düzlemsel güneş kolektörlerin dizayn ve üretimi, PVT kolektörlere göre daha kolay olmasına karşın, verimi %2 civarında daha düşüktür (İbrahim ve ark., 2011). ε-NTU yöntemini kullanılarak vakum tüplü PVT kolektörlerin performans değerlendirmesi sonucunda, sistemin toplam ısı verimi %63,65, elektriksel verimi %8,45 ve ekserji verimi %10,26 olarak elde edilmiştir (Wu ve ark., 2011). Optimum verim için, PVT kolektörde kullanılan boruların absorber plaka kalınlığının 50 µm, ara mesafelerinin 62-64 mm, iç çapının ise 1,65 mm'den küçük kullanılması tavsiye edilmiştir (Charalambous ve ark., 2011). Vakum tüplü PVT kolektörlerde günlük ısı verim, günlük elektriksel verim, ortalama ışınım, elektriksel kazanç ve ekserji verimi sırasıyla, %41,9 - %9,4 - 276,9 W/m² - 62,3 W/m² ve %6,8 olarak elde edilmiştir (Gang ve ark., 2011).

Gerçek boyutlarda üretilen PVT kollektör ile Fraunhofer güneş test tesisinde ki deneme sonuçlarına göre, PVT kollektörün genel, ısı ve elektriksel verimleri sırasıyla %87,7, %79 ve %8,7 olarak bulunmuştur (Dupeyrat ve ark., 2011). Hibrit PVT sistemleri, absorbe edilen güneş ışığını, elektrik gücüne ve ısı enerjisine dönüştüren, su veya ile soğutulan, PV modüllerinden oluşmaktadır. Su/hava sirkülasyonu ile çift ısı çekme işlemine sahip yeni tip PVT kollektörler Tripanagnostopoulos (2007) tarafından hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilmiş PVT sistemleri estetik ve enerji avantajlarına sahip olup, temel PV modülleri ve ısı kollektörlerin ayrı montajı yerine, birleşik olarak kullanılabilir. Özellikle mevcut bina yüzey alanı sınırlıysa ve ısı ihtiyaçlar düşük sıcaklıktaki su veya hava ısıtma ile ilişkilendirilmişse, bu sistemi kullanmak oldukça avantajlı olabilir.

PV'ler, hücre tipine bağlı olarak, güneş ışımalarının %5-15'ini elektriğe dönüştürür ve daha büyük bir yüzdesi de ısıya dönüşür. PVT güneş sistemleri, evsel ve endüstriyel sektörde, özellikle su veya havayı ön ısıtma için etkili bir şekilde kullanılabilir. PVT-su sistemleri, PV arka yüzeyi ile ısı temas halinde olan bir ısı eşanjöründen oluşup, su ısıtması, alan ısıtması ve diğer uygulamalar için kullanılabilir (Tripanagnostopoulos, 2007). Konsantre PVT sistem (CPVTS) ile, ısı enerjisi ek olarak, CPVS ile karşılaştırıldığında, daha yüksek elektriksel verim elde edilebilir (Chaabane ve ark., 2013). Son 30 yıl boyunca, PVT-hava kollektörleri hakkında çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ancak son zamanlarda en çok araştırılan PVT teknolojisi, ısı transfer akışkanı olarak su kullanan sistemlere dayanmaktadır. Çünkü suyun yüksek ısı kapasitesi nedeniyle, hava sistemlerinden daha yüksek ısı verim elde ediliyor (Aste ve ark., 2014).

Su akışkanı ile soğutulan yenilikçi bir camlı PVT bileşeninin tasarımı, elektriksel ve ısı üretiminin tahmini değerleri için ayrıntılı bir matematik modeli Aste ve ark. (2015) tarafından oluşturulmuştur. İnce film PV teknolojisi ve bir roll-bond düz plaka absorber ile yapılmış, PVT-su kollektörlerin performansını değerlendirmek için çeşitli matematiksel denklemlerin hazırlanması yoluyla geliştirilen bir simülasyon modeli ve kapalı sistem PVT kollektörlerin tasarımı ele alınmıştır. PVT kollektörleri ve PV modülü arasındaki karşılaştırma yapıldığında, PVT teknolojisinin, birincil enerji bakımından, basit PV modülünden daha yüksek bir verimlilik sunduğunu göstermektedir. Aslında, PVT bileşeninin elektrik üretimi standart PV modülünden biraz daha az olmasına rağmen, PVT teknolojisi aynı zamanda bir miktar ısı enerjisi de üretebilir (Aste ve ark., 2015).

PV ve PVT-su kolektörlerin ekserji verimliliği, deneysel ve sayısal olarak Yazdanpanahi ve ark. (2015) tarafından incelenmiştir. PVT-su kolektörlerin deneysel kurulumu yapılmış ve çalışma parametreleri ölçülmüştür. Ölçülen parametreler sırasıyla güneş radyasyonu, rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, hücre sıcaklığı, sıvı giriş ve çıkış sıcaklığı, açık devre voltajı, kısa devre akımı, maksimum güç noktası voltajı ve maksimum güç noktası akımını içerir. Elde edilen sonuçlara göre, sayısal simülasyon sonuçları, gerçekleştirilen deneysel ölçümlerle iyi bir uyum içinde olup ekserji verimliliğinin maksimum %13,95 değerinde olduğu ve kütle akış hızı optimum değerinin 0,002 kg/s olarak elde edilmiştir (Yazdanpanahi ve ark., 2015).

Yeni bir PVT kolektörde, bakır tabakayı doğrudan silikon hücresine lamine edilerek, ısı direnci azaltıp, PVT performansı, bakır oksit-su ($\text{CuO}/\text{H}_2\text{O}$) nano-akışkanı kullanılarak geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Nano-akışkanın, ısı verimi %45,76'ya kadar arttırdığı kanıtlanmıştır. Deney düzeneğinden, nano-akışkanın, suya kıyasla ısı performansta önemli bir gelişme sağladığı görülmüştür. Ayrıca, daha yüksek etkinliğe sahip bir ısı eşanjörünün kullanılmasının elektrik performansını da artırabileceği önerilmiştir (Michael ve Iniyani, 2015).

PV modüllerinin PVT modülüne entegrasyonu, aynı yüzeyde, hem elektrik enerjisi ve hem de ısı enerjisi üretmek için olası bir çözüm olarak görülmektedir (Rosa-Clot ve ark., 2016). Isıl/elektrik güneş paneli entegrasyonu (TESPI) adlı patentli panellere dayanan, iki pilot tesisin deneysel sonuçları sunulmuştur. Bu modüllerin temel avantajı, mevcut PV tesislerinin güçlendirmesini temsil etmeleridir. Deney sistemi, suyun güneş radyasyonu üzerindeki kızılötesi filtreleme etkisine dayandığından, geleneksel PV modüllerinin üzerine monte edilebilirler. Elde edilen sonuçlara göre, TESPI, güneş panellerini üst üste bindirerek, mevcut üretim tesislerinde, herhangi bir değişiklik yapmadan eklenebilir. Bu, küçük bir elektrik enerjisi hasadı azalmasıyla sonuçlanır, ancak aynı zamanda önemli miktarda ısı enerjisi elde edilebilir. Böylece sistemin verimliliği yaklaşık iki katına çıkarılabilir (Rosa-Clot ve ark., 2016).

Seri bağlı PV ve PVT-su kolektörün genel ısı enerjisi kazancı ve genel ekserji kazancı açısından performansını değerlendirmek için deneysel bir çalışma Shyam ve ark. (2016) tarafından yapılmıştır. Geliştirilen teorik model, Yeni Delhi iklim şartları için açık gökyüzünün olduğu günde, sisli günde ve parçalı bulutlu bir günde deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, teorik sonuçların deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğunu ortaya çıkmıştır. Bir yılda üretilen toplam ısı enerjisi ve ekserji sırasıyla 3561,9 kWh ve 376,1 kWh olarak elde edilmiştir. Genel ısı enerjisi ve ekserji

bazında yıllık tek tip maliyetin sırasıyla 1,53 Rs/kWh ve 14,45 Rs/kWh olarak kaydedilmiştir. Ekserji bazında kazanılan karbon kredisinin 667,30 Rs ve genel ısı enerjisi esasına göre 6321,70 Rs olarak bulunmuştur (Shyam ve ark., 2016).

PVT sisteminin enerji simülasyonu için, bir kollektörün enerji performansında yer alan tüm faktörleri ve parametreleri dikkate alan bir matematiksel model geliştirilmiştir. PVT sisteminin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmak için bu model herhangi bir performans hesaplama aracında kolayca uygulanabilir. Geliştirilen simülasyon modelinin validasyonu, test edilen ticari PVT bileşeninde, montaj hatası nedeniyle bir uyumsuzluk meydana geldiğinde bile izlenen verilerle iyi bir uyum olduğunu göstermektedir (Aste ve ark., 2016).

PVT-CPC aktif güneş damıtma sistemleri olarak bilinen N eşdeğeri kısmen örtülmüş (PVT bileşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) su kollektörleri ile entegre havza tipi güneş fotoğraflarının performans analizi su derinliğinin etkisi dahil edilerek Ocak (kış) ve Haziran (yaz) gibi iki Hint iklim şartı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, havzadaki suyun derinliği 0,31 m'den fazlaysa, ortalama günlük ısı verimin, toplam ısı verimin ve üretimin, çift eğimli PVT-CPC aktif güneş enerjisinden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır (Singh ve Tiwari, 2017a).

Modifiye bir PVT güneş kollektörü üzerinde deneysel bir çalışma, İstanbul'da yapılmıştır. Önerilen modelde hava, kollektöre cam kapağın ortasındaki bir yarıktan girer. PV modülü ile kapak arasındaki mesafe 3 cm olduğunda en yüksek ısı performans elde edilmiştir, elektriksel verimde ise en yüksek değer kapak ve panel arasında 5 cm boşluk olduğunda ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak, kütle akış hızının artırılmasının sistemin ısı performansını arttırdığı da tespit edilmiştir (Saygin ve ark., 2017).

Nanoparçacıkların (SiC, TiO₂ ve SiO₂) baz sıvısı olan suyla, jet sıkma ile donatılmış bir PVT kollektörün elektriksel ve ısı performansları üzerindeki etkisi Hasan ve ark. (2017) tarafından araştırılmıştır. Elektriksel verim, ısı verim ve toplam verim sırasıyla, % 12,75, % 85 ve % 97,75 olarak bulunmuştur (1000 W/m² güneş ışınım, 0,167 kg/sn akış hızında ve yaklaşık 30 °C sıcaklıkta). Sahota ve Tiwari (2017) yaptığı çalışmada, yarı saydam PVT (SPV'nin) entegre güneş enerjisi sistemlerinin, kırsal alanlarda, sürdürülebilir ve daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur.

Düz ve sarmal kanallı alüminyum soğutma plakası kullanan PVT sisteminin performansına ilişkin çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, 0,25-1 L/dk akış aralığı

için soğutmasız panellere göre elektrik verimliliğinde %17,7'den, %38,4'e artış olduğunu göstermiştir. Ortalama ısı verim, düz kanallar için %31,6'dan %47,2'ye ve sarmal konfigürasyon için %34,6'dan %57,9'a yükselmiştir. Buna karşılık ortalama ekserji verimliliği düz kanallar için %11,1'den %12,9'a ve sarmal düzenleme için %11,5'den %13,5'e yükselmiştir (Salem ve ark., 2017).

PV panele entegre termoelektrik soğutucu (PV-TEC) kollektörü Dimri ve ark. (2018) tarafından önerilmiştir. Burada TEC modül, elektriksel verimin artırılması için ışık geçirmez PV modülün tabanında birleştirilmiştir. Hava kanallı ışık geçirmez PV-TEC kollektörü ile 15,36-37,31W aralığında ısı enerjisi kazancı, 7,03- 14,97W arasında genel elektrik enerjisi kazancı ve 7,21-15,66W arasında genel bir ekserji kazancı elde edilmiştir.

Teorik ve deneysel olarak PV modülden ısı alan PVT sisteminin yeni bir konfigürasyonu incelenmiştir. Bu konfigürasyon, bir prototip içine entegre edilmiş tüp ve tabakadan oluşup, Cezayir'in güneyindeki yenilenebilir enerji uygulamalı araştırma biriminde, Ghardaia'da test edilmiştir. Bu hibrit kollektörün avantajları, diğer kollektör konfigürasyonlarına göre daha iyi ısı emilimi ve düşük üretim maliyetidir. Elde edilen sonuçlar ışığında, PVT'nin geleneksel hibrit kollektörlere iyi bir alternatif olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Touafek ve ark., 2014).

PVT konfigürasyonlarındaki değişiklikler, PVT sisteminin elektriksel ve ısı performanslarını etkilediğini göstermektedir. Belirli bir PVT hava kollektörü için, hücre sıcaklığı, güneş ışınımının artmasıyla birlikte yükselir. Bu da güneş enerjisi ile PV verimin yanı sıra elektriksel verimin düşmesine neden olur. Elektrik enerjisi, güneş radyasyonu yoğunluğunun artmasıyla birlikte artmaktadır (Shan ve ark., 2014).

Nano-akışkan kullanmanın PVT sisteminin performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Simülasyonda dikkate alınan soğutucu akışkan sıvıları saf su, Ag-su nano-akışkanı ve Alümina-su-nano akışkanı seçilmiştir. Önerilen model, iletim ve konveksiyon ısı transfer mekanizmalarını dikkate almak için, bir su yükseltici boru ve bir absorber plaka içermektedir. Elde edilen sonuçlar, nanoparçacık hacim fraksiyonunu artırarak, etkinliklerin ve ısı transfer katsayısının arttığını göstermiştir. Alümina-su ve Ag-su nano-akışkanı için hacim fraksiyonuna karşı ısı transfer katsayısının maksimum artış yüzdeleri sırasıyla, %12 ve %43 olarak elde edilmiştir (Khanjari ve ark., 2016).

PVT sistemi için soğutucu olarak, su ve SiC nano-parçacıklarından oluşan nano-akışkanın termofiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu nano-parçacıkların ağırlıkça %3'ünün suya eklenmesi sonucunda ortaya çıkan sıvı yoğunluğunda %0,0082'ye kadar

bir artış ve viskozite de %1,8'e kadar artışa neden olduğu gözlenmiştir. Dahası, 25-60 °C test edilen sıcaklık aralığı için, ısı iletkenliği, %8,2'ye artmıştır (Al-Waeli ve ark., 2017b).

PVT güneş kolektörünün performansı için, grafit ile doldurulmuş ve ısı verim, elektrik verimi ve birincil enerji tasarruf verimi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar PVT kolektörünün elektriksel veriminin, panel yüzey sıcaklığını azaltarak artırılabilceğini göstermektedir. Grafit ile doldurulmuş ve konvansiyonel PV modülü ve PVT kolektörünün elektriksel verim ortalaması, 8:00-16:00 saatleri arasında, sırasıyla, %6,44 ve %5,15 olarak elde edilmiştir. Grafit ile doldurulmuş bir PVT kolektörünün en yüksek elektriksel verimi ve en yüksek birincil enerji tasarrufu etkinliği sırasıyla %7,2 ve %48 olarak, saat 10:35'te kaydedilmiştir (Liang ve ark., 2015).

PVT-hava sistemindeki havanın, gelecekte ön ısıtma havası olarak kullanılabilmesinin umut verici olduğu bulunmuştur. Nano-parçacıkların ve suyun baz sıvı olarak kullanılmasının genel sistem verimliliğini arttırdığı ileri sürülmüştür (Al-Waeli ve ark., 2017c).

PVT-su kolektörün elektriksel ve ısı performansları, 500–800 W/m² güneş ışınım seviyelerinde, Fudholi ve ark. (2014) tarafından belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sarmal akış absorber, 800 W/m² güneş ışınımı seviyesinde ve 0,041 kg/sn kütleli debide en yüksek performansı sergilediğini göstermektedir. Sarmal akış absorber ile PVT kolektörün elektriksel ve ısı verimleri sırasıyla %13,8 ve %54,6 elde edilmiştir. Aynı zamanda, 0,011-0,041 kg/sn kütleli debilerde %79-%91 arasında değişen birincil enerji tasarrufu verimi elde edilmiştir (Fudholi ve ark., 2014).

PV paneli ile birlikte geliştirilmiş, entegre kolektör depolama ile güneş enerjili su ısıtıcı (ICSSWH) sisteminin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, yüksek güneş hücre paketleme faktörünün ve tanktaki su külesinin artmasının, PVT toplam veriminin artmasına neden olduğunu göstermiştir. Kolektör alanının daha büyük olması, PVT toplam veriminin düşmesine neden olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Ziapour ve ark., 2014).

Tri-fonksiyonel PVT güneş kolektörünün yeni bir tasarımı önerilmiştir. Kolektör, mevsimsel şartlara göre PV-su ısıtma modunda veya PV-hava ısıtma modunda çalışabilir. Elde edilen sonuçlara göre, PV-hava ısıtma modunda günlük ısı ve elektriksel verimlerin sırasıyla %10,2 ve %46 olduğu kaydedilmiştir. Hava sıcaklığının artmasıyla, güneşli bir günde, 0,033 kg/sn kütleli debide, PV ile 20 °C'ye kadar ısıtma değeri elde edilmiştir. Sıfıra düşürülmüş sıcaklıkta hava akış hızı sırasıyla 0,026 kg/sn,

0,032 kg/sn olarak ve anlık ısı verim %37,4, %44,3 olarak elde edilmiştir. PVT-su ısıtma modunda, kollektörün ısı verimi, sıfıra düşürülmüş sıcaklıkta %56,6 ve sistemin günlük ısı verimi %36 olarak elde edilmiştir. Tri-fonksiyonel PVT kollektörün, çeşitli koşullarda verimli bir şekilde çalıştırılabileceği ortaya konulmuştur (Ji ve ark., 2014).

Suudi Arabistan'ın Dhahran Bölgesinde, CPC ile konvansiyonel çift geçişli PVT sistemler arasındaki karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, yıllık ısı kazancın, düz PVT'ye (UF) kıyasla, düz PVT (F) için %1 daha yüksek olduğunu göstermektedir. Düz PVT (F) için yıllık elektrik kazancı, düz PVT'den (UF) %3 daha yüksektir. CPC-PVT (F) 'nin CPC-PVT'ye (UF) kıyasla %3 ısı ve %8 elektrik kazancı olduğu tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, CPC-PVT (F) sisteminin en iyi performansa sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Elsafi ve Gandhidasan, 2015).

Işınım yoğunluğu, soğutma sıvısı kütle akış hızı, nem ve toz gibi çeşitli çalışma parametreleri, PV modül performansına nasıl etki ettiğini gözlemlemek için değiştirilmiştir. 1000 W/m² ışınlama seviyesinde, soğutma olmadığı durumda, hücre sıcaklığının 56 °C'ye çıkarılmasıyla, çıkış gücünde ve elektriksel veriminde sırasıyla 20,47 W ve % 3,13 düşüş görülmüştür. Hücre sıcaklığındaki 1 °C artışın sonucunda, çıkış gücünde ve elektrik veriminde sırasıyla 0,37 W'lık ve %0,06'lık bir düşüş gözlemlenmiştir. Işınım yoğunluğundaki her 100 W/m²'lik ve güneş hücresi sıcaklığındaki 4,93 °C artış sonucunda, çıkış gücü 2,94 W artmıştır. Modül sıcaklığının 22,4 °C'ye düşürülmesi ile çıkış gücünün 8,04 W artırılması ve PV modülüne su soğutması uygulanmasıyla mümkün olmaktadır. Sonuç olarak, PV hücre sıcaklığı, ışınım yoğunluğu, soğutma sıvısı debisi, nem ve toz parametreleri PV modül performansını etkilediğini göstermektedir (Rahman ve ark., 2015).

PVT sistem için en iyi nano-partikül konsantrasyonu belirlemek için, suya üç nanopartikül (Al₂O₃, CuO ve SiC) eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, nanoparçacıklar arasında SiC diğer iki nanopartiküle kıyasla en iyi kararlılık ve en yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğunu ortaya çıkmıştır (Al-Waeli ve ark., 2017a).

Nano-akışkan ile donatılmış bir PVT sistemi, entropi üretimi açısından incelenmiştir. Serpantin kollektör borusu ile donatılmış bir PV sistemin verimliliği arttırmak için çeşitli nano-akışkanlar (Al₂O₃/su, TiO₂/su, ZnO/su ve SiO₂/su) kullanılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nanopartikül eklemenin sistemin ısı ekserji verimliliğini arttırdığını göstermiştir. ZnO/su için en yüksek, SiO₂/su için ise en düşük ısı ekserji verimliliği elde edilmiştir (Maadi ve ark., 2017).

PVT elektriksel ve ısıl enerji verimleri ZnO/su nano-akışkanı ve saf suyun üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, soğutucu sıvısı giriş sıcaklığının 40 °C'den 20 °C'ye düşürülmesi, nano-akışkan bazlı PVT sisteminin ısıl verimliliğini %16,21 oranında artırmaktadır (Hosseinzadeh ve ark., 2018a).

Yapay sinir ağ modeli, ısı pompalarında kullanılan bir PVT'nin enerji performansını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Yapay sinir ağ modeli tahminlerinde, mutlak varyans değerlerinin maksimum oranı, minimum kare kök ortalama hataları ve minimum varyans değerlerinin minimum katsayısı ile deneysel değerlere daha yakın sonuçlar bulunmuştur. Varyans sonuçlarının analizi, güneş yoğunluğunun ve ortam sıcaklığının PVT buharlaştırıcıların enerji performansını etkileyen en etkili parametreler olduğunu doğrulamıştır (Gunasekar ve ark., 2015).

Dinamik bir simülasyon modeli ve PVT kollektör tarafından uyarlanmış, güneş destekli bir ısı pompasına ve bir adsorpsiyon soğutucuya dayanan yeni bir polenerasyon sisteminin termo-ekonomik analizini sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, PVT'nin %49'luk toplam enerji verimliliğine, 4'ün üzerindeki ısıtma modu için bir yıllık ısı performans katsayısını ve adsorpsiyon soğutucularının performans katsayısı 0,55 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, sistem performansının, PVT saha alanı durumuna göre çok hassas olduğu sonucuna varılmıştır. %50'lik bir yatırım göz önüne alındığında sistemin daha kârlı olduğunu ortaya çıkmıştır (Calise ve ark., 2016).

Hindistan Delhi Teknoloji Enstitüsü'nde yapılan çalışmalarda, PVT sisteminin seralarda nem alıcı sistem olarak kullanılması önerilmiş, New Delhi'deki farklı iklim koşulları için farklı parametreler değerlendirilmiştir. Sistemin geri ödeme süresi, toplam ısıl enerji ve toplam ekserji bazında sırasıyla 1,23 ve 10 yıl olarak kaydedilmiştir (Tiwari ve Tiwari, 2016).

Bir PVT sistemde, soğutma sistemi olarak metal oksitler/nano-akışkanların, enerji ve ekserji açılarından kullanılmasının etkileri üzerine deneysel bir araştırma sunulmuştur. TiO₂ ve ZnO, ağırlık olarak %0,2 oranında, deiyonize suda dağıtılmıştır. Elde edilen sonuçların ışığında, PVT/ZnO ve PVT/TiO₂ sistemleri, diğer sistemlere kıyasla daha iyi enerji ve ekserji verimliliği göstermiştir. PVT-su, PVT/TiO₂, PVT-Al₂O₃ ve PVT-ZnO durumlarında toplam enerji verimliliği, PV ile karşılaştırıldığında sırasıyla %12,34, %15,93, %18,27 ve %15,45 oranında artış göstermiştir. PVT-Al₂O₃ sistemi, PV ile karşılaştırıldığında en yüksek entropiye sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Sardarabadi ve ark., 2017a).

PVT kolektörlerin verimliliğini arttırmada, akışkanın çıkış sıcaklığının etkisi, teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar PVT absorber optimum tasarımının modül başına 11 dikdörtgen boru gerektirdiğini ve optimal dikdörtgen boru boyutlarının 24 mm (genişlik) ve 15 mm (derinlik) olduğunu göstermiştir. Nano-akışkan olarak SiO₂, diğer nano-akışkan türleri ve su ile karşılaştırıldığında PVT veriminde olağanüstü bir gelişme göstermiştir. PVT kolektöründe nano-akışkan-SiO₂ kullanılmasının, PV modül sıcaklığını 65 °C'den 45 °C'ye düşürdüğünü ve çıkış sıcaklığını 35 °C'den 44 °C'ye yükselttiğini ve bunun 1000 W/m² güneş ışınımında sırasıyla %12,70 ve %5,76 elektriksel ve ısıl verim artışına yol açtığı ortaya çıkmıştır (Al-Shamani ve ark., 2018).

ZnO-su nano-akışkanın, soğutucu olarak %0,2 ağırlık ve aynı zamanda bir organik parafin mumunun PCM olarak PVT sisteminin elektriksel ve ısıl verimleri üzerindeki kullanımının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, nano-akışkan bazlı PVT sisteminde PCM kullanılması ile PVT sisteminin ısıl çıkış gücünde yaklaşık % 29,60 artış elde edilebilir (Hosseinzadeh ve ark., 2018b).

Yarı saydam PVT çift geçişli cephenin alanı ısıtmak için performans değerlendirmesi araştırılmıştır. Yeni Delhi'nin (Hindistan) iklimi için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Sayısal sonuçlara göre, yıllık ısıl ve elektrik enerjinin sırasıyla 480,81 kWh ve 469,87 kWh olduğu gözlenmiştir. Sistem tarafından üretilen yıllık toplam ısıl enerji 1729,84 kWh olarak hesaplanmıştır (Kamthania ve ark., 2011).

PVT kolektör sistemindeki güneş ışınımının ısıl enerjiye dönüşümünü ve enerji deposundaki PCM incelenmiştir. Sonuçlar güneş kolektörünün ısıl verimliliğinin güneşli gün için %40-%50 arasında ve yarı bulutlu gün için yaklaşık %40 civarında değiştiğini göstermiştir. PVT kolektörünün genel verimliliği, güneşli gün için %55-%63 arasında ve yarı bulutlu bir gün için yaklaşık %46-%55 arasında elde edilmiştir (Al-Imam ve ark., 2016).

Isı transfer işlemine dayalı olarak MHPA-PVT kolektörünün matematiksel bir modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kolektörün ısıl veriminin mevsim sıcaklığından önemli ölçüde etkilendiğini, yazın %40'a, kışın %20'nin altına düştüğünü göstermiştir. Su tankındaki ilk sıcaklık, ortalama ortam sıcaklığına eşit olduğunda, ısıl verimlilik yaklaşık %30 civarında olduğu raporlanmıştır. Elektriksel verim, ısıl verimle karşılaştırıldığında yaklaşık %13 oranında fark görülmüştür. MHPA-PVT kolektörün tüm yıl için toplam verimliliği %30-%50 arasında değiştiği kaydedilmiştir (Hou ve ark., 2016).

PV sistemi için, soğutucu akışkan olarak ZnO/su nano-akışkanı ve PCM'in eşzamanlı kullanımı deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçlar ışığında, PCM/nano-akışkan bazlı kollektör sisteminde, ortalama elektrik çıktısının geleneksel PV modüle kıyasla %13'ten fazla arttığını göstermektedir. Hem nano-akışkanın hem de soğutma sistemi için PCM'nin eşzamanlı kullanımı, sistemin ekserji verimliliğini, geleneksel bir PV modüle kıyasla % 23'ten daha fazla arttırılabilir (Sardarabadi ve ark., 2017b).

Zorlanmış veya doğal hava akışlı bir PVT-hava güneş kollektörünün elektriksel ve ısıl verimi üzerine araştırmalar yapılmıştır. 60 m³/sa debili ve 15 cm kanal derinliğine sahip zorlamalı konveksiyon için, kanatçıkların kullanımı, ince metalik tabaka ve tipik modelin kullanılmasıyla sırasıyla %30, %28 ve %25 civarında bir verim elde edilmiştir. Buna göre, önerilen modifikasyonların, normal sistemden daha yüksek ısıl verim sağladığı ve PV yüzey sıcaklığını da soğutması nedeniyle daha iyi elektrik performans verdiğini göstermiştir (Tonui ve Tripanagnostopoulos, 2007).

Laminer ve türbülans rejiminde, cam kapaklı ve camsız düz plaka PVT sistemi simüle etmek ve güneş ışınımı, Reynolds sayısı, kollektör uzunluğu, boru çapı ve boru sayısının etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, camlı PVT sistemdeki enerji verimliliğinin, camsız olandan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ekserji verimliliğinin ise Reynolds sayısına ve kollektör uzunluğuna bağlı olduğunu sonucu bulunmuştur (Yazdanifard ve ark., 2016).

PVT paneller, güneş enerjisinin ısıya ve elektriğe dönüştürülmesi için yaygın olarak kullanılan cihazlardır. Faz değiştirme malzemelerinin (PCM'ler) kullanımı, bir PV modülün sıcaklığını etkili bir şekilde azaltabilir. Bu durum aynı zamanda PVT sisteminin enerji verimliliğini etkileyen kritik bir faktör olarak da görülür. PVT-PCM ve PVT sistemlerinin genel enerji verimlerini karşılaştırmak için deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 800 W/m² radyasyon ve 0,15 m³/sa su debisinde, PVT-PCM sisteminde, %14 verimlilik artışı kaydedilmiştir. Buna göre, PCM'in, PVT sistemine entegrasyonu ile, sistemin enerji performansının artırılacağı açıkça görülmektedir (Yang ve ark., 2018).

Doğu Akdeniz bölgesinin iklim koşullarında, güneş enerjisi ile çalışan ve adsorpsiyonlu soğutucu kullanılan soğutma sisteminin uygulaması incelenmiştir. Seçici güneş kollektörü kullanıldığında, sistemin genel enerji verimliliği en üst düzey olan %21,7'ye çıkmıştır. Camsız PVT güneş enerjisi kollektörü kullanıldığında genel ekserji verimliliği en üst düzey olan %11,35'a çıkmıştır (Koronaki ve ark., 2016).

PV modülün yüzey sıcaklığını azaltmak için deneysel araştırmalar yapılmıştır. Güneş hücrelerinin sıcaklığı, çeşitli su kalınlıklarında (1-5 cm) ve filtre ile PV modül arasındaki farklı mesafelerde (1-3 cm) ölçölmüştür. Sonuçlar, su tabakası kalınlığının güneş pillerinin yüzey sıcaklığının düşüşü üzerinde önemli bir etkisi (%14–30,2) olduğunu göstermektedir. Filtre ve PV modül arasındaki mesafenin etkisinin daha düşük (% 6,2–12,2) olduğu ortaya çıkmıştır (Al-Shohani ve ark., 2016b).

Nano-akışkan (PVT-N) bazlı bir kollektör sisteminin modellenmesinde yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Radyal-temelli yapay sinir ağı (RBFANN), çok katmanlı algı yapay sinir ağı (MLPANN) ve adaptif nöro bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelinin doğrusal olmayan ilişkisi, PVT-N sisteminin giriş ve çıkış parametrelerini tanımlamak için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, her üç modelin de, PVT-N sisteminin performansını tahmin edebilecek kadar makul sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, varyans analizi (ANOVA) sonuçları, ANFIS ve RBFANN'in sırasıyla elektriksel verim ve akışkan çıkış sıcaklığı tahmininde daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir (Kalani ve ark., 2017).

Su tipi PVT kollektörü, hava tipi PVT kollektöründen daha iyi ısıl performans gösterme eğilimindedir. Binalarda PVT kollektörü kullanılması durumunda; ısıl ve elektriksel verimlerin için sırasıyla %30 ve %17 değerleri elde edilebilir (Kim ve ark., 2014).

Güneş simölatörü kullanılarak PV ve PVT kollektörlerin performansını karakterize etmek için bir metodoloji detaylandırılmıştır. Bir kıvrık kollektör, aynı kütle akış hızı kullanılarak bir başlık yükseltici kollektör ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, başlık yükselticisinin daha az verimli olduğu ve kayıp katsayısında %34 artış olduğu ortaya çıkmıştır (Allan ve ark., 2015).

Binaya entegre PVT sistemi ile yapılan bir çalışmada, absorber düz plaka altına tek polikristalli silikon PV modölün, cam tabakasının altına tutturulduğu ve absorber ısı transfer aracı olarak, suyun kullanıldığı varsayılmıştır. Elde edilen sonuçlar, binaya entegre PVT sistemin, saatlik varyasyonun, %55-62 enerji verimliliğine, %12-14 ekserji verimliliğine ulaştığını gösterilmiştir (Ibrahim ve ark., 2014).

PVT kollektörlerin teknik ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmeyi amaçlayan sayısal ve deneysel analizler yapılmıştır. Sayısal analiz ile PVT'nin genel verimliliğinin yaklaşık %26 olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, deneysel ısıl veriminin yaklaşık %13 olduğu sonucu bulunmuştur (Buonomano ve ark., 2016).

Camsız PVT güneş kolektörünün bir boyutlu sonlu hacimli modeli araştırılmıştır. Hem katı maddelerin hem de akışkan sıcaklıklarının, ayrıştırma yönü boyunca doğrusal olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Nominal çalışma koşullarında, cam tabaka 62 °C'deki en yüksek sıcaklığa ulaşırken, PV hücre sıcaklığının yaklaşık 8 °C daha düşük olduğu kaydedilmiştir (Calise ve ark., 2017).

Su soğutmalı konsantre PV (CPV) bir sistemin ısı ve elektriksel performansını tahmin etmek için üç boyutlu bir akışkan dinamiği modeli geliştirilmiştir. Sayısal simülasyon sonuçları, sıcak noktaları ve CPV modül sıcaklığını düşürmek için farklı modifiye sistemlerin potansiyelini gösterir . Böylece artan elektriksel ve ısı verim sağlar. 315,15 K güneş panel hücresi sıcaklığı sırasıyla, %74,2 ve % 83,5'lik bir ısı ve birleşik (ısı artı elektrik) verim sunan optimum tasarım da değerlendirilir (Chaabane ve ark., 2016).

Absorber kanalı altında PCM olan ve olmayan, tamamen nemli absorber bir PVT kolektörü için ayrıntılı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Lyon (Fransa) kentinde kış ve yaz günlerinde PCM OM37 kullanılarak ısı ve elektriksel araştırmalar yapılmıştır., PCM eklemenin, ısı enerjisi ve ekserjiyi artırdığı sonucu bulunmuştur. Güneşli saatlerde, PCM kütlesindeki optimum değere kadar artış, daha yüksek elektrik verimi ile sonuçlanan sıcaklığı azaltır ve aynı zamanda, gece daha yüksek su sıcaklığı sağlanabilir (Gaur ve ark., 2017).

Yapılan bir araştırmada, elektriksel ve ısı verimleri verilmiş ve Patras hava şartlarında, yatay ve eğimli bina çatı montajı için yıllık enerji üretimi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, PVT sistemlerinin standart PV modülleriyle karşılaştırıldığında düşük maliyetli ve daha iyi çevresel etkiye sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Tripanagnostopoulos ve ark., 2005).

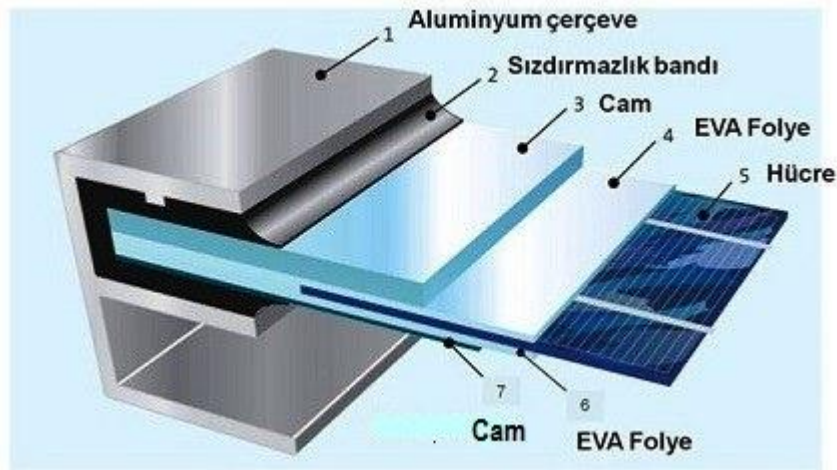
Düz levha dâhil, ince metal levha için, dört tip şekil kullanılan PVT sisteminin karşılaştırmalı performansı incelenmiştir. Deneysel sonuçları, PVT sistemi verimliliğinin, hava kanalındaki metalik tabakanın şeklinin değişmesine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Kullanılan şekiller sırasıyla düz, dışı geriye dönük, dışı ileriye dönük, testere dişi ve yamuk şeklinde ele alınmıştır. Deneysel sonuçlarla, düz metalik levhanın verimliliğinin dördü arasında en düşük olduğu bulunmuştur (Mojumder ve ark., 2013).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

PV ve PVT-su sistemlerinin elektriksel verimlerinin karşılaştırılması ve PVT-su sisteminin ısı veriminin belirlenmesi amacı ile iki adet sistem kurulmuştur. PV ve PVT-su solar sistemlerinde kullanılan hücre tipi mono-kristal hücreden ibarettir. Her iki sistemden üretilen elektriksel değerler PLC vasıtasıyla kaydedilmiştir. PVT-su kollektörünün ısı analizi için kollektörün su girişine ve su çıkışına birer sensör bağlanmıştır. Bu sensörlerden elde edilen veriler 5'er dakikalık aralıklarla kaydedilmektedir. Ayrıca dış ortam sıcaklığı ve pompadan geçen su debisi miktarı da aynı aralıklarla kaydedilmiştir.

Paneller üzerine düşen ışınım değeri, paneller ile aynı yer ve açıda yerleştirilen bir piranometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Deneyler 06:00 -18:00 saatleri arasında yapılmıştır. Bu deneyde, akım, voltaj, modül sıcaklığı, ortam sıcaklığı, giriş ve çıkış su sıcaklığı, güneş ışınımı ve debi ölçümleri yapılmıştır.

Deneyde kullanılan PVT-su kollektörün modül kısmı ile, karşılaştırılma yapılacak PV paneldeki modül aynıdır. PVT-su kollektörde ekstradan soğutma yapılacağından, PV modül arkasında ızgara tipi ısı değiştiricisi bulunmaktadır. Tedlar yerine cam kullanılarak üretilen PV panel katmanları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



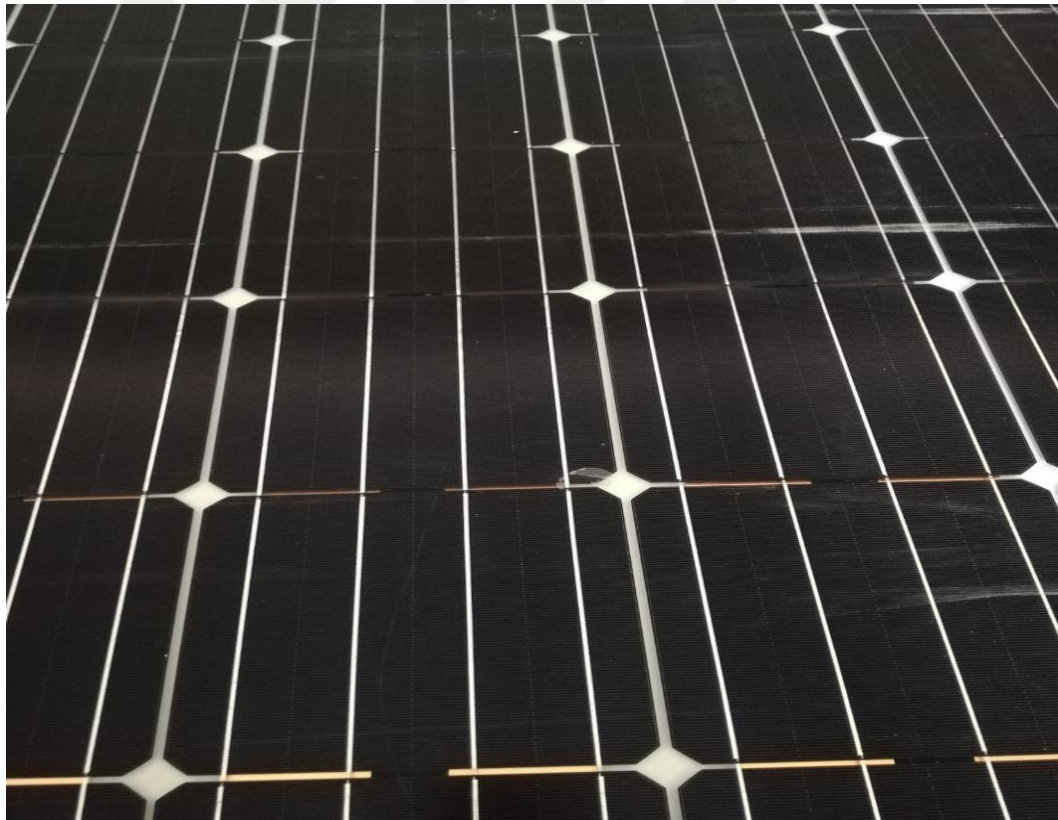
Şekil 3.1 Tedlar yerine cam kullanılmış PV panel katmanları

Tedlar kullanılarak üretilmiş PV-T paneli Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



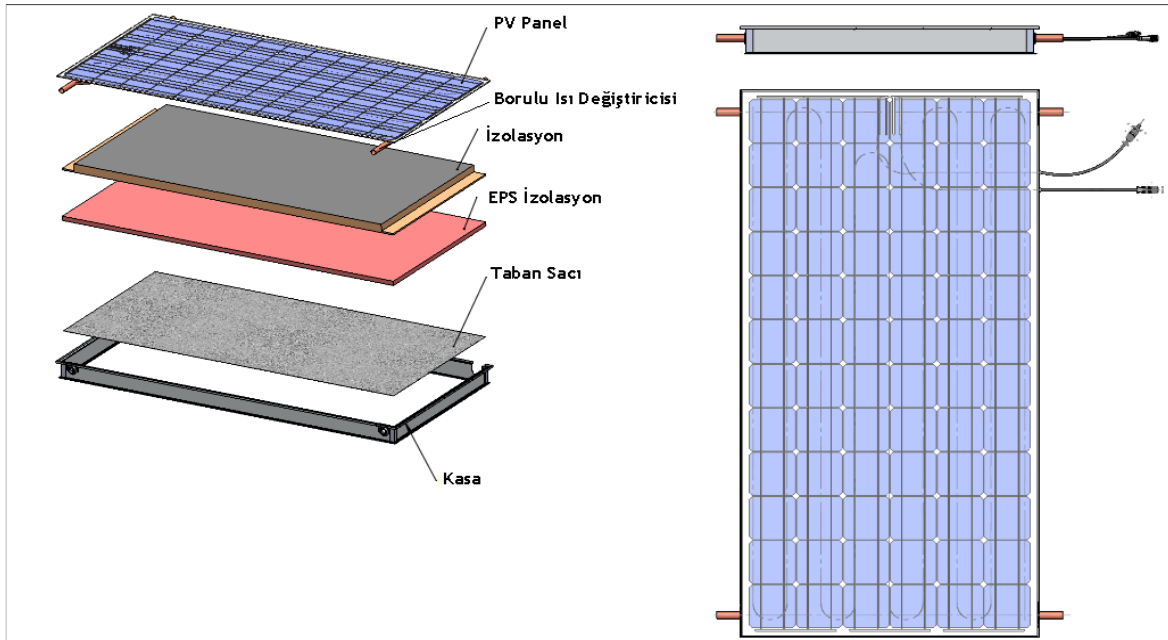
Şekil 3.2 Tedlar kullanılarak üretilmiş PVT paneli

Tedlar yerine cam kullanılarak üretilen PVT panelinde, bakır borular direkt cam yüzeye temas ettiğinden daha fazla ısı geçişi olmaktadır. Şekil 3.3 incelendiğinde, bakır şeritler gözle görülebilmektedir.



Şekil 3.3 Tedlar yerine cam kullanılarak üretilen PVT paneli

PVT-su sistemleri, elektrik ve sıcak su üretiminin bir arada yapıldığı sistemlerdir. Şekil 3.4'te gösterilen sistemde işlem, PV hücrelerinden akışkan tarafından ısı çekilmesi esasına dayanır. Toplanan bu ısı, suyun ön ısıtılmasında kullanılabilir.



Şekil 3.4 PVT-su kolektör tasarımı

3.1 PVT-Su Enerji Denge Denklemleri

Kabuller (Tiwari ve Dubey, 2010);

- Sistem yarı kararlı durumdadır (kısa bir süre kararlı durumda kabul edilmiştir).
- Hücredeki direnç kayıpları ihmal edilebilir.

PVT kolektörlerin performansı, verim ifadesinin kombinasyonu olarak tanımlanır (He ve ark., 2006). PVT sisteminde toplam verim; ısı verim (η_i) ve elektriksel verimden (η_e) oluşur. Bu verimler, belirli bir zaman veya periyot içinde, kolektöre gelen güneş ışınımı sayesinde, sistemin faydalı ısı ve elektriksel kazanç miktarını içerir. " η_{top} " olarak verilen toplam verim, sistemin performansı olarak belirtilir.

$$\eta_{top} = \eta_e + \eta_i \quad (3.1)$$

Debi faktörü:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_{pa}}{A_m U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_m U_L F'}{\dot{m} C_{pa}} \right) \right] \quad (3.2)$$

Duffie ve Beckman (1991) ve Tiwari (2004) düz plaka kolektör verim faktörünü (F') şu şekilde tanımlamışlardır:

$$F' = \frac{1}{\frac{WxU_L}{\pi Dh} + \frac{W}{D + (W - D)F}} \quad (3.3)$$

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)]/2}{[m(W - D)]/2} \quad (3.4)$$

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{K\delta}} \quad (3.5)$$

$$U_L = (\alpha_r I(t) + \eta_h I(t)) / (T_h + T_o) \quad (3.6)$$

Bu denklemlere göre ısı verim (η_1) şu şekilde tanımlanmıştır (Vokas ve ark., 2006):

$$\eta_1 = F_R (\alpha\tau)_{verim} - F_R U_L \frac{(T_o - T_g)}{I(t)} \quad (3.7)$$

Elektriksel verim ise aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

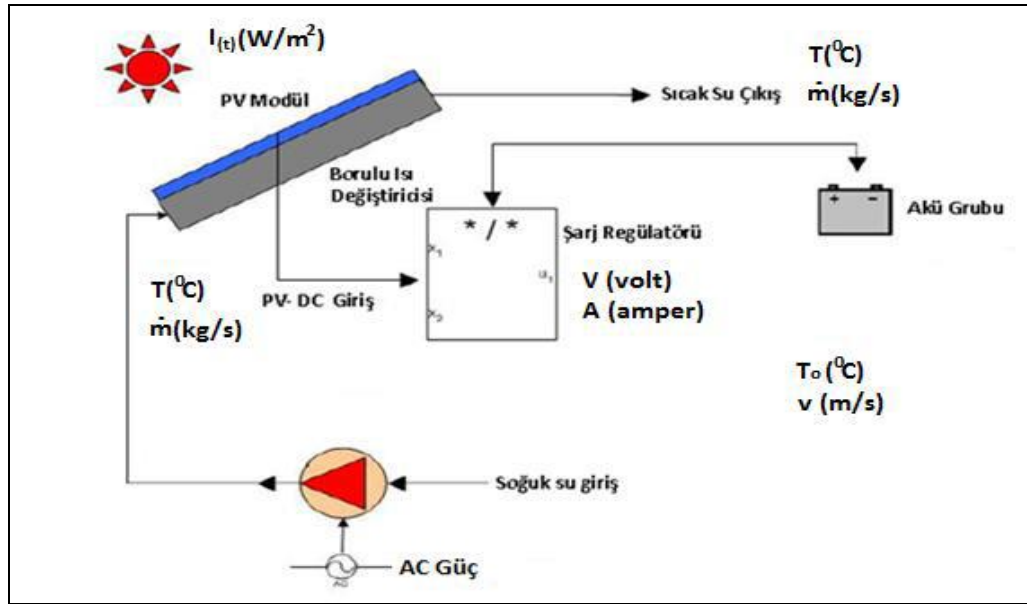
$$\eta_e = \left(\frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{A_m \cdot I(t)} \right) \cdot 100 \quad (3.8)$$

Yukarıdaki formüllerle hesaplanabilen elektriksel ve ısı verim, sırasıyla, aşağıdaki formüllerle de pratik bir şekilde hesaplanabilir;

$$\eta_{PV} = \frac{V \cdot I}{A_{KOL} \cdot I_{IŞ}} \quad (3.9)$$

$$\eta_{PV/T_{su}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_{KOL} \cdot I_{IŞ}} \quad (3.10)$$

Konya ili şartlarında, PVT-su kolektörü ve PV panelinin elektriksel ve ısı performanslarını belirlemek ve karşılaştırmak için Solimpeks Enerji A.Ş. binası önüne test düzeneği kurulmuştur. Deney setinin Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 Deney setinin akış şeması

3.2 Deney Düzeneginin Tanıtılması

Konya ilinde, Solimpeks Enerji A.Ş. binası alanında, 300 W'lık PV paneli ve aynı modüle sahip PVT-su panelin ısıl ve elektriksel özelliklerini belirlemek ve karşılaştırmak için test düzenegi kurulmuştur. PVT-su ve PV sistemi deney seti Şekil 3.6'da gösterilmiştir. PV ve PVT-su sistemleri aynı özellikteki monokristal hücrelerden oluşmaktadır. Deneyler 06:00–18:00 saatleri arasında yapılmış olup, ışınım değeri, paneller ile aynı yer ve açıda yerleştirilen bir piranometre vasıtasıyla ölçülmektedir.



Şekil 3.6 PVT-su ve PV sistemi deney seti

PVT-su sistemine soğutma suyu sağlamak amacıyla, iki adet 5 tonluk su tankı tam olarak doldurulmuştur. İki tank, bir boru ile birbirine bağlı olup, bir tankın alt

olarak güneş ile temasını kesmek amacıyla, özel bir düzenek hazırlanmıştır. Ortam sıcaklığı sensörü (solda) ve anemometre (sağda) Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Ortam sıcaklığı sensörü (solda) ve anemometre (sağda)

Bu deneyde, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, akım, voltaj, modül sıcaklığı, su giriş ve çıkış su sıcaklığı ölçümlerinin hepsi bir plc ile kontrol edilmiştir. Pano üzerine bağlanan bir ekran sayesinde verileri takip edebilmekteyiz. Pano üzerindeki ekran Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Pano üzerindeki ekran

İnternete bağlı olan PLC’ye özgü cep telefonu uygulaması sayesinde, veriler istenilen anda cep telefonundan da takip edilebilmektedir. Bu sayede, sistemde herhangi bir aksaklık olması durumunda, müdahale etme süresi azalmaktadır.

3.3 Deneyde Kullanılan Cihaz Ve Malzemeler

3.3.1 Güneş hücresi

Bu deneyde kullanılan hücre GTC marka mono kristal yapıda bir hücredir. PVT-su ve PV panelleri $6*10= 60$ adet hücreden oluşmakta olup, hücre verimi %21,3 ve modül verimi %18,84'tür. Panellerin Nominal Güç Voltajı (V_{mp}) 32,77 olup, Nominal Güç Akımı (I_{mp}) 9,11'dir. (1000 Watt/m^2 ışınım ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ test koşullarındaki değerlerdir). Güneş hücresi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Güneş hücresi

3.3.2 Fotovoltaik/ısı kolektör

PVT-su kolektörü Solimpeks A.Ş tarafından üretilmiş olup, ızgara tipi ısı değiştirici bulunmaktadır. PVT-su kolektörü ile karşılaştırma yapılacak PV panelinin modülleri aynıdır. PVT-su kolektördeki borulama sistemi Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 PVT-su kolektördeki borulama sistemi

3.3.3 Pano

Deney verilerini okuyan, kaydeden, bir ekran vasıtasıyla gösteren ve uzaktan erişimi sağlayan sistemin dış etkenlerden korunması amacıyla pano kurulmuştur. Pano içerisinde bir çok cihaz olup bazılarının özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Dokunmatik HMI: Sistemin takip edilmesini ve verilerin kaydedilmesini sağlar.

PLC: Sistemin kontrol edilmesini sağlar.

Termokulp Modül: Sistemde bağlı bulunan ısı ölçerlerin değerlerini kaydetmeyi sağlar.

Analog Modül: Sistemde bağlı bulunan sensörlerin değerlerini toplayarak PLC sistemine gönderir.

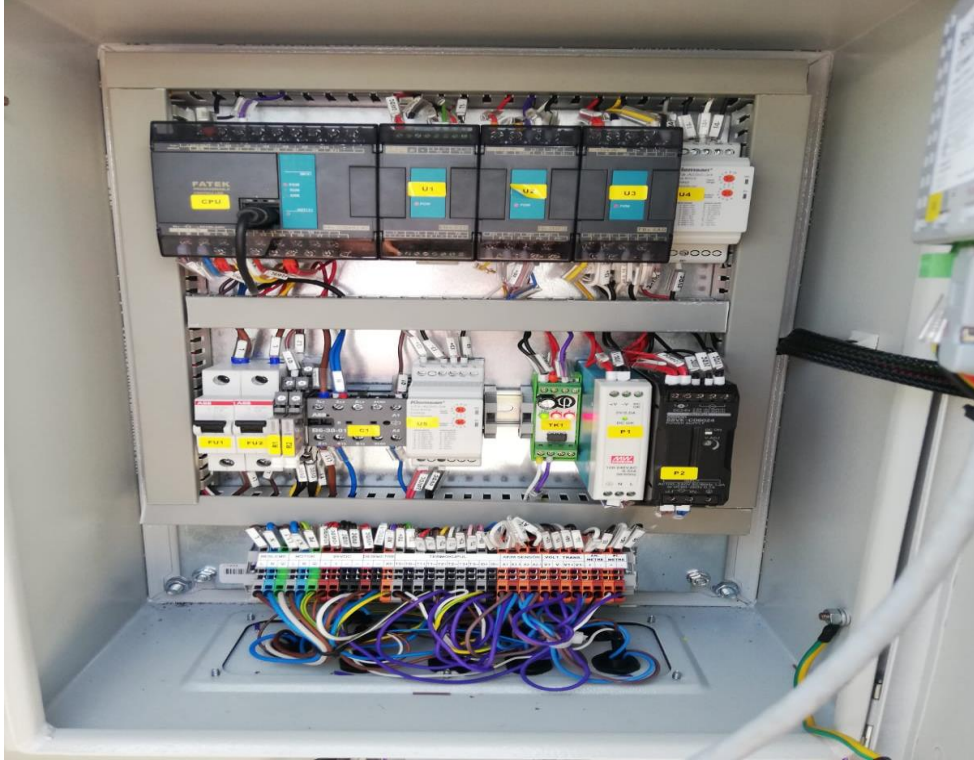
Akım, Voltaj Transmitteri: Ölçülecek olan akım ve voltaj değerlerini ölçen cihaz.

Role: Sistemde çalışacak olan motorları kontrol eden cihaz.

Güç kaynağı: Otomasyon malzemelerinin besleme voltajını sağlayan cihaz.

Sigorta: Elektrik sisteminin korunmasını sağlar.

Deneyde kullanılan pano Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Deneyde kullanılan pano

3.3.4 Piranometre

Deneyde DeltaOhm marka piranometre kullanılmıştır. Pironometrenin paneller ile aynı açıda olmasına özen gösterilmiştir. Veriler 5'er dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Piranometrenin montaj hali Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Piranometrenin görüümü

3.3.5 Şarj kontrol cihazı

Şarj regülatörü, akünün sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlar. Şarj kontrol cihazı sayesinde; aküde, enerji depolarken aşırı ısınma, akım değişimlerinden etkilenmeme, patlama ve yanmanın önüne geçilir. Bu durum güvenliğin üst seviyeye taşınması anlamına da gelir. Şarj kontrol cihazı, akü kapasitesine göre, akünün sabit voltajla şarj edilmesini, akünün dolmasıyla beraber otomatik olarak sisteme enerji aktarımının kesilmesini sağlar. Kısaca özetlemek gerekirse, solar sistemlerde şarj kontrol cihazı kullanımının amacı; sistemleri sorunsuz bir şekilde çalıştırabilmektir.

Şarj Kontrol Ünitelerinin ana görevi olan aşırı şarj ve aşırı deşarja karşı koruma dışında başka görevleride vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- ✓ Değişik akü çeşitlerine göre ayarlanabilir şarj edebilme yeteneği.
Örneğin; kurşunasit, kuru veya sealed/gel aküleri şarj edebilme
- ✓ Aşırı yük ve kısa devreye karşı koruma
- ✓ Akülerin ısınmasına karşı koruma
- ✓ PV panellere düşebilecek yıldırıma karşı koruma
- ✓ Değişik göstergeler: PV'lerden gelen şarj akımı, yüke giden akım, vs...

Ancak her şarj kontrol ünitesi bu görevleri yerine getirmeyebilir. Bu nedenle şarj kontrol ünitelerinin seçimi yapılırken teknik özellikleri iyice anlaşılmalı ve amaca

hizmet edecek şarj kontrol üniteleri seçilmelidir. Şarj kontrol cihazı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Şarj kontrol cihazı

3.3.6 Akü

PV modüllerinde üretilen elektrik enerjisi her zaman bizim elektrik enerjisine ihtiyaç duyduğumuz zamanlarla uyuşmayabilir. Geceleri ve güneşin olmadığı zamanlarda elektrik ihtiyacı güneşin olduğu zamanlarda doldurulan akü gruplarından karşılanır. Aküler genel olarak kendisine gelen elektriği, kimyasallar sayesinde depolayarak, ihtiyaç duyulduğu anda, bağlı olan cihaza veya şebekeye aktaran cihazlar olmaktadır. Akünün içerisindeki kimyasal maddeye göre ve çalışma prensibine göre farklı akü tipleri bulunmaktadır. Güneş enerjisi ile elde edilen elektrik enerjisinin saklanması en çok tercih edilen akü tipi ise jel akülerdir. Deneyde kullanılan akünün görünümü Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Akünün görünümü

3.3.7 Su sıcaklık ölçümü

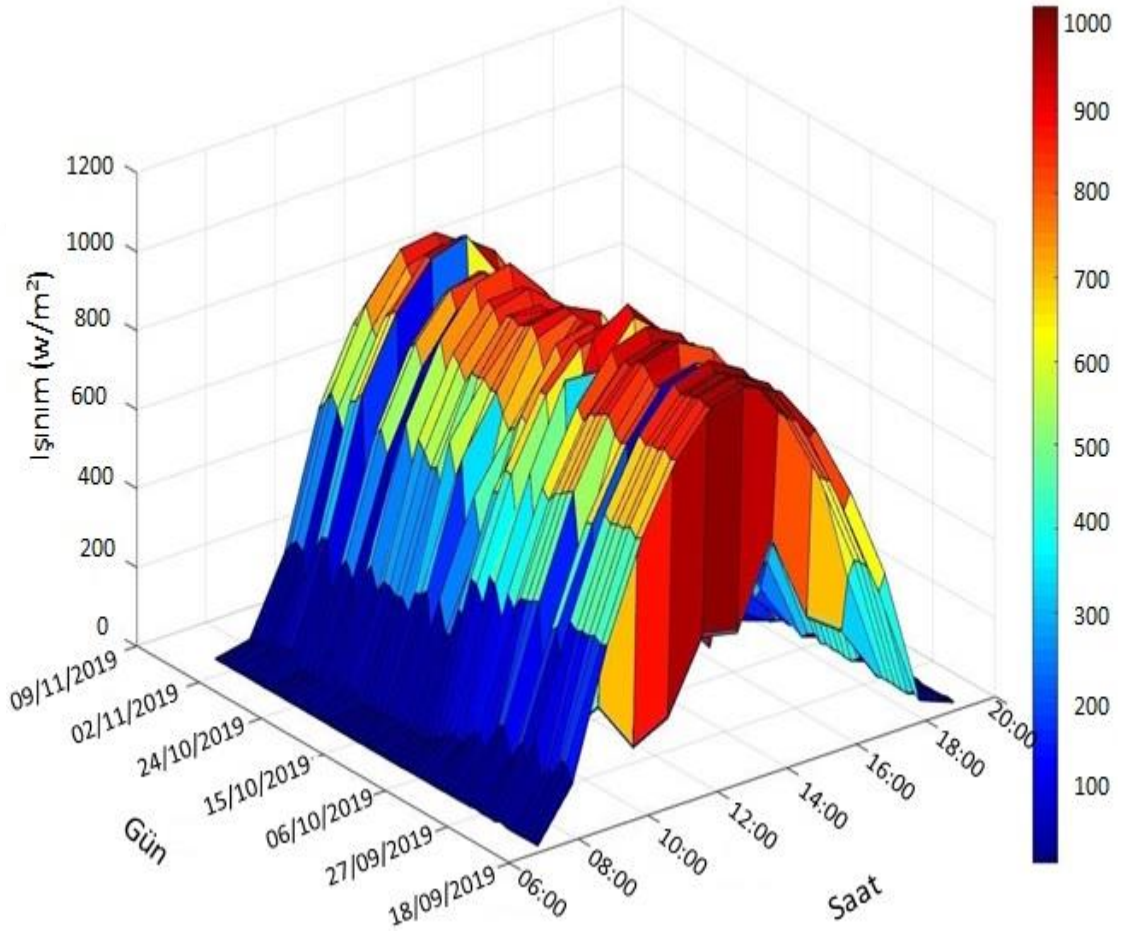
Deneyde su giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek amacıyla elimko marka düz tip termokulp kullanılmıştır. Metal veya seramik kılıflı düz termokulplar, -200°C 'den 2320°C 'ye kadar çok çeşitli proseslerde yaygın olarak kullanılır. Deneyde kullanılan termokulpun görünümü Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Termokulp görünümü

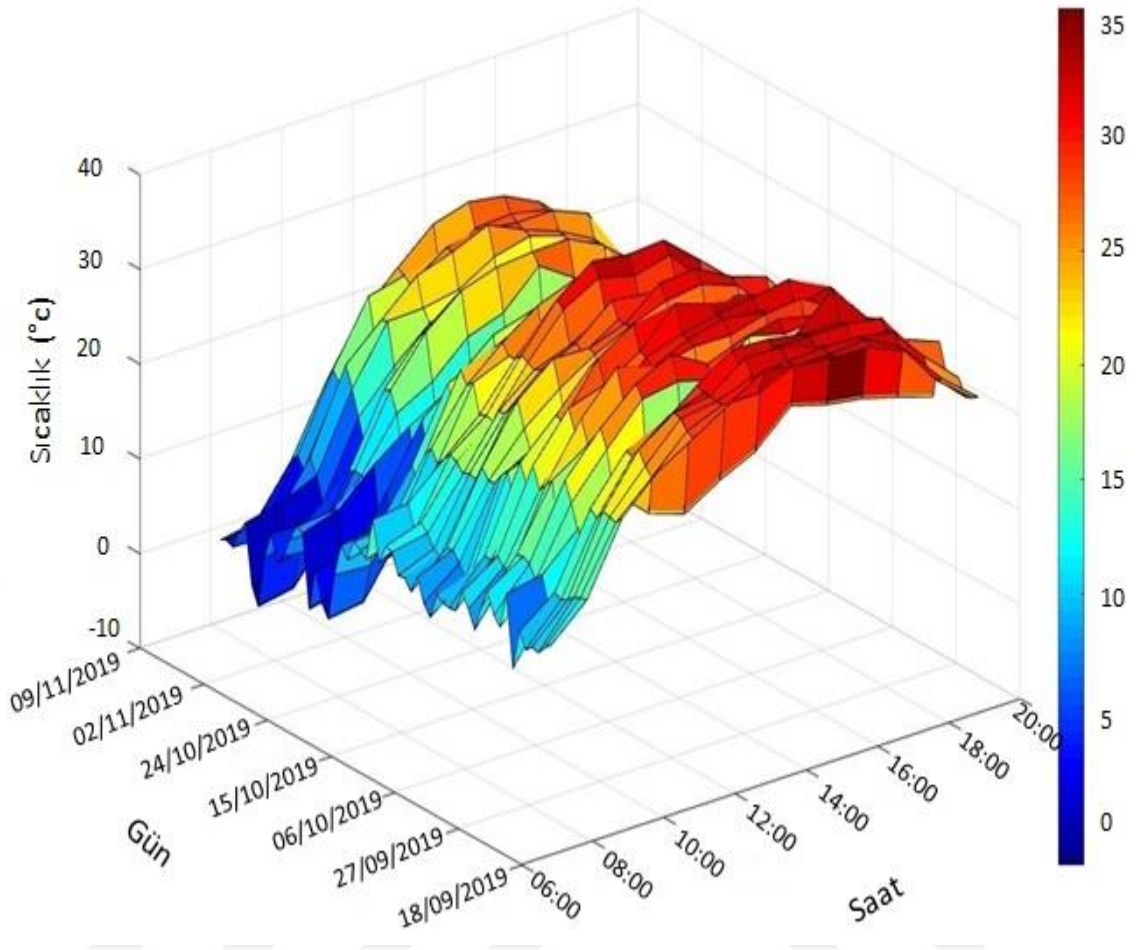
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Konya ili dış ortam şartlarında, 2019 Eylül-Kasım ayları arasında yapılan deney sonuçları bu bölümde gösterilmiştir. 18 Eylül 2019 - 09 Kasım 2019 tarihleri arasında saatlik ortalamalara göre ışınım değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. En yüksek ışınım değeri ($1023,25 \text{ W/m}^2$) 7 Ekim 2019 tarihinde saat 12:00’da elde edilmiştir.



Şekil 4.1 18.09.2019-09.11.2019 tarihleri arasındaki ışınım değerleri

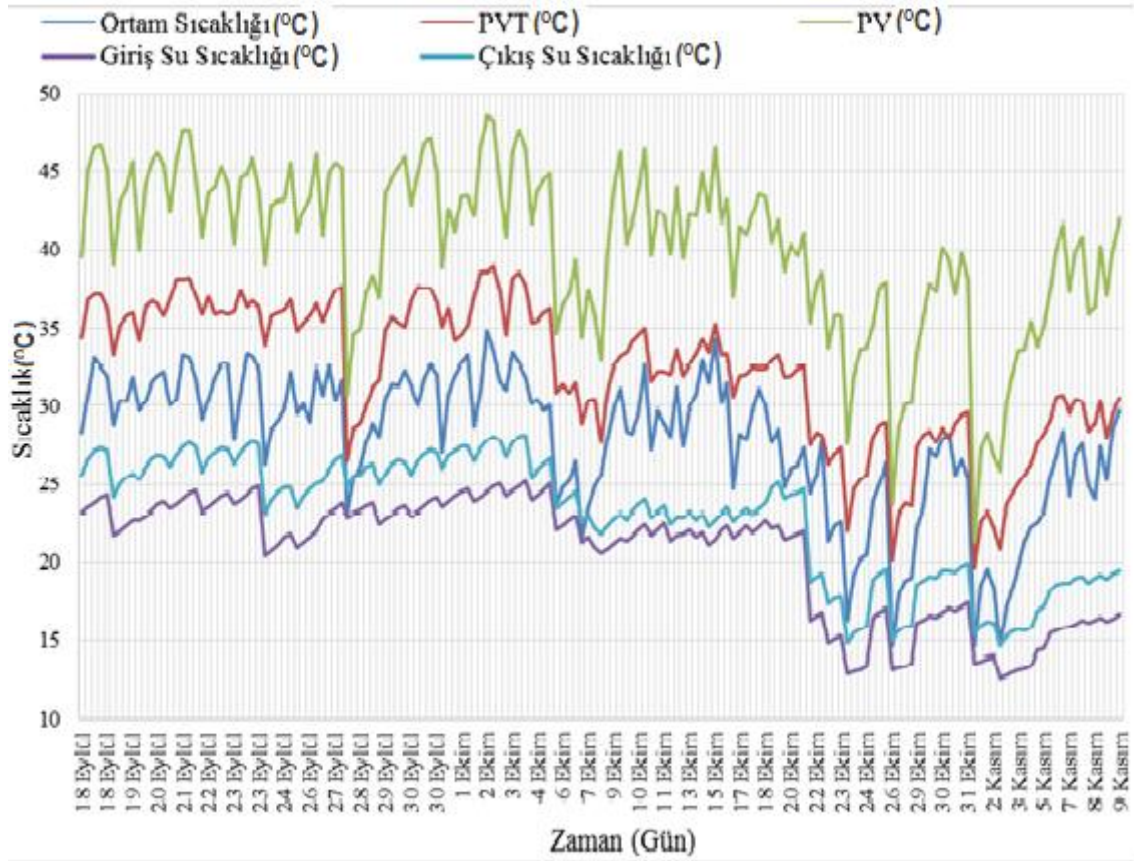
18 Eylül 2019-09 Kasım 2019 tarihleri arası saatlik ortalamalara göre sıcaklık değerleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir. En yüksek ortam sıcaklığı değeri ($35,63 \text{ }^{\circ}\text{C}$) 24 Eylül 2019 tarihinde 15:00’da kaydedilmiştir.



Şekil 4.2 18.09.2019-09.11.2019 tarihleri arasındaki ortam sıcaklığı değerleri

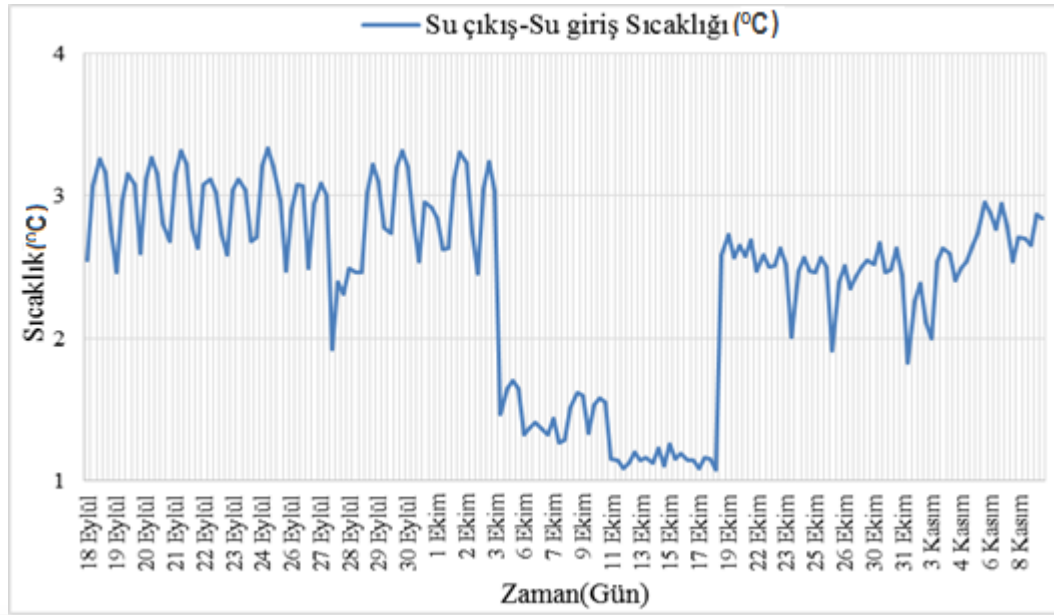
4.1 PVT ve PV Sistemin Isıl Performansının Değerlendirilmesi

800 W/m²'den yüksek ışıınım değerleri için, 18 Eylül 2019-09 Kasım 2019 tarihleri arasında, saatlik ortalamaların alındığı; ortam sıcaklığı, PV yüzey sıcaklığı, PVT-su yüzey sıcaklığı, su giriş ve su çıkış sıcaklık değerleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. PV hücre sıcaklığının, PVT hücre sıcaklığına göre daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi PVT panelinin su ile soğutulmasıdır. Testlerde, debi değiştirilerek (0,05 kg/sn, 0,1 kg/sn ve 0,15 kg/sn) su sıcaklık farkı ve ısı verim karşılaştırılmıştır. 18 Eylül 2019 - 03 Ekim 2019 ve 19 Ekim 2019- 09 Kasım 2019 tarihleri arasında 0,05 kg/sn kütleli debi kullanılmıştır. 4 Ekim 2019-10 Ekim 2019 tarihleri arasında 0,1 kg/sn kütleli debi kullanılmıştır. 11 Ekim 2019- 18 Ekim 2019 tarihleri arasında ise 0,15 kg/sn kütleli debi kullanılmıştır.



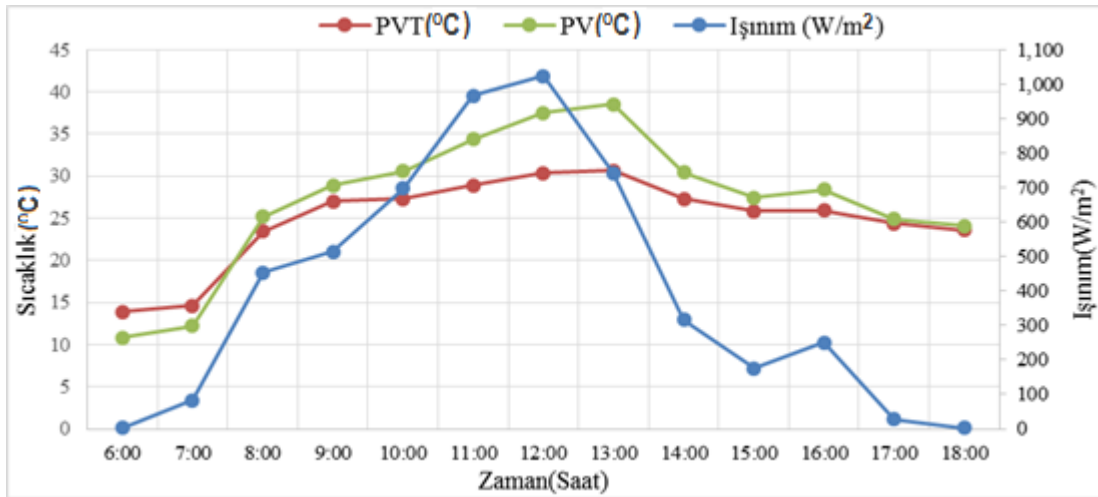
Şekil 4.3 800 W/m²'den yüksek ışıma değerleri için sıcaklık değerleri (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)

800 W/m²'den yüksek ışıma değerleri için; PVT su sıcaklık farkları Şekil 4.4'te gösterilmiştir. 3 Ekim ile 19 Ekim arasında suyun sıcaklık farklarında düşüş görülmektedir. Şekilde de görüleceği üzere kütleli debi arttıkça su giriş-çıkış sıcaklık farkı azalmaktadır. 18 Eylül 2019-03 Ekim 2019 ve 19 Ekim 2019- 09 Kasım 2019 tarihleri arasında 0,05 kg/sn kütleli debi kullanılmıştır. 4 Ekim 2019-10 Ekim 2019 tarihleri arasında 0,1 kg/sn kütleli debi kullanılmıştır. 11 Ekim 2019- 18 Ekim 2019 tarihleri arasında ise 0,15 kg/sn kütleli debi kullanılmıştır.



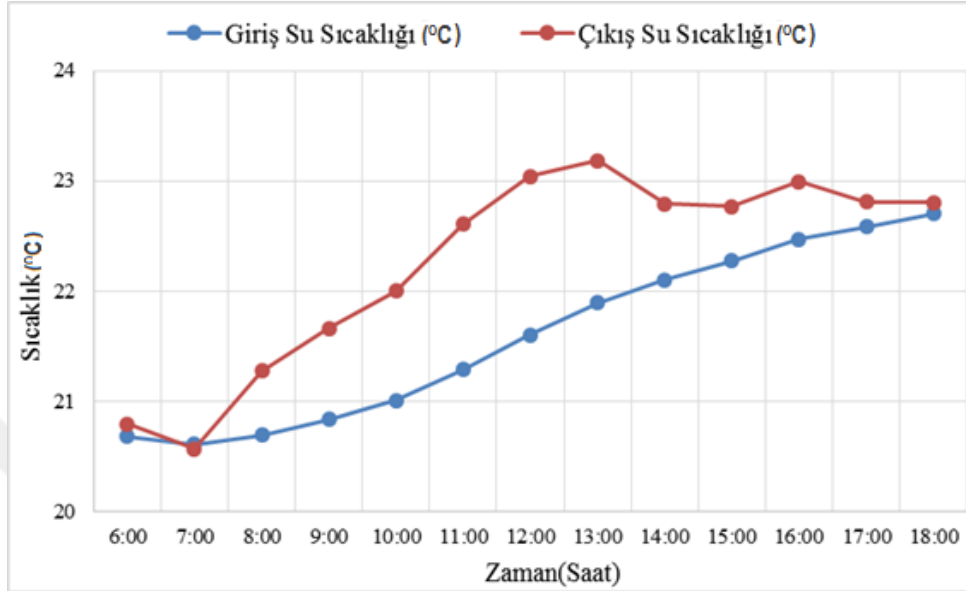
Şekil 4.4 800 W/m²'den yüksek ışınım değerleri için, su giriş-çıkış sıcaklık farkları (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)

En yüksek ışınımın olduğu günde elde edilen PVT ve PV hücre sıcaklık değerleri, Şekil 4.5'te gösterilmiştir. En yüksek ışınım değeri (1023,25 W/m²) 7 Ekim 2019 günü, saat 12:00'da kaydedilmiştir. PV hücresinin yüzey sıcaklığı, PVT yüzey sıcaklığına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Işınım değerlerinin, 9:00-14:00 arasındaki saatlerde, en yüksek değerlerde olduğu kaydedilmiştir.



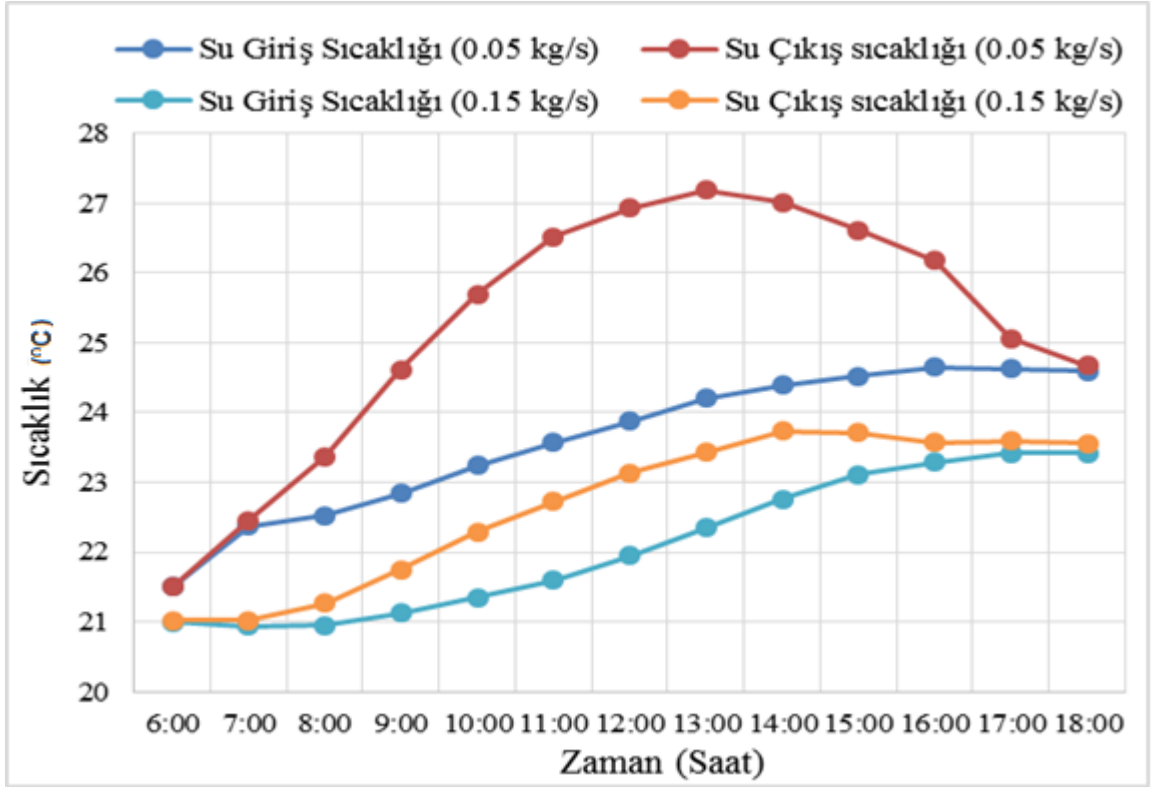
Şekil 4.5 En yüksek ışınımın olduğu günde elde edilen PVT ve PV hücre sıcaklık değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışınım:1023,25 W/m²)

En yüksek ışıınının olduğu günde elde edilen su giriş-çıkış sıcaklık değeri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Su giriş-çıkış sıcaklık farkı, gün boyunca, özellikle 9:00-14:00 saatleri arasında, daha yüksek değeri olduğu görülmektedir.



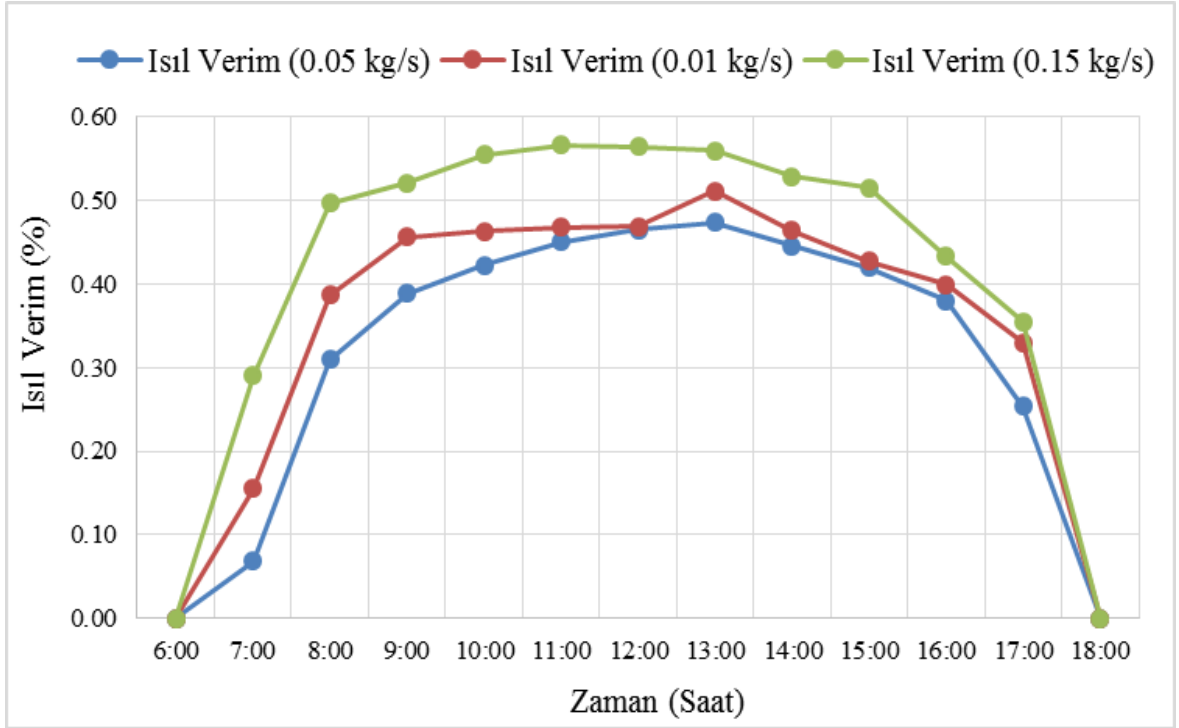
Şekil 4.6 En yüksek ışıınının olduğu günde elde edilen giriş ve çıkış su sıcaklık değeri (7 Ekim 2019; maks. ışıının:1023,25 W/m²)

Herbir debi için (0,05-0,1-0,15 kg/sn.), haftalık verilerin , saatlik ortalamaları (06:00-18:00 saatleri arasındaki) kullanılarak, su giriş-çıkış sıcaklık farkları Şekil 4.7'de gösterilmiştir. 0,05 kg/s kütleli debi için, 0,15 kg/s kütleli debiden daha yüksek sıcaklık farkı elde edilmiştir. Işıınının daha fazla olduğu saatler (9:00-15:00) arasında daha yüksek su sıcaklık farkı elde edilmiştir. Bu veriler, PVT-su kollektörde, debi değeri artmasıyla, su giriş-çıkış sıcaklık farkının azalacağını göstermektedir.



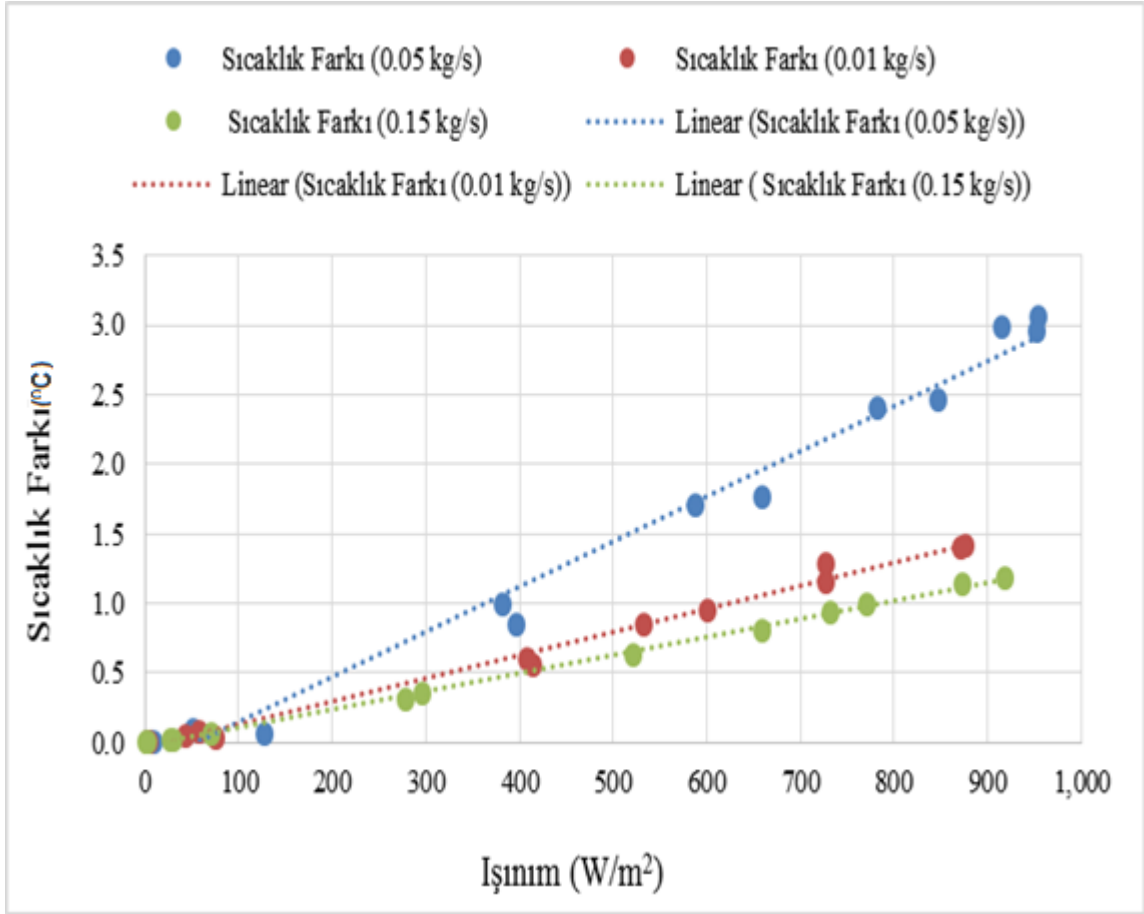
Şekil 4.7 Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, su giriş- çıkış sıcaklık değerleri

Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, ısı verim değişim farkları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Deneyde kullanılan en yüksek kütleli debi olan 0,15 kg/s için en yüksek ısı verim elde edilmiştir. 0,05 kg/s kütleli debi için ise en düşük ısı verim kaydedilmiştir.



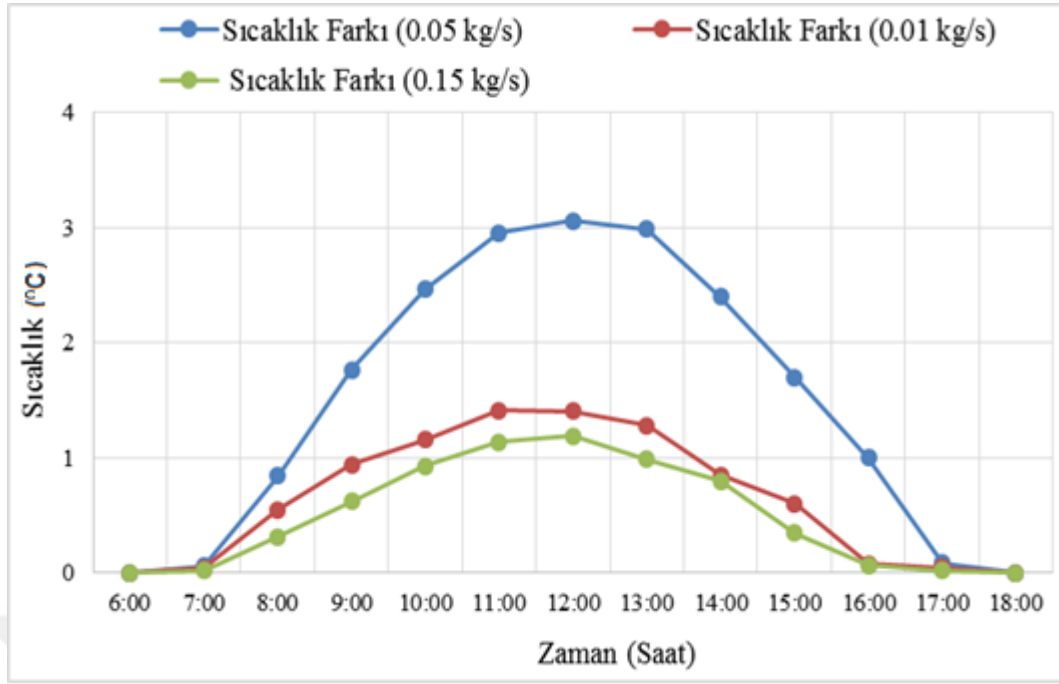
Şekil 4.8 Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, saatlik ısı verim değişimi

Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, ışıınının su giriş ve su çıkış sıcaklık farkları ($T_{sç}-T_{sg}$) üzerine etkisi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Işınımına bağlı olarak 0,05 kg/s olan kütleli debi için en yüksek sıcaklık farkları elde edilmiştir. 0,15 kg/s olan kütleli debi için ise en düşük sıcaklık farkları gözlemlenmiştir. Buna göre su sıcaklık farkları için düşük debilerin sirkülasyonu ile daha yüksek değerler elde edilebilmektedir.



Şekil 4. 9 Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, su sıcaklık farkları ($T_{sç} - T_{sg}$)

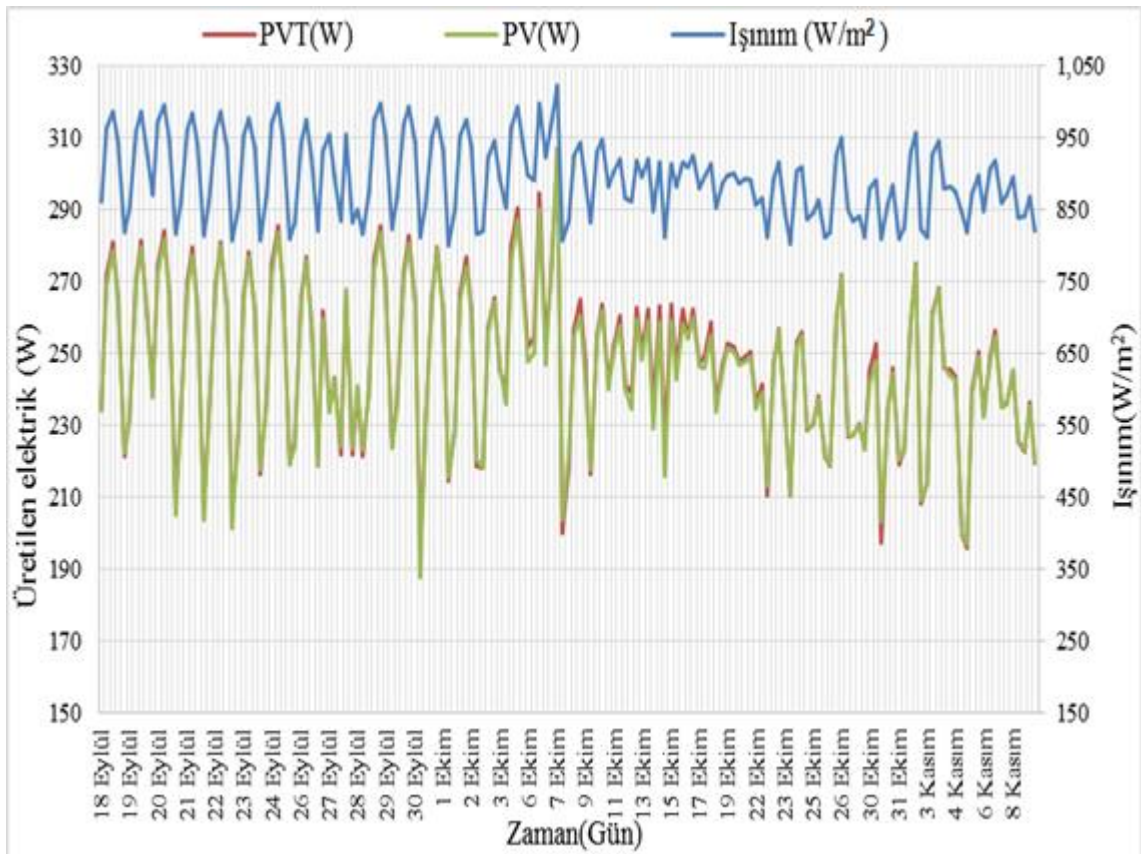
Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, zaman ve sıcaklık farkı ilişkisi Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak 0,05 kg/s kütleli debi için daha yüksek sıcaklık farkları elde edilmiştir. Deneyde kullanılan en büyük debi olan 0,15 kg/s kütleli debi için, en düşük sıcaklık farkları elde edilmiştir. Gün boyunca 09:00-15:00 arasında daha yüksek sıcaklık farkları kaydedilmiştir. Buna göre 0,05 kg/s kütleli debi daha yüksek sıcaklık farkları elde edilebilmek için önerilir.



Şekil 4.10 Farklı debiler için, bir haftalık verilerin saatlik ortalaması kullanılarak, zaman- su sıcaklık farkı ilişkisi

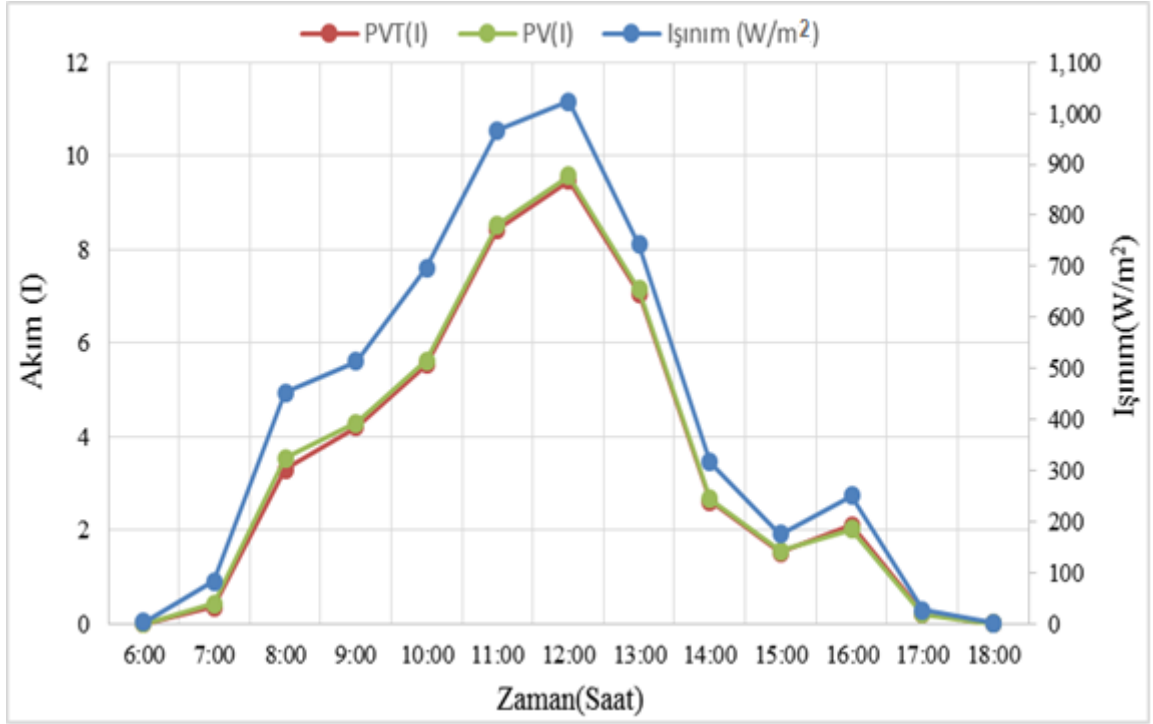
4.2 PV ve PVT Sistemin Elektriksel Performansının Değerlendirilmesi

800 W/m²'den yüksek ışınım değerleri için, PV ve PVT'den üretilen elektrik değerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. PV ve PVT panellerden, test boyunca, birbirlerine çok yakın sonuçlar kaydedilmiştir. Bu da PVT panelin en üst ve en alt hücrelerinin soğutulamamasından kaynaklanmaktadır. Işınım ile üretilen elektrik gücü arasında doğrudan bağlantı olup, ışınımın en yüksek olduğu değerlerde, daha yüksek elektrik gücü üretimi gerçekleşmektedir.



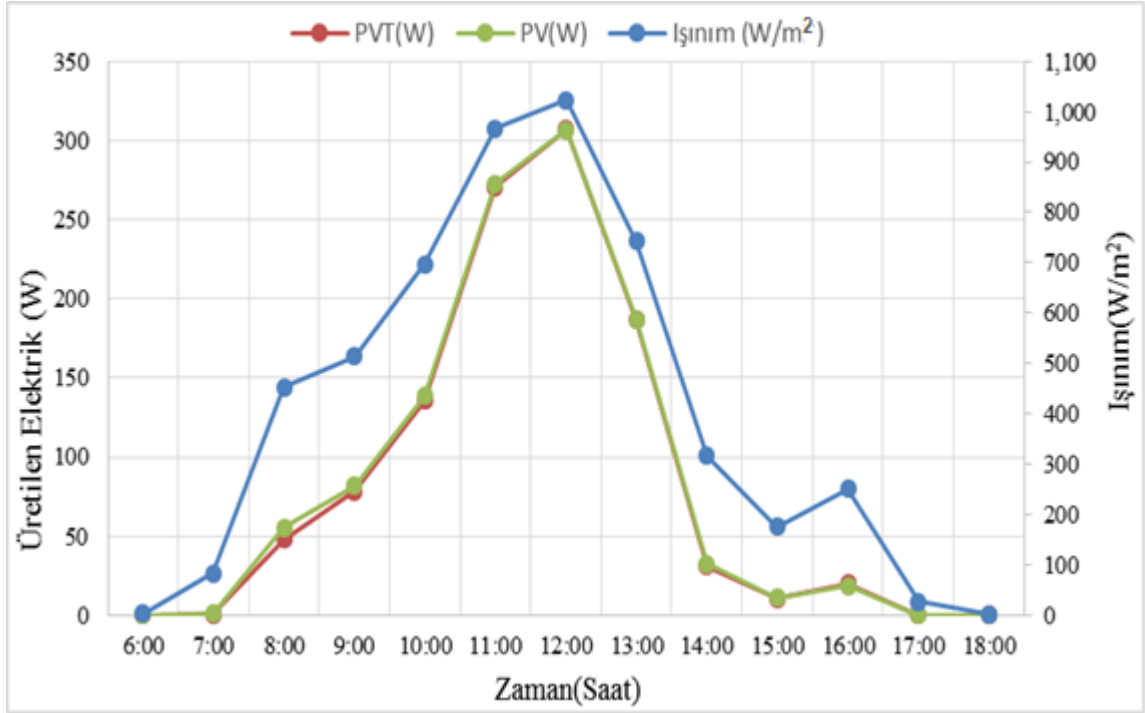
Şekil 4.11 800 W/m²'den daha yüksek ışıınım için PV ve PVT'den üretilen elektrik gücü değerleri (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)

En yüksek ışıınımın olduğu günde, PV ve PVT için elde edilen elektriksel akım değerleri Şekil 4.12'de gösterilmiştir. PV ve PVT için, gün boyunca, nerdeyse aynı elektriksel akım değerleri kaydedilmiş olup, elektriksel verim artışı elde edilememiştir. Işınım ile üretilen elektrik arasında doğrudan bağlantı olup, ışıınımın yüksek olduğu değerlerde, daha yüksek elektrik üretimi gerçekleşmiştir. 7 Ekim 2019 tarihinde, gün boyunca, 9:00-14:00 saatleri arasında, ışıınımın daha fazla olduğu saatlerde, günün diğer saatlerine göre daha yüksek elektrik üretimi gerçekleşmiştir. 14:00-15:00 saatleri arasında ışıınımın en fazla olduğu değerlerde, havanın o saatlerde bulutlu olması nedeniyle, ışıınım değerleri düştüğü için, elektrik üretiminde düşüş görülmektedir.



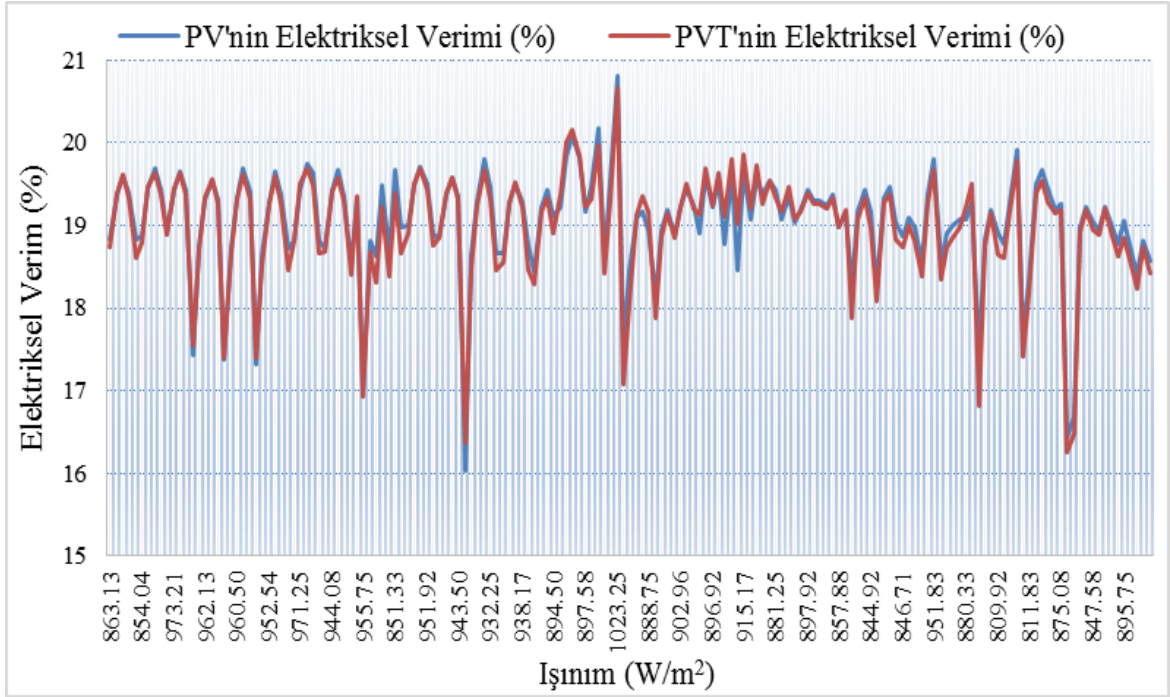
Şekil 4.12 En yüksek ışıının olduğu günde PV ve PVT için elde edilen elektriksel akım değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışıının:1023,25 W/m²)

En yüksek ışıının olduğu günde, PV ve PVT'den üretilen elektrik değerleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir. PV ve PVT için gün boyunca nerdeyse aynı miktarda elektriksel değerler elde edilmiştir. Işınının en yüksek olduğu günde, 9:00-14:00 saatleri arasında, günün diğer saatlerine göre daha yüksek elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Işınının en fazla olduğu günde ani hava şartları değişimiyle 14:00-15:00 saatleri arasında ışıınının değerlerinde düşüş meydana gelmesi, elektrik üretiminde düşüşe sebep olmuştur.



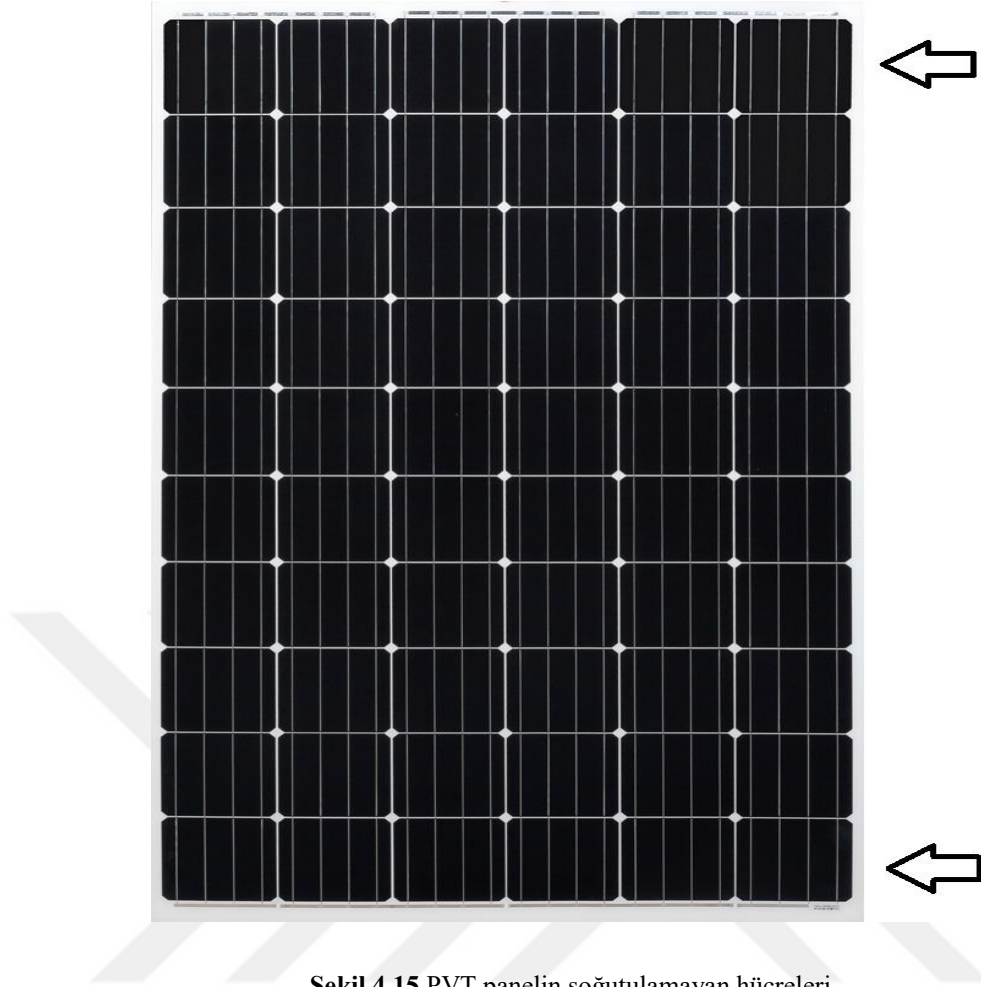
Şekil 4.13 En yüksek ışınımın olduğu günde PV ve PVT'den üretilen elektrik gücü değerleri (7 Ekim 2019; maks. ışınım:1023,25 W/m²)

800 W/m²'den yüksek ışınım değerleri için, PV ve PVT'den üretilen elektriksel verim, Şekil 4.14'te gösterilmiştir. PV ve PVT için verimlerin neredeyse eşit olduğu kaydedilmiştir. Konya'da Bakır (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, PVT veriminin PV'ye nazaran daha yüksek olduğunu öne sürmüştür.



Şekil 4.14 800 W/m²'den yüksek ışınım değerleri için PV ve PVT'nin elektriksel verimi (18 Eylül 2019-9 Kasım 2019)

PVT'nin, Şekil 4.15'te ok işareti ile gösterilen, en alt ve en üst sıradaki hücrelerinden geçen soğutma borularının, bu hücreleri yeteri kadar soğutamadığı gözlenmiş, ölçülen PVT hücre sıcaklıkları, PV paneli hücre sıcaklığı ile aynı sıcaklıkta olduğu raporlanmıştır. PVT panelde, en üst ve en alt sıradaki hücrelerinden geçenv toplama ve dağıtma boruları, hücrelerin alt kısmında kalması (ortalayamaması) nedeniyle, diğer hücreler gibi soğutulamamasına neden olmuştur. PVT kollektör yüzey sıcaklığını ölçen sensör ise ikinci hücrenin altına yerleştirilmiştir. Deney süresince, gerek lazer sıcaklık ölçüm cihazı, gerekse termokulplar ile yapılan ölçümler sonucu, borulama sisteminde tasarım hatası nedeniyle, sadece en üst ve en alt sıralı hücrelerin, PV yüzey sıcaklığı ile yaklaşık aynı değerde olduğu ölçülmüştür. Diğer hücrelerin borulama sistemlerinin düzenli olması ve hücreleri tam ortalaması nedeniyle, soğutulabilen tüm hücreler aynı yüzey sıcaklık değerlerini vermektedir.



Şekil 4.15 PVT panelin soğutulamayan hücreleri

4.3 Belirsizlik Analizi

Deneyisel çalışmalar, sistemler hakkında daha kesin bilgiler vermesi nedeniyle, analitik çalışmalara nazaran daha çok tercih edilir. Sayısal çalışmalar, ucuz ve kolay yapılabilme gibi birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle son yıllarda sayısal çalışmalar artmaya başlasa da, sayısal sonuçlardan elde edilen sonuçların deneysel çalışmalarla da desteklenmesi, deneysel çalışmaların önemini ayrıca göstermektedir. Deneysel çalışmalarda ise en önemli kriterlerden biri, değerlerin doğruluğudur. Deney sonuçlarında, deney sırasındaki birçok nedenden ortaya çıkabilecek hatalar olabilmektedir. Standartlara uygun olarak kurulan deney sistemlerinde hata, iki farklı şekilde olabilmektedir. Bunlardan birincisi, deney setinde kullanılan cihazların yapısından kaynaklanan hatalardır. İkinci ise, kişisel hatalardan kaynaklanmaktadır. İkinci tür hata, deney yapıcının deneyim sahibi olması durumunda azaltılabilir. Deneyde kullanılan araç ve gereçlerin yapısından kaynaklanan birinci tür hataların giderilmesi ise her zaman mümkün olmayabilir (Midilli, 2001; Akpınar, 2002).

Ölçülen değerlerin gerçek değerlere olan yakınlığı, ölçümlerin doğruluğu olarak tanımlanır. Ölçümlerin duyarlılığı ise, değerlerin yinelenebilirliği ve kendi içinde tutarlılığı olarak tanımlanabilir. Kullanılan araç ve gereçlerin seçiminde daha doğru yaklaşımların yapılabilmesinde, deney sonuçlarına etki eden tüm parametrelerin etkilerinin ortaya konmasında ve deneysel sonuçların hata analizinde, belirsizlik analizinden yararlanılabilir (Holman, 1994).

Deneysel bulguların gerçek değerlere olan yakınlığının belirlenmesi için mutlaka bir hata analizi yapmak gerekir. Deney bulgularının hata analizinin yapılabilmesi için pratikte birkaç yöntem mevcuttur. Belirsizlik analizi ve akılcı yaklaşım en çok kullanılan hata analizi yöntemleridir. Bu araştırmadaki hata analizi, ilk olarak Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan, belirsizlik analizidir. Belirsizlik analizi, diğer yöntemlere göre daha hassas bir hata analizi yöntemidir.

4.1 formülü ile Kollektörün Isıl verimi hesaplanmıştır. Isıl belirsizlik 4.2 ve 4.3 ifadeleri kullanarak hesaplanmıştır: Isıl belirsizlik hesaplanırken özgül ısı (c_p) ve Alan (A) değerleri için belirsizlikler ihmal edilmiştir.

$$\eta_t = \frac{m c_p \Delta T}{I_t A} \quad (4.1)$$

$$w_{\eta t} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_t}{\partial m} w_m\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_t}{\partial \Delta T} w_{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_t}{\partial I_t} w_{I_t}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_t}{\partial A} w_A\right)^2} \quad (4.2)$$

$$w_{\eta t} = \sqrt{\left(\frac{c_p \Delta T}{I_t A} w_m\right)^2 + \left(\frac{m c_p}{I_t A} w_{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{-m c_p \Delta T}{A I_t^2} w_{I_t}\right)^2 + \left(\frac{-m c_p \Delta T}{I A^2} w_A\right)^2} \quad (4.3)$$

Isıl belirsizlik yüzdesel olarak $\frac{w_{\eta t}}{\eta_t} * 100$ formülü ile hesaplanabilir.

4.4 formülü ile Kollektörün Elektriksel Verimi hesaplanmıştır. Elektriksel belirsizlik 4.5 ve 4.6 ifadeleri kullanarak hesaplanmıştır: 4.4 formülü ile Kollektörün Elektriksel Verimi hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{VI}{I_t A} \quad (4.4)$$

$$w_{\eta e} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta_e}{\partial V} w_V\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_e}{\partial I} w_I\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_e}{\partial I_t} w_{I_t}\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_e}{\partial A} w_A\right)^2} \quad (4.5)$$

$$w_{\eta e} = \sqrt{\left(\frac{I}{I_t A} w_V\right)^2 + \left(\frac{V}{I_t A} w_I\right)^2 + \left(\frac{-VI}{A I_t^2} w_{I_t}\right)^2 + \left(\frac{VI}{I A^2} w_A\right)^2} \quad (4.6)$$

Elektriksel belirsizlik yüzdesel olarak $\frac{W_{ne}}{\eta_e} * 100$ formülü ile hesaplanabilir.

Deney setinde kullanılan cihazların doğruluk değerleri; ışınlım için $\pm 8 \text{ W/m}^2$, alan için $0,01 \text{ m}^2$, kütleli debi için $\pm 0,001 \text{ kg/sn.}$, sıcaklık farklı için $0,03 \text{ }^\circ\text{C}$, voltaj için $0,01 \text{ V}$, akım için $0,1 \text{ A}$ olarak alınmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre; ortalama elektriksel verim belirsizliği $\pm \%1,13$ olarak hesaplanırken, ortalama ısı verim belirsizliği, $\pm \%2,07$ olarak bulunmuştur.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

PV panel yüzey sıcaklığı, ışınım ile doğru orantılıdır. PVT ve PV sistemin ısı ve elektriksel performansının değerlendirilmesi yapılmıştır. 18 Eylül 2019-9 Kasım 2019 tarihleri arasındaki ışınım değerinin 800 W/m^2 den yüksek değerleri, ışınımın en yüksek olduğu tarih ve farklı debiler için haftalık ölçümlerin saatlik ortalamaları ile ilişkili sonuçlar değerlendirilmiştir. Testlerde üç farklı debi $0,05 \text{ kg/sn}$, $0,1 \text{ kg/sn}$ ve $0,15 \text{ kg/sn}$ sirkülasyonu gerçekleştirilmiştir. PVT’de küçük debilerin sirkülasyonu ile daha yüksek su sıcaklık farkı değerleri elde edilmiştir.

18 Eylül 2019-09 Kasım 2019 tarihleri arasında, saatlere göre aylık ışınım değerleri incelendiğinde, en yüksek ışınım değeri ($1023,25 \text{ W/m}^2$) 7 Ekim 2019 tarihinde saat 12:00’de elde edilmiştir. Genel olarak test boyunca ışınım değerlerinin en yüksek olduğu saatler 9:00-14:00 arasında kaydedilmiştir. En yüksek ortam sıcaklık değeri ise 24 Eylül 2019 tarihinde $35,63 \text{ }^\circ\text{C}$ 15:00’de kaydedilmiştir.

800 W/m^2 ’den yüksek ışınım değerleri için 18 Eylül 2019-9 Kasım 2019 tarihleri arasında en yüksek su sıcaklık farkı değeri $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak kaydedilmiştir. 3 Ekim ile 19 Ekim arasında su sıcaklık farklarında düşüş görülmektedir. Bu düşüş daha yüksek kütleli debilerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Testlerde kullanılan en yüksek kütleli debi olan $0,15 \text{ kg/s}$ için en yüksek ısı verim elde edilmiştir. $0,05 \text{ kg/s}$ kütleli debi için ise en düşük ısı verim kaydedilmiştir. Su giriş-çıkış sıcaklık farkları için düşük debilerin sirkülasyonu ile daha yüksek değerler elde edilebilmektedir. $0,05 \text{ kg/s}$ kütleli debi, daha yüksek sıcaklık farkları elde edilebilmek için önerilir. PV ve PVT panellerin elektriksel değerlerinde, test boyunca neredeyse eşit sonuçlar kaydedilmiştir. PV ve PVT için elektriksel verimlerinin de neredeyse eşit olduğu gözlemlenmiştir. PVT’nin en alt ve en üst sıralı hücrelerin sıcaklığı ölçüm sırasında PV ile aynı sıcaklıkta ölçüldüğü için; PV panele göre daha fazla elektriksel verim elde edilememiştir.

5.2 Öneriler

Türkiye güneş ışınımı bakımından zengin bir ülke olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına, özellikle de çevre dostu PV ve PVT sistemlerin yaygınlaştırılması için, devlet tarafından teşvik verilmelidir.

Ülkemizde enerji üretiminde en fazla tüketilen yakıt olarak kömürdür. Kömürün tüketilmesiyle çevreye zarar vermekteyiz. Çevremizi korumak için ve sürdürülebilir enerji üretmek için yenilenebilir kaynaklarına başvurulmalıdır.

PVT sistemleriyle bir yandan enerji üretilirken diğer yandan da ısı enerjisi elde edilebilmektedir. Bu ısı enerjisi suyun ön ısıtılmasında kullanılabilir. Üretilen enerji ile hem evlerin elektrik ihtiyacı hem de ısıtma ihtiyaçları giderilebilmektedir. Bu bakımda ülkemizde PVT sistemlerin yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmalıdır.

PVT sistemlerinde hücrelerin homojen bir şekilde soğutulması önem arz etmektedir. Yapılan deneyde borulama sistemindeki ölçüm hataları nedeniyle en üst ve en alt sıralı hücreler soğutulamamıştır. Bu nedenle elektriksel verim artışı elde edilememiştir. Bu da PVT sistemlerinde hücreleri soğutma tasarımının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Adeli, M. M., Sobhnamayan, F., Farahat, S., Alavi, M. A. ve Sarhaddi, F., 2012, Experimental performance evaluation of a photovoltaic thermal (PV/T) air collector and its optimization, *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 58(5), 309-318.
- Akpınar, E., 2002, Tarımsal ürünler için siklon tipi bir kuru-tucunun geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.
- Al-Imam, M. F. I., Beg, R. A., Rahman, M. S. ve Khan, M. Z. H., 2016, Performance of PVT solar collector with compound parabolic concentrator and phase change materials, *Energy and Buildings*, 113, 139-144.
- Allan, J., Dehouche, Z., Stankovic, S. ve Mauricette, L., 2015, Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors, *Energy Science & Engineering*, 3(4), 310-326.
- Al-Sabounchi, A. M., Yalyali, S. A. ve Al-Thani, H. A., 2013, Design and performance evaluation of a photovoltaic grid-connected system in hot weather conditions, *Renewable energy*, 53, 71-78.
- Al-Shamani, A. N., Alghoul, M. A., Elbreki, A. M., Ammar, A. A., Abed, A. M. ve Sopian, K., 2018, Mathematical and experimental evaluation of thermal and electrical efficiency of PV/T collector using different water based nano-fluids, *Energy*, 145, 770-792.
- Al-Shohani, W. A., Al-Dadah, R. ve Mahmoud, S., 2016a, Reducing the thermal load of a photovoltaic module through an optical water filter, *Applied Thermal Engineering*, 109, 475-486.
- Al-Shohani, W. A., Sabouri, A., Al-Dadah, R., Mahmoud, S. ve Butt, H., 2016b, Experimental investigation of an optical water filter for Photovoltaic/Thermal conversion module, *Energy conversion and management*, 111, 431-442.
- Al-Waeli, A. H., Chaichan, M. T., Kazem, H. A. ve Sopian, K., 2017a, Comparative study to use nano-(Al₂O₃, CuO, and SiC) with water to enhance photovoltaic thermal PV/T collectors, *Energy Conversion and Management*, 148, 963-973.
- Al-Waeli, A. H., Sopian, K., Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Hasan, H. A. ve Al-Shamani, A. N., 2017b, An experimental investigation of SiC nanofluid as a base-fluid for a photovoltaic thermal PV/T system. *Energy Conversion and Management*, 142, 547-558.
- Al-Waeli, A. H., Sopian, K., Kazem, H. A. ve Chaichan, M. T., 2017c, Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 109-130.
- An, W.T. ve Liu, Y.F., 2007, The study of PV/thermal integrated buildings solar system, *Applied Energy Technology*, 23(11), 33-9.
- Aste, N., del Pero, C. ve Leonforte, F., 2014, Water flat plate PV-thermal collectors: a review, *Solar Energy*, 102, 98-115.
- Aste, N., Del Pero, C., Leonforte, F. ve Manfren, M., 2016, Performance monitoring and modeling of an uncovered photovoltaic-thermal (PVT) water collector, *Solar Energy*, 135, 551-568.
- Aste, N., Leonforte, F. ve Del Pero, C., 2015, Design, modeling and performance monitoring of a photovoltaic-thermal (PVT) water collector, *Solar Energy*, 112, 85-99.
- Bakır, C., 2012, Fotovoltaik/ısı sistemlerde performans iyileştirmesi ve termo-ekonomik analiz, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Bazilian, M. D., Leenders, F., Van Der Ree, B. G. C. ve Prasad, D., 2001, Photovoltaic cogeneration in the built environment, *Solar Energy*, 71(1), 57-69.
- Bhargava, A.K., Garg, H.P., Agarwal, R.K., 1991, Study of a hybrid solar system–Solar air heater combined with solar cells, *Energy Conversion and Management*, 31, 471–479.
- Buonomano, A., Calise, F. ve Vicidomini, M., 2016, Design, simulation and experimental investigation of a solar system based on PV panels and PVT collectors, *Energies*, 9(7), 497.
- Calise, F., d'Accadia, M. D., Figaj, R. D. ve Vanoli, L., 2016, A novel solar-assisted heat pump driven by photovoltaic/thermal collectors: Dynamic simulation and thermo-economic optimization, *Energy*, 95, 346-366.
- Calise, F., Figaj, R. ve Vanoli, L., 2017, Experimental and numerical analyses of a flat plate photovoltaic/thermal solar collector, *Energies*, 10(4), 491.
- Chaabane, M., Charfi, W., Mhiri, H. ve Bournot, P., 2013, Performance evaluation of concentrating solar photovoltaic and photovoltaic/thermal systems, *Solar Energy*, 98, 315-321.
- Chaabane, M., Mhiri, H. ve Bournot, P., 2016, Performance optimization of water-cooled concentrated photovoltaic system, *Heat Transfer Engineering*, 37(1), 76-81.
- Charalambous, P. G., Kalogirou, S. A., Maidment, G. G. ve Yiakoumetti, K., 2011, Optimization of the photovoltaic thermal (PV/T) collector absorber, *Solar Energy*, (85), 871-880.
- Charalambous, P. G., Maidment, G. G., Kalogirou, S. A. ve Yiakoumetti, K., 2007, Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, *Applied Thermal Engineering*, 27(2-3), 275-286.
- Chow, T. T., 2003, Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model, *Solar Energy*, 75(2), 143-152.
- Chow, T. T., 2010, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, (87), 365-379.
- Chow, T. T., He, W. ve Ji, J., 2007, An experimental study of facade-integrated photovoltaic/water-heating system, *Applied Thermal Engineering*, (27), 37–45.
- Chow, T. T., He, W., Chan, A. L. S., Fong, K. F., Lin, Z. ve Ji, J., 2008, Computer modeling and experimental validation of a building-integrated photovoltaic and water heating system, *Applied Thermal Engineering*, 28(11-12), 1356-1364.
- Chow, T., Chan, A., Fong, K., Lin, Z., He, W. ve Ji, J., 2009, Annual performance of building integrated photovoltaic/water heating system for warm climate application, *Applied Energy*,(86), 689-696.
- Coventry, S. J., 2005, Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector, *Solar Energy*, 78(2), 211–222.
- Dimri, N., Tiwari, A. ve Tiwari, G. N., 2018, Effect of thermoelectric cooler (TEC) integrated at the base of opaque photovoltaic (PV) module to enhance an overall electrical efficiency, *Solar Energy*, 166, 159-170.
- Du, D., Darkwa, J. ve Kokogiannakis, G., 2013, Thermal management systems for PVs (PV) installations: a critical review, *Solar Energy*, 97, 238–54.
- Duffie, J. A. ve Beckman, W., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons Inc., USA, New York, 908.
- Dupeyrat, P., Ménézo, C., Wirth, H. ve Rommel, M., 2011, Improvement of PV module optical properties for PV-thermal hybrid collector application, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, (95), 2028-2036.
- Eicker, U. ve Dalibard, A., 2011, Photovoltaic–thermal collectors for night radiative cooling of buildings, *Solar Energy*, 85(7), 1322-1335.

- Elsafi, A. M. ve Gandhidasan, P., 2015, Comparative study of double-pass flat and compound parabolic concentrated photovoltaic–thermal systems with and without fins, *Energy conversion and management*, 98, 59-68.
- Elswijk, M. J., Jong, M. J. M., Strootman, K. J., Braakman J. N. C., Lange, E. T. N. ve Smit, W. F., 2004, Photovoltaic/thermal collectors in large solar thermal system, *19th European PV Solar Energy Conference and Exhibition*, 7-11 June 2004, Paris, France.
- Erdil, E., Ilkan, M. ve Egelioglu, F., 2008, An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV)-solar thermal hybrid system, *Energy*, (33), 1241– 1245.
- European Renewable Energy Council (EREC)., 2010, Renewable Energy in Europe: Markets, Trends, and Technologies, European Renewable Energy Council (EREC), Earthscan, 116-1256.
- Fraisse, G., Menezo, C., Johannes, K., 2007, Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combisystems of direct solar floor type, *Solar Energy*, (81), 1426-1438.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M. H., Ruslan, M. H., Ibrahim, A. ve Kazem, H. A., 2014, Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors, *Energy conversion and management*, 78, 641-651.
- Fujiwa, T. ve Tani, T., 1997, Annual exergy evaluation on photovoltaic thermal hybrid collector, *Solar Energy Materials on Solar Cells*, (47), 453-462.
- Gang, P., Huide, F., Tao, Z. ve Jie, J., 2011, A numerical and experimental study on a heat pipe PV/T system, *Solar Energy*, (85), 911-921.
- Garg, H. P. ve Agarwal, R. K., 1995, Some aspects of a PV/T collector/forced circulation flat plate solar water heater with solar cells, *Energy Conversion and Management*, (36), 87-99.
- Gasparin, F. P., Bühler, A. J., Rampinelli, G. A. ve Krenzinger, A., 2016, Statistical analysis of I–V curve parameters from photovoltaic modules, *Solar energy*, 131, 30-38.
- Gaur, A., Ménézo, C. ve Giroux, S., 2017, Numerical studies on thermal and electrical performance of a fully wetted absorber PVT collector with PCM as a storage medium, *Renewable energy*, 109, 168-187.
- Ghadiri, M., Sardarabadi, M., Pasandideh-fard, M. ve Moghadam, A. J., 2015, Experimental investigation of a PVT system performance using nano ferrofluids, *Energy Conversion and Management*, 103, 468-476.
- Gunasekar, N., Mohanraj, M. ve Velmurugan, V., 2015, Artificial neural network modeling of a photovoltaic-thermal evaporator of solar assisted heat pumps, *Energy*, 93, 908-922.
- Hasan, H. A., Sopian, K., Jaz, A. H. ve Al-Shamani, A. N., 2017, Experimental investigation of jet array nanofluids impingement in photovoltaic/thermal collector, *Solar Energy*, 144, 321-334.
- He, W., Chow, T. T., Ji, J., Lu, J. P., Pei, G. ve Chan, L. S., 2006, Hybrid photovoltaic and thermal solar collector designed for natural circulation of water, *Applied Energy*, (83), 199–210.
- He, W., Zhang, Y. ve Ji, J., 2011, Comparative experiment study on photovoltaic and thermal solar system under natural circulation of water, *Applied Thermal Engineering*, (31), 3369-3376.
- Hendrie, S. D., 1982, Final Report, *Report*, MIT.
- Holman, J. P., 1994, *Experimental Methods for Engineers*, McGraw-Hill, sixth edition, USA, 616s.

- Hosseinzadeh, M., Salari, A., Sardarabadi, M. ve Passandideh-Fard, M., 2018a, Optimization and parametric analysis of a nanofluid based photovoltaic thermal system: 3D numerical model with experimental validation, *Energy conversion and management*, 160, 93-108.
- Hosseinzadeh, M., Sardarabadi, M. ve Passandideh-Fard, M., 2018b, Energy and exergy analysis of nanofluid based photovoltaic thermal system integrated with phase change material, *Energy*, 147, 636-647.
- Hou, L., Quan, Z., Zhao, Y., Wang, L. ve Wang, G., 2016, An experimental and simulative study on a novel photovoltaic-thermal collector with micro heat pipe array (MHPA-PV/T), *Energy and Buildings*, 124, 60-69.
- Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C. ve Sun, F. S., 1999, Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems, *Solar Energy*, (70), 443-448.
- Ibrahim, A., Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M. Y. ve Ruslan, M. H., 2014, Efficiencies and improvement potential of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) system, *Energy conversion and management*, 77, 527-534.
- Ibrahim, A., Othman, M.Y., Ruslan, M. H., Mat, S. ve Sopian, K., 2011, Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (15), 352-365.
- Ito, S., Miura, N., ve Wang, K., 1997, Heat pump using collector with photovoltaic modules on the surface, *Solar Energy*, (65), 189-196.
- Jaiganesh, K. ve Duraiswamy, K., 2013, Experimental study of enhancing the performance of PV panel integrated with solar thermal system, *International Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 3419-3426.
- Ji, J., Chow, T. ve He, W., 2003, Dynamic performance of hybrid photovoltaic/thermal collector wall in Hong Kong, *Building and Environment*, (38), 1327-1334.
- Ji, J., Guo, C., Sun, W., He, W., Wang, Y. ve Li, G., 2014, Experimental investigation of tri-functional photovoltaic/thermal solar collector, *Energy conversion and management*, 88, 650-656.
- Ji, J., Han, J., Chow, T. T., Yi, H., Lu, J. P., He, W. ve Sun, W., 2006, Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system, *Energy and Buildings*, (38), 1380-1387.
- Ji, J., Lu, J. P., Chow, T. T., He, W. ve Pei, G., 2007, A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation, *Applied Energy*, (84), 222-237.
- Jones, A. D. ve Underwood, C. P., 2001, A thermal model for photovoltaic systems, *Solar Energy*, (4), 349-359.
- Kalani, H., Sardarabadi, M. ve Passandideh-Fard, M., 2017, Using artificial neural network models and particle swarm optimization for manner prediction of a photovoltaic thermal nanofluid based collector, *Applied Thermal Engineering*, 113, 1170-1177.
- Kalogirou, S. A., 2001, Use of TRNSYS for modelling and simulation of a hybrid PV-thermal solar system for Cyprus, *Renewable Energy*, (23), 247-260.
- Kamthania, D., Nayak, S. ve Tiwari, G. N., 2011, Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass facade for space heating, *Energy and Buildings*, 43(9), 2274-2281.
- Kapsalis, V. ve Karamani, D., 2015, On the effect of roof added PVs on building's energy demand, *Energy Build*, 108, 195-204.
- Kazem, H. A. ve Chaichan, M. T., 2016, Effect of environmental variables on photovoltaic performance-based on experimental studies, *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, 2(4), 1-8.

- Kern Jr, E. C. ve Russell, M. C., 1978, Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, *Proc.13th IEEE Photovoltaic Specialist, Washington DC, USA*, pp. 1153-1157.
- Khanjari, Y., Pourfayaz, F. ve Kasaeian, A. B., 2016, Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system, *Energy Conversion and Management*, 122, 263-278.
- Kim, J. H., Park, S. H., Kang, J. G. ve Kim, J. T., 2014, Experimental performance of heating system with building-integrated PVT (BIPVT) collector, *Energy Procedia*, 48, 1374-1384.
- Kim, J.H. ve Kim, J.T., 2012, The experimental performance of an unglazed PVT collector with two different absorber types, *International Journal of Photoenergy*, 6.
- Kohlenbach, P. ve Jakob, U., 2014, Solar cooling: the earthscan expert guide to solar cooling systems, Routledge, 5-19.
- Koronaki, I. P., Papoutsis, E. G. ve Papaefthimiou, V. D., 2016, Thermodynamic modeling and exergy analysis of a solar adsorption cooling system with cooling tower in Mediterranean conditions, *Applied Thermal Engineering*, 99, 1027-1038.
- Liang, R., Zhang, J., Ma, L. ve Li, Y., 2015, Performance evaluation of new type hybrid photovoltaic/thermal solar collector by experimental study, *Applied Thermal Engineering*, 75, 487-492.
- Maadi, S. R., Kolahan, A., Passandideh-Fard, M., Sardarabadi, M. ve Moloudi, R., 2017, Characterization of PVT systems equipped with nanofluids-based collector from entropy generation, *Energy conversion and management*, 150, 515-531.
- Michael, J. J. ve Iniyar, S., 2015, Performance analysis of a copper sheet laminated photovoltaic thermal collector using copper oxide–water nanofluid, *Solar Energy*, 119, 439-451.
- Midilli, A., 2001, Doğal Vakum Tekniği ile Atıksuların Damıtılması, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Mojumder, M. S. S., Uddin, M. M., Alam, I. ve Enam, H. K., 2011, Study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar system with modification of thin metallic sheet in the air channel, *Journal of Energy Technologies and Policy*, 3, 47-55.
- Mojumder, M. S. S., Uddin, M., Alam, I. ve Enam, H. K., 2013, Study of Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Solar System with Modification of Thin Metallic Sheet in the Air Channel, *Jurnal of Energy Technologies and Policy*, 47-55.
- Pacca Sergio, Sivaraman Deepak, ve Keoleian Gregory A., 2007, Parameters affecting the life cycle performance of PV Technologies and systems, *Energy Policy*, (35), 3316-3326.
- Prakash, J., 1994, Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water, *Energy Conversation Management*, (35), 967–972.
- Pugsley, A., Mondol, J., Smyth, M., Zacharopoulos, A. ve Di Mattia, L., 2016, Experimental characterisation of a flat panel integrated collector-storage solar water heater featuring a photovoltaic absorber and a planar liquid-vapour thermal diode, In *Proceedings of 11th ISES EuroSun Conference: Palma (Mallorca), Spain from 11 to 14 October 2016*.
- Radziemska, E., 2003, Thermal performance of Si and GaAs based solar cells and modules: a review, *Progressin Energy Combustion Science*, (29), 407–424.

- Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M. ve Rahim, N. A., 2015, Effects of various parameters on PV-module power and efficiency, *Energy Conversion and Management*, 103, 348-358.
- Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G. M. ve Ventura, C., 2016, Experimental photovoltaic-thermal Power Plants based on TESPI panel, *Solar Energy*, 133, 305-314.
- Sahota, L. ve Tiwari, G. N., 2017, Review on series connected photovoltaic thermal (PVT) systems: analytical and experimental studies, *Solar Energy*, 150, 96-127.
- Salem, M. R., Ali, R. K. ve Elshazly, K. M., 2017, Experimental investigation of the performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar system using aluminium cooling plate with straight and helical channels, *Solar Energy*, 157, 147-156.
- Sandnes, B. ve Rekstad, J., 2002, A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate, Experimental study and analytical model, *Solar Energy*, 72(1), 63-73.
- Sardarabadi, M., Hosseinzadeh, M., Kazemian, A. ve Passandideh-Fard, M., 2017a, Experimental investigation of the effects of using metal-oxides/water nanofluids on a photovoltaic thermal system (PVT) from energy and exergy viewpoints, *Energy*, 138, 682-695.
- Sardarabadi, M., Passandideh Fard, M., Sardarabadi, H. ve Zeinali Heris, S., 2012, Computer modelling and Experimental Validation of a Photovoltaic Thermal (PV/T) Water Based Collector System, *In 2nd International Conference on Power and Energy Systems (ICPES2012)*.
- Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., Maghrebi, M. J. ve Ghazikhani, M., 2017b, Experimental study of using both ZnO/water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 161, 62-69.
- Saygin, H., Nowzari, R., Mirzaei, N. ve Aldabbagh, L. B. Y., 2017, Performance evaluation of a modified PV/T solar collector: a case study in design and analysis of experiment, *Solar Energy*, 141, 210-221.
- Seifried, D. ve Witzel, W., 2010, Renewable energy: the facts, *Routledge, Taylor & Francis*, 52-60.
- Shan, F., Tang, F., Cao, L. ve Fang, G., 2014, Comparative simulation analyses on dynamic performances of photovoltaic-thermal solar collectors with different configurations, *Energy conversion and management*, 87, 778-786.
- Shyam, Tiwari, G. N., Fischer, O., Mishra, R. K. ve Al-Helal, I. M., 2016, Performance evaluation of N-photovoltaic thermal (PVT) water collectors partially covered by photovoltaic module connected in series: An experimental study, *Solar Energy*, 134, 302-313.
- Singh, D. B. ve Tiwari, G. N., 2017a, Performance analysis of basin type solar stills integrated with N identical photovoltaic thermal (PVT) compound parabolic concentrator (CPC) collectors: a comparative study, *Solar Energy*, 142, 144-158.
- Singh, D. B. ve Tiwari, G. N., 2017b, Exergoeconomic, enviroeconomic and productivity analyses of basin type solar stills by incorporating N identical PVT compound parabolic concentrator collectors: a comparative study, *Energy conversion and management*, 135, 129-147.
- Sopian, K., Ibrahim, A., Fudhol, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H. ve Kazem, H. A., 2013, Experimental studies on building integrated photovoltaic thermal collectors with different absorber design, *In 2nd International Conference on Energy Systems, Environment*, Antalya, Turkey, pp. 50-54.

- Su, D., Jia, Y., Alva, G., Liu, L. ve Fang, G., 2017, Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials, *Energy conversion and management*, 131, 79-89.
- Tiwari, G. N. ve Dubey, S., 2010, Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications, *RCS Publishing*, Cambridge, 398.
- Tiwari, G. N., 2004, Solar Energy: Fundamentals, Design, Modelling and Applications, *Narosa Publishing House*, New Delhi, 521.
- Tiwari, S. ve Tiwari, G. N., 2016, Exergoeconomic analysis of photovoltaic-thermal (PVT) mixed mode greenhouse solar dryer, *Energy*, 114, 155-164.
- Tonui, J. K. ve Tripanagnostopoulos, Y., 2007, Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, *Renewable energy*, 32(4), 623-637.
- Touafek, K., Khelifa, A. ve Adouane, M., 2014, Theoretical and experimental study of sheet and tubes hybrid PVT collector, *Energy Conversion and Management*, 80, 71-77.
- Tripanagnostopoulos, Y. ve Tselepis, S., 2003, Hybrid solar/wind (PVT/WT) building integrated systems, *In Proc. 2nd International European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference*, Kassel, Germany, 25-26, Sep, 329-333.
- Tripanagnostopoulos, Y., 2007, Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems, *Solar energy*, 81(9), 1117-1131.
- Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R. ve Corrado, A., 2005, Energy, cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems, *Progress in Photovoltaics: Research and applications*, 13(3), 235-250.
- Tyagi, V. V., Kaushik, S. C. ve Tyagi, S. K., 2012, Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1383-1398.
- Vokas, G., Christandonis, N. ve Skittides, F., 2006, Hybrid photovoltaic thermal systems for domestic heating and cooling: A theoretical approach, *Solar Energy*, (80), 607-615.
- Wolf, M., 1976, Performance analysis of combined heating and photovoltaic power systems for residences, *Energy Conversation Management*, (16), 79–90.
- Wu, S.Y., Zhang, Q. L., Xiao, L. ve Guo, F. H., 2011, A heat pipe photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid system and its performance evaluation, *Energy and Buildings*, (43), 3558-3567.
- Yang, X., Sun, L., Yuan, Y., Zhao, X. ve Cao, X., 2018, Experimental investigation on performance comparison of PV/T-PCM system and PV/T system, *Renewable energy*, 119, 152-159.
- Yazdanifard, F., Ebrahimnia-Bajestan, E. ve Ameri, M., 2016, Investigating the performance of a water-based photovoltaic/thermal (PV/T) collector in laminar and turbulent flow regime, *Renewable Energy*, 99, 295-306.
- Yazdanpanahi, J., Sarhaddi, F. ve Adeli, M. M., 2015, Experimental investigation of exergy efficiency of a solar photovoltaic thermal (PVT) water collector based on exergy losses, *Solar Energy*, 118, 197-208.
- Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J. ve Yu, X., 2012, Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 599-617.
- Ziapour, B. M., Palideh, V. ve Mohammadnia, A., 2014, Study of an improved integrated collector-storage solar water heater combined with the photovoltaic cells, *Energy conversion and management*, 86, 587-594.

- Zondag, H. A., de Vries, D. D., Van Helden, W. G. J., van Zolingen, R. C. ve Van Steenhoven, A. A., 2002, The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector, *Solar energy*, 72(2), 113-128.
- Zondag, H. A., De Vries, D. W., Van Helden, W. G. J., Van Zolingen, R. J. C. ve Van Steenhoven, A. A., 2003, The yield of different combined PV-thermal collector designs, *Solar energy*, 74(3), 253-269.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammet ÖKSÜZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kulu/KONYA 02.05.1990
Telefon : (0532)1656675
Faks : -
e-mail : muhammet.oksuz@koski.gov.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Erbil Kuru Lisesi/Selçuklu/KONYA	2007
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi/Yakutiye/ERZURUM	2011
Üniversite	: Anadolu Üniversitesi (A.Ö.F)/ ESKİŞEHİR	
Yüksek Lisans	: Aksaray Üniversitesi /AKSARAY	2013
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi /Selçuklu/KONYA	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	UYAN METALURJİ SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.	ÜRETİM MÜDÜRÜ
2011	KOSKİ	KONTROL MÜHENDİSİ
2019	KOSKİ	ŞUBE MÜDÜRÜ

UZMANLIK ALANI

Alt Yapı Sistemleri (Su ve Kanalizasyon Şebeke Hatları), Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi)

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Astrofizik Araştırmaları
 Kuantum Fiziği Araştırmaları
 Felsefe Araştırmaları
 Makro Ekonomi Araştırmaları
 Gitar Çalmak

YAYINLAR

Öksüz, M., & Köse, F. (2019). Hibrit Fotovoltaik Isıl PVT-su ve PVT-hava Güneş Kollektörlerinin İncelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 2(3): 95-102.