



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK/ISIL SİSTEMLERDE
PERFORMANS İYİLEŞTİRMESİ VE
TERMO-EKONOMİK ANALİZ

Celalettin BAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Celalettin BAKIR tarafından hazırlanan “Fotovoltaik/Isıl Sistemlerde Performans İyileştirmesi Ve Termo-Ekonomik Analiz” adlı tez çalışması 18/09/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Şefik BİLİR

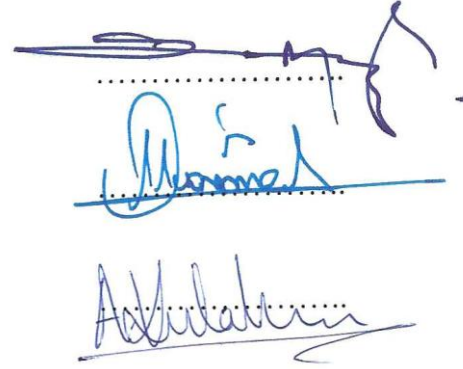
Danışman

Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN

Üye

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi B.A.P. Koordinatörlüğü tarafından 11201039 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

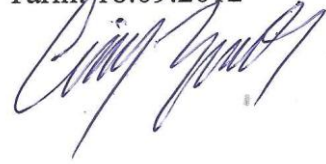
Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

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.

Celalettin BAKIR

Tarih: 18.09.2012



ÖZET

YÜKSEK LİSANSTEZİ

FOTOVOLTAİK/ISIL SİSTEMLERDE PERFORMANS İYİLEŞTİRMESİ VE TERMO-EKONOMİK ANALİZ

Celalettin BAKIR

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN

2012, 125 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Şefik BİLİR

Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Bu tez çalışmasında hem elektrik hem de sıcak su üretmek için tasarlanmış fotovoltaiik/ısı sistemler incelenmiştir. Deneyler, fotovoltaiik (PV) dönüşüm verimi üzerinde sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla dış ortam koşullarında kurulan deney düzeneği ile 01.04.2011 - 31.08.2011 tarihleri arasında yapılmıştır. Sistem verimini hesaplamak için ölçülen parametreler; PV ve PVT kolektöre gelen güneş ışınımı, üretilen voltaj ve akım değeri, PVT kolektöre giren ve çıkan su veya havanın giriş, çıkış sıcaklıkları ve debisi, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızıdır. PV modülün yüksek çalışma sıcaklıklarında, modülün elektriksel dönüşüm verimi, fotovoltaiik hücrenin açık devre gerilimindeki dikkate değer bir düşüş nedeniyle, önemli bir oranda düşmektedir. Bu çalışmada, zorlanmış su ve hava soğutma sistemleri PV modül sıcaklığının düşürülmesi amaçlı kullanılmıştır. Bu çalışmada, hava veya su soğutma olmadan PV modülün sıcaklığının 55 - 63 °C aralığında değiştiği ve hücrelerin elektriksel dönüşüm veriminin % 9'a kadar düştüğü bulunmuştur. Bununla birlikte, PV modülün su ile aktif soğutma altında tutulduğu zaman PV modül sıcaklığının 32 °C ye kadar düştüğü ve hücrelerin elektriksel dönüşüm veriminin %13.6'ya kadar yükseldiği görülmüştür. Bu değerler ışığında, modül verimindeki iyileşmenin maksimum %33.8 mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. PV modülden soğutucu akışkan tarafından soğurulan ısı enerjisi, sistemden elde edilen toplam enerjiye de önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Sistemden elde edilen optik ısı verim değeri maksimum %53.6 olarak bulunmuştur. PV modülden ısı atmak için kullanılan soğutucu akışkanın (su veya hava), PV modül üzerindeki hızı da sistem verimi için son derece önemlidir. PVT hava sisteminin hesaplamaları TRNSYS simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Test sonuçlarına göre iyileştirilmiş en etkin sistem verimi için su soğutmalı sistemde suyun debisinin 108 kg/h, hava soğutmalı sistemde ise hava debisinin 198 kg/h olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarında PVT kolektör için toplam ekserji yıkım değerlerinin 4.31 W ile 274.94 W arasında değiştiği bulunmuştur. Sistem verimini hesaplamak amacıyla yapılan ölçümlerdeki belirsizlik değeri, PV sistem için ± 0.31 ve PVT sistem için ± 0.23 mertebesinde hesaplanmıştır. Bununla beraber PVT kolektörde kullanılan camın soğuruculuğu ve aktarıcılığı, kullanılan yalıtım malzemesi, hücre verimi gibi özelliklerinde toplam sistem verimine etki ettiği yapılan test sonuçlarına göre bulunmuştur. Üretilen elektrik enerjisi, yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri dikkate alınarak 2.28 kW'lık PV ve PVT sistemin geri ödeme süreleri sırasıyla, 10.6 yıl ve 6.22 yıl olarak bulunmuştur. Ekonomik analiz hesaplamalarında, PV sistemde sıcak su elde edilmesinin doğal gazla yapıldığı kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, PVT sistemlerinde soğutma uygulamasının verim iyileşmesine ve enerji tasarrufuna önemli oranda katkı sağlayabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel Verim, Fotovoltaiik/Isıl (PVT) Sistem, Güneş Enerjisi, Isıl Verim, PVT, PV Soğutma, Verim İyileştirme.

ABSTRACT

MS THESIS

PERFORMANCE IMPROVEMENT IN PHOTOVOLTAIC/THERMAL(PVT) SYSTEMS AND THERMOECONOMIC ANALYSIS

Celalettin BAKIR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

2012,125 Pages

Jury

Prof. Dr. Şefik BİLİR

Assoc. Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

Assist. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

In this thesis study, a photovoltaic/thermal (PVT) system which has been designed to produce concurrently both electricity and hot water/air were examined. Experiments were conducted under atmospheric air conditions to determine the influence of the temperature of the PV cell on the PV conversion efficiency from the period of 01.04.2011 to 31.08.2011. The parameters measured for the calculation of system efficiency are; solar radiation, generated voltage and current values, temperature and flow rate values of water or air which is entering to PVT collector and outgoing from PVT collector, atmospheric air temperature and wind speed. At higher operating temperatures, the conversion efficiency of the PV module can be drastically reduced due to the significant reduction in the open circuit voltage of the photovoltaic cell. In this work, forced convective air and water cooling are utilized to reduce the operating temperature of the PV module. It was found that without active air and water cooling, the temperature range of the PV module was between 55-63 °C and a conversion efficiency of solar cells was decreased to as low as 9%. However, when the PV module was operated under active water cooling condition, the temperature of the PV module was decreased to 32 °C leading to an increase in the efficiency of solar cells up to 13,6%. According to these values, the improvement of module efficiency have been identified as %33,8. Hence, the maximum system efficiency is no longer only limited by PV conversion efficiency but also includes the optical thermal efficiency which is found as 53,6%. The calculation of the PVT-air system made with TRNSYS simulation software. According to the test results of the effective system efficiency, water and air flow rates for the cooling system should be regulated as 108 kg/h and 198 kg/h, respectively. The measurement of the experimental results showed that variation of the exergy efficiency of PVT collector was in the range of 4.31 W-274.94 W. The uncertainty values of the experiments of PV and PVT system to determine the system efficiency were calculated as ± 0.31 for PV system and ± 0.23 for PVT system. However, according the test results, absorption and transmission ratios of cover glass of PVT collector, the insulation material, cell efficiency are also important for the effect of system efficiency. The basic payback period of the PV and PVT systems which are 2.2 kWp, calculated as 10.6 years and 6.22 years with respect to the produced electric energy, investment cost and operating cost. The obtained results show that the cooling of the PVT system can provide significant efficiency improvement and energy saving.

Keywords: Efficiency Improvement, Electrical Efficiency, Photovoltaic/Thermal, PVT, PV Cooling, Solar Energy, Thermal Efficiency.

ÖNSÖZ

Enerji kelimesi, 1973 yılındaki küresel petrol krizinden sonra daha anlamlı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde de açıkça görülmektedir ki fosil yakıtlar ve yenilenemeyen enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Dünyadaki bütün enerji kaynaklarının temelini oluşturan güneş enerjisi, bu gelişmelerin ardından hak ettiği önemi kazanmaya başlamıştır.

Güneş enerjisinin başlıca uygulamaları iki temel kategori içinde sınıflandırılabilir. Bunlar, güneş enerjisini ısı enerjisiye dönüştüren ısıtma-soğutma sistemleri ve güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik sistemlerdir. Ayrıca, özellikle Avrupa da kullanımı hızla artan PVT sistemler de bu kategori içinde üçüncü başlıkta incelenebilir.

Tüm enerji kaynaklarında verimlilik artırma yöntemleri üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Özellikle güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerde, sistemin elektriksel verimi, PV modül sıcaklığının artmasıyla hızla düşmektedir. Bu nedenle, yüksek elektriksel verimlere ulaşmak için PV modülün bir şekilde soğutulması gerekir. Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Örneğin 500 kW kapasiteli bir sistemin verimindeki %10 mertebesinde iyileşme ile 83 MW/yıl fazla elektrik üretilecektir. Bu da 20 yıllık sistem ömrü dikkate alındığında 1.3 yıl sistemin geri ödeme süresini kısaltabilecektir.

Ülkemizde fotovoltaik-ısı sistemler gibi önemli bir konu üzerinde yapılan çalışmaların çok az olması, dolayısı ile Türkçe kaynak sayısının yetersiz olmasından dolayı bu çalışmanın, fotovoltaik-ısı sistemler üzerinde çalışma yapacak araştırmacılara yardımcı olmasını dilerim.

Tez çalışmamın her safhasında çeşitli kaynak, bilgi ve önerileriyle benden yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli danışmanım Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

PVT sistemler üzerine bana çalışma fırsatı oluşturan SEİSO ve SOLİMPEKS AŞ'ye desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Tez aşamasında değerli görüşleriyle bana destek olan Arş. Gör. Muharrem Hilmi AKSOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Celalettin BAKIR
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. PVT-Hava Kolektörler.....	7
2.2. PVT-Su Kolektörler	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. PV sistemler.....	21
3.1.1. Fotovoltaik paneller (Güneş panelleri)	21
3.1.2. Fotovoltaik paneller de kullanılan hücre tipleri	22
3.1.3. Türkiye de fotovoltaik panel fiyat değişimleri ve üretim durumu	24
3.1.4. Fotovoltaik panel uygulama alanları.....	25
3.2. PVT-Hava Kolektörleri.....	26
3.2.1. Hibrit hava kolektörleri.....	27
3.2.2. Çift geçişli PVT-hava kolektörleri.....	32
3.2.3. PVT-Hava enerji denge denklemleri	33
3.3. PVT-Su Kolektörler	36
3.3.1. PVT-Su enerji denge denklemleri.....	38
3.4. Deney Setinin Tanımlanması.....	39
3.4.1. Deney bileşenleri	41
3.4.2. Deney ölçümlerinde kullanılan cihazlar	45
3.5. Deney Setinin Kurulması.....	47
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53
4.1. Sistemin Isıl Performansı.....	54
4.2. Sistemin Elektriksel Performansı.....	59
4.3. 2012 Yılı Işınım ve sıcaklık Dataları	64
4.4. Belirsizlik Analizi	66
4.5. Ekserji Analizi	68
4.6. Ekonomik Analiz	73
4.7. PVT-Su ve PVT-Hava Kolektörler İçin TRNSYS Program Simülasyonu.....	82
4.7.1. TRNSYS program simülasyonunda kullanılan denklemler.....	82

4.7.2. PVT-su kolektörler için TRNSYS program simülasyonu	84
4.7.3. PVT-hava kolektörler için TRNSYS program simülasyonu	91
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
5.1 Sonuçlar	98
5.2 Öneriler	100
KAYNAKLAR	102
EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_m	: PV modül alanı(m^2)
b	: PV modülün genişliği (m)
B_t	: Nakit girişi (TL)
C_{pa}	: Havanın özgül ısısı (kcal/kg ^0C)
C_f	: Akışkan özgül ısısı (kcal/kg ^0C)
C_t	: Nakit çıkışı (TL)
D	: Boru çapı (m)
d	: Absorber kalınlığı (m)
$\dot{E}_{x_{elektrik}}$	: Elektriksel ekserji (W)
$\dot{E}_{x_{ısı}}$	: Isıl ekserji yıkımı (W)
F'	: Düz plaka kolektör verim faktörü
F_R	: Debi faktörü
h_i	: Arka yüzey ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 ^0C$)
h_{p1}	: Camdan, PV hücresinden ve EVA'dan kaynaklanan emniyet faktörü
h_{p2}	: Tedlar ile akışkan ara yüzü arasındaki ceza faktörü
h_T	: Üst yüzey ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 ^0C$)
h_t	: Tedlar arka yüzeyi ile akışkan arasındaki ısı transfer katsayısı($W/m^2 ^0C$)
$I_{(t)}$	: Güneş ışınlamı (W/m^2)
I_{PV}	: PV modül nominal Akımı (A)
I_{sc}	: PV modül kısa devre akımı (A)
K	: Absorber ısı iletim katsayısı ($W/m ^0C$)
L	: PV modül uzunluğu (m)
$\dot{m}$	: Havanın kütleli debisi (kg/s)
n	: Yıl
q_u	: Faydalı ısı enerjisi miktarı (kW)
r	: İskonto oranı (%)
T_{ay}	: Arka yüzey sıcaklığı(^0C)
T_{ag}	: Akışkan giriş Sıcaklığı (^0C)
T_h	: PV hücre sıcaklığı (^0C)

$T_{hç}$	: Hava çıkış sıcaklığı(^0C)
T_{hg}	: Hava giriş sıcaklığı(^0C)
T_o	: Ortam sıcaklığı (^0C)
T_{panel}	: PV modül Sıcaklığı (^0C)
U_T	: Üst yüzey toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2\ ^0C$)
U_{thava}	: Havanın ısı taşınım katsayısı ($W/m^2\ ^0C$)
U_{tT}	: PV boyunca camdan Tedlara olan toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2\ ^0C$)
V_{oc}	: PV modül açık devre gerilimi(V)
V_{pv}	: PV modül nominal Voltajı (V)
W	: Boru ara mesafesi (m)
α	: Absorbsiyon katsayısı
α_c	: Fotovoltaik hücrenin soğurganlığı
α_T	: Tedların soğurganlık katsayısı
β_0	: PV sıcaklık katsayısı ($^0C^{-1}$)
β_c	: Kaplama oranı faktörü
δ	: Plaka kalınlığı (m)
ΔT	: Sıcaklık farkı (^0C)
η_i	: Isıl verim
η_{pv}	: PV modül verimi
η_0	: Standart test koşullarında PV verimi
η_e	: Elektriksel verim
τ	: Geçirgenlik katsayısı
T_G	: Kolektör PV camının geçirgenliği
v	: Rüzgar hızı (m/s)

Kısaltmalar

PV	: Fotovoltaik
PVT	: Fotovoltaik-Isıl
EVA	: Etilen Vinil Asetat
PF	: Kaplama Oranı
CPC	: Birleşik Parabolik Toplayıcı
FF	: Doluluk Faktörü
TPT	: Tedlar-Polyester-Tedlar

HVD : Yüksek Gerilim Düşümü
DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri
EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
STK : Soğutma Tesir Katsayısı
NBD : Net Bugünkü Değer
İKO : İç Karlılık Oranı

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji türleri; güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle ve dalga enerjisidir. Tüm yenilenebilir enerjilerin kaynağı güneştir.

Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıyım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş ışıyımının şiddeti, yaklaşık $1,370 \text{ W/m}^2$ değerindedir, ancak yeryüzünde $0-1,100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır (Anonim, 2010b). Türkiye, güneş kuşağı adı verilen 40° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından orta zenginlikte bir ülke durumundadır. Türkiye de güneş enerjisi, potansiyeli ve güneşlenme süresinin bir çok ülkeye göre yüksek olmasına karşın, sadece düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları ağırlıklı olarak, güneş toplayıcıları vasıtasıyla düşük sıcaklıkta sıcak su ve sıcak hava üretimi ile sınırlı kalmıştır. Güneş enerjisi uygulamaları; sıcak su üretimi, bitkisel ürünlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, deniz suyunun damıtılması, elektrik üretimi, mesken ısıtılması ve soğutulması, sulama suyunun pompalanması, endüstriyel işlem ısısı üretme, fotokimyasal ve foto sentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinin üstünlükleri şunlardır: Yakıt masrafının olmaması, işletme maliyetinin düşük olması, proses ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi, enerji kaynağının tükenmez oluşu ve en önemlisi çevreyi kirletmemesidir.

Dezavantajları ise; geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması, kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojisinin henüz tam olarak yaygınlaşmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve gelen enerjinin kesikli ve değişken olmasıdır. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için gerekli teknolojiler üzerinde bilimsel çalışmalar devam etmektedir.

Belirlenen olgulara göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2608.8 saat olup, maksimum değer 361.8 saat ile Temmuz ayında ve minimum değer 97.8 saat ile Aralık ayında görülmektedir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge yılda 3015.8 ile Güneydoğu Anadolu bölgesidir (Anonim, 2010a).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak,

EİE tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2,640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1,311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1.1' de verilmiştir (Anonim, 2010b).

Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (Anonim, 2010b)

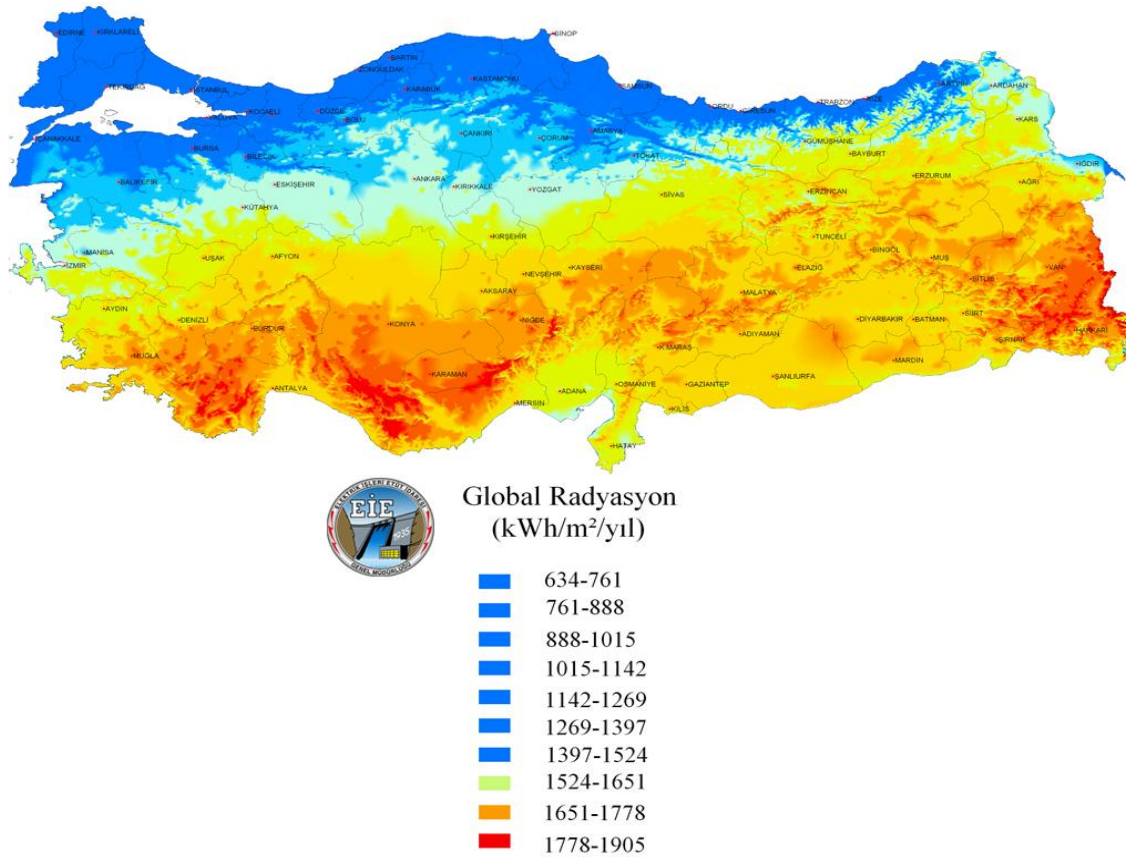
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
	Kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	112.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1,311	264.0
Ortalama	308.0 kcal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş ışıyımı alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 1.2'de verilmiştir. Ancak, bu değerlerin Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. Bu durumun nedenleri arasında, öncelikle DMİ'nin güneş enerjisi ölçümlemlerini, enerji amaçlı değil meteorolojik amaçlı ölçmüş olması, kullanılan cihazların hassasiyetinin düşük olması ve zamanla istasyonların şehir içinde kalması gösterilir (Anonim, 2010b). Ancak 22 Şubat 2012 tarihinde resmi gazete de yayımlanan "Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı lisans başvurularına ilişkin ölçüm standardı tebliği" kapsamında yatırımcılar tarafından kurulacak güneş enerjisi ölçüm istasyonları sayesinde hem yatırımcı kuracağı bölgenin güneşlenme potansiyelini öğrenecek hem de DMİ, yatırımcıların kurmuş oldukları bu istasyonlar sayesinde veri tabanlarını güncelleyebileceklerdir.

Çizelge 1.2. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresinin bölgelere göre dağılımı (Anonim, 2010b)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ kWh/m ² -yıl	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1,460	2,993
AKDENİZ	1,390	2,956
DOĞU ANADOLU	1,365	2,664
İÇ ANADOLU	1,314	2,628
EGE	1,304	2,738
MARMARA	1,168	2,409
KARADENİZ	1,120	1,971

Şekil1.1’de Türkiye’nin güneş haritası verilmiştir (Anonim, 2010b). Bu haritaya göre Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelini 3 bölgeye ayırmak mümkündür. Türkiye’nin güney kısımları ile İç Anadolu Bölgesinin ve Ege Bölgesinin orta kısımları ile beraber Doğu Anadolu Bölgesinin üst kısımlarına kadar olan bölge 1. bölge, Karadeniz Bölgesi ile Marmara Bölgesinin güney kısımları ile 1. bölge arası kısım 2. bölge, diğer kısımlar ise 3. bölge olarak nitelendirilebilir. Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği’ne göre lisansa tabi teşvik kapsamında ki bölgeler genellikle yukarıda bahsedilen 1. bölge içindedir.



Şekil1.1. Türkiye’nin güneş haritası [Anonim, 2010b].

Güneş enerjisi uygulama alanlarını aktif ve pasif olarak iki ana grupta incelemek mümkündür. Aktif uygulamalar güneş enerjisiyle ısı ve elektrik elde etmek için kurulan mekanik sistemleri içerirler. Pasif uygulamalar ise genel olarak güneş enerjisinden verimli bir şekilde faydalanmaya yönelik mimari tasarımları kapsar.

Isı enerjisi elde edilmesine yönelik aktif güneş enerjisi uygulamaları;

- Kullanım sıcak suyu elde edilmesi,
- Binaların ısıtılması ve soğutulması,
- Seraların ısıtılması,
- Yüzme havuzlarının ısıtılması,
- Endüstriyel proseslerdeki akışkanların ısıtılması,
- Endüstriyel amaçlı buhar üretilmesi şeklindedir.

Elektrik enerjisi üretilmesine yönelik aktif uygulamalar;

- Şebekeden bağımsız bina, tesis ve sistemler için elektrik üretilmesi,
- Şebekeye bağımlı bina, tesis ve sistemler için elektrik üretilmesi,
- Çeşitli ulaşım araçları için elektrik üretilmesi,
- Boru hatlarının katodik koruması için elektrik üretilmesi şeklindedir.

Mimari tasarımları kapsayan pasif uygulamalar;

- Güneşle doğal aydınlatma sağlanması,
- Tromp duvar uygulamaları ile ısı kayıplarının azaltılması olarak sıralanabilir.

Aktif uygulamalarda elektrik enerjisi fotovoltaik paneller kullanılarak elde edilir. Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasındadır. Güneş panelleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Üzerlerine güneş ışınımı düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. PV modülün verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş panelinde mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur. Ancak kullanım süresi boyunca belirli aralıklarda elektriksel üretim verimleri düştüğünden ticari ömürleri 20-25 yıl olarak kabul edilmektedir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş paneli birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş paneli modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir (Çetinkaya, 2001).



Şekil 1.2. Fotovoltaik modül (Alan 0,648 m², kalınlık 40 mm ve kapasite 80 W) (Anonim, 2010a).

Jones ve Underwood (2001), zamanla değişen sıcaklıkların da etkisini dikkate alarak PV modül üzerindeki sıcaklık profilini incelemiştir. Bulutlu ve güneşli günlerde yapılan deneyler sonucunda ortalama 25 °C ortam sıcaklığı için PV sıcaklığının 27 °C ile 52 °C arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Elektriksel verimin düşmesinde en büyük etkenler absorber plaka üzerindeki güneş hücrelerinin toplam absorber alana oranı (PF), ardışık iki hücre arasındaki direnç kayıpları ve modül sıcaklığıdır. PV sistemlerde meydana gelen bu kayıplar neticesinde, bu kayıpları azaltmak amacıyla PV nin soğutulması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda PVT sistemler geliştirilmiştir.

PVT sistemler, PV modüllerin ve geleneksel sıcak su/hava üreten kolektörlerin tek bir panelde toplanmış halidir. PV panel üzerine düşen ışınlık miktarının % 80'den fazlası elektrik enerjisine dönüştürülemede ve kullanılamayan bu ışınlık miktarı ya yansıtılmakta ya da ısıll enerjiye çevrilmektedir. Bunun sonucunda PV modülün yüzey sıcaklığı artar ve genellikle PV veriminde düşüş meydana gelir. PV sistemlerde çıkış gücü; ışınlık miktarına, rüzgar hızına ve çalışma sıcaklıklarına bağlıdır. PVT sistemlerde öncelik, artan çalışma sıcaklığına bağlı olarak azalan PV verimini arttırmaktır. PV sistemlerde her 1°C sıcaklık artışına karşılık PV verimi % 0.4-0.5 arasında düşer. Bu düşüşü önlemek için yüzeyden bu ısıyı çekmek ve çalışma sıcaklığını optimum düzeyde tutmak gereklidir. Bu ısıyı çekmek için güneş panelinin alt kısmında bir akışkan dolaştırılır. Genellikle akışkan olarak hava veya su tercih edilir. Bu yolla PV panel yüzeyindeki fazla ısı akışkana ısıll enerji olarak depolanır ve kullanılabilir hale getirilir (Tiwari ve Dubey, 2010).

Bu tez çalışmasının amacı, fotovoltaik modüllerde meydana gelen elektriksel verim kaybının giderilmesine yönelik bir PVT kolektör kullanılması ve bu kolektörden elde edilen verilerin standart PV modüllere göre avantaj ve dezavantajının belirlenmesidir. Çalışmada öncelikle ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli, güneş enerjisinden enerji elde edilmesine yönelik uygulamalar ve fotovoltaik modüllerde

elektriksel verim kaybının nedenlerine yönelik bilgiler giriş bölümünde verilmiştir. PVT sistemler üzerine yapılmış bir çok araştırma ve kitaplar incelenmiş ve kaynak araştırması bölümünde sunulmuştur. Materyal ve yöntem bölümünde fotovolttaik panellerin iç yapısı, çalışma prensibi ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiş, PVT kolektörlerin çeşitleri, yapısı, uygulama alanları incelenmiş, PVT kolektör sisteminin denge denklemleri çıkarılmıştır. Ayrıca, PV modül ve PVT kolektörün elektriksel ve ısı olarak karşılaştırılmasının yapılması amacıyla kurulan deney düzeneği, düzeneğin ekipmanları ve çalışma prensipleri hakkında da bilgiler verilmiş, kullanılan formüller yazılmıştır. Konya ili şartlarında yapılan deney sonuçları, elektriksel ve ısı performans olarak iki bölümde detaylı olarak incelenmiş ve araştırma sonuçları bölümünde açıklanmıştır. Ayrıca sistemin ekonomik, belirsizlik ve ekserji analizleri de yapılmış ve bu bölümde belirtilmiştir. Son olarak TRNSYS simülasyon programı kullanılarak PVT-su kolektörün 2011 Temmuz ayı için simülasyonu yapılmış ve deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, TRNSYS programı ile PVT-hava kolektörün de 2011 Temmuz ayı için simülasyonu yapılmış ve PVT-su kolektör ile karşılaştırılmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde yapılan tez çalışması değerlendirilmiş, ortaya çıkan ürünün ticari uygulamalardaki avantaj ve dezavantajları belirtilerek tez çalışması tamamlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

PVT sistemler üzerinde yapılan teorik ve deneysel çalışmaların en önemlileri son 35 yılda yapılmıştır. Bu çalışmalar temel olarak 2 ana kategoride incelenecektir.

2.1. PVT-Hava Kolektörler

PVT-hava kolektörler, PV soğutma işleminde akışkan olarak havanın kullanıldığı kolektörlerdir.

Florschuetz (1979) PV-ısı sistemlerin analizi için Hottel-Whiller modelinin genişletilmesini önermiştir. Bu genişletilmiş model, ısı ve elektrik hibrit kolektörlerin, tasarım parametrelerinin bir fonksiyonu olarak sunulmuş ve tartışılmıştır. Hottel-Whiller metodu, düz toplayıcılarda absorber yüzeyde kazanılan faydalı enerjinin bulunması için kullanılan bir metottur.

Raghuraman (1981) tarafından PV hücrelerden oluşan üst absorber ve siyah ısı absorberden oluşan alt absorber arasındaki hava akışı incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda ısı verim %42 olarak bulunmuştur.

Loferski ve ark. (1982) tarafından her bir PV hücresinin arkasına kanatçık monte edilmiş PVT-hava sisteminin raporunu sunmuşlardır. Kanatçık kullanımının, kanatçık kullanılmayan hücrelere göre yüzey alanından dört kat, ısı veriminde ise iki kat artış sağladığını belirtmişlerdir.

Hendrie (1982) havayla olan ısı transferinin önemini vurgulamak için, Spectrolab PVT kolektörlerde yaptığı ölçümlerde, ortalama akışkan sıcaklığının 28⁰C, hücre sıcaklığının 74 ⁰C olduğunu belirtmiştir.

Cox ve Raghuraman (1985) düz levha PVT-hava kolektör tasarımı için, güneş ışığının yutulma miktarını arttırmak ve kızılötesi ışınlamaların girişini azaltmak amacıyla bir bilgisayar simülasyonu gerçekleştirmişlerdir.

Prasad ve Saini (1991) yapay olarak pürüzlülüğü artırılmış absorber plaka ve kanal duvarları ile solar kolektörün ısı transfer miktarının artırılabilceğini rapor etmiştir. Ancak duvar ve absorber plakanın yüksek pürüzlülüğünün daha yüksek bir sürtünme katsayısına neden olacağını ve bu nedenle daha yüksek güçte pompa gerekeceğini de belirtmişlerdir.

Garg ve ark. (1994) güçlendirici düzlem reflektörler kullanılan PVT kolektörler için teorik çalışmalar sunmuşlardır. Bu sistem, fotovoltaiik modüllere monte edilmiş düz

plaka kullanılan güneş hava ısıtıcı ve kolektör ünitesinin altına monte edilmiş iki düzlem reflektörden oluşmaktadır.

Takashima ve ark. (1994) aralarında boşluk olan PV paneli ve ısı kolektör yerleştirilen bir PVT sistemi, etkili bir soğutma elde etmek için önermişlerdir.

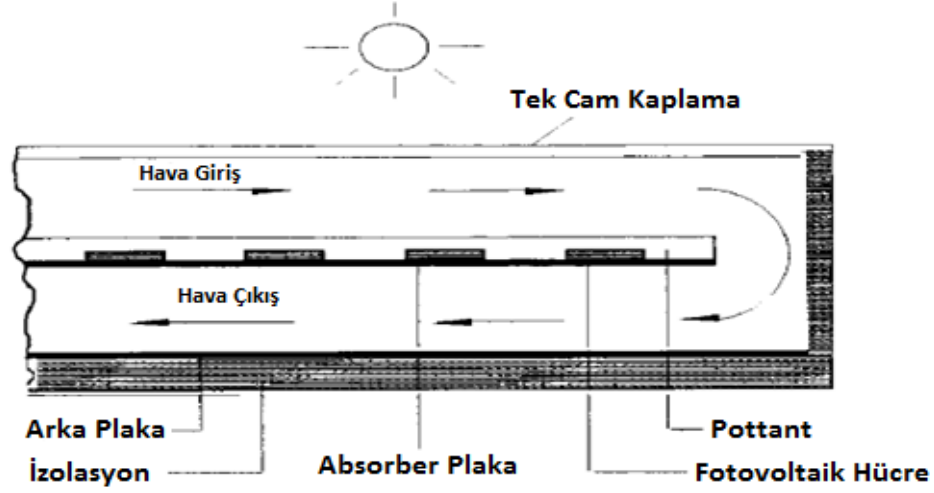
Sopian ve ark. (1996) tek kanallı ve çift kanallı hava soğutmalı PVT sistemlerin ısı analizini sunmuşlardır. Analiz sonucunda çift kanallı yapının üstün performans sağladığını ortaya çıkarmışlardır. Tek kanallı ve çift kanallı PVT-hava kolektörlerinin ısı verimleri arasındaki farkın %10 civarında olduğunu belirtmişlerdir. Çift kanallı ısı kolektördeki hava akışının absorbladığı ısı enerjinin tek kanallı kolektöre nazaran daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Böylece çift kanallı PVT-hava kolektörün ısı verimi, tek kanallı PVT-hava kolektöre göre daha fazla olmuştur. Çift kanallı PVT-hava kolektöründe akan havanın hücrelerden absorbladığı ısı enerji, tek kanallı yapıdaki havaya nazaran daha fazla olduğundan, çift kanallı PVT-hava kolektörünün elektriksel veriminin tek kanallı PVT-hava kolektörüne nazaran daha yüksek olduğunu da belirtmişlerdir.

Garg ve Adhikari (1999) tarafından PVT-hava kolektörü, bilgisayar simülasyonu kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda hücresiz absorberin ısı veriminin hücre kaplanmış absorberden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Nedenini ise absorber üzerine düşen ışının bir kısmının elektriğe çevrilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Pottler ve ark. (1999) PVT-hava kolektörlerdeki absorber geometrisinin optimizasyonunu araştırmışlardır. Kanatçıklar arasındaki mesafenin 5 ile 10 mm arasında olması gerektiğini rapor etmişlerdir. Optimize edilmiş bir absorber geometrisinde kolektörün termal veriminin % 77'ye kadar çıktığını bulmuşlardır. Kanatçıklar arası mesafenin azalmasının basınç kaybını arttırdığını savunmuşlar ve bu faktörün kolektör dizaynında dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Sopian ve ark. (2000) solar kurutma uygulaması için çift geçişli bir PVT-hava kolektörü geliştirmişlerdir(Şekil2.6). Tasarımda solar hücreler cam kaplama ve absorber plaka arasına yerleştirilmiştir. Sistemin çalışma şekli ise şu şekilde tasarlanmıştır. Hava ilk önce cam kaplama ve fotovoltaik panel arasından girip sonra fotovoltaik panel ile absorber plaka arasından geçerek dışarıya çıkmaktadır. Bu durum ısı kayıplarını minimize etmiş ve kolektörün ısı veriminin artmasını sağlamıştır. Bu sistemin 87 kg/h hava debisinde ısı verimi % 52 elektriksel verimi ise %12 olarak bulunmuştur. Hava

kanalının ısıl performansını arttırmak için bazı basit modifikasyonlar kullanılmış ve bu durumun PVT-hava kolektöründen ısı çıkışını arttırmaya yardımcı olacağı belirtilmiştir.



Şekil 2.6. Çift geçişli PVT-hava kolektörün şematik diyagramı (Sophian ve ark., 2000)

Lee ve ark. (2001), Cow ve ark. (2003) hava soğutmalı PV modüller üzerinde önemli modelleme sonuçları tanımlamışlardır. Bu sonuçlara göre PVT sistemde Ağustos ayında %52'lik ısı kazancı ve yıllık ortalama %10.2 elektriksel verim bulmuşlardır.

Tripanagnostopulos ve ark. (2002) PV'nin elektriksel verimine sıcaklığın etkisini bulmak için hibrit PVT kolektörün deneysel modellemesini yapmışlardır. Güçlendirici diffüz reflektör kullanımının elektriksel ve ısıl performansı arttırdığını belirtmişlerdir. Yapılan deney sonuçlarına göre her 1 °C sıcaklık artışında elektriksel verimde %0,1 oranında azalma meydana geldiğini fakat diffüz reflektör kullanıldığında bu düşüşün %0.0814-0.0957 arasında olduğunu bulmuşlardır. Gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında TRNSYS simülasyon programında PVT-hava ve PVT-su kolektör karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda PVT-su ve PVT-hava kolektörlerin elektriksel verimleri sırasıyla %11 ve %10 olarak bulunmuştur. PVT-su kullanımının PVT-hava ya göre hem kullanım alanı genişliği hem de elektriksel verim yönünden daha yüksek olması nedeniyle PVT-su kolektör kullanımının daha uygun olduğu belirtilmiştir.

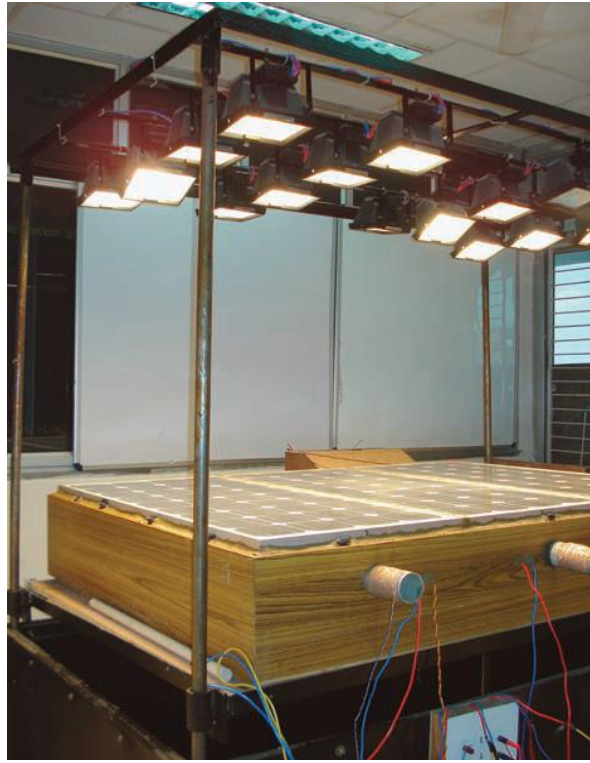
Othman ve ark. (2005) çift geçişli kompresör soğutmalı ve kanatçıklı PVT kolektör prototipi tasarlamışlar, imal ve çalışma koşulları üzerinde performans araştırmaları yapmışlardır. Sonuçlar; hibrit PVT modülünde, hava akış sıcaklığının artmasıyla elektrik üretiminin azaldığı, CPC ve kanatçıkların eş zamanlı kullanımının

enerji üretimini ve fotovoltaik panelin elektriksel verimini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Joshi ve Tiwari (2007) tarafından, paralel plakalı ve hava soğutmalı PVT kolektörlerin performans ve ekserji verimliliği Hindistan'ın Srinagar şehrinde bir yıllık alınan ölçüm değerlerinde yapılmıştır. Sonuçlar, PVT kolektörün anlık enerji ve ekserji veriminin %55-65 ve %12-15 arasında değiştiğini göstermiştir.

Aste ve ark. (2008) hava soğutmalı PVT kolektörün simülasyon modeline ait araştırma ve geliştirme programı çerçevesinde yaptıkları deneysel ve teorik analizlerin sonuçlarını sunmuşlar ve binaya entegre PVT kolektörlerde 18 Mayıs günü için ortalama %40 ısı verim ve gün içinde ortalama %9-10 elektriksel verim bulmuşlardır.

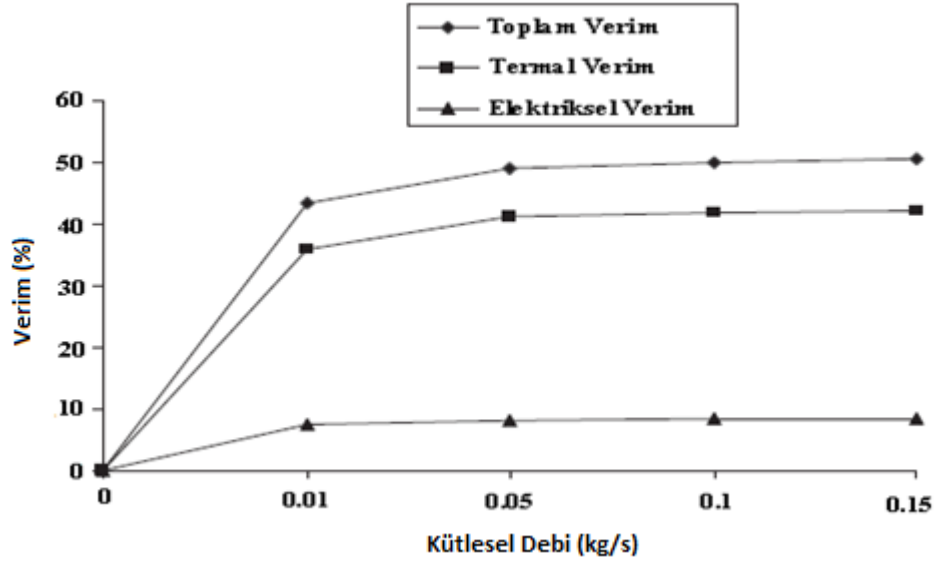
PVT hava kolektörleri için iç ortam test simülasyon işlemi Solanki ve ark. (2009) tarafından geliştirilmiştir. Şekil 2.1'de bu PVT kolektöre ait test simülatörü görülmektedir.



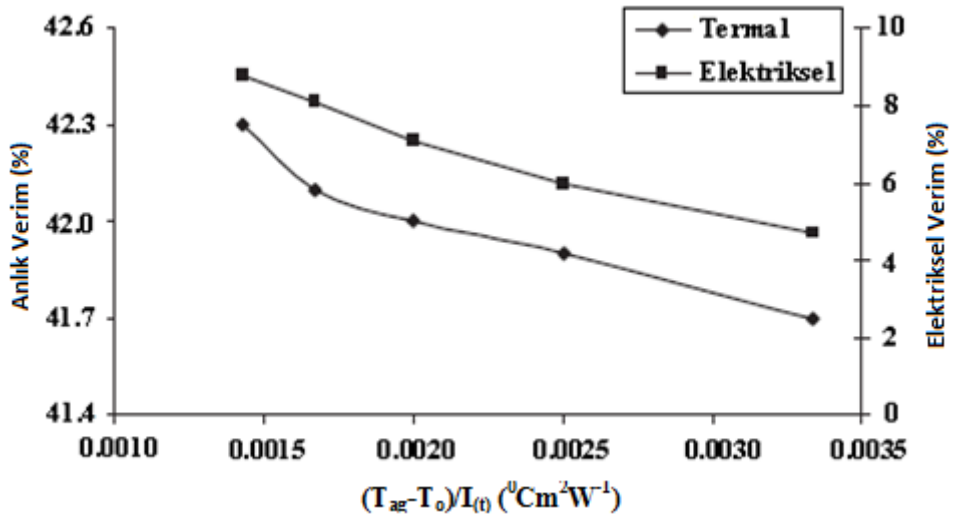
Şekil 2.1. PVT-su ısıtıcısı simülatörü(Solanki ve ark., 2009)

İç ortam koşullarında ısı, elektrik ve ortalama verim değerlerini hem teorik hem de deneysel olarak karşılaştırmışlar ve sırasıyla; %42, %8,4 ve %50 değerlerini bulmuşlardır. İç ortam simülasyonu sonuçlarında, kütleli debinin, 600 W/m^2 ısıtım değeri ve 38°C hava giriş sıcaklığı değerlerinde; ısı, elektriksel ve ortalama verim

üzerine etkisi Şekil 2.2’de, anlık verimin ve elektriksel verimin, $(T_{ag}-T_o)/I_{(t)}$ ile olan değişimi ise Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Denklemden, T_{ag} ; akışkan giriş sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T_o ; ortam sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), $I_{(t)}$; güneş ışınlamını (W/m^2) belirtir ve sıcaklık ile ışınlama bağlı kayıpları ifade eder. Şekil 2.2’de, kütleli debi arttıkça verim değerlerinin arttığını ve belli bir değerden sonra asimptot değere ulaştığı görülmektedir. Anlık verim ve ısı veriminin ise çevre sıcaklığı ile hava giriş sıcaklığı arasındaki fark arttıkça azaldığını göstermişlerdir.

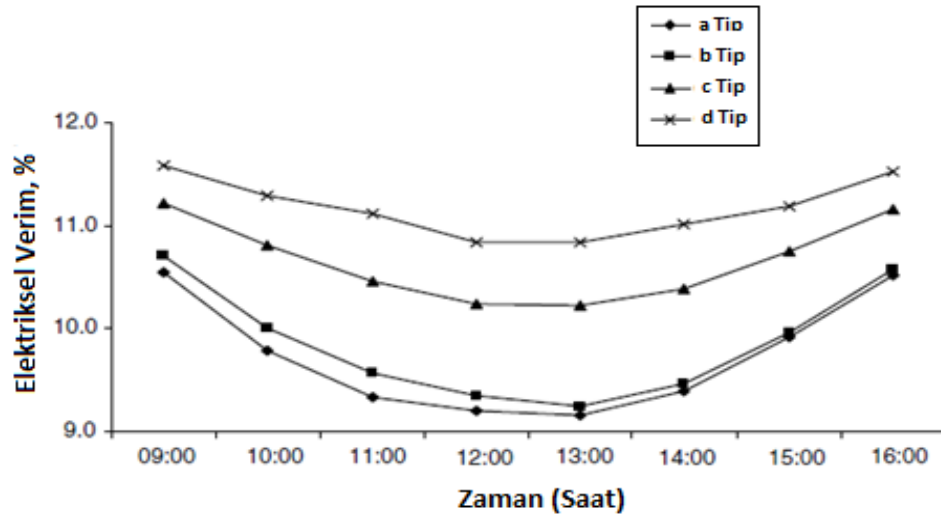


Şekil 2.2. 600 W/m^2 solar ışınlamda ve $T_{ag}=38^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, kütleli debinin; termal, elektriksel ve toplam verim üzerine etkisi (Solanki ve ark., 2009)

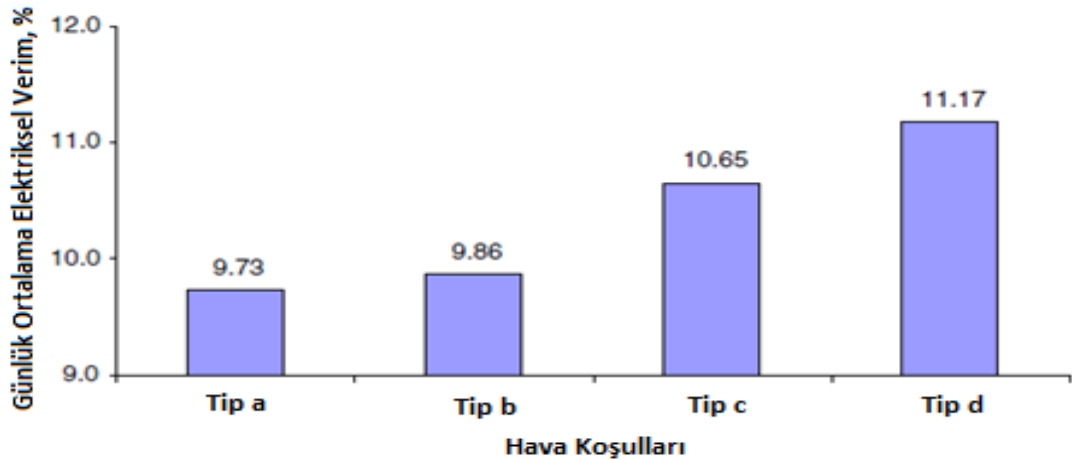


Şekil 2.3. Anlık verimin ve elektriksel verimin $(T_{ag} - T_o) / I_{(t)}$ ile değişimi (Solanki ve ark., 2009)

Dubey ve ark. (2009) PVT-hava kolektörün değişik konfigürasyonlarında ki (Prototip A-kanallı cam-cam PV modül, Prototip B-kanalsız cam-cam PV modül, Prototip C-kanallı cam-tedlar PV modül, Prototip D-kanalsız cam-tedlar PV modül) verim değerlerini rapor etmişlerdir. Tüm prototipler içerisindeki en yüksek verimi A prototipinde elde etmişlerdir. A ve B prototipindeki anlık ortalama verim değerlerini sırasıyla %10.41 ve %9.75 olarak bulmuşlardır. Dört prototipten elde edilen günlük ortalama elektriksel verim değerleri Şekil 2.4 ve 2.5'te belirtilmiştir.



Şekil 2.4. A, B, C, D prototiplerinin saatlik elektriksel verim değişimi (Dubey ve ark., 2009)



Şekil 2.5. A, B, C, D prototiplerinin günlük ortalama elektriksel verim değerleri (Dubey ve ark., 2009)

Sarhaddi ve ark. (2010) PVT-hava kolektörleri üzerinde bir bilgisayar simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Yapılan simülasyonun sonucunda ısı verim %17.18,

elektriksel verim %10.01, toplam enerji verimi %45 ve ekserji verimi %10.75 olarak bulunmuştur.

Ratlamwala ve ark. (2011) entegre PVT absorpsiyon sistemini Birleşik Arap Emirlikleri iklim koşullarında soğutma ve hidrojen üretimi açısından incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda maksimum enerji ve ekserji verimlerini sırasıyla %15.6 ve %7.9 olarak Mart ayında elde etmişlerdir. Bunun yanında hidrojen üretiminin maksimum değerinin Ağustos ayında 9.7 kg olduğunu belirtmişlerdir. Son olarak Haziran ayında sistemin enerji ve ekserji STK değerlerini sırasıyla 2.28 ve 2.145 olarak 15 kW ılık soğutma yükü için bulmuşlardır.

Kumar ve Rosen (2011) hava kanallı çift geçişli PVT kolektörler üzerine yaptıkları çalışmada, kanatçıkların hava akış yönüne dik yerleştirilmesi durumunda ısı transfer hızının ve etkinliğinin arttığını ayrıca sistemden elde edilecek çıkış hava sıcaklığının, hücre sıcaklığının, ısı verimin ve elektriksel verimin, kolektör dizaynı, iklim ve çalışma parametrelerinin bir ölçüsü olduğunu göstermişlerdir. Diğer yandan kolektörde kullanılan kanatçıkların yüzey alanının genişletilmesiyle hücre sıcaklığının 82 °C den 66 °C ye düşürüldüğünü belirtmişlerdir.

Karima ve ark.(2012) tek geçişli hibrit PVT-hava kolektörün Irak iklim koşullarında hem termal hem de elektriksel performansını modellemişler ve simülasyon analizini yapmışlardır. Çıkarılan modelin Irak'ın Bağdat kentinde 22.01.2011 günü için ve Felluce kentinde 20.05.2011 günü için ısı ve elektriksel verim sonuçları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda 22.01.2011 günü için %12.3 elektriksel verim, %19.4 ısı verim ve %53.6 toplam kolektör verimi, 20.05.2011 günü için %9 elektriksel verim, %22.8 ısı verim ve %47.8 kolektör toplam verimi bulunmuştur.

Agrawal ve ark. (2012) PVT-hava kolektör dizaynı ve deneysel analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada deneysel ve teorik sonuçlar arasında 0.96 kolerasyon katsayısı ve karekök 7.9 yüzde sapma ile belirgin bir uyum olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca yeni tasarladıkları PVT-hava kolektöre ait deneysel bulgular sonucunda, PVT-hava kolektörün ısı ve elektriksel verimini sırası ile %35.7 ve %12.4 olarak bulmuşlardır.

2.2. PVT-Su Kolektörler

PVT-su kolektörler, PV soğutma işleminde akışkan olarak suyun kullanıldığı kolektörlerdir.

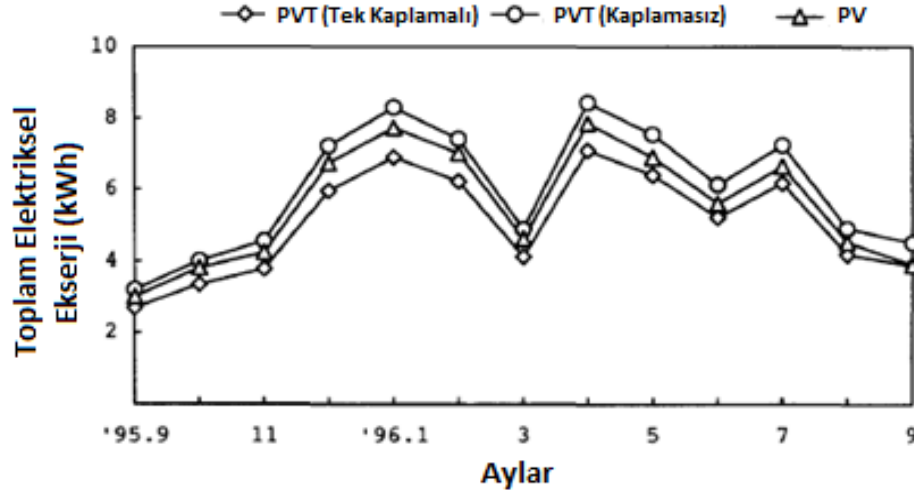
Martin Wolf (1976) sabit bir ısı kolektör içine bir dizi solar silikon monte edip, konut ısıtma için kurşun-asit pilini depolama elemanı şeklinde kullanarak analiz etmiştir. Bu ilk çalışma, düz yüzeyli PVT-su kolektörleri için yapılmıştır. Sistemin teknik olarak uygulanabilir ve düşük maliyetli olduğu sonuçlarına varmıştır. 1976'daki Martin Wolf'ün yaptığı öncü çalışmadan sonra PVT-su konusuyla, diğer gruplar ve araştırmacılar ilgilenmeye başlamışlardır.

Sandia'nın 1978 yılında MIT Lincoln Laboratuvarı ile ortaklaşa yaptığı çalışmada 3 adet tam boyutlu düz yüzeyli prototip PVT kolektörleri kullanmıştır. Bu kolektörler, ARCO (hem hava tip hem de su tip) ve Spectrolab (hava tip) tarafından üretilmiştir. MIT de bu kolektörler için yapılan testler sonucunda, kolektörlerin elektriksel veriminin %6.5 ve ısı veriminin %40 olduğu bulunmuştur (Hendrie,1982).

Prakash (1994) hem hava kütleli debisinin (100-300 kg/h) hem de su kütleli debisinin (40-120 kg/h) kullanıldığı durumlar için bir kanal tip PVT kolektör modellemiştir. Kanal derinliğinin 3 cm den 1 cm ye düşürülmesi durumunda ısı verimin; hava tip kolektörlerde 100 kg/h debide, %17 den %34 e çıktığını, su tipi kolektörlerde ise 40 kg/h debide, %50 den %64 e çıktığını belirlemiştir. Kanal derinliğinin 0.01 m olması durumunda, hava tip kolektörler için kütleli debinin 100 kg/h den 300 kg/h e çıkarılması durumunda ısı verimin %34 den %51 e arttığını, su tipi kolektörlerde ise debinin 40 kg/h den 120 kg/h e çıkarılması durumunda da ısı verimin %64 den %67 ye çıktığını belirlemiştir. Bu durum, debi değerinin artmasının verim artışı üzerine etkisi hava tipi kolektörlerde, su tipi kolektörlere göre daha fazla olduğunu göstermiştir.

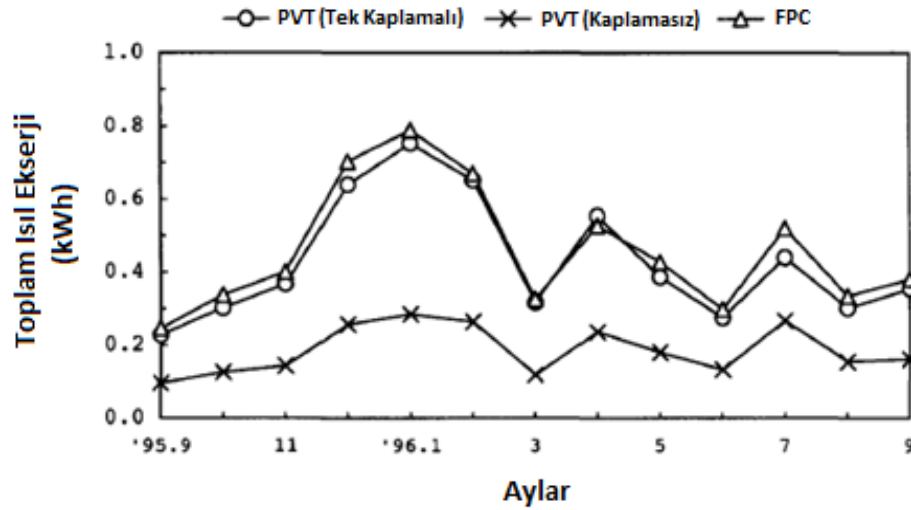
Garg ve Agarwall (1995), farklı hücre alanları ve debilerde PVT sistemini araştırmak için sonlu farklar yöntemini kullanmışlardır. Bu sistem depolama tankı, pompa, otomatik kontrol ve PV modüllerden oluşmuştur. Bu deneyin maksimum ısı verimindeki denenen iki farklı debide en iyi kütleli debisi 0.03 kg/s olarak bulunmuştur. Ayrıca bu debide ve maksimum izolasyon yapıldığında elektriksel verimin düştüğü ve minimum değere ulaştığı görülmüştür.

Fujiwa ve Tani (1997) ekserji analizini kullanarak PVT sistemin aynı standartlardaki elektriksel ve ısı enerjilerin karşılaştırmışlardır.



Şekil 2.7. Elektrik üzerine ekserjitik değerlendirme sonucundaki aylık yararlı enerji kazanım grafiği (Fujiwa ve Tani, 1997)

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi kaplamasız PVT kolektör de en fazla elektriksel ekserji üretiminin olduğu ve Şekil 2.8'de kaplamasız PVT kolektörün ısı ekserjisinin en düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedenini kolektörün üst kısmındaki ısı kayıplarından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.



Şekil 2.8. Isıl üzerine ekserjitik değerlendirme sonucundaki aylık yararlı enerji kazanım grafiği (Fujiwa ve Tani, 1997)

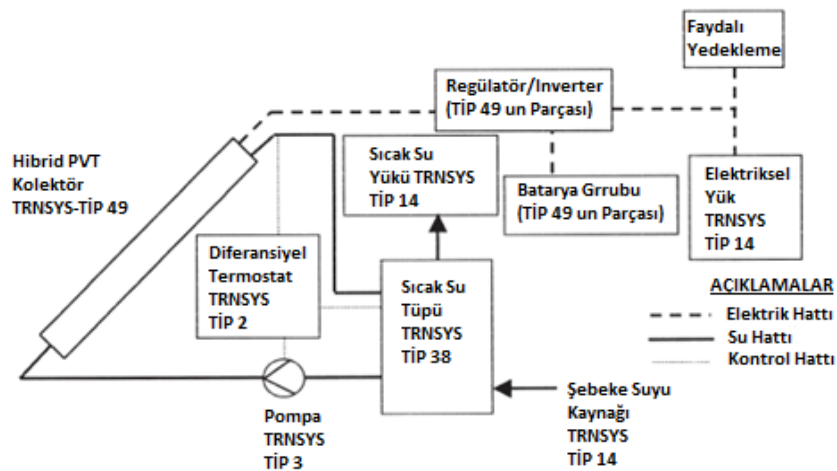
Isıl ekserjinin aylık değişim grafiği Şekil 2.8'de verilmiştir. Debinin PVT sistem performansı üzerine etkisi incelendiğinde, boru içindeki su hızının artmasının ısı transfer katsayısını arttırdığını göstermiştir

Ito ve ark. (1997) düşük ışınlım altında güneş enerjisi destekli ısı pompasının STK değerinin düşük olduğunu göstermişlerdir. Bunun nedenini de düz kolektörün

çevreden enerji elde etmek için optimize edilmemiş olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu problemi çözmek için 3.24 m² lik çok kanatçıklı buharlaştırıcı, 2.45 m² lik PVT absorber ile paralel olarak yerleştirilmiş ve düşük ışıyım koşullarında ısı pompasından 2 gibi düşük bir STK değeri elde edilmiştir. Ayrıca, kış ayında, gündüz saatlerinde 40 °C kondenser su giriş sıcaklığında bu sistemin STK değerinin 5.3 olarak elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Huang ve ark. (1999) sırsız, levha ve boru yapısına dayalı 2 adet PVT prototipi yapmışlardır. W/D oranlarını, 10 (alüminyum plaka ile bakır boru) ve 6.2 (haddelenmiş boru ve alüminyum plaka) almışlardır. Levha ve boru yapısının ısıl performanslarını yeterli derecede bulmamışlar ve polikarbonat çok kanallı yapı (W/D=1) kurmaya karar vermişlerdir. Tanktaki su ile PV arasında 4°C'lik fark bulunmuştur. M/A oranı 821 kg/m² için, %9'luk elektriksel verim ile %38'lik ısı verim elde edilmiştir.

Kalogirou (2001) tarafından TRNSYS programı kullanılarak bir PVT-su kolektör için sistem simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda Kıbrıs'ın meteorolojik verilerini kullanmışlardır. Sistem, sırasıyla PV paneller, akü grubu, sıcak su depolama tankı, pompa, fark termostadı ve inverterden oluşmaktadır (Şekil 2.9). Sonuçlar, sistemin optimum su debisinin 25 lt/h olduğunu göstermiştir. Ayrıca PVT kolektörde PV verimin yıllık ortalamasının %2.8 den %7.7'ye yükseldiğini ve buna ek olarak bir evin sıcak su ihtiyacının %49'unun bu sistem ile karşılanabileceğini ve bu veriler ışığında sistemin toplam veriminin yıllık ortalamasının %31.7 olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.9. Hibrit PVT sistem şematik diyagramı (Kalogirou, 2001)

Ji ve ark. (2003) binaya entegre PVT-su sistemlerini değişik hücre yapılarında ve Hong Kong şartlarında incelemişlerdir. Bununla ilgili olarak yaptıkları simülasyon çalışmalarının sonuçlarına göre, ince film hücre yapısına sahip PVT-su kolektörlerin elektriksel verimini %4.3 ve mono kristal hücre yapısına sahip PVT-su kolektörün hücre verimini %10.3 olarak, ısı verimlerini ise sırasıyla %47.6 ve %43.2 olarak bulmuşlardır. Ayrıca binada yaşayanlar için bu sistemin, sıcak su üretiminde ön ısıtma olarak kullanılabileceğini önermişlerdir. Diğer bir yandan bu sistemle, duvarlardaki ısının absorblanması sayesinde bina soğutmasının da yapılabileceğini belirtmişlerdir. Son olarak Hong Kong gibi alt tropik şehirlerde PVT sistemlerin geniş bir uygulama potansiyeli olabileceğini savunmuşlardır.

Elswijk ve ark. (2004) binalarda PVT kolektör kullanımının %38 oranında alandan tasarruf sağlayacağını belirtmişlerdir. Bu durumun çatıdaki ev başına düşen kullanılabilir alan açısından son derece önemli olduğunu, bu sistemlerin tek dezavantajı olan gölgeleme etkisinden dolayı PVT kolektörlerin eğim açısının, standart ısı kolektörlere nazaran daha düşük olmasının gerektiğini belirtmişlerdir.

Tripanagnostopoulos ve ark. (2005) su soğutmalı PVT sistemlerle ilgili çalışmalar yapmışlardır. Değişik tiplerdeki PVT-su kolektörlerin, Yunanistan'ın Patras ili iklim koşullarında yıllık enerji üretimini, elektriksel ve ısı verim değerlerini belirlemişlerdir. Sonuçlar, standart PV modülün, sırlı PVT ve sırsız PVT kolektörün yıllık toplam elektrik üretimini sırasıyla 203.15 kWh, 165.92 kWh ve 198.26 kWh olarak, toplam ısı enerji üretimini PVT kolektörler için sırasıyla 862.55 kWh ve 597.63 kWh olarak, elektriksel verimi sırasıyla %10.50, %8.57 ve %10.25 olarak ve PVT kolektörler için ısı verimi sırasıyla %44.58 ve %30.89 olarak bulmuşlardır.

Coventry (2005) yoğunlaştırılmış PVT kolektörlerin verimi üzerine çalışmalar yapmıştır. Yapılan çalışma sonunda ısı verimin %58 ve elektriksel verimin %11 civarında olduğunu, yaklaşık toplam verimin %69 olduğunu rapor etmiştir.

Ji ve ark. (2006) düz kutu tip alüminyum alaşımlı ısı absorber üzerinde su soğutmalı polikristal PV modüle sahip hibrit PVT kolektör yapmışlar ve test etmişlerdir. Test sonuçları, toplam verimin %40 ve elektriksel veriminde %9.87 olduğunu göstermiştir.

He ve ark. (2006) absorber ve PV modül arasında iyi bir ısı kontak oluşturulmasının sistemin hem ısı hem de elektriksel verimini arttırdığını belirtmişlerdir. Isı değiştiricideki kanatçık performansının toplam verimin artmasında çok önemli bir faktör olduğunu söylemişlerdir.

Fraisse ve ark. (2007) Fransa'nın Macon ilinde PV modüller üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda, cam kaplı PV modülün yıllık elektriksel verimini %6.8, camsız PV modülün yıllık elektriksel verimini %9.4 olarak bulmuşlardır. Camlı PV modülün elektriksel verim değerinin camsız PV modülün elektriksel verim değerine nazaran %28 düşük olmasının nedenini ise cam kaplama ile PV modül camı arasındaki sıcaklık yükselmesine bağlamışlardır.

Pacca ve ark. (2007) ince film ve polikristal PV paneller üzerinde çevresel performans analizi yapmışlardır. Bu analizler sonucunda enerji geri ödeme süresini ince film modüller için 3.2 yıl, polikristal modüller için ise 7.5 yıl olarak bulmuşlardır. Ayrıca CO₂ emisyonunu ise thin film modüller için 34.3 g CO₂/kWh ve polikristal modüller için 72.4 g CO₂/kWh olarak bulmuşlardır.

Chow ve ark. (2007) fotovoltaiik ve sıcak su kolektör sisteminin farklı çalışma durumlarındaki performansı ve farklı mevsimlerdeki ölçüm değerleri için deneysel olarak çalışmalar yapmışlardır. Sonuçlar; PVT sistemlerde, doğal dolaşımli sistemlerin zorlanmış sistemlere göre daha tercih edilebilir olduğunu göstermiş ve Hong Kong'da yaz aylarının sonunda yapılan deneyde sıfıra indirgenmiş sıcaklıktaki termal veriminin %38.9 ve buna karşılık gelen elektriksel verimin de %8.56 olduğunu göstermiştir.

Ji ve ark. (2007) doğal sirkülasyonlu bir PVT-su kolektörü yapmışlardır. Deney sonuçları bu sistemin %65 e varan enerji kazanımı sağladığını göstermiştir. Ayrıca bu sistem için yapılan simülasyon sonuçları, yüksek doluluk oranı (packing factor) ve sır geçirgenliğinin toplam sistem performansını iyileştirdiğini göstermiştir.

Erdil ve ark. (2008) PVT sistemden enerji üretimi için Kuzey Kıbrıs iklim şartlarında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Normalde bir evin ihtiyacının yaklaşık 10 m² toplam alana sahip, yani günlük üretimi 7 kWh elektrik enerjisi olan fotovoltaiik panellerle sağlanabileceğini belirtmişler ancak deneyi iki adet 0.6 m² lik PVT-su kolektörlerle yapmışlardır. PVT kolektörlerde kolektör üzerine düşen ışıının önemli bir miktarının ısı enerjisine dönüştüğünü ve bu enerjinin kullanım veya mahal ısıtma sistemlerinde suyun ön ısıtılması için kullanılabileceğini söylemişlerdir. Kullanılan PVT sistemden günlük 2.8 kWh ısıl enerji elde etmişlerdir.

Chow ve ark. (2009) yapmış oldukları bilgisayar simülasyonları sonucunda BIPVT-su kolektörlerin klasik PV sistemlere nazaran daha fazla ekonomik avantaj sağladığını ve sistemdeki sıvı için tabi dolaşımın zorlanmış dolaşıma göre daha iyi ısıl performans sağladığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca yıl bazında Hong Kong şartlarında

BIPVT-su kolektörün ısı verimini ve elektriksel verimini sırasıyla %37.5 ve %9.39 olarak bulmuşlardır.

Chow (2010) boru içindeki akış miktarının 0.002 kg/s den 0.016 kg/s ye çıkması durumunda elektriksel ve ısı verimin arttığını göstermiştir.

He ve ark. (2011) aynı alana sahip PVT kolektör ile standart termosifonik solar kolektörü ve PVT kolektörde kullanılan PV modül ile aynı özelliklere sahip bir fotovoltaik paneli verimlilik açısından deneysel olarak incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda PVT kolektörün ısı verimini %40, termosifonik solar kolektörün ısı verimini %75 olarak bulmuşlardır. PVT kolektöre ait elektriksel verim %10 ve PV modülün elektriksel verimi yaklaşık %13 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin yanında PVT kolektörün birincil enerji kazanım veriminin, standart solar kolektör ve standart PV panele nazaran daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

PV soğutucular ve aktif soğutmalı PVT soğutucular üzerinde Arizona State Üniversitesinde TRNSYS programı kullanılarak araştırma ve modelleme yapılmıştır. Bu çalışma, düz yüzeyli PVT kolektörleri de içerecek şekilde genişletilmiştir ve bu PVT'nin ısı modeli TRNSYS programı içerisinde TYPE 50 adıyla yer almaktadır.

İbrahim ve ark.(2011) PVT kolektörlerin avantajları üzerine yaptıkları çalışmada, değişik özellik ve dizaynlarda düzlemsel güneş kolektörleri için karşılaştırma yapmışlar ve elde edilen bulguları yorumlamışlardır. Bu karşılaştırmalar neticesinde düzlemsel güneş kolektörleri içinde boru ve levhadan dizayn edilen sistemin, kanallı, serbest akışlı ve iki absorberli gibi dizaynlara nazaran üretiminin daha kolay olduğu ancak verimsel olarak %2 mertebesinde daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Wu ve ark. (2011), vakum tüplü PVT kolektörlerin performans değerlendirmesi üzerine yaptıkları teoriksel çalışmada ϵ -NTU yöntemini kullanarak PVT sistemin toplam ısı, elektriksel ve ekserji verimlerini sırasıyla %63.65, %8.45 ve %10.26 olarak bulmuşlardır.

Charalambous ve ark. (2011) PVT kolektörlerde kullanılan absorber plakaların optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, PVT kolektörde kullanılan absorber plaka kalınlığının ince olmasını (örneğin 50 μ m) ve m² başına 1.185 kg ile 2.14 kg arasında, ara mesafesi 62 ile 64 mm ve iç çapı 1.65 mm olan küçük boru kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Ayrıca tavsiye edilen optimum absorber plaka kalınlığının, diğer araştırmacılar tarafından tavsiye edilen prototiplere göre %40.5 daha az malzeme içerdiği ve daha hafif olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak optimum değerlerde

yapılmış bir PVT kolektörün elektriksel ve ısı performans açısından optimum olmayan daha büyük kütleli ve pahalı sistemlerle kıyaslanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Gang ve ark. (2011) vakum tüplü PVT kolektörler üzerine yaptıkları çalışmada sistemin günlük ısı ve elektriksel verimlerini sırasıyla %41.9 ve %9.4, ortalama ısı ve elektriksel kazancını sırasıyla 276.9 W/m^2 ve 62.3 W/m^2 , ikinci yasa verimini (ekserji verimini) de %6.8 olarak bulmuşlardır.

Dupeyrat ve ark. (2011) Fraunhofer solar test tesisinde gerçek boyutlarda PVT kolektör imal edip denemişlerdir. Deney sonuçlarına göre PVT kolektörün genel verimini %87.7 (%79 ısı verim, %8.7 elektriksel verim) olarak bulmuşlardır.

Kanchan ve ark. (2012) bir odanın çatısına yerleştirilen binaya entegre yarı şeffaf fotovoltaiik/ısı kolektörün enerji ve ekserji performansını incelemişlerdir. Karşılaştırmalar altı farklı yapıda PV modülü baz alınarak enerji ve ekserji performansı bazında yapılmıştır. Sonuçlara göre maksimum yıllık elektriksel enerji 810 kWh ile bir kristal silisyum hücrenin (c-si) üzerine amorf silisyum hücrenin (a-si) yerleştirilmesi ile oluşan yapıdan (HIT şeklinde bilinir) elde edilmiştir. Maksimum yıllık ısı enerji ise 464 kWh ile amorf silisyum hücre yapısından elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre HIT yapının elektrik üretimi için, a-si hücrenin ise mahal ısıtma için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak yıllık toplam ısı enerji (2497 kWh) ve ekserji (834 kWh) değerlerinin HIT yapıda maksimum olduğu sonucuna varmışlardır.

Yapılan literatür araştırmalarında genel olarak PVT-su veya PVT-hava sistemlerinin ısı ve elektriksel verimlerinin bulunmasına yönelik çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Aynı şekilde bu araştırmalar sonucunda PVT-hava kolektör için genellikle elektriksel ve ısı verimin artırılmasına yönelik değişik absorber tasarımları üzerinde durulmuş ve birkaç değişik tasarımın kendi aralarındaki performans değerlendirilmeleri yapılmıştır. Bununla beraber PVT su kolektörler için absorber tasarımları üzerine yapılmış makale sayısı oldukça azdır. PVT-su kolektörler için genel olarak çeşitli bölgelerin iklim şartlarındaki sistem performansları incelenmiştir. Bunların yanı sıra her iki tip kolektör için de standart PV modül ve ısı kolektörle birlikte verim karşılaştırılmasına yönelik yapılan çalışma sayısı da yukarıda bahsedilen çalışmalara nazaran daha düşük kalmaktadır. Bu bakımdan yapılan bu tez çalışmasının, deneysel olarak PVT-su kolektör ile PV modülün karşılaştırılması, PVT-su ve PVT-hava kolektörlerin simülasyon değerlerinin karşılaştırılması ve PVT-su kolektörün deneysel sonuçlarının, simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılması açısından geniş bir yelpaze de değerlendirilme yapılması başlıca özgünlüğüdür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. PV sistemler

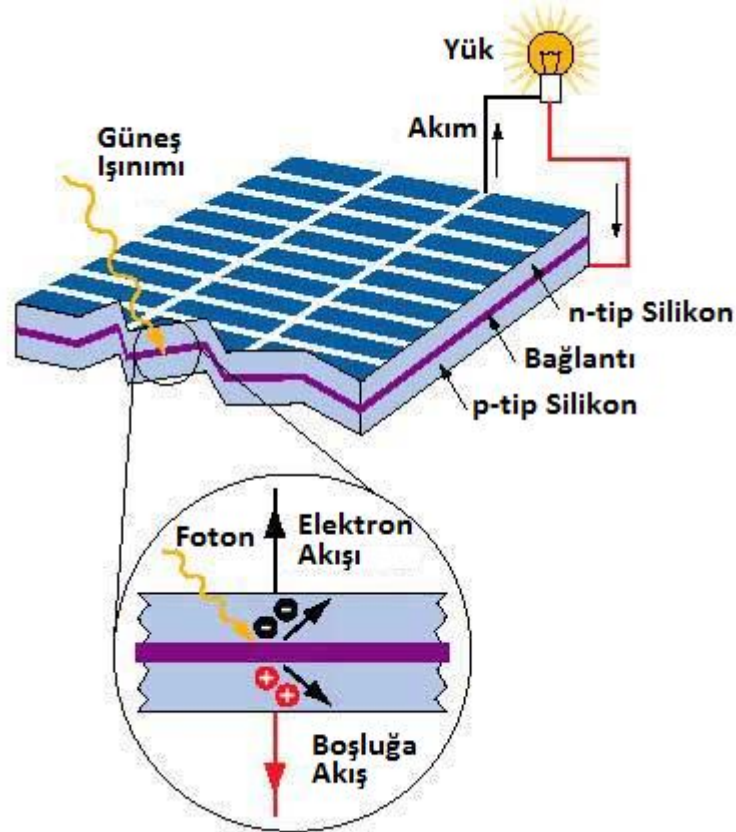
PV sistemlerde, hücrenin çeşidine göre artan sıcaklık değerlerinde, üretilen elektrik enerjisindeki düşme oranı değişir. Mono kristal (c-Si) ve polikristal (pc-Si) silisyum hücrelerde, sıcaklık değerindeki her 1°C'lik artış, üretilen elektrik değerinde %0.45'lik düşüşe neden olur. İnce film hücrelerde (a-Si) bu düşüş değeri %0.25'tir (Tripanagtopulos ve Kalogirou, 2006).

Hibrit fotovoltaik solar sistemlerde, PV modül sıcaklığındaki azalma, kullanılabilir akışkan enerjisiyle birlikte sağlanabilir. Böylece PVT sistemler, solar ışıyım yutucunun, yüksek enerji dönüştürme miktarı sayesinde hem elektrik hem de ısı enerjisi aynı anda üretir. Bu sistemler, PV modülün ve PV modül sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerlerine sahip, hava veya su gibi akışkanların birlikte çalışmasıyla, aynı anda bu akışkan ısısının artmasını ve PV modülün sıcaklığının düşmesini içerir. PVT sistem uygulamalarında, temel öncelik PV den üretilen elektriktir. Bu nedenle, PV hücrelerinin elektriksel verimlerinin yeterli seviyede olması için PV modülün düşük sıcaklık değerlerinde çalışması gerekir. PV modüllerden ısı atmak için, doğal veya zorlanmış hava sirkülasyonu uygulaması basit ve daha az maliyetli bir metottur fakat ortam sıcaklığı 20 °C den yüksek ise etkinliği azdır. Bu düşük etkinliği ortadan kaldırmak için PV modülün arka yüzeyine yerleştirilmiş bir ısı değıştiricisinden suyun sirküle ettirilmesi ile bu fazla ısının atılması gerekir (Tripanagnostopoulos ve Kalogirou, 2006).

3.1.1. Fotovoltaik paneller (Güneş panelleri)

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde karşımıza çıkan fotovoltaik (photovoltaic) terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle “PV” ile gösterilir. Güneş panelleri, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışıyık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olup enerjiyi depolayamazlar (Şenol, 2005). Güneş panelleri fotovoltaik ilkelere dayalı olarak üzerine düşen enerjiyi elektriğe dönüştürürler. Yarıiletken malzemeler üzerine ışıyık düştüğü zaman uçlar arasında bir potansiyel fark oluşur. Malzeme uçları bir dış devreye bağlanarak elektrik üretimi sağlanır.

Fotovoltaik etki, güneş ışınımı bir yarıiletken tarafından soğurulduğunda oluşur. Fotonların enerjisi, yarıiletkenin valans bandındaki elektronlara aktarılır. Valans bandındaki elektronların iletim bandına yükseltilmesi sonucunda elektron-hol çifti oluşur. Sadece yarıiletkenin yasak band enerji aralığını aşan enerjilere sahip fotonlar bu olayda etkili olabilir. Yarıiletken bant aralığı küçükse; fotovoltaik sistemin uçları arasında oluşan potansiyel farkı küçük, dış devre akımı büyük olur (Küpeli, 2005). Şekil 3.1’de fotovoltaik etki görülmektedir.



Şekil 3.1. Fotovoltaik panel çalışma prensibi (Anonim, 2012a)

3.1.2. Fotovoltaik paneller de kullanılan hücre tipleri

Tek Kristalli Silisyum Fotovoltaikler: Fotovoltaik panel üretiminde yüksek verimli olduğu için kullanılan malzemelerden biridir. Elektrik, optik ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojilerinin gelişmesine bağlı olarak bu malzeme popülerlik kazanmıştır. Saf silisyum elde edilmesi zor ve maliyetli olmaktadır. Bu bakımdan üretim maliyetleri yüksek olmaktadır. Çeşitli uygulamalar için n- tipi ve p- tipi olarak katkılanırlar. Katkı maddesi olarak Arsenik,

Bor, Galyum, Fosfor ve Alüminyum kullanılır. Laboratuvar şartlarında %38, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir (Anonim, 2010b).

Çok Kristalli Silisyum Fotovoltaikler: Çok kristalli malzemede damarların kristal yapılarının yönlenmeleri dışında elektrik, optik ve yapısal özellikleri özdeştir. Damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Elektriksel yük değişikliklerinin aktarılmasında damarlar (akım yolları) arasında süreksizlik önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Elektriksel özelliklerin küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olması tek kristalli malzemeler ile karşılaştırıldığında verimin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra çok kristalli malzemelerin üretim teknolojiler basittir ve maliyetleri de önemli ölçüde küçüktür (Anonim, 2010b).

Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıktaki ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal silisyum bloklarından üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verimleri daha düşük olmaktadır. Verim laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır (Anonim, 2010b).

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 verim elde edilmektedir. Diğer yarı iletkenler ile oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır (Anonim, 2010b).

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu silisyum pillerinden elde edilen verim %10 dolaylarında, ticari modüllerde ise %5-7 düzeyindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2010b).

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çok kristal yapıda bir malzeme olana CdTe güneş paneli maliyetlerinin çok aşağılara çekilebileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir (Anonim, 2010b).

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında %17.7, enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10.2 verim elde edilmiştir (Anonim, 2010b).

Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarda modül verimi %17'nin hücre verimi ise %30'un üzerine çıkarılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemelerden yapılmaktadır.

Fotovoltaikler üzerine günümüzde çalışmalar hız kazanmıştır. Özellikle verimlerinin artırılması konusunda çalışmalar mevcuttur. Concentrix firması ışığın yoğunlaştırılması ve güneş panelinin konumlandırılmasıyla gösterilen özenin de yardımıyla, modül verimliliğinde %26'nın üzerinde sonuç elde etmiş. Ayrıca Flatcon teknolojisiyle daha önce sadece uzayda kullanılan yüksek verimli güneş enerjisi panellerini yeryüzünde kullanmak için ilk adımı atan firma olmuş. Bu güneş panelleri günümüz ölçülerine göre dikkat çekici şekilde %35'lik bir verimlilik düzeyine ulaşabilmektedir (Anonim, 2010b).

ABD Enerji Bakanlığı Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvar'ındaki (NREL) bilim insanları üzerine düşen ışığın %42.3'ünü elektriğe dönüştüren bir fotovoltaik aygıt geliştirdiklerini duyurdu (Anonim, 2010c).

Solar Junction firması Nisan-2011 de yaptığı açıklamada, NREL tarafından açıklanan PV verim rekorunu %1.2 daha geliştirerek %43.5 elektriksel verime ulaşıldığını belirtmişlerdir (Anonymous, 2012b).

3.1.3. Türkiye de fotovoltaik panel fiyat değişimleri ve üretim durumu

Ülkemizde fotovoltaik panel üretim tesislerinin 4 yıl öncesine kadar olmayışı, ürünlerin tamamının yurt dışından tedarik edilmesine ve yurt dışı fiyat politikasına bağlı kalmamıza neden oluyordu. Son 1.5 yıldır özellikle Avrupa ülkelerinde meydana gelen ekonomik krizler; hükümetlerin yenilenebilir enerjiye vermiş oldukları teşvikleri düşürmesine veya tamamen kaldırmasına, bu durumun da hücre ve modül üreticilerinin elinde ürün stoklarının artmasına ve dolayısı ile hücre ve modül fiyatlarının düşmesine neden olmuştur. 2010 yılının başlarında ülkemizde fotovoltaik modüllerin watt başı maliyetleri 2.9 € civarında iken 2012 yılı Ağustos aylarında bu maliyetler 0.7 €/W değerlerine kadar düşmüştür.

Ülkemizde PV modül üretimi sadece hücre laminasyonu ile sınırlı kalmıştır. Yurt dışından, özellikle Çin ve Taiwan dan alınan hücreler birleştirilip lamine edilerek modül oluşturulmaktadır. Ülkemizde toplamda 3-4 firma bu şekilde üretim yapmaktadır. Ancak özellikle modül üretim kapasiteleri noktasında Çin de ki firmaların yıllık 600 MW ile 1 GW arasında kapasitelerde üretim yapması, ülkemizdeki firmaların

maksimum yıllık kapasitelerinin 30 MW olması, işletme giderleri açısından önemli farklar oluşturmaktadır. Diğer yandan Çin de ki firmaların hücre tedarikinde sorun yaşamaması, ülkemize gelen hücrelerin gümrük ve yol masrafları da göz önüne alındığında Çin menşeli paneller, yerli üretim panellere nazaran fiyat konusunda daha uygun olmaktadır. Bu fiyat farkı, yerli üretim panellere verilen güncel yerli katkı teşvik oranları da göz önüne alındığında bile kapanmamaktadır.

Avrupa da halen devam eden ekonomik krizler, ülkelerin yeni enerji politikaları göz önüne alındığında, ülkemizin gelişen yenilenebilir enerji pazarında önemli bir rol üstleneceği aşıkardır. Ancak yerli üretim panellerin, Çin menşeli paneller ile maliyet noktasında rekabet edememesi, güncel teşvik oranları ile Çin menşeli paneller ile 7 yıl civarında olan amortisman sürelerini daha da uzatmak istemeyen yatırımcıların Çin panellerine yönelmesi, bu sektörde ülke ekonomisinin Çin'e aktarılması manasına gelmektedir. Hücre üretim tesisi kurulumunun, yüksek maliyetinden ve yüksek saflıkta silisyum kaynaklarının az olmasından dolayı uzun bir süre daha ülkemizde gerçekleşmeyeceği düşünüldüğünde, yavaşlamış olsa da maliyetleri halen düşmeye devam eden Çin menşeli modüller karşısında, yerli üretim panellerin teşvik oranlarının artırılması ve üretim tesislerinin işletme giderlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar yapılması son derece önemlidir.

3.1.4. Fotovoltaik panel uygulama alanları

Fotovoltaik panellerin aydınlatma sistemlerinden uzay teknolojilerine kadar geniş bir alanda uygulamaları yapılmaktadır. Şebekeden bağımsız olarak birçok yerin ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilmektedir. Örneğin haberleşme istasyonlarında, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemlerinde, metal yapıların, köprülerin ve kulelerin korozyon korumasında, elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan tele metrik ölçümlerde, hava gözlem istasyonlarında, bina içi ve dışı aydınlatmada, dağ evleri ya da yerleşim yerlerindeki uzak evlerde, TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalışmasında, tarımsal sulama ya da ev kullanım amacıyla su pompalarında, orman gözetleme kulelerinde, deniz fenerlerinde, ilkyardım, alarm güvenlik sistemlerinde, deprem ve hava gözlem istasyonlarında, ilaç ve aşı soğutmada yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

PVT sistemlerde ısının atılması olayı iki ana başlıkta incelenecektir.

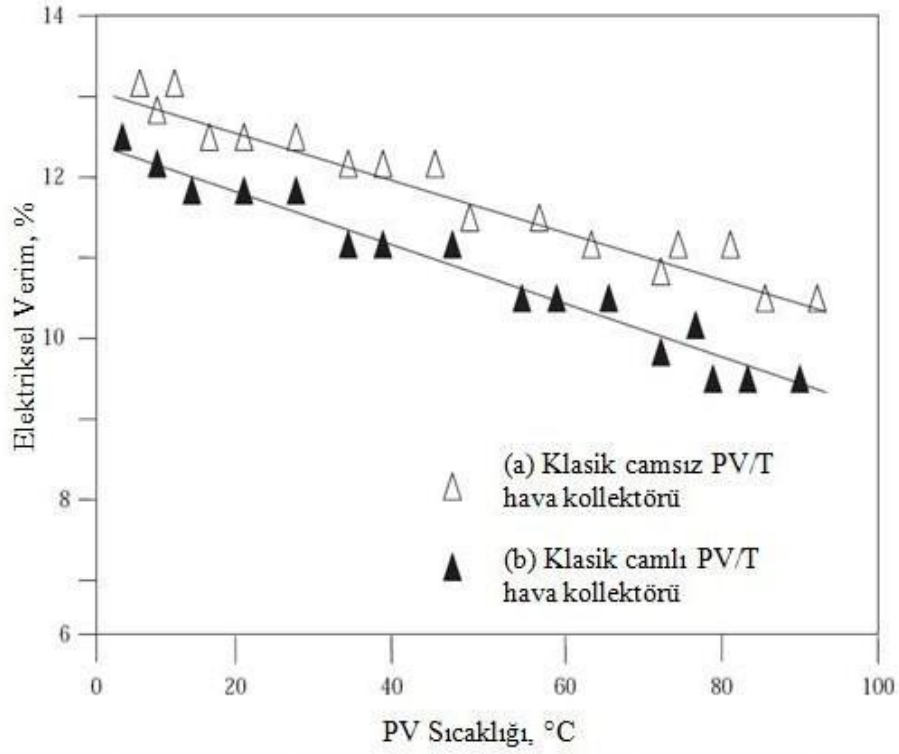
3.2. PVT-Hava Kolektörleri

PVT-hava kolektörler, hava ısıtılmasının ve elektrik üretiminin aynı anda sağlanması için kullanılır. Elektrik üretimi PV modülü oluşturan hücreler tarafından gerçekleştirilir. Diğer bir yandan, bu elektrik üretimi sırasında hücrenin arka kısmında oluşan sıcaklık yükselmesi nedeniyle üretilen elektriğin güç değerleri düşmektedir. Bu yüzden elektriksel verimi arttırmak için bu yükselen sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir. Bu bölümde bu sıcaklığın hava yoluyla azaltılması durumu incelenecektir. Hücrelerden çekilen sıcak hava, mahal ısıtmasında ve kurutma proseslerinde kullanılabilir.

Radziemska (2003) tarafından elektriksel verimin (η_e) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak verildiği denklem aşağıdaki gibidir:

$$\eta_e = \eta_0 (1 - \beta_0 (T_h - T_o)) \quad (3.1)$$

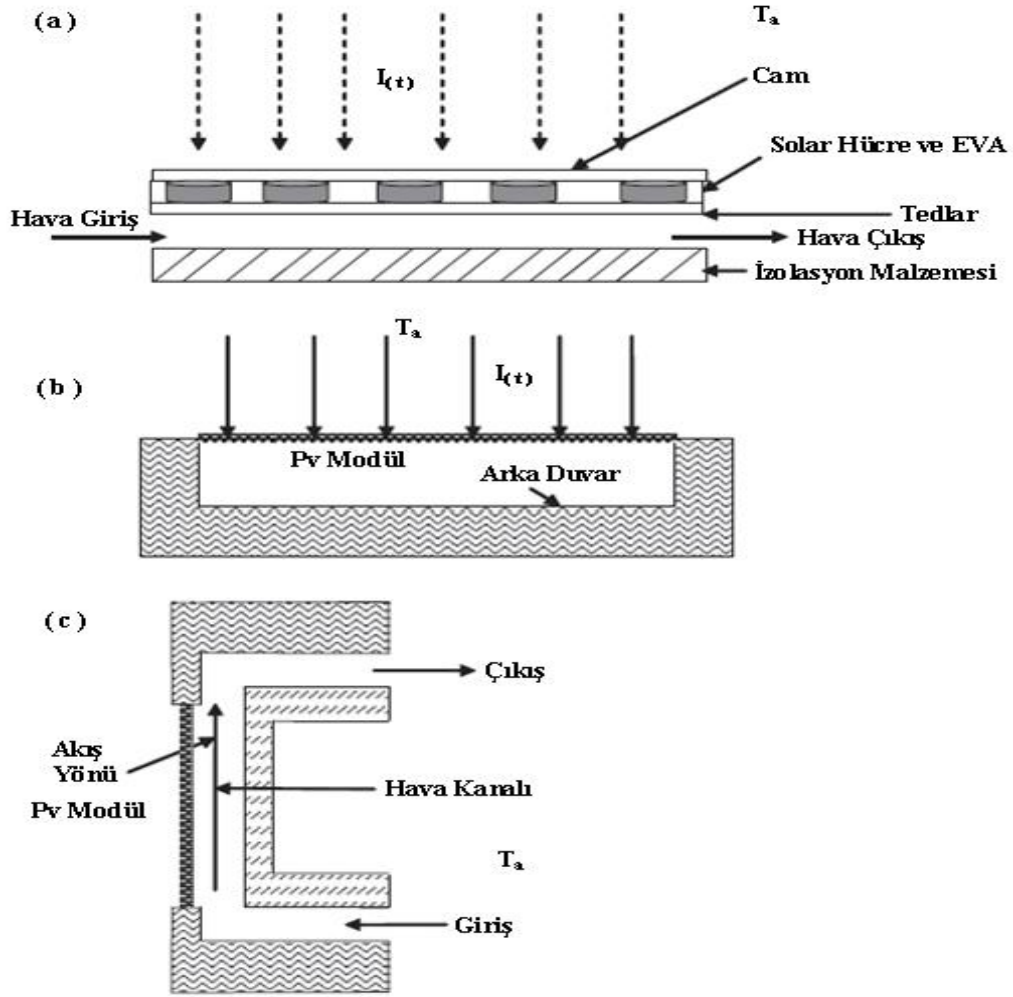
η_e , elektriksel verim, η_0 ise standart test koşullarında (25 °C, 1,000 W/m²) PV verimi, β_0 sıcaklık katsayısı (0.0045 1/°C veya 0.0064 1/°C) ve T_h ve T_o sırasıyla hücre ve ortam sıcaklığıdır. Radziemska (2003) tarafından yapılan bir araştırma sonucunda PVT kolektörlerin elektriksel verimi 20 °C PV sıcaklığında %12 ile % 13 arasındadır (Şekil3.2). Ayrıca, verim noktasında camsız PVT kolektörlerin, camlı PVT kolektörlere göre daha verimli olduğu da şekilden görülebilmektedir. Yukarıdaki denklemden de görüldüğü gibi 20 °C PV sıcaklığında %12 ile % 13 arasında olan elektriksel verim, artan hücre sıcaklığı ile yaklaşık 80 °C PV sıcaklığında %9 ile % 10.5 değerlerine düşmektedir.



Şekil 3.2. Elektriksel verimin camlı ve camsız kolektörler için PV sıcaklığı ile değişimi (Radziemska, 2003)

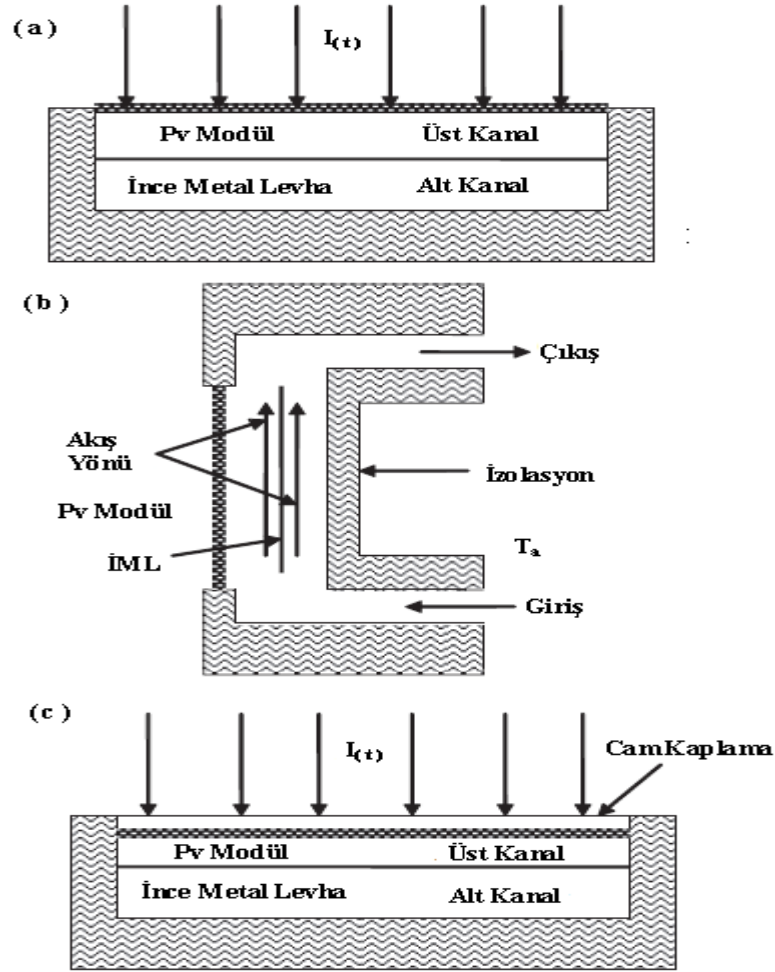
3.2.1. Hibrit hava kolektörleri

Geleneksel camsız PVT hava kolektörlerinde absorber olarak PV modül kullanılır. Oluşan ısı PV arka yüzeyinden akan havayla aktarılır. Klasik camsız tek geçişli PVT hava kolektörlerin kesit görünümü Şekil 3.3 (a-c)'de gösterilmiştir.



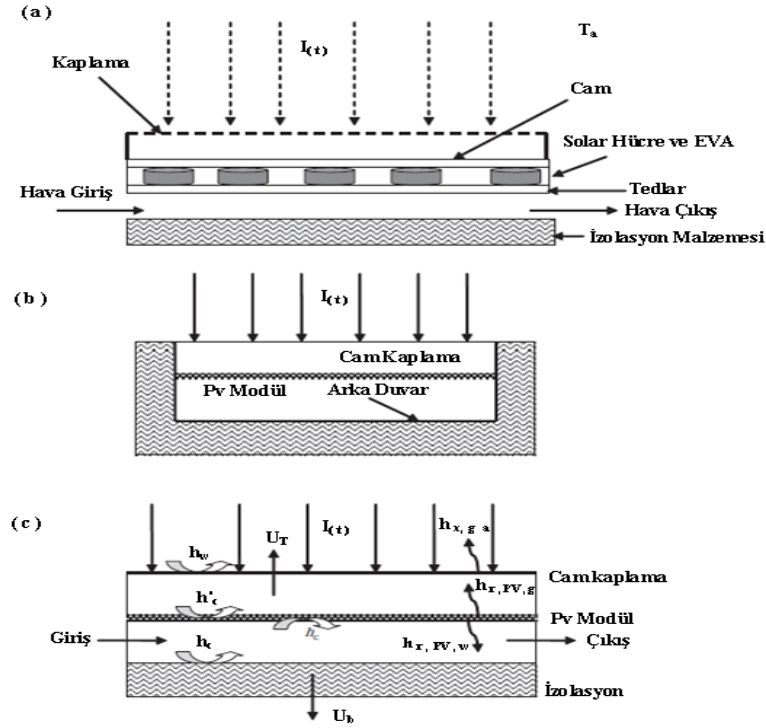
Şekil 3.3. Camsız PVT hava kolektörü (a) tedlar ile (b) camsız ve hava akış yönlü sayfaya dik (c) camsız kolektörün diğer görünüşü (Tiwari ve Dubey, 2010)

Şekil 3.4a’da ince metal levhalı camsız PVT-hava kolektörü bulunmaktadır. Çift taraflı ısı çıkışlı ve hava akışlı, hava kanalının ortasında asılı duran ince metal levhaya sahip camsız PVT kolektörler Şekil 3.4b’de, ince metal levhalı, camlı PVT hava kolektörü ise Şekil 3.4c’de gösterilmiştir.



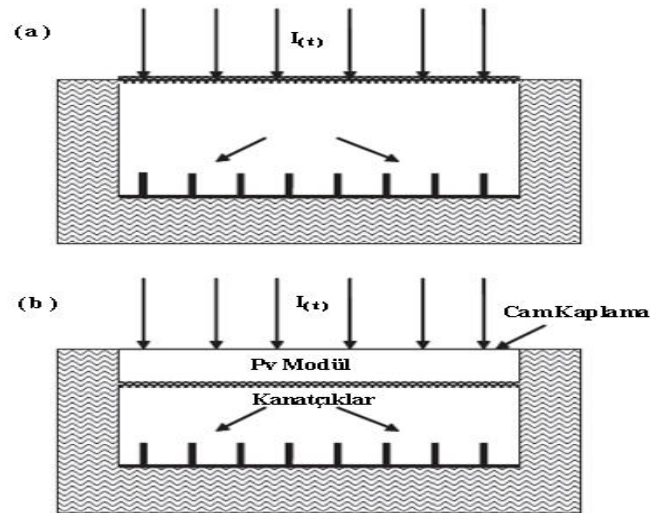
Şekil 3.4. İnce metal levhalı geleneksel PVT-hava kolektörü (a) Camsız (b) hava akışının gösterimi (c) camlı (Tiwari ve Dubey, 2010)

PVT-hava kolektörlerde camın kullanılmasının nedeni PV modülden ortama olan toplam ısı kaybını azaltmaktır. Şekil 3.5a ve 3.5b’de tipik bir camlı PVT hava kolektörü gösterilmiştir. Tek geçişli camlı PVT hava kolektörler için çeşitli ısı transferi tipleri Şekil 3.5c’de gösterilmiştir.



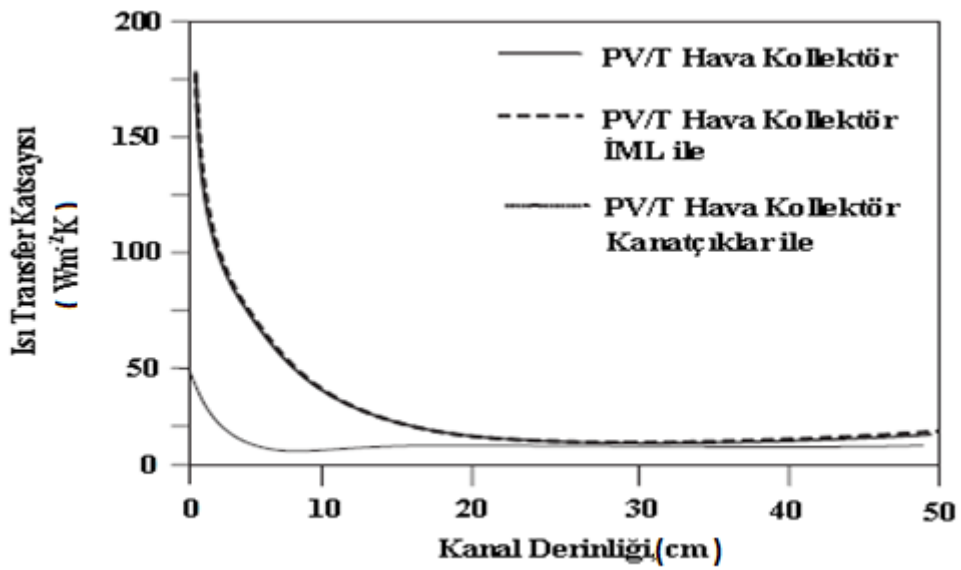
Şekil 3.5. Geleneksel hava kanallı PVT kolektör (a) camlı, tedlarlı, (b) camlı (c) çeşitli ısı transfer yönleri (Tiwari ve Dubey, 2010)

Şekil 3.6a ve 3.6b’de PVT-hava kolektörlerin kanatçıklı tipinin, camsız ve camlı türleri sırasıyla gösterilmiştir. Dikdörtgensel profile sahip kanatçıklar, hava kanalının arka duvarına ve akış yönüne paralel olacak şekilde eklenmiştir.



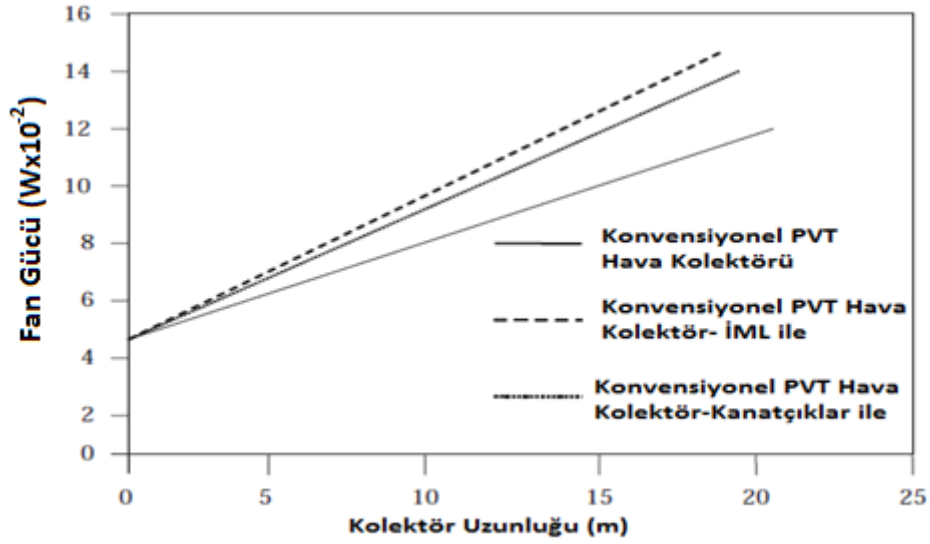
Şekil 3.6. Kanatçıklı PVT- hava kolektörü (a) camsız (b) camlı (Tiwari ve Dubey, 2010)

Farklı kanal derinliklerinde absorberden hava akışına olan ısı transfer katsayısı üzerine kanatçık etkinliği grafiği Şekil3.7’de gösterilmiştir. Buna göre PVT-hava kanallı kolektörlerde, farklı kanal derinliklerindeki ısı transfer katsayısının, kanatçıklı, ince metal levhalı ve kanatçıksız versiyonları üzerindeki değerlerinde, ince metal levhalı ve kanatçıklı tiplerinde değerin hep aynı kaldığı görülmüştür. Aynı zamanda ısı transfer katsayısı değerinin kanatçıksız tipte diğer tiplere göre daha düşük olduğu da görülmektedir. Ayrıca, kanal derinliğinin 10 cm’nin altında olduğu durumlarda ince metal levhalı ve kanatçıklı PVT kolektörlerin ısı transfer katsayısının, kanatçıksız tipe göre önemli ölçüde fazla olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3.7. Farklı PVT hava kolektörleri için kanal derinliğinin ısı transfer katsayısı üzerine etkisi (Tiwari ve Dubey, 2010)

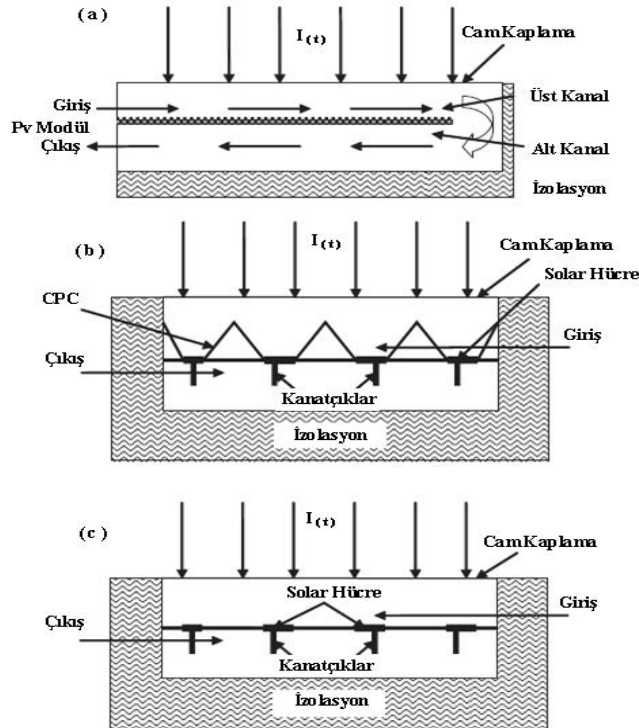
PVT-hava kolektörlerde kanatçık kullanılması durumunda havanın doğal akışlı durumda akışında zorlanma olacağından, düzgün bir akış için hava üfleyici kullanılması gereklidir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi 5 cm nin altındaki kanal derinliklerinde normal, kanatçıklı ve ince metal levhalı PVT hava kolektörlerinde ihtiyaç duyulan fan gücü yaklaşık aynıdır, ancak artan kolektör uzunluğunda en fazla fan gücüne ince metal levha kullanımında ihtiyaç vardır.



Şekil 3.8. Kanal derinliğinin fan gücü üzerine etkisi (Tiwari ve Dubey, 2010)

3.2.2. Çift geçişli PVT-hava kolektörleri

Şekil 3.9a’da hava akımının öncelikle PV modül ve cam kaplama arasında (üst kanal), daha sonra yön değiştirerek absorber plaka ve arka duvar arasında (alt kanal) olduğu, çift geçişli PVT hava kolektör görülmektedir.



Şekil 3.9. Şematik çift geçişli PVT-hava kolektörü (a) hava soğutmalı (b) CPC ve kanatçıklı (c) kanatçıklı (Tiwari ve Dubey, 2010)

Othman ve ark. (2007) birleşik parabolik toplayıcı ve kanatçıklardan oluşan çift geçişli PVT-hava kolektörün performansı üzerine Şekil3.9.'da verilen şematik kolektör kesitine göre çalışmışlardır. Kolektörün absorber kısmı elektrik üreten solar hücrelerden meydana gelmektedir. CPC ve kanatçıklar yutucu plakanın arka kısmına yerleştirilmiştir. Hava üst kanaldan kolektöre giriş yapar (cam kaplama ve PV modül arasından), direk güneş ışığıyla ısınır ve alt kanala (PV modül ve arka plaka arası) yönelir. Birleşik parabolik toplayıcı, PV hücrelerinin üzerindeki güneş ışınımı toplar. Fotovoltaik panelin arkasındaki kanatçıklar, havanın ısı transferini artırır ve böylece sistemin verimi artmış olur.

Kollektör çevresindeki havanın türbülansı; kolektörün kanatçıklı olması durumunda ısı transfer alanının artmasıyla ve hava akımının kesintili (fasıllı) olmasıyla açıklanmıştır. Absorber plakayla hava akışı arasındaki ısı transferi, bu iki durumun birlikte olmasıyla artar (Tiwari ve Dubey, 2010).

PV hücredeki hava çıkış sıcaklığı ve bu sıcaklıktan ötürü meydana gelen PV hücre verimi, PV nin çalışma sıcaklığının düşmesiyle iyileşir (Tiwari ve Dubey, 2010).

3.2.3. PVT-Hava enerji denge denklemleri

Enerji denge denkleminin çıkartılmasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır (Tiwari ve Dubey, 2010).

- Sistem yarı kararlı durumdadır.
- EVA nın geçirgenliği yaklaşık olarak %100 dür.
- Kalınlık boyunca olan sıcaklık değişimi, genişlik boyunca olan sıcaklık değişikliğiyle birlikte ihmal edilebilir.
- Tedlar ile ahşap yapı arasındaki akış uniformdur.
- Solar hücredeki direnç kayıpları ihmal edilebilir.

Solar hücre sıcaklığı;

$$T_h = \frac{(\alpha\tau)_{verim} \cdot I_{(t)} + U_T \cdot T_o + h_T \cdot T_{ay}}{U_T + h_T} \quad (3.2)$$

$$(\alpha\tau)_{verim} = \tau_G (\alpha_c \beta_c + \alpha_T (I - \beta_c) - \eta_c \beta_c) \quad (3.3)$$

PV modülün arka yüzey sıcaklığı;

$$T_{ay} = \frac{h_{p1}(\alpha\tau)_{verim} I(t) + U_{tT} T_o h_t T_{h\zeta}}{U_{tT} + h_i} \quad (3.4)$$

Burada;

$$U_{tT} = \frac{U_T \cdot h_T}{U_T + h_T} \quad (3.5)$$

$$h_{p1} = \frac{h_T}{U_T + h_T} \quad (3.6)$$

$$U_L = U_{thava} + U_b; \quad (3.7)$$

$$U_{thava} = \left[\frac{1}{U_T} + \frac{1}{h_t} \right]^{-1} \quad (3.8)$$

Tedlar'ın arkasından akan havanın sıcaklığı;

$$T_{h\zeta} = \left[\frac{h_{p1} \cdot h_{p2}(\alpha\tau)_{verim} I(t)}{U_L} + T_o \right] \left(1 - e^{\frac{-bU_L}{\dot{m}_a c_{pa}}} \right) + t_{hg} \cdot e^{\frac{-bU_L}{\dot{m}_a \cdot c_{pa}}} \quad (3.9)$$

Tedlar'ın arkasından akan havanın çıkış sıcaklığı bilinir ise PV modülün arka yüzey sıcaklığı bulunur. PV modülün arka yüzey sıcaklığı bulunursa, verilen iklim parametreleri ve ortam sıcaklığı ile hücre sıcaklığı bulunur (Tiwari ve Dubey, 2010).

PVT-hava kolektöründen elde edilen yararlı enerji;

$$\dot{q}_u = \dot{m}_a c_{pa} (T_{h\zeta} - T_{hg}) \quad (3.10)$$

$$\dot{q}_u = \frac{\dot{m}_a c_{pa}}{U_L} \left(h_{p1} h_{p2}(\alpha\tau)_{verim} I(t) - U_L (T_{hg} - T_o) \left(1 - e^{\frac{-bU_L}{\dot{m}_a c_{pa}}} \right) \right) \quad (3.11)$$

Isıl verim ;

$$\eta_I = h_{p1} h_{p2}(\alpha\tau)_{verim} - U_L \frac{T_{hg} - T_o}{I} \quad (3.12)$$

$$\eta_{iTop} = \eta_i + \frac{\eta_e}{0,38} \quad (3.13)$$

$$\eta_e = \left(\frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{A_m \cdot I_{(t)}} \right) \cdot 100 \quad (3.14)$$

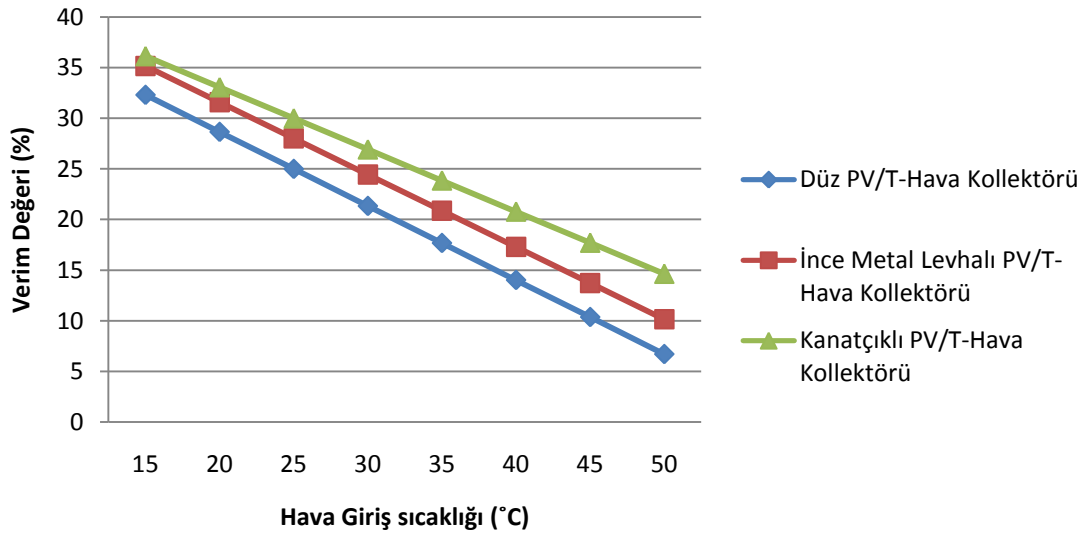
Yukarıda verilen eşitliklerde FF; kaplama faktörünü, I_{sc} ; kısa devre akımını, V_{oc} ; açık devre gerilimini, A_m ; modül alanını ve $I_{(t)}$; güneş ışımasını göstermektedir (Tiwari ve Dubey, 2010).

Tripanagnostopoulos ve ark. (2007)'un, 3 tipte ki PVT-hava kolektörleri üzerinde yapmış oldukları deneylerden elde ettikleri ısı verim denklemleri çizelge 3.1. de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Farklı hava kanallı PVT kolektörler için ısı verim denklemleri

PVT Sistem Tipi	Denklem	No
PVT-hava Kolektör	$\eta_t = 0.25 - 7.31 \left(\frac{T_{ag} - T_o}{I_{(t)}} \right)$	(3.15)
İnce Metal Levhalı PVT-hava Kolektörü	$\eta_t = 0.28 - 7.14 \left(\frac{T_{ag} - T_o}{I_{(t)}} \right)$	(3.16)
Kanatçıklı PVT -hava Kolektörü	$\eta_t = 0.30 - 6.14 \left(\frac{T_{ag} - T_o}{I_{(t)}} \right)$	(3.17)

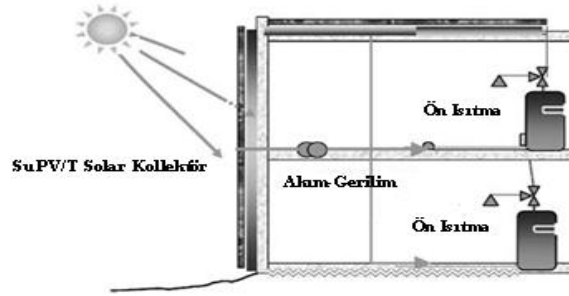
Elde edilen bu denklemlerden, 1,000 W/m² ışıınımda, 25 °C ortam sıcaklığında ve 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C ve 50 °C lik farklı hava giriş sıcaklığı verilerinde elde edilen verim grafiği Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Farklı hava giriş sıcaklıklarında düz, ince metal levhalı ve kanatçıklı PVT-hava kolektörlerinin verimsel karşılaştırılması

3.3. PVT-Su Kolektörler

PVT su sistemleri, elektrik ve sıcak su üretiminin bir arada yapıldığı sistemlerdir. Şekil3.11’de gösterilen sistemde işlem, yutucu ve PV hücrelerinden akışkan tarafından ısı çekilmesi esasına dayanır. Bu toplanan ısı, suyun ön ısıtılmasında kullanılır.

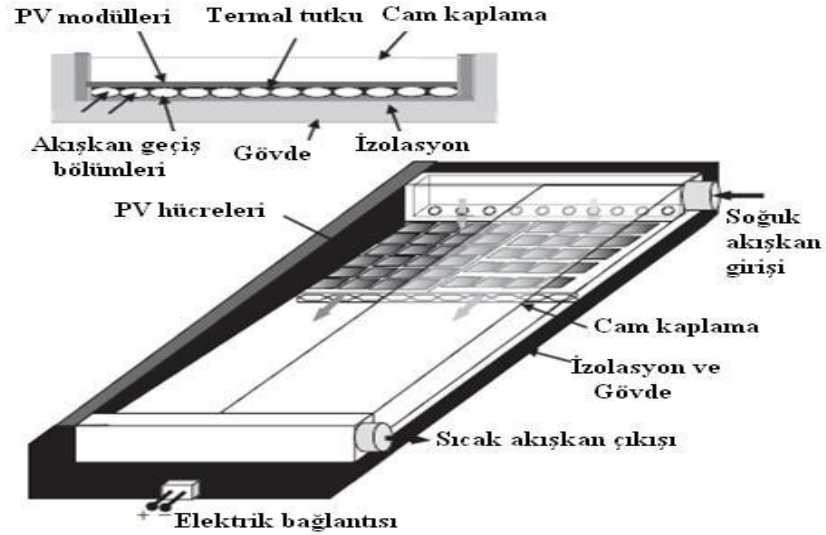


Şekil 3.11.PVT su solar kolektör (Tiwari ve Dubey, 2010)

PVT-su kolektörlerinin temel avantajları (Zondag ve ark., 2002; Sandnes ve Rekstad, 2002);

- Ayrı ısı kolektörler ve fotovoltaik panellere göre ekonomiktirler.
- Herhangi bir alana yerleştirilmiş PVT panellerin ürettiği elektriksel ve ısı enerjisi, aynı alanın bir yarısına yerleştirilmiş termal kolektör ve diğer yarısına yerleştirilmiş fotovoltaik panellere nazaran daha fazladır. Genel olarak evlerin çatı alanlarının düşük olmasından dolayı PVT sistemler avantajlıdır.
- Standart PV modüllere nazaran, PVT-su kolektörlerin ortalama çalışma sıcaklıkları düşüktür, böylece PVT-su kolektörlerde üretilen elektrik değerleri PV modüllere göre daha fazladır.
- Bir PVT kolektör; bir ısı kolektör ve bir fotovoltaik panele nazaran çatıda mimari bütünlük sağlar.

Cristofari ve ark. (2009), güneş ışınımı ısıya dönüştüren emici-değiştirici üzerine yapıştırılmış polikristal panelden oluşan PVT kolektör üzerinde çalışmışlardır. Şekil 3.12’de gösterilen bu emici-değiştirici, kolektör gövdesine yerleştirilmiş ve kolektör yapısına iyi mekaniksel davranışlar kazandıran izolasyonla (yaygınca poliüretan) desteklenmiştir.



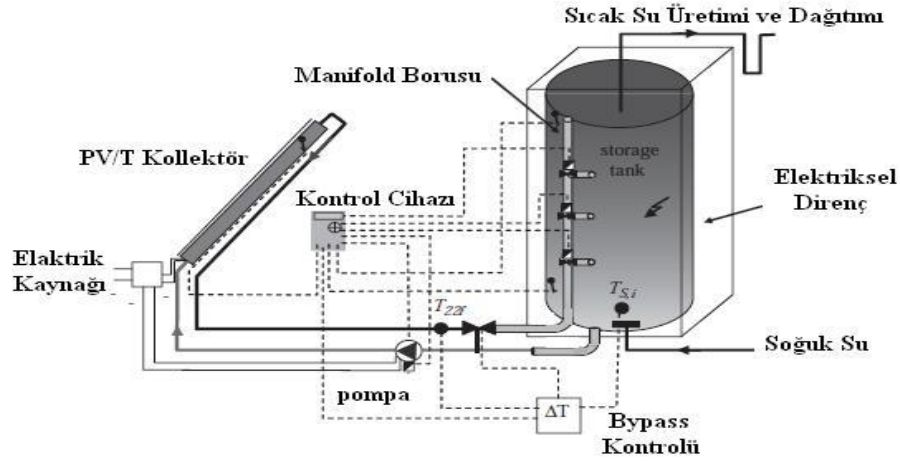
Şekil 3.12. Fotovoltaik-ısıl solar kolektör

Kopolimer malzeme içindeki emici-değiştirici, aşağıda verilen özellikleri taşımalıdır (Cristofari ve ark., 2009).

- UV koruma,
- Yüksek termal iletkenlik,
- Su ve glikole karşı dayanım
- Geniş sıcaklık kullanım aralığı (-10 ile +150 °C)
- Yüksek mekaniksel dayanım ve kimyasal kararlılık.

Tüm ekipmanlarıyla bir güneş ile su ısıtma sistemi Şekil 3.13’de gösterilmiştir.

Burada, güneşten gelen ışınlam PVT kolektörün üst yüzeyinde bulunan fotovoltaik hücelere çarpar ve elektrik üretimi başlar. Süreç devam ederken ısınan fotovoltaik hücrelerin arkasında dolaşan su, bu ısıyı alır ve pompa vasıtasıyla boylerin serpantininde dolaştırılırken boylerin haznesindeki suyu ısıtır. Isınan bu su, kullanım sıcak suyu olarak değerlendirilir.



Şekil 3.13. Güneş enerjili su ısıtma sistemi

3.3.1. PVT-Su enerji denge denklemleri

Kabuller: (Tiwari ve Dubey, 2010);

- Sistem yarı kararlı durumdadır. (Kısa bir süre kararlı durumda kabul edilmiştir.)
- Solar hücredeki direnç kayıpları ihmal edilebilir.

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

$$\eta_{top} = \eta_e + \eta_i \quad (3.18)$$

Debi faktörü;

$$F_R = \frac{\dot{m} C_{pa}}{A_m U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_m U_L F'}{\dot{m} C_{pa}} \right) \right] \quad (3.19)$$

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

$$F' = \frac{1}{\frac{WxU_L}{\pi Dh} + \frac{W}{D + (W - D)F}} \quad (3.20)$$

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)]/2}{[m(W - D)]/2} \quad (3.21)$$

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{K\delta}} \quad (3.22)$$

$$U_L = (\alpha \cdot \tau \cdot I_{(t)} + \eta_h \cdot I_{(t)}) / (T_h + T_o) \quad (3.23)$$

Bu denklemlere göre ısı verim (η_i) şu Şekilde tanımlanmıştır (Vokas, 2006).

$$\eta_i = F_R \cdot (\alpha \tau)_{verim} - F_R \cdot U_L \frac{(T_o - T_g)}{I(t)} \quad (3.24)$$

PV panel sıcaklığına bağlı elektriksel verim (η_e) formülü aşağıdaki verilmiştir (Radziemska, 2003).

$$\eta_e = \eta_0 (1 - \beta_0 (T_h - 25)) \quad (3.25)$$

$$T_h = T_o + (I_{(t)} \tau \alpha / U_L) (1 - \eta_h / \tau \alpha) \quad (3.26)$$

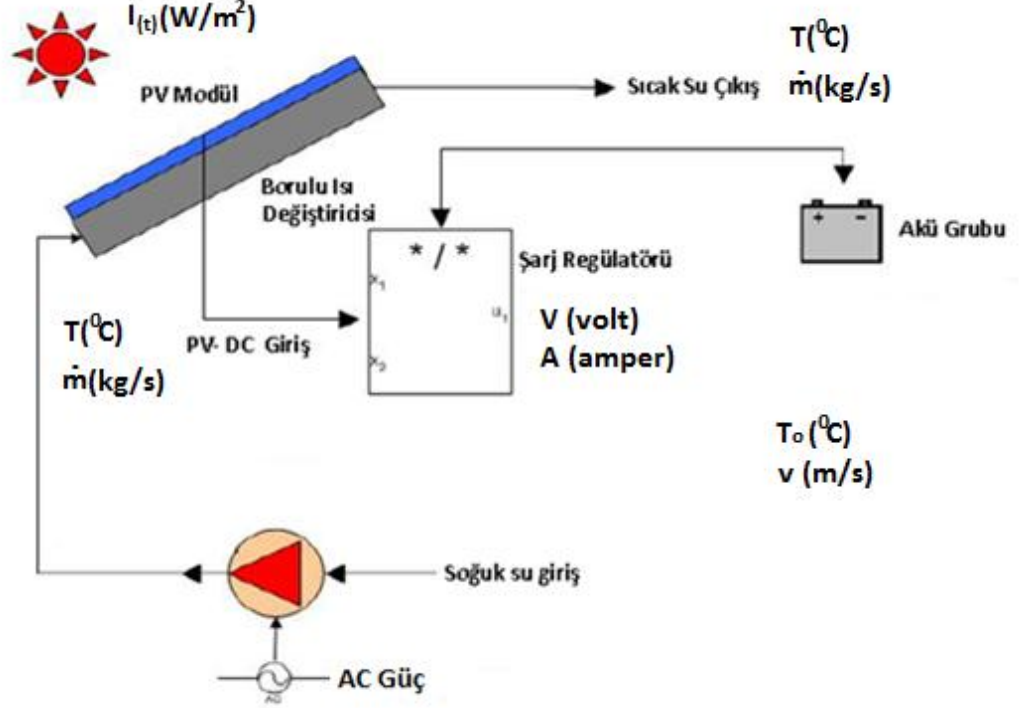
3.4. Deney Setinin Tanımlanması



Şekil 3.14. Dış ortam koşullarında kurulan PVT-su ve PV sistem deney seti

Konya ili şartlarında 190 W lık PVT-su kolektörün ve 190 W lık PV modülün elektriksel ve ısı performanslarını belirlemek ve karşılaştırmak için Solimpeks Enerji

A.Ş. binası önüne test düzeneği kurulmuştur. Deney setinin fotoğrafı Şekil 3.14'de, akış şeması ise 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15. Deney setinin akış şeması ve ölçülecek parametreler

Kurulan PV ve PVT-su sistemlerin elektriksel verimlerinin kıyaslanması ve PVT-su sisteminin ısı veriminin belirlenmesi amacı ile bu sistemler kurulmuştur. Kurulan PV ve PVT-su sistemlerinde kullanılan hücre çeşidi mono kristal hücredir. Her bir sistem kendi içerisinde ayrı ayrı şarj kontrol cihazlarına ve veri kaydedicilere bağlanmıştır. Bu iki sistem şarj kontrol cihazlarından sonra akülere birleştirilerek bağlanmıştır. Her iki sistemden üretilen elektriksel değerler bilgisayar vasıtasıyla kaydedilmektedir. PVT-su kolektörün ısı analizi için kolektör ile depo ya birer adet sıcaklık sensörü bağlanmıştır. Bu sensörlerden elde edilen veriler otomatik kontrol vasıtasıyla, cihaza takılan bir SD karta kaydedilmektedir. Ayrıca dış ortam sıcaklığı ve pompadan geçen su debisi miktarı da bu otomatik kontrol vasıtasıyla kaydedilmektedir.

Paneller üzerine düşen ışıınım değeri, paneller ile aynı yer ve açıda yerleştirilen bir pironometre vasıtasıyla ölçülmektedir. Deneyler güneşin doğması ile batması arasında geçen süre zarfında yapılmıştır. Bu deneyde, akım, voltaj, modül sıcaklığı, ortam sıcaklığı, giriş ve çıkış su sıcaklığı, güneş ışıınımları ölçümleri yapılmıştır.

3.4.1. Deney bileşenleri

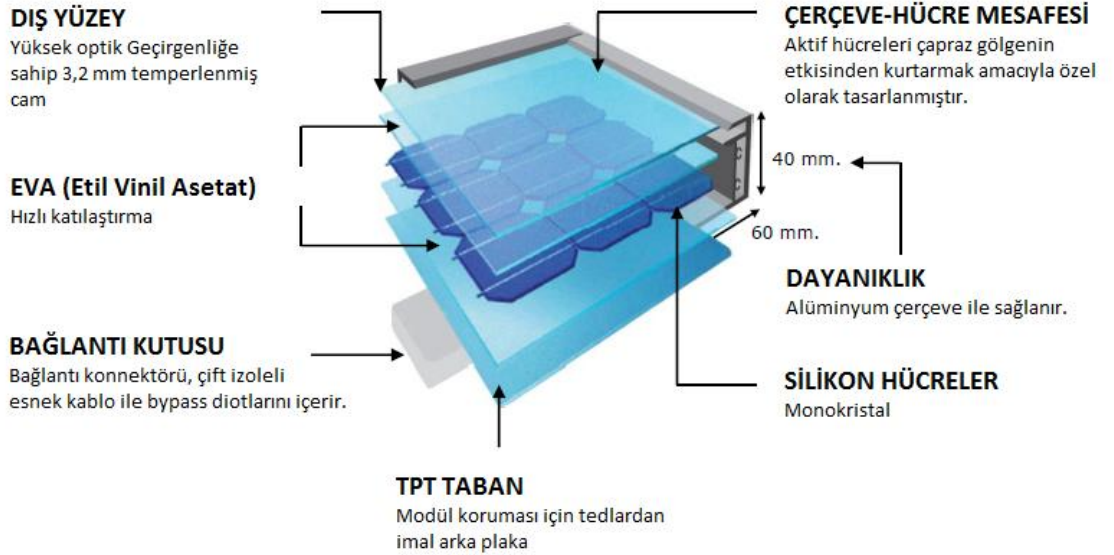
3.4.1.1. Güneş hücresi



Şekil 3.16. Fotovoltaik Hücre, ebat 125x125, tip mono kristalin (Anonim 2011a)

Bu deneyde kullanılan hücre Solar Innova marka mono kristal yapıda bir hücredir. Fotovoltaik modül ve PVT-su kolektör 72 şer adet hücreden oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan panellerin güçleri 190 W'dır. 190 W'lık modülde ve 190 W'lık PVT kolektörde kullanılan her bir hücrenin verimi %15,5, modül verimi %14,9'dur. Panellerin açık devre gerilimi 45,2 V, kısa devre akımı ise 5,6 A ve modül verimi %14,9'dur. (1000 Watt/m² ışınım ve 25 °C test koşullarındaki değerlerdir).

Kristal silikon hücrenin görünüşü Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Şekil 3.17'de fotovoltaik panelin yapısı görülmektedir.



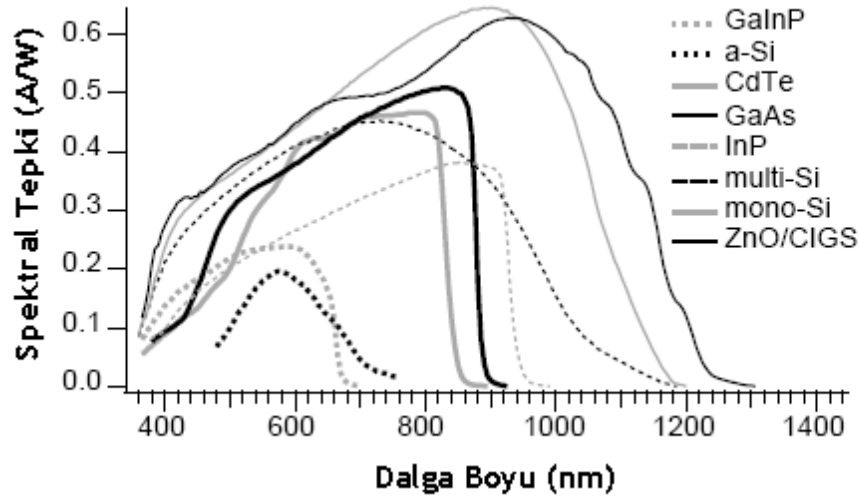
Şekil 3.17. Fotovoltaik panelin yapısı (Anonim 2011a)

EVA, Etil Vinil Asetattan mamul olup esnek bir yapıya sahiptir. Yapı itibarıyla üzerinde bakteri üretmediği için son derece sağlıklıdır. Isı geçirmeme özelliğine

sahiptir. PV modül ve PVT-su kolektörde kullanılan EVA polimer enkapsülant, PV panele yapısal destek, elektrik yalıtımı, hücreler arası devre için koruma, fiziksel izolasyon gibi koruma görevini üstlenir (Lewis, 1983).

Fotovoltaik modülün arka yüzündeki kaplama Tedlar isminde bir malzemedir. Tedların fonksiyonu modüldeki su buharı (nem) oluşumunu engellemektir. Bir polimer malzeme olarak adlandırılan tedlar, aynı zamanda polivinil florür türüdür. Tedlar; UV direnci, mekaniksel dayanım, güç ve dayanıklılık, ayrışma ve elektriksel izolasyon direnci gibi fonksiyonları yerine getirir. Tüm bu fonksiyonlar PV panelin ömrünün 20 yıl ve üzeri olmasını sağlar. PV modül arka yüzey kaplamasının bir kısmı normal lamine edilmiş, yaygın olarak da TPT denilen, tedlar/polyester/tedlar olan trilayer yapıdır. Bu yapı yukarıda yazılan koruma özelliklerini arttırmak için kullanılır.

Şekil 3.18'de ki grafikten de görüldüğü üzere monokristal hücrenin çalışma ışık dalga boyu aralığı 350 nm ile 1,200 nm arasındadır (Field, 1997).

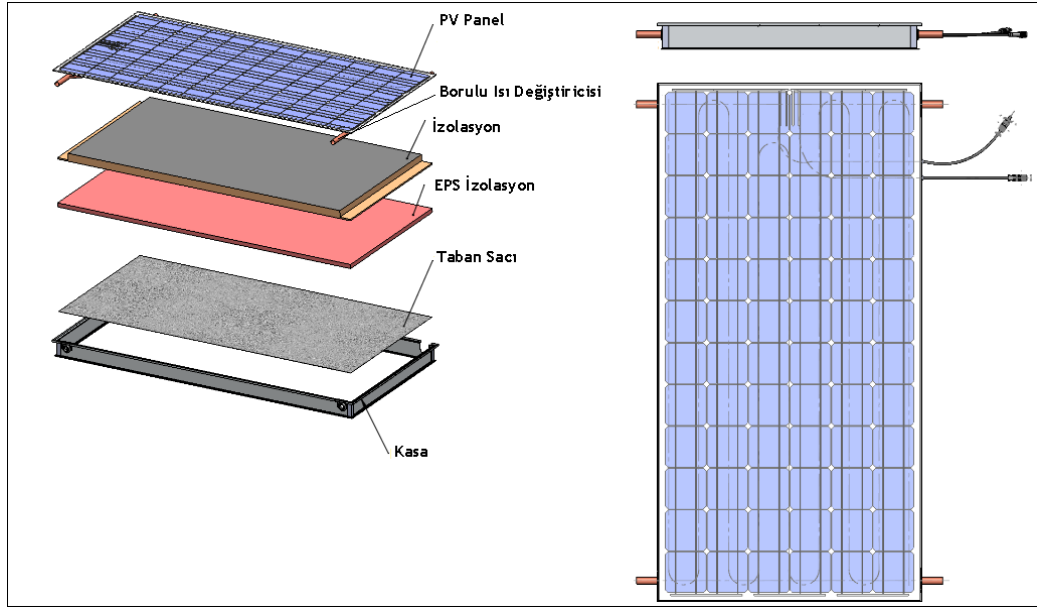


Şekil 3.18. Değişik hücre tiplerinin çalışma dalga boyu aralıkları

İletim sorunlarının yanı sıra PV panel ön yüzeyindeki yansım oranı da düşük olmalıdır. Bu yüzden PV endüstrisinde düşük temperli cam kullanılması gerekir. Düşük temperli cam kullanılmasının diğer avantajları düşük maliyet, dayanım, sağlamlık, yüksek şeffaflık, su ve gaz geçirmeme ve yağmur sonrası camın kendi kendini temizleme özelliğidir. Deneyde kullanılan Solimpeks (hücre Solar Innova marka) marka PV modülün özellikleri Ek-1 de verilmiştir.

3.4.1.2. Fotovoltaik/ısı kolektör

Deneyde kullanılan PVT-su kolektörün PV kısmı ile karşılaştırılması yapılacak PV modül aynıdır. PVT-su kolektörde ekstrasdan soğutma yapılacağından, PV modül arkasında Solimpeks Enerji A.Ş. tarafından dizayn edilmiş bir ızgara tipi ısı değişiricisi bulunmaktadır. PVT-su kolektöre ait tasarım resmi Şekil 3.19'da verilmiştir. Ayrıca PVT kolektöre ait teknik resimler EK.2, EK.3, EK-4 de belirtilmiştir.



Şekil 3.19. PVT-su kolektör tasarım resmi

3.4.1.3. Şarj regülatörü

PV sistemlerde şarj kontrol cihazının temel görevi batarya grubunu aşırı gerilim ve dip deşarj dan korumaktır. PV grubunun optimum çalışma noktasında çalışmasının sağlanması batarya grubunun ömrünü uzatır. Şarj kontrol cihazı genellikle PV modül ile batarya arasına bağlanır.



Şekil 3.20.Steca marka şarj kontrol cihazı (Anonim, 2011b)

Şekil 3.20'deki şarj kontrol cihazı deney sisteminde kullanılmıştır. Bu cihaza toplamda 2,400 Wp güce kadar fotovoltaik sistem bağlanabilir (Anonim, 2011b).

Şarj kontrol cihazları aşağıdaki temel fonksiyonlara sahiptir (Antony ve ark., 2007);

- Batarya grubunudeşarjdan korur. Özelliklerinde kısaca LVD şeklinde tanımlanır.
- Batarya grubunu çalışma voltajının üstündeki aşırı voltajdan korur. Özelliklerinde genellikle (HVD) olarak tanımlanır.
- Geceleri PV grubuna akım akışını önler.
- Batarya grubunun şarj seviyesini belli bir derecede tutar ve batarya grubu bu seviyedeysen bataryalardan akım geçişini engeller.
- Çeşitli sıcaklıklarda batarya grubunun hızlıca, zarar vermeden ve tam olarak dolmasını sağlar.

Birçok şarj kontrol cihazının katalog bilgileri cihazın özelliklerini gösterir. Bu değerlerin dikkatli okunması gerekir. Yanlış bağlantılar ve seçimler batarya grubuna ve cihaza zarar verir.

3.4.1.4. Batarya grubu

Batarya, güneş panelleri tarafından üretilen elektriğin depolanması için kullanılır. Şebekeden bağımsız PV sistem kurulumlarında batarya en önemli maliyet oluşturan kalemlerden biridir. Diğer ekipmanlara nazaran kısa ömürlü olması ve yanlış kullanım sonucunda kısa sürede bozulması diğer dezavantajlarıdır.

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan bataryalar genellikle bakım gerektirmeyen jel tipinde veya Opzs tipindeki akülerdir. Bu aküler zorlu çalışma koşullarında bakım gerektirmeden çalışabilirler.

Bataryalardaki elektrik depolama kapasitesi amper-saat (Ah) cinsinden ölçülür. Bu değer batarya boşalmadan önce kaç saat boyunca akım verebileceğini gösterir. Yani bir batarya 100 saat boyunca 1 amper akım verebiliyorsa, bu bataryanın kapasitesi 100 Ah tir denir. Batarya kapasitesi sıcaklıktan vedeşarj olma hızından etkilenir. Her 1 °C sıcaklık artışı bataryalarda %1 oranında kapasite düşümüne neden olur. (Antony ve ark., 2007). Bir örnekle açıklamak gerekirse, 0°C de 100 Ah kapasitedeki bir batarya, 25°C de %75 kapasitede çalışacak demektir.

Batarya Ah-verimi, bataryaya dolan ve bataryadan çıkan akımların oranıdır. Eğer PV sistemlerde gelen enerjinin en az %75'inin çıkan enerjiye eşit olması istenir.



Şekil 3.21. Yiğit marka akü (Anonim, 2011c)

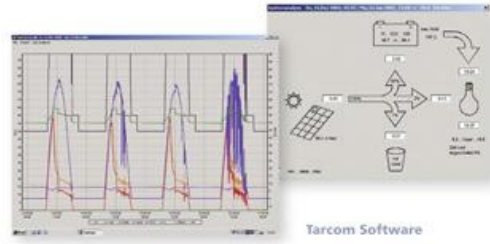
3.4.2. Deney ölçümlerinde kullanılan cihazlar

3.4.2.1. Veri kaydedici

Kurulan deney düzeneğinde Alman STECA marka veri kaydedici kullanılmıştır. Kullanılan veri kaydedici, şarj regülatörü ile direk olarak bağlanmış ve sonuçlar 2 ayrı bilgisayar vasıtasıyla, veri kaydedici ye ait bir ara yüz ile kaydedilmiştir. Veri kaydedici ile hem PV ye hem de PVT-su kolektöre ait akım ve voltaj değerleri ile, batarya grubunun şarj seviyesi değerleri 1 er dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Elektriksel ölçümler için kullanılan veri kaydedici Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Elektriksel verilerin alımı için kullanılan veri kaydedici (Anonim, 2011b)



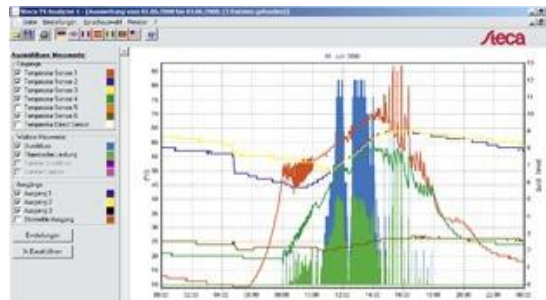
Şekil 3.23. Kullanılan veri kaydedici ye ait ara yüz (Anonim, 2011b)

PVT-su kolektöre ait giriş-çıkış su sıcaklıklarının ölçümü, ortam sıcaklığının ölçümü, debimetre deki ölçümlerin yapılması ve kaydedilmesi için aynı şekilde Alman STECA marka solar kontrol cihazı kullanılmıştır. Cihazda ölçülen değerler SD kart vasıtasıyla kaydedildikten sonra bilgisayar ortamında düzenlenmektedir. Şekil 3.24'de ısıtıl sistem için kullanılan kontrol cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Isıl sistem için kullanılan kontrol cihazı (Anonim, 2011b)

Şekil3.25'de kontrol cihazının ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Kontrol cihazının ara yüzü (Anonim, 2011b)

3.4.2.2. Piranometre

Kolektörlerle yatayla aynı açığa yerleştirilen (30^0) BOREAS marka piranometre ile toplam güneş ışınım ölçümü anlık olarak yapılmıştır.



Şekil 3.26. Piranometre

Bu piranometre Devlet Meteoroloji İşleri'nin ölçüm istasyonlarında kullandığı bir piranometredir. Bu cihazın ölçüm aralığı $0-2,500 \text{ W/m}^2$ dir. Cihaz 1 saniyede okuduğu değerleri 1 dakikalık ortalamalar halinde kaydetmektedir.

3.5. Deney Setinin Kurulması

Deney seti Nisan 2011 ayında kurulmuş ve Eylül 2011 e kadar veri alımı devam etmiştir. Sistem kurulumu şu şekilde olmuştur.

1. Öncelikli olarak malzeme teminleri yapılmış ve kurulum yeri ayarlanmıştır.
2. PV modül ve PVT-su kolektörler Solimpeks A.Ş. binasının güneye bakan kısmına montaj setleri vasıtasıyla 30^0 lik açıyla yerleştirilmiştir.
3. PVT-su kolektöre ait ısıt sistem bağlantıları (depo, pompa, borulama vb.) yapılmış ve sisteme 2.5 bar basınçta su verilerek sistem çalıştırılmıştır.
4. PV modül ve PVT-su kolektöre ait kablolama işlemleri, elektriksel ekipmanların bağlantıları yapılmıştır.
5. PVT-su kolektöre ait sensorların yerleşimi yapılmış ve kontrol cihazına bağlanmıştır.
6. Piranometre, PV modül ve PVT-su kolektör ile aynı açıda, aynı montaj setine, üzerine gölge düşmeyecek ve panellere gölge yapmayacak şekilde yerleştirilmiştir.
7. Son olarak veri kaydedicilerden veri almak için 2 adet bilgisayar bina içine yerleştirilmiş, kayıt cihazlarıyla bağlantıları yapılmış ve veri alınmaya başlanmıştır.

Deney sistemine ait resimler aşağıdadır.



Şekil 3.27.Deney sisteminden bir görünüm-1



Şekil 3.28.Deney sisteminden bir görünüm-2

Şekil 3.28. de, kurulan deney düzeneğine ait PV modül, PVT kolektör ve piranometre görülmektedir. Kurulum açıları Konya ili için optimum açı olan 30^0 dir. Şekil 3.29. da PVT kolektörden elde edilen sıcak suyun depolanması için yerleştirilmiş sıcak su deposu görülmektedir.



Şekil 3.29.Deney sisteminden bir görünüm-3

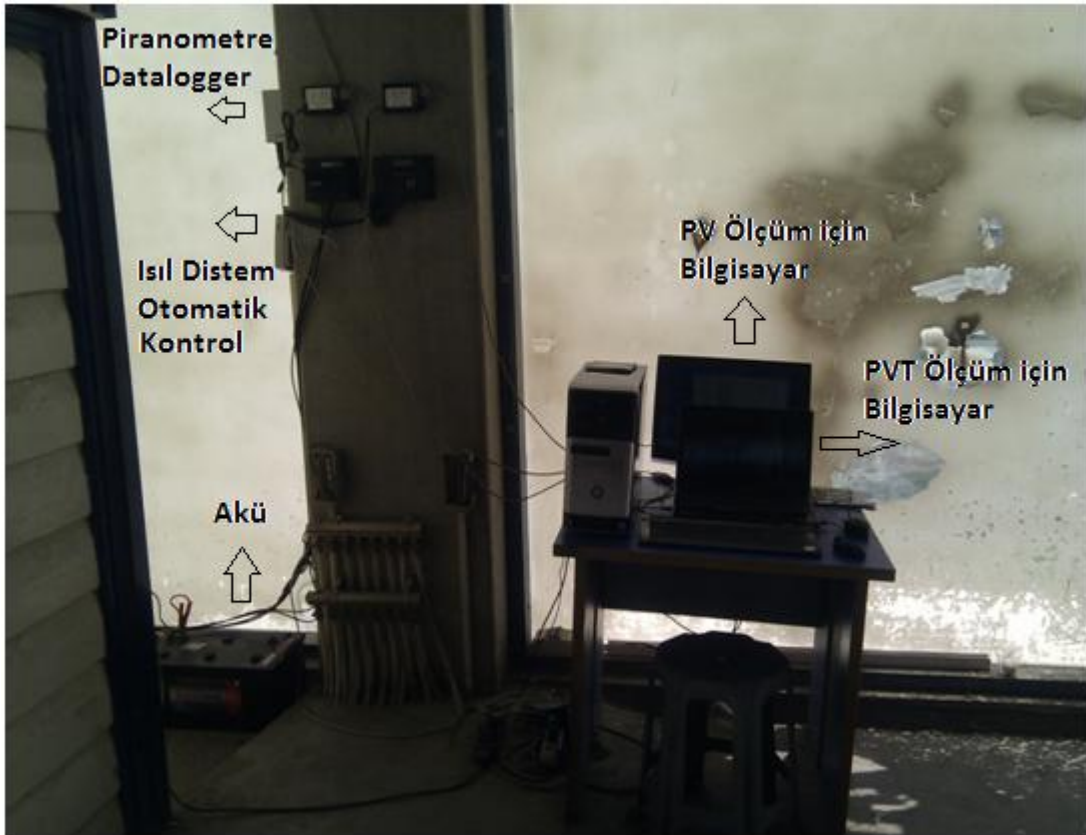


Şekil 3.30.Deney sisteminden bir görünüm-4

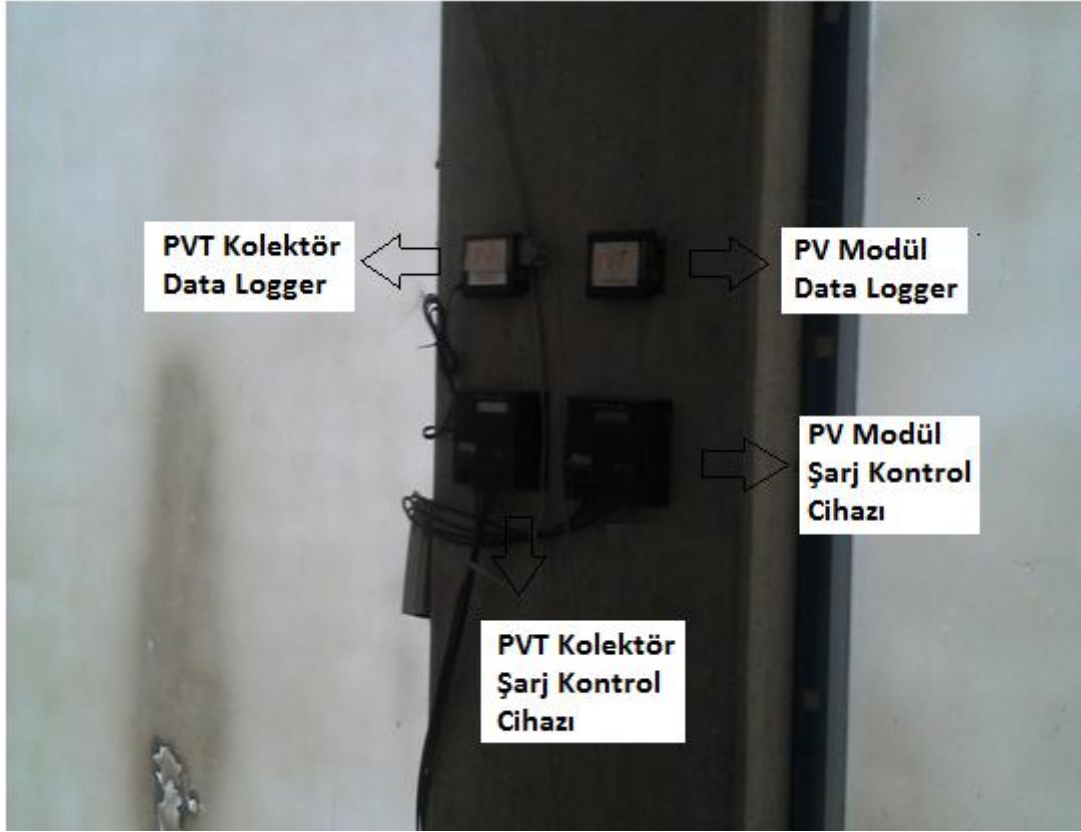


Şekil3.31.Deney sisteminden bir görünüm-5

Şekil 3.32'de PVT kolektöre ait ısı verilerinin alınabilmesi için yerleştirilmiş otomatik kontrol görülmektedir. Otomatik kontrole bağlı olan sensörler, sıcak su deposunun soğuk giriş ve sıcak çıkış kısımlarına bağlanmış ve bu noktalardaki sıcaklık ölçümlerini üzerinde bulunan bir SD karta kaydetmiştir. Ayrıca ortam sıcaklığı da , dış ortama yerleştirilen bir sensör vasıtasıyla aynı otomatik kontrol tarafından ölçülüp, kaydedilmiştir. Diğer yandan piranometre de yapılan ölçümler de bu bölümde bulunan piranometreye ait veri kaydedicinin hafızasına kaydedilmiştir. PV modül ve PVT kolektör den üretilen elektrik resimde görülen 12V 200 Ah lik 2 adet aküde depolanmıştır. PV modül ve PVT kolektörler e ait voltaj ve akım ölçümleri ayrı veri kayıt cihazları ile ölçülmüş ve ayrı bilgisayarlara kaydedilmiştir.İki bilgisayar kullanılmasının nedeni, tek bilgisayar ile iki farklı ölçümün aynı anda alınamamasından kaynaklanmıştır.



Şekil 3.32. Deney sisteminden bir görünüm-6

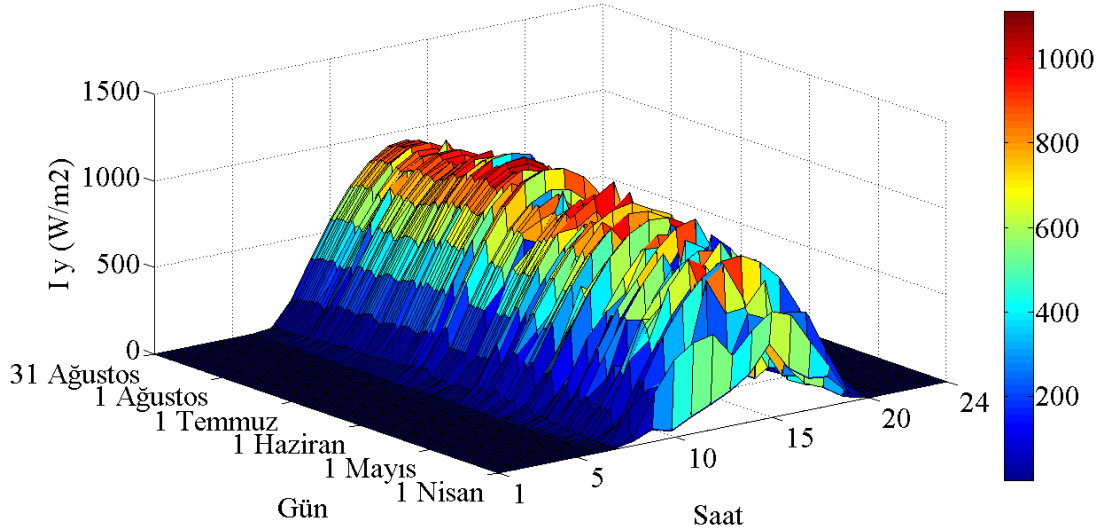


Şekil 3.33.Deney sisteminden bir görünüm-7

Şekil 3.33'de PV modül ve PVT kolektör e ait veri kayıt cihazları ve şarj kontrol cihazları görülmektedir. PV modül ve PVT kolektör önce şarj kontrol cihazına bağlanmış ve şarj kontrol cihazından da veri kayıt cihazına üretilen elektriksel değerler (voltaj, akım) aktarılmıştır.

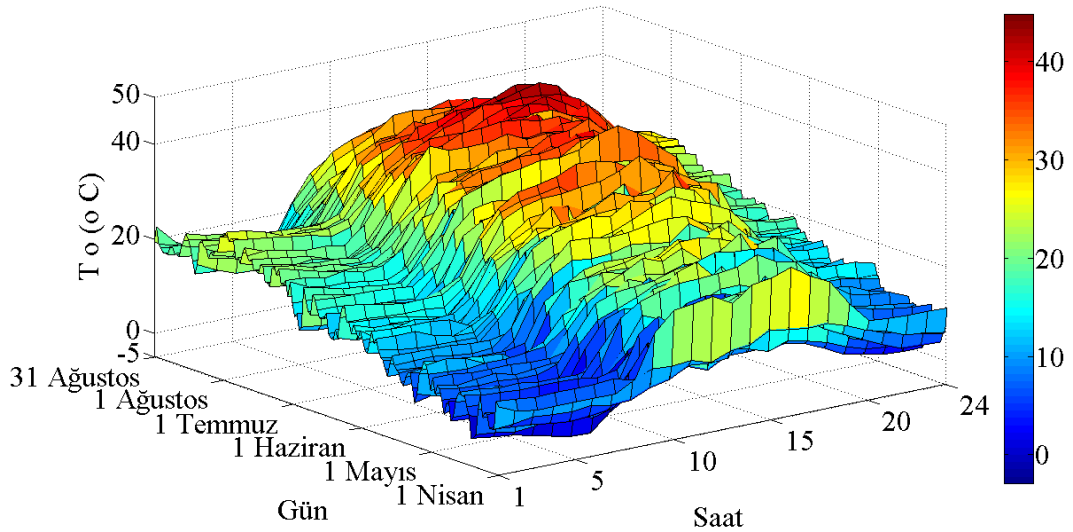
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Konya ili dış ortam şartlarında, 2011 nisan ve eylül ayları arasında yapılan test sonuçları bu bölümde açıklanmıştır. 1 Nisan 2011-31 Ağustos 2011 tarihleri arasında aylık ortalama ışıınım değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. 01.04.2011-01.09.2011 tarihleri arası saatlere göre aylık ortalama ışıınım değerleri

Şekil 4.1'den de görüldüğü üzere maksimum ışıınım 1 Haziran 2011 günü 1,109 W/m^2 ile saat 13:00-14:00 arasında elde edilmiştir. Aylara göre ışıınım ortalamaları Nisan ayı için 690 W/m^2 , Mayıs ayı için 706 W/m^2 , Haziran ayı için 792 W/m^2 , Temmuz ayı için 946 W/m^2 ve Ağustos ayı için 867 W/m^2 olarak ölçülmüştür.



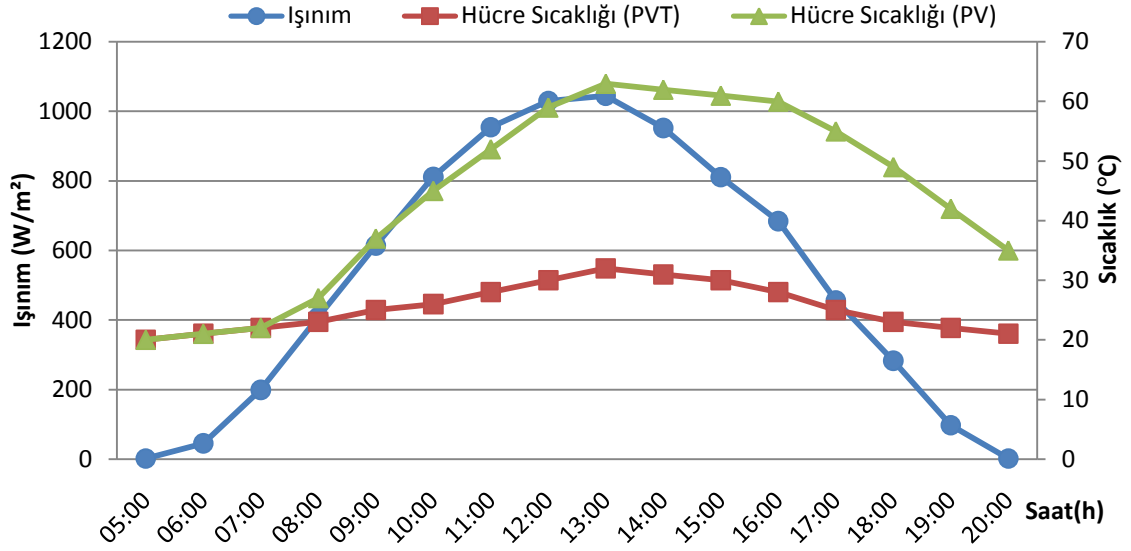
Şekil 4.2. Haziran-2011 tarihleri arası saatlere göre aylık ortalama ışıınım ve sıcaklık değerleri

Şekil 4.2'den görüldüğü üzere maksimum sıcaklık 1 Ağustos 2011 günü 44,8 °C ile saat 15:00 da elde edilmiştir. Aylara göre saat 06:00-20:00 arası sıcaklık ortalamaları Nisan ayı için 14.2 °C, Mayıs ayı için 20 °C, Haziran ayı için 26.5 °C, Temmuz ayı için 32.7 °C ve Ağustos ayı için 30.1 °C olarak ölçülmüştür.

Deney setinde 1 adet 190 Wp lik fotovoltaik modül ve aynı modülü taşıyan 1 adet PVT-su kolektörünün ısı ve elektriksel analiz işlemleri yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada ısı ve elektriksel deney sonuçları sırasıyla ele alınacaktır. Isıl yönüyle sistem incelendiğinde değişik zaman zarflarında fotovoltaik modülün yüzey sıcaklık değeri, suyun PVT kolektöre giriş ve çıkış sıcaklık değerleri, ortam sıcaklığı, güneş ışınım değerleri, ısı verim, ısı kazanç ve debi değerleri bulunmuş ve incelenmiştir. Bunların dışında elektriksel olarak da panellerin voltajı, panellerin akım değerleri, elektriksel verim değerleri de bulunmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm bu ısı ve elektriksel ölçümlerin yapılmasının amacı PV sistemde hücrelerin soğutulması ile yapılan kazanım ve buna ilaveten elde edilen ısı enerjisi değerinin bulunmasıdır. Ayrıca PVT-hava ve PVT-su sistemlerinin TRNSYS programında simülasyonları yapılarak birbirleriyle ve PVT-su sisteminin deney sonucuyla karşılaştırılmıştır.

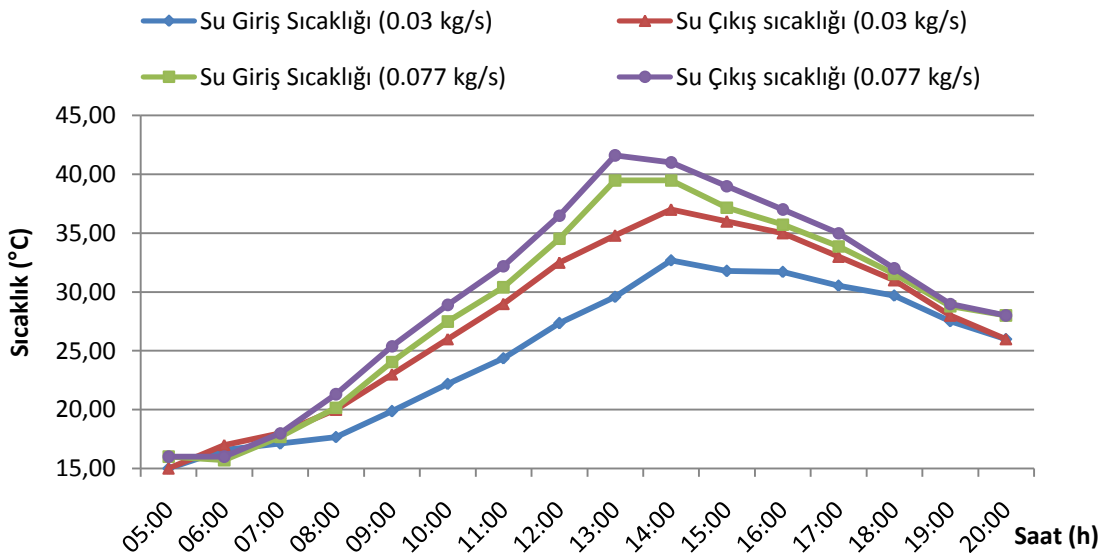
4.1. Sistemin Isıl Performansı

Fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığı ışınlama doğru orantılıdır ve bu durumu gösteren grafik Şekil 4.3'de verilmiştir. Soğutma altında her 100 W/m² ışınlama değerindeki artış modül sıcaklığını yaklaşık 1.2°C arttırmaktadır. Bunun yanında soğutma olmadığı zamanlarda ışınlama değerindeki her 100 W/m² lik artış PV panel yüzey sıcaklığında yaklaşık 5.65°C artışa sebebiyet vermektedir (Deney sırasında PVT-su kolektöre giriş su sıcaklığı 14 derece de sabit tutulmuştur). Ayrıca 25temmuz 2011 günü için maksimum PV yüzey sıcaklığı 63°C olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3. Güneş ışınlamının değerleri ve PV ve PVT panel yüzey sıcaklığı (25 Temmuz 2011)

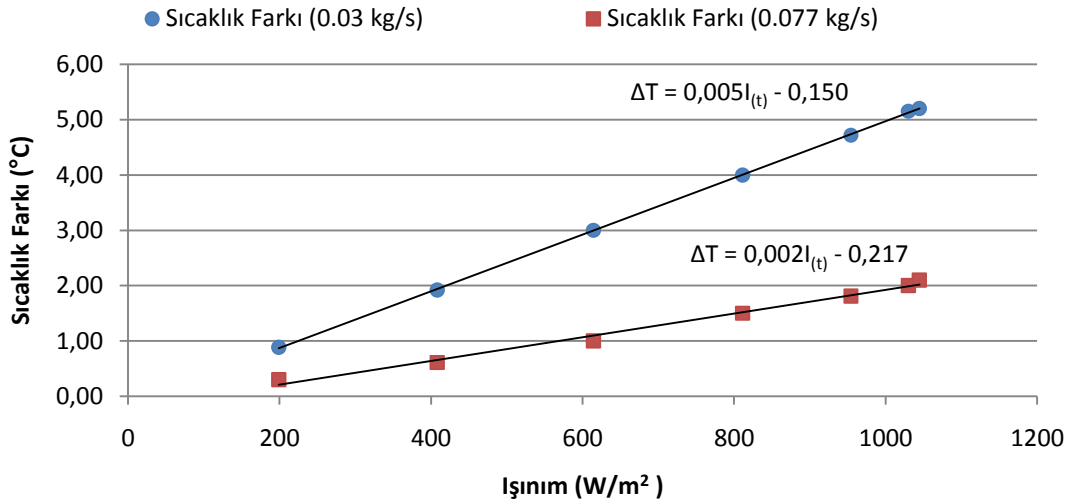
PVT-su sisteminde giriş ve çıkış su sıcaklıklarının ölçümü deneysel olarak bu sistemde yapılmıştır, ancak ısı kazancı ve ısı verim değerlerinin ölçülen sıcaklık farklarının yardımıyla hesaplanarak bulunması gerekmektedir. Şekil 4.4'de değişken su giriş debilerindeki sıcaklık profili görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda; 0.03 kg/s debide suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkı en fazla 5.2⁰C, en düşük sıcaklık farkı ise 1⁰C, 0.077 kg/s debide suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkı en fazla 2.1⁰C ve en az ise 0.6⁰C olmuştur.



Şekil 4.4. 0.030 kg/s ve 0.077 kg/s debilerdeki giriş ve çıkış su sıcaklık farkları (25 Temmuz 2011)

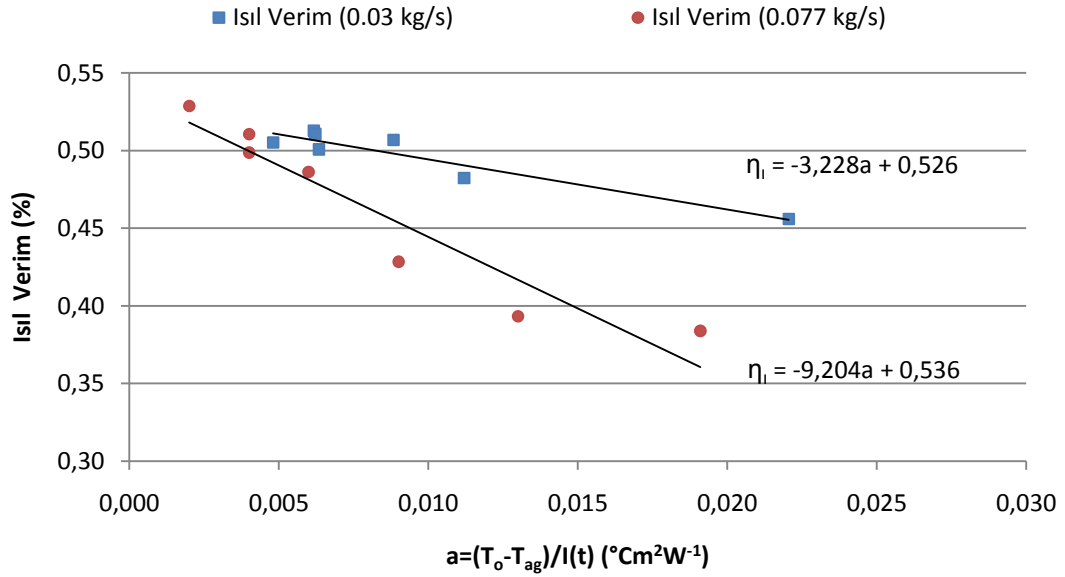
Su giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı gösteren grafik Şekil 4.5'de verilmiştir. Su giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 0.03 kg/s debi değerinde; ısıtım değerindeki her 100 W/m² artışta, 0.52⁰C artmaktadır. Diğer bir yandan giriş ve çıkış su sıcaklıkları arasındaki fark 0.077 kg/s debi değerinde; ısıtım değerindeki her 100 W/m² artışta, 0.21⁰C artmaktadır. Bu değerlerden çıkarılacak sonuç ise akışkanın kütleli debisinin artması durumunda giriş ve çıkış su sıcaklık farkının azalmasıdır.

0.03kg/s ve 0.077 kg/s kütleli debilerde ısıtımın, giriş ve çıkış su sıcaklık farkları ($T_{ag}-T_o$) üzerine etkisi Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. 0.030 kg/s ve 0.077 kg/s kütleli debilerde, ısıtımın giriş ve çıkış su sıcaklık farkları ($T_{ag}-T_o$) üzerine etkisi

Yapılmış olan bu tez kapsamında elde edilen deneysel sonuçlara göre ısıtım verimin, indirgenmiş sıcaklık farkının ($(T_o-T_{ag})/I_{(t)}$) bir fonksiyonu olarak gösterildiği grafik Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. İndirgenmiş sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak ısı verim

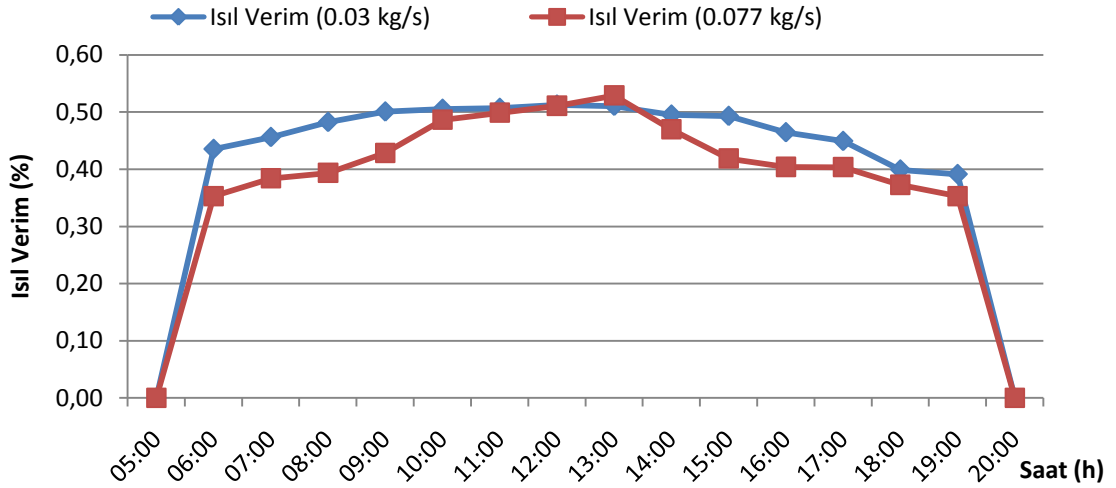
Şekil 4.6'dan elde edilen doğrusal eğimlerin denklemleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Elde edilen ısı verim denklemindeki birinci katsayı kolektör optik verimini, ikinci değişken ise sıcaklık ve ışıınıma bağlı kayıpları gösterir. Optik verim, PVT kolektörden 1000 W/m^2 ışıınımda ve maksimum sıcaklık farkında elde edilen maksimum verimdir. Gün içerisinde sıcaklık farkı ve ışıınım da değişimler olduğu için, bu değişimlere bağlı olan kayıpların optik verimden çıkarılması ile kolektörün reel ısı verimi bulunmuş olur.

Çizelge 4.1. Değişik debi değerlerinde ki ısı verimler

Kütlesel Debi	Denklem	
0.03 kg/s	$\eta_i = 0.526 - 3.228\Delta T / I$	(4.1)
0.077 kg/s	$\eta_i = 0.536 - 9.204\Delta T / I$	(4.2)

Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi suyun kütlesel debisinin artması optik ısı veriminde artmasını sağlamıştır. Prakash (1994), Chow (2010), yapmış oldukları çalışmalarda suyun kütlesel debisinin artmasının ısı verimi arttırdığını söylemişlerdir. Ancak, suyun kütlesel debisinin artmasının, sıcaklığa bağlı kayıpların da artmasına neden olduğu, dolayısı ile toplam ısı verimde de düşüşe neden olduğu Şekil 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.1'de verilen verim denklemleri kullanılarak, 25 temmuz 2011 günü için saatlere göre elde edilen ısı verim grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



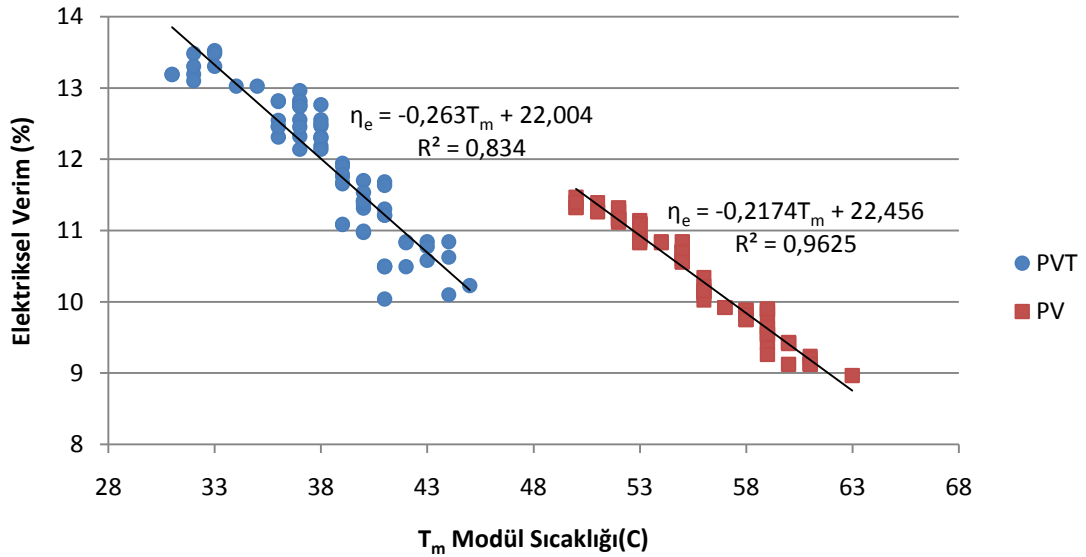
Şekil 4.7. 0.030 kg/s ve 0.077 kg/s kütleli debilerde, günlük verim değişim grafiği (25 Temmuz 2011)

Şekil 4.7'den de görüldüğü üzere 0.03 kg/s debi değerinde sistemin ısı verimi daha yüksek çıkmaktadır. Sabahın ilk saatleri ile akşam saatlerinde ısıtım değerlerinin düşmesinden ötürü verim değerleri düşük çıkmaktadır ama saat 07:00 ile saat 19:00 arası ısıtım değerleri daha stabil olduğu için verim değerleri daha belirleyicidir. 0.03 kg/s debi değerinde sistemin optik verimi %52.6'dır. Sıcaklığa bağlı kayıplar dikkate alındığında optik verimdeki düşüş maksimum %14 olmuştur. Bunun yanında 0.077 kg/s debi değerindeki optik verim %53.6'dır. Sıcaklığa bağlı kayıplar dikkate alındığında optik verimdeki maksimum düşüş %40 olmuştur. Literatür araştırmalarında genellikle sistemin optik verim sonuçları verilir ve sıcaklığa bağlı kayıplar dikkate alınmamaktadır.

Chow ve ark. (2007), Tripanagnostopoulos ve ark. (2005), He ve ark. (2011), Ji ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmalarda PVT kolektörün ısı verimlerini %38-%48 arasında bulmuşlardır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ise optik verim, debi değerine bağlı olarak %52-53 arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar literatürde yapılan çalışmaları destekler bir sonuçtur. Yapılan literatür çalışmaları yukarıda da bahsedildiği gibi genellikle optik verimi bulmaya yöneliktir ama pratik uygulamalarda sıcaklığa bağlı kayıpların dikkate alınması gerekir. Bu bakımdan Şekil 4.7'de verilen grafik, optik verimden, gün içerisinde sıcaklığa bağlı kayıpların çıkarılmasıyla elde edilmiştir ve diğer çalışmalardan ayrılan yönü ile dikkat çekmektedir.

4.2. Sistemin Elektriksel Performansı

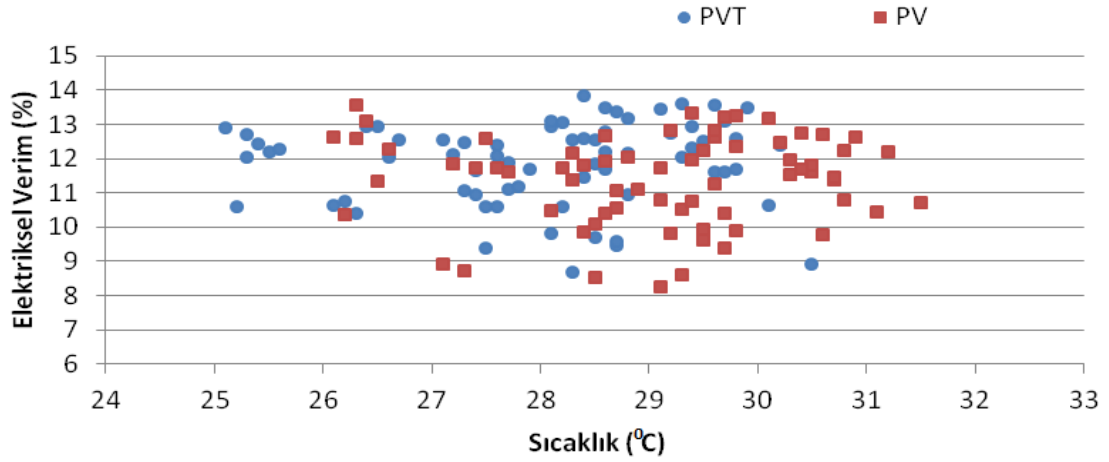
Şekil 4.8. ve 4.9'da PV modüllerin değişik ışınlım ve sıcaklılardaki elektriksel verimleri gösterilmiştir. Burada verimler 3.14 nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. PV modül de soğutma mekanizması kullanılmadığında modül sıcaklığı maksimum 63⁰C ve PV modülün elektriksel verimi de 9% olmaktadır. Eğer PV modül su ile soğutulursa elektriksel verim %13.6 değerine yükselmekte ve çalışma sıcaklığı ise 32 ⁰C ye düşmektedir. Deney sonuçları, PV modülde soğutma yapıldığı takdirde, PV modülün çalışma sıcaklığının düşürülerek elektriksel veriminin artırıldığını göstermiştir. Ayrıca, yüksek çalışma sıcaklıkları, modül malzemesine zarar vererek modülün ömrünün kılmasına da sebep olur. Soğutma yapılarak bu durumun da önemli ölçüde ortadan kalkması sağlanmıştır.



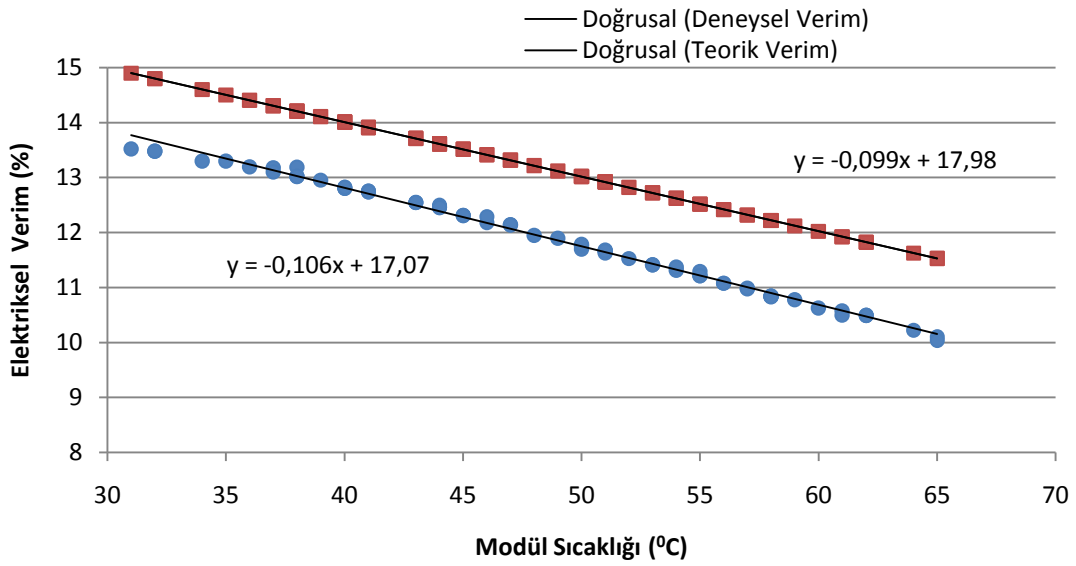
Şekil 4.8.01.04.2011 - 01.09.2011 tarihleri arası ölçümlenen 800-1000 W/m² de elektriksel verimin PV modül sıcaklığına bağlı değişimi

Şekil 4.8. de görülebileceği gibi yüksek ışınlım değerleri altındaki çalışma sıcaklıklarında, PV modülün elektriksel verimleri, soğutma olmadığında düşmektedir. Bunun yanında, Şekil 4.9. da görüldüğü üzere düşük ışınlım koşullarında soğutma mekanizması PV modülün elektriksel verimini fazla etkilememektedir. Bunun nedeni ise genellikle düşük ışınlım değerlerinde PV modülün düşük sıcaklıklar altında çalışması, dolayısıyla soğutma mekanizmasının elektriksel verimliliği önemli ölçüde

etkileyememesidir. Yüksek ışınlım değerlerinde PV modül yüksek sıcaklık değerlerine maruz kalmaktadır.



Şekil 4.9.01.04.2011 - 01.09.2011 tarihleri arası ölçümlenen 250 W/m² de elektriksel verimin PV modül sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 4.10. Deneysel ve teorik elektriksel verimlerin karşılaştırılması

Şekil 4.10'dan elde edilen elektriksel verim ve çalışma sıcaklığı eğrisinden, aşağıdaki fonksiyon elde edilmiştir:

$$\eta_{el} = 0,170 - 0,0106T_{panel} \quad (4.3)$$

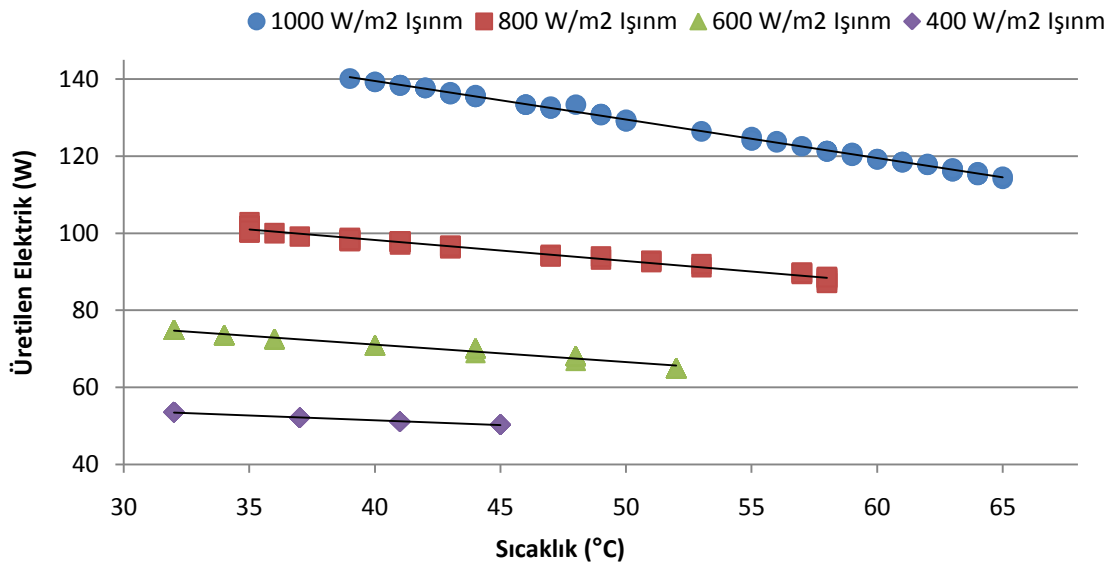
(3.25) numaralı denklem kullanılarak yapılan teoriksel analiz sonucunda elde edilen lineer denklem aşağıdaki gibidir:

$$\eta_{el} = 0,179 - 0,0099T_{panel} \quad (4.4)$$

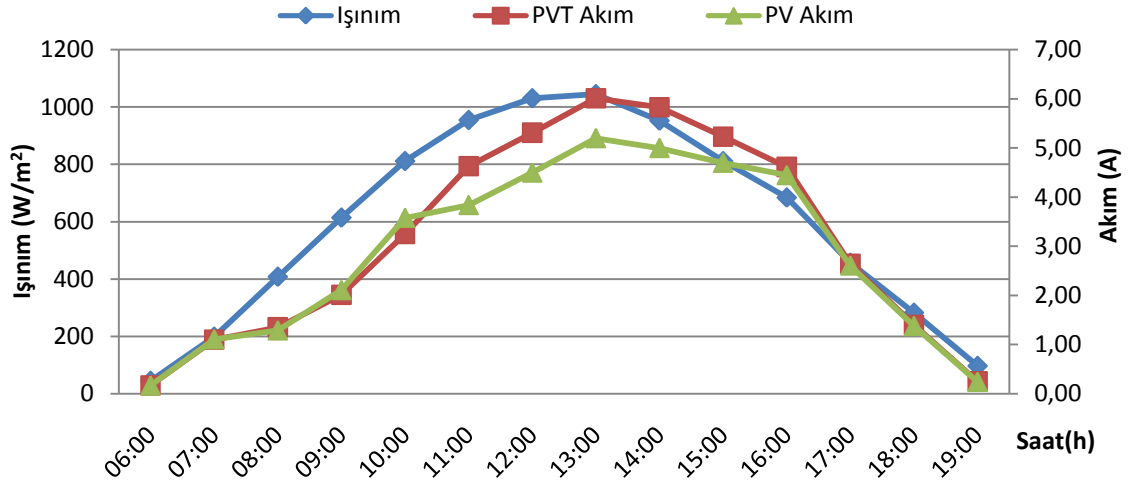
Şekil 4.10'dan da görülebileceği gibi teoriksel olarak elde edilen elektriksel verim değerleri, deneysel sonuçlarda elde edilen verimlere nazaran yaklaşık %5 yüksek çıkmaktadır. Bu farklılık modül bağlantı kayıpları gibi durumlardan kaynaklanmaktadır.

PVT-su kolektörde su giriş çıkış farklarının artması elektriksel verimi düşürmektedir. Şekil 4.10'dan da görüldüğü üzere artan giriş ve çıkış su sıcaklık farklarında elektriksel verim değeri düşmektedir. Bu durum, yüksek sıcaklık farklarında PV modülde sıcak noktalar oluşmasından dolayı açıklanabilir. Bu nedenle, PV modülün bazı noktalarında oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle toplam elektriksel verimde düşmeler meydana gelmektedir. Bu yüzden elektriksel verimliliğin maksimum değerde tutulabilmesi için su giriş çıkış sıcaklık farklarının optimum seviyede tutulması gerekmektedir.

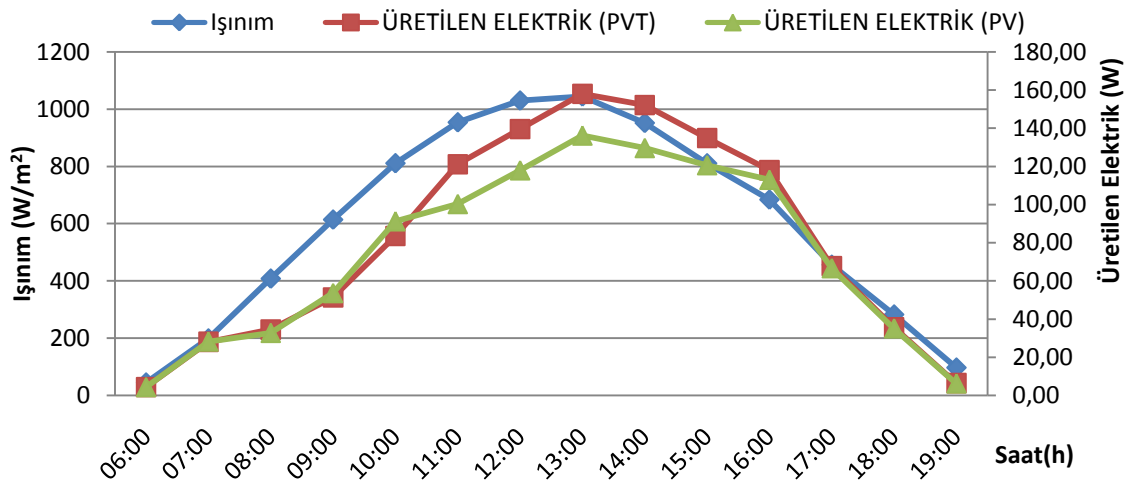
PV modül sıcaklığının PV den üretilen elektriksel değerlere etkisi Şekil4.11'de gösterilmiştir. 1000 W/m^2 ışınlam değeri altında, sıcaklığın her 1°C artması, elektriksel üretimde $\%0.7/^\circ\text{C}$ düşmeye neden olmaktadır. Bunun yanında Radziemska (2003) sıcaklığın her 1°C artmasında elektriksel üretimde $\%0.65/^\circ\text{C}$ düşme olduğunu rapor etmiştir. Diğer ışınlam değerlerinde ise her 1°C lik sıcaklık artışının neden olduğu elektriksel üretim değerlerindeki düşme oranları ise şu şekildedir. 1000 W/m^2 ışınlamda $\%0.71/^\circ\text{C}$, 800 W/m^2 ışınlamda $\%0.52/^\circ\text{C}$, 600 W/m^2 ışınlamda $\%0.43/^\circ\text{C}$, 400 W/m^2 ışınlamda ise $\%0.36/^\circ\text{C}$ dir.



Şekil 4.11. Değişik ışınlam değerleri altında PV den üretilen elektriksel değerler



Şekil 4.12. Bir gün boyunca PV ve PVT den üretilen akım değerlerine karşılık gelen ışıınım değerleri. (25 Temmuz 2011)

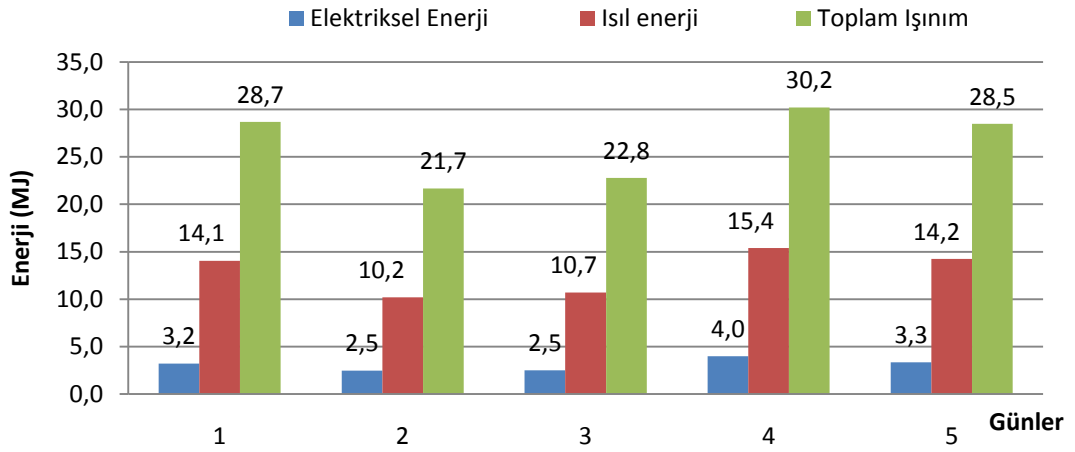


Şekil 4.13. Bir gün boyunca PV ve PVT den üretilen güç değerlerine karşılık gelen ışıınım değerleri. (25 Temmuz 2011)

Şekil 4.12' de ışıınım ile PV ve PVT çıkış akımları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu ilişki aynı zamanda şebekeden bağımsız olarak kurulmuş sistemler içinde önemli bir bilgi içerir. Bağımsız sistemler de PV modüllerden üretilen elektriğin depolanması için akü grubuna gereksinim duyulur. Akülerin nominal akımda şarj edilebilmesi için gün içerisinde değişik ışıınım değerlerinde PV modüllerden üretilen akım değerlerini bilmek önemli avantajlar sağlar. Bu grafikler bu bakımdan önem arz etmektedir. Şekil 4.13' de 25 Temmuz 2011 günü için PV modül ve PVT-su kolektörden saatlere göre üretilen elektriksel güç değerleri verilmiştir. Buna göre gün içerisinde PVT kolektörden PV modüle göre 100 Wh daha fazla elektriksel enerji üretilmiş bununla beraber saat 13:00-

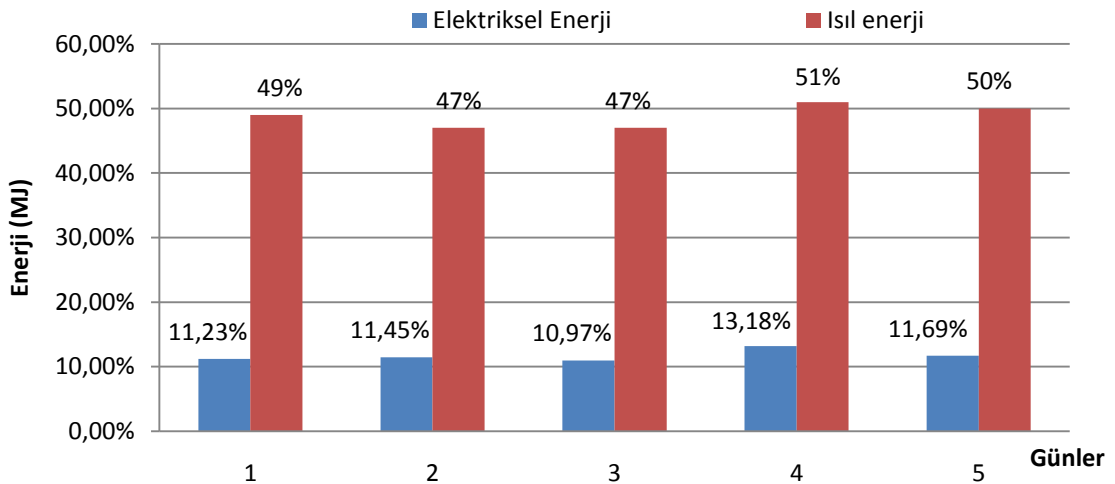
14:00 arasında $1,044 \text{ W/m}^2$ ışınlam ve 36.1°C ortam sıcaklığında PVT kolektörden PV modüle göre 22Wh daha fazla elektriksel enerji üretilmiştir. Bu değerlere bakılacak olursa saat 13:00-14:00 arasında PVT kolektörden PV modüle nazaran %16, tüm gün ortalamasında ise %9.6 daha fazla elektrik üretimi yapılmıştır.

5 günlük (1 Haziran 2011 ve 5 Haziran tarihleri arası) PVT-su kolektörden üretilen enerji değerleri Şekil 4.14' de gösterilmiştir. Grafikte, üretilen elektriksel ve ısı enerjisi değerleri verilmiştir. Bu grafik, deney sisteminde ne kadar enerji üretildiğini göstermektedir. Genel olarak Şekil 4.14' de sisteme giren enerji bilgilerine karşın sistemden çıkan elektriksel ve ısı enerjisi değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Sisteme giren enerji ve sistemden ısı ve elektriksel olarak çıkan enerji değerleri (1-5 Haziran 2011)

Şekil 4.15' de, 5 günlük enerji değerleri için gelen ışınlamın hangi oranlarda elektriksel ve ısı enerjisiye dönüştürüldüğünü gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4.15. Sisteme giren enerjinin, elektriksel ve ısı enerjisiye dönüşüm miktarları (1-5 Haziran 2011)

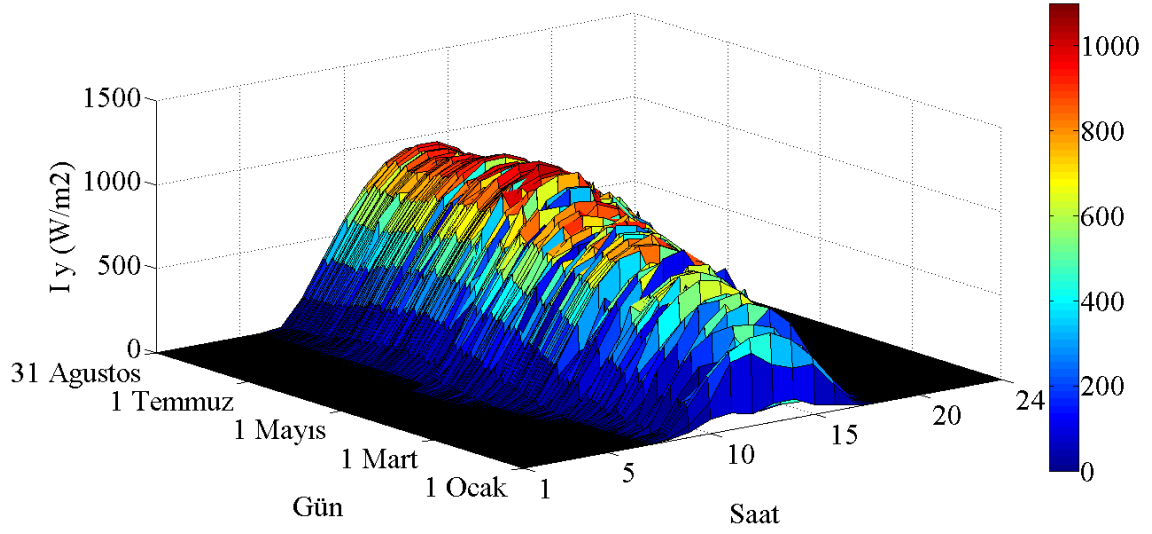
Şekil 4.15'den görüldüğü üzere ortalama elektriksel verim değeri %11 ve %13 aralığındadır. Bunun yanında sistemin ısı verimi ise ortalama %49 civarında olup elektriksel verimden daha yüksektir. Şekil 4.15'de ki grafikten de görülebileceği gibi ısı verim, elektriksel verime nazaran daha fazla dalgalanma göstermektedir. Bu dalgalanmanın sebebi, ısı verimin sadece ışıma bağlı olmayıp bununla beraber ortam sıcaklığına, çevreye olan ısı kayıplarına ve diğer meteorolojik parametrelere bağlı olmasındandır. Bu faktörlere bağlı olarak sistemin ısı verimliliği değişkenlik gösterir. Sistemin toplam verimliliği ise %58 ile %64 arasındadır. Bu sonuçlardan da görülebileceği üzere PVT-su kolektörün toplam verimi PV modüle göre çok daha fazladır. Diğer yandan standart sadece sıcak su üreten kolektörlerin verimleri; siyah boyalı kolektörler için yaklaşık %69, selektif yüzeyli kolektörler için ise yaklaşık %75 civarındadır.

Yapılan literatür taramalarında, PVT-su kolektörler için incelenen yayınlarda elde edilen sonuçlar, bu tez kapsamında elde edilen sonuçları desteklemektedir. Chow ve ark. (2009), Chow ve ark. (2007), Gank ve ark. (2011), Ji ve ark. (2003), Tripanagnastopoulos ve ark. (2005), Coventry (2005), He ve ark. (2011) yaptıkları yayınlarda elde edilen ısı ve elektriksel verimler sırasıyla %38-%58 ve % 8.5-%11 aralıklarında bulunmuştur. Bu sonuçlar, bu tez kapsamında elde edilen verileri doğrular niteliktedir. Ayrıca bu tez kapsamında ısı performans sonuçlarında elde edilen, suyun kütleli debisinin artması ısı verimi artırır sonucu, Prakash (1994), Chow (2010), tarafından yayınlanan makalelerde de elde edilen sonuçlardan biridir.

4.3. 2012 Yılı Işınım ve sıcaklık Dataları

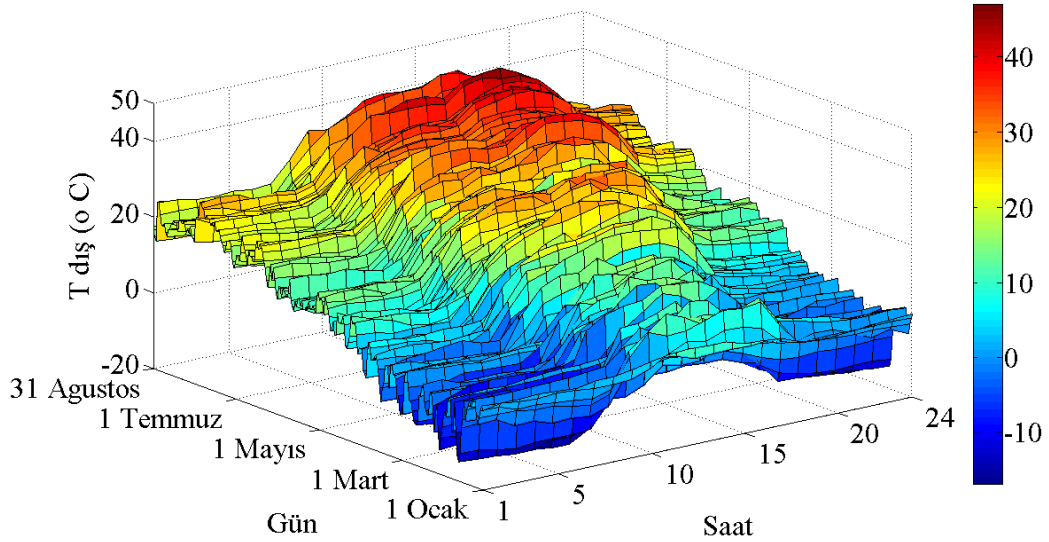
Bu tez çalışması kapsamında deneyler ve analizler 2011 yılında yapılmıştır. Bu bakımdan 2012 yılının ışıma ve sıcaklık değerleri belirlenerek bu bölümde açıklanmıştır.

1 Nisan 2012- 31 ağustos 2012 tarihleri arasında aylık ortalama ışıınım değęerleri karşıılaştırılması Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. 2012 yılı 1 Nisan- 31 Ağustos arası ışıınım değęerleri

Şekil 4.16 dan da görüldüğü gibi 1 Nisan- 31 ağustos arası 2012 yılı ortalama ışıınım verileri hesaplandığında 2012 yılı ışıınım değęerlerinin 2011 yılı ışıınım değęerlerine göre ortalama %7.87 daha fazla olduğı belirlenmiştir.



Şekil 4.17. 2012 yılı 1 Nisan - 31 Ağustos arası sıcaklık değęerleri

Şekil 4.17 den de görüldüğü gibi 1 Nisan - 31 ağustos arası 2012 yılı ortalama sıcaklık verileri hesaplandığında 2012 yılı ışıınım değęerlerinin 2011 yılı ışıınım değęerlerine göre ortalama %2.82 daha fazla olduğı belirlenmiştir.

4.4. Belirsizlik Analizi

Bütün deneylerden elde edilen bulgular belirli bir şekilde analiz edilmelidir. Deneyleri yapan ve bu deney sonuçlarını kullanan araştırmacılar, daima elde edilen bu bulguların geçerliliğini bilmek isterler. Deney yapılırken, deneyi yapan ne kadar tecrübeli olursa olsun ve dikkat ederse etsin, yine de deney sonuçlarında bazı hatalar görülebilir. Bu hataların bazıları rastgele karakterde görülürken, bazıları da deneyi yapan elemanın dikkatsizliği nedeni ile ortaya çıkan ve çoğunlukla normal dağılımdan aşırı farklılıklar gösteren karakterde olabilir (Genceli, 2008).

Ölçümlerin doğruluğu, ölçülen büyüklüğün gerçek değerine yakınlığı ile tanımlanır. Duyarlılık ise değerlerin kendi içinde tutarlılığı ve yinelenebilirliği olarak tanımlanabilmektedir. Tüm etkilerin, alınan ölçüm sonuçlarına etkilerinin ortaya konması, deney tasarımı ve cihaz seçimi konularında daha doğru yaklaşımların yapılabilmesi, deneysel bulguların hata analizi için belirsizlik analizinden yararlanılmıştır (Holman, 1994).

Deneysel bulguların belirsizlik analizi için hassas bir yöntem Kline ve McClintock (1953) tarafından ortaya konulmuştur.

Yapılan deneyde elektriksel ölçümdeki belirsizlik analizi PV panel ve PVT kolektör için yapılmıştır. Buna göre PV modülün verimi:

$$\eta_{PV} = \frac{V_{PV} \times I_{PV}}{I_{(t)} \times A_m} \quad (4.5)$$

şeklinde tanımlanır.

PV modülün verim değeri, panelden ölçülen voltaj (V_{PV}) ve akım değerleri (I_{PV}) çarpımının, güneş ışınımı (I_t) ve toplam PV alanı (A_m) çarpımına oranıdır.

Belirsizlik oranı formülü aşağıda verilmiştir.

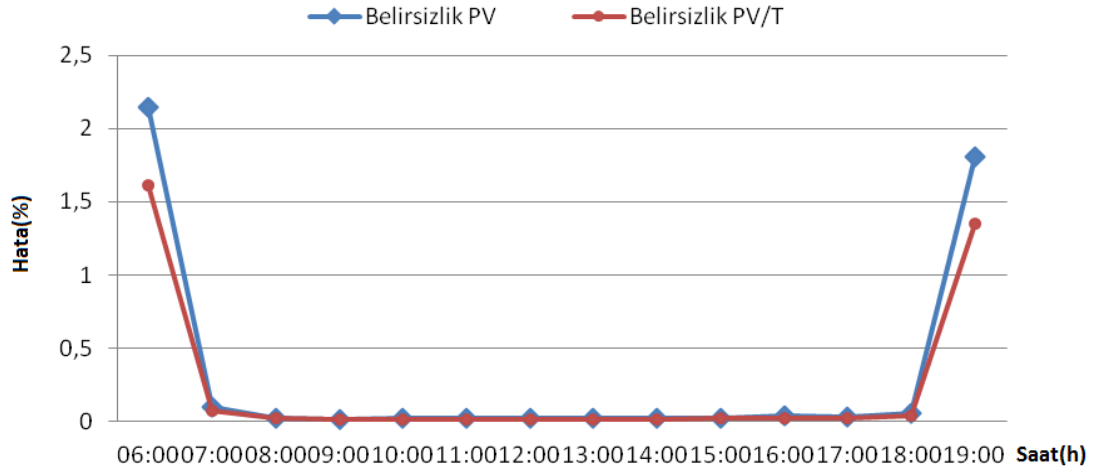
$$w_{\eta_{PV}} = \left[\left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial V_{PV}} w_{V_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_{PV}} w_{I_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_t} w_{I_t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial A_{PV}} w_{A_{PV}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.6)$$

Belirsizlik yüzdesi ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

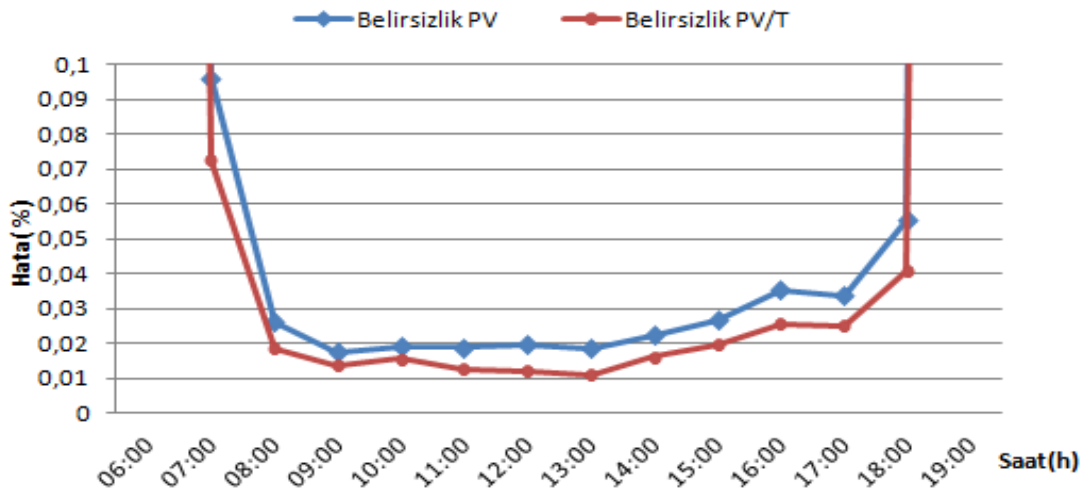
$$\frac{w_{\eta_{PV}}}{\eta_{PV}} \times 100 \quad (4.7)$$

Kullanılan cihazların doğruluk değerleri, akım için $\pm 0.1A$, voltaj için $\pm 0.01V$, Işınım için $\pm 0.04\%$, alan için $\pm 0.01 m^2$ olarak alınmıştır. 25 Temmuz 2011 günü için yapılan belirsizlik hesabında bu güne ait verim değerleri kullanılmıştır. Bu gün için

hesaplanan verim değerleri ise PV modül için %10.2 ve PVT kolektör için %13.6 dır. Belirsizlik yüzdesi hesaplarında bu değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.18. 25 Temmuz günü için saatlik PV ve PVT için belirsizlik analizi yüzde grafiği



Şekil 4.19. 25 Temmuz günü için saatlik PV ve PVT için elektriksel verimin belirsizlik analizi yüzde grafiği-detay görünüm

25 Temmuz 2011 günü için yapılan belirsizlik analizinde PV modül ve PVT kolektörden elde edilen voltaj ve akım değerlerinin saatlik ortalama verileri ve modül alanı ile saatlik ortalama ışıınım değerleri kullanılmıştır. (4.6) ve (4.7) denklemlerinde bu veriler kullanılarak Şekil 4.18' deki grafik elde edilmiştir. Bu grafiğe göre PV modül için ortalama belirsizlik $\pm\%0.31$ ve PVT sistem için ortalama belirsizlik $\pm\%0.23$ olarak bulunmuştur. Grafik 4.18'den de görüldüğü üzere sabahın ilk ve akşamın son saatlerinde ki hata yüzdeleri ortalamanın çok üzerindedir. Bunun nedeni de bu saatlerde ki üretilen elektrik değerinin ve ışıınının düşük olması kısaca kullanılan cihazların tolerans değerlerine yaklaşmasından ötürüdür. Diğer vakitlerde bu değerlerin yükselmesi ile

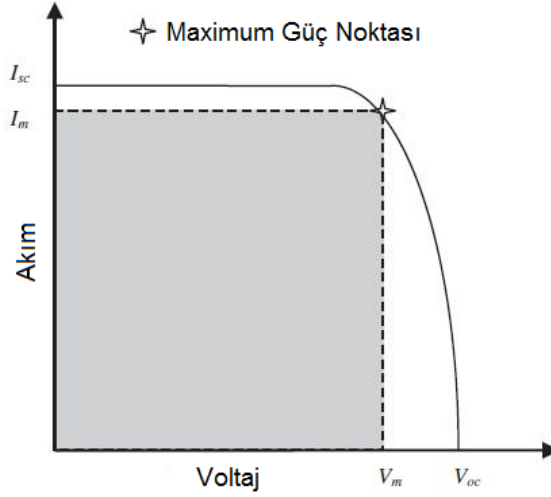
belirsizliğin düşmesi bu yolla açıklanabilmektedir. Belirsizliğin sadece sabah 06:00 ve akşam 19:00 saatleri civarında yüksek değer alması, diğer zamanlarda ise düşük değerlerde kalmasından ötürü pik saatlerdeki belirsizliğin toplam belirsizlik değeri üzerine etkisi küçük kalmaktadır.

Belirsizlik hesaplamalarında diğer bir incelenmesi gereken konu ise PVT kolektörden elde edilen hata yüzdesinin PV modüle nazaran daha düşük olmasının nedenidir. Hata oranı formülü, sonuç olarak elde edeceğimiz değere ulaşırken kullandığımız verilerin, sonuç değeri üzerindeki etkisini ortaya çıkarır. PVT kolektörden elde edilen verim değerinin PV modüle nazaran daha yüksek olması, PVT kolektörden elde edilen akım ve voltaj değerlerinin PV modüle nazaran daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Standart test koşullarında yapılan deneyler sonucunda bir PV modülden elde edilen verim değerinin maksimum olduğu kabul edilir. PVT kolektörden elde edilen verim değerinin PV modülden elde edilen verim değerine göre yüksek olması, standart test koşullarında elde edilen verim değerine, PVT kolektörün, PV modüle nazaran daha çok yaklaşmış olması, PVT sistemin belirsizlik değerinin daha düşük çıkmasını sağlamıştır. Bu durum beklenen bir sonuçtur ve deneylerden elde edilen verilerin kabul edilebilir olduğunun bir göstergesidir.

Sonuç olarak, belirsizlik analizinde yukarıda da belirtildiği gibi belirsizlik değerini en çok etkileyen bileşenin bulunması gerekir. Yapılan hesaplamalar sonucunda bu bileşenin şarj regülatöründe ölçülen akım değeri olduğu sonucuna varılmıştır. Daha hassas hesap yapılmak istenirse bu bileşen üzerine yoğunlaşılabilir.

4.5. Ekserji Analizi

PVT sistemlerde enerji, elektrik ve ısı olmak üzere iki ana unsura bağlıdır. Her ne kadar elektrik, fotovoltaik etki nedeniyle üretiliyor olsa da güneş ışıınımları nedeniyle ısınan hücreler ısı enerjiiyi ortaya çıkarır. Tamamen yararlı bir amaç için kullanılabilir enerji olarak fotovoltaik sistem tarafından üretilen elektrik, elektriksel ekserji olarak adlandırılır (Joshi ve ark., 2011). Şekil 4.20' de PVT panelin akım-voltaj eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.20. Fotovoltaik hücrenin I-V karakteristiği (Joshi ve ark., 2011)

Fotovoltaik panelin üst yüzeyindeki ısı enerjisi, faydalı bir enerji değildir, bu yüzden bu enerji, ortama olan ısı kaybı olarak adlandırılır.

Yukarıda anlatılan bileşenler göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemden enerji çıkışı şu şekilde tanımlanır (Joshi ve ark., 2011).

$$\dot{E} n_{\zeta} = \dot{E} n_{elektrik} + \dot{E} n_{isl} = V_{oc} \times I_{sc} + Q \quad (4.8)$$

Fotovoltaik sistemden ekserji çıkışı benzer olarak şu şekilde ifade edilir.

$$\dot{E} x_{\zeta} = \dot{E} x_{elektrik} + \dot{E} x_{isl} + \dot{E} x_d = \dot{E} x_{elektrik} + I' \quad (4.9)$$

Bu denklemde I' ;

$$I' = \dot{E} x_{isl} + \dot{E} x_d \quad (4.10)$$

denklemlerle gösterilir ve hem iç hem de dış kayıpları içerir. Bu iç ve dış kayıplar sırasıyla ekserji yıkımı ve ısı kaybıdır.

Yukarıdaki denklemde $\dot{E} x_{elektrik}$, fotovoltaik sistemin elektriksel ekserjisini gösterir. Elektriksel çıkış açısından ekserji hesaplamak için fotovoltaik yüzey tarafından alınan ekserji içeriğinin, tamamen maksimum elektrik ekserjisi üretmek için kullanıldığı kabul edilir ($V_{oc} I_{sc}$). Bu durum Şekil 4.20 referans alınarak şu şekilde tanımlanabilir:

$$\dot{E} x_{elektrik} = \dot{E} n_{elektrik} - I' \quad (4.11)$$

$$\dot{E} x_{elektrik} = V_{oc} x I_{sc} - (V_{oc} x I_{sc} - V_m x I_m) \quad (4.12)$$

Denklem (4.12) de eşitliğin sağ tarafındaki birinci ifade ($V_{oc} x I_{sc}$) elektriksel enerjiyi, ikinci ifade ($V_{oc} x I_{sc} - V_m x I_m$) ise tersinmezlikten kaynaklanan ekserji bozulmasını ifade eder. Bu iki fark elektriksel ekserjiyi şu şekilde ifade eder:

$$\dot{E} x_{elektrik} = V_m x I_m \quad (4.13)$$

Sistemin ısı ekserjisi ($\dot{E} x_{isil}$), hücrelerin üst yüzeyinden ortama olan ısı kaybından oluşur ve termodinamikte aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\dot{E} x_{isil} = \left(1 - \frac{T_{ortam}}{T_{hücre}}\right) \dot{Q} \quad (4.14)$$

Denklem (4.14) deki $\dot{Q}$,

$$\dot{Q} = h_{ca} A (T_{hücre} - T_{ortam}) \quad (4.15)$$

Hücrelerin üst yüzeyinden ortama olan ısı transferi toplamı (h_{ca}), rüzgar hızı (ν), havanın yoğunluğu ve ortam koşulları dikkate alınarak hesaplanır (Joshi ve ark., 2011 ve Tiwari, 2004).

$$h_{ca} = 5.7 + 3.8\nu \quad (4.16)$$

olarak ifade edilir.

Denklem (4.14), hücrelerdeki mevcut ısı enerjisinden ($\dot{Q}$) elde edilebilecek tersinir işi veya maksimum yapılabilir işi ifade eder.

Denklem (4.13) ve (4.14) göz önünde bulundurulduğunda, PVT sistemin elektriksel ve ısı ekserjisi için genel bir formül aşağıda belirtilmiştir:

$$\dot{E} x_{PVT} = V_m I_m + \left(1 - \frac{T_{hücre}}{T_{ortam}}\right) x [h_{ca} A (T_{hücre} - T_{ortam})] \quad (4.17)$$

Sistemin ekserji verimi ise;

$$\Psi = \frac{\dot{E}_x}{\dot{E}_{x,günış}} \quad (4.18)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Ekserji verimliliği, enerji verimliliğine göre daha hassas bir sistem performans anlayışı verir ve verimi arttırmak için hem dış kayıpların hem de içten tersinmezliklerin ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bir çok durumda içten tersinmezlikleri ele almak dış kayıplara göre daha önemli ve daha zordur (Dinçer ve Rosen, 2007).

Yapılan ekserji analizinde Konya ili şartlarında 25 Temmuz 2011 için sonuçlar değerlendirilmiştir. PVT deney seti kurulumu Konya ili için optimum açı olan 30^0 derecede yapılmıştır. Güneş ışıını PVT panelin üzerinde bulunan hücrelere düşer ve burada elektrik ve ısı enerjiye dönüştürülür. Güneş ışıınındaki ısı enerjiden dolayı hücrelerin elektronik devrelerinde ısınma ve dolayısı ile sistemde verim kaybı olur. Sistemden iyi bir elektriksel verim almak için hücrelerde oluşan bu ısınmanın zorunlu olarak alınması gerekir. Bu yüzden hücrelerin arka yüzeyinde oluşan bu ısının hava veya su kullanılarak sistemden uzaklaştırılması gerekir.

Hücre sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, giriş-çıkış su sıcaklıkları sisteme bağlanan otomatik kontrole ait sensorlar tarafından ölçülmüştür. Ayrıca üretilen elektriksel parametreler de sisteme bağlanan şarj kontrol cihazı ile ölçülmüş, bu cihaza bağlanan veri kaydedici vasıtasıyla da bilgisayara kaydedilmiştir. Dijital bir anemometre vasıtasıyla PVT kolektör üzerindeki rüzgar hızı ve piranometre kullanılarak ışıını ölçümü yapılmıştır.

25 Temmuz 2011 de elde edilen deneysel datalar ile yapılan hesaplamalar neticesinde denklem (4.13) kullanılarak PVT kolektörün elektriksel ekserjisi, denklem (4.14) kullanılarak sistemin ısı ekserjisi ve denklem (4.17) kullanılarak sistemin toplam ekserjisi hesaplanmış ve değerleri çizelge 4.2. de verilmiştir.

Çizelge 4.2. PVT kolektöre ait saatlik ekserji değerleri

Zaman	$E_{\text{elektrik}}(\text{kWh})$	$E_{\text{ısı}}$	E_{PVT}
06:00	4.29	0.03	4.31
07:00	28.01	0.14	28.14
08:00	35.07	3.65	38.73
09:00	50.69	23.70	74.40
10:00	85.51	34.42	119.93
11:00	112.10	38.40	150.50
12:00	139.49	71.77	211.26
13:00	142.67	107.31	249.98
14:00	144.74	130.20	274.94
15:00	133.91	118.36	252.28
16:00	118.06	67.25	185.31
17:00	68.77	62.04	130.81
18:00	36.50	37.25	73.74
19:00	6.48	19.62	26.10

Elde edilen bu veriler ışığında denklem (4.18) kullanılarak PVT kolektöre ait ekserji verimleri hesaplanmış ve çizelge 4.3. de verilmiştir.

Çizelge 4.3. PVT kolektöre ait saatlik ekserji verimleri

Saat	Elektriksel Ekserji Verimi	Isıl Ekserji Verimi	Toplam Ekserji Verimi
06:00	9.58%	0.06%	9.64%
07:00	14.09%	0.07%	14.16%
08:00	8.44%	0.90%	9.33%
09:00	8.35%	3.86%	12.21%
10:00	10.29%	4.24%	14.54%
11:00	12.70%	4.02%	16.72%
12:00	13.55%	6.97%	20.52%
13:00	15.13%	17.78%	32.91%
14:00	15.98%	13.67%	29.65%
15:00	17.22%	14.60%	31.81%
16:00	17.26%	9.83%	27.08%
17:00	14.84%	13.59%	28.43%
18:00	12.60%	13.19%	25.79%
19:00	6.55%	20.24%	26.79%

4.6. Ekonomik Analiz

Güneş enerjisinden elektrik üretiminin yapıldığı tesislerde, tesisin ekonomik analizinin yapılması için en az bir yıllık ölçüm alınması gerekir. Tez çalışmasında belirli zaman aralığında ölçümler yapıldığı için ekonomik analizde PVGIS programı kullanılarak daha önce yapılmış ölçümlerden de faydalanılmıştır.

PVGIS programından 190 W lık PV modül ve PVT kolektör için Konya ili şartlarında optimum açıda (30^0) gelen ışınlam değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Konya ili için 30^0 eğimde gelen ışınlam şiddeti (W/m^2)

AYLAR	IŞINIM (Wh/m^2)
OCAK	3,320
ŞUBAT	3,910
MART	5,280
NİSAN	5,430
MAYIS	5,900
HAZİRAN	6,300
TEMMUZ	6,390
AĞUSTOS	6,310
EYLÜL	6,360
EKİM	5,200
KASIM	3,750
ARALIK	2,990

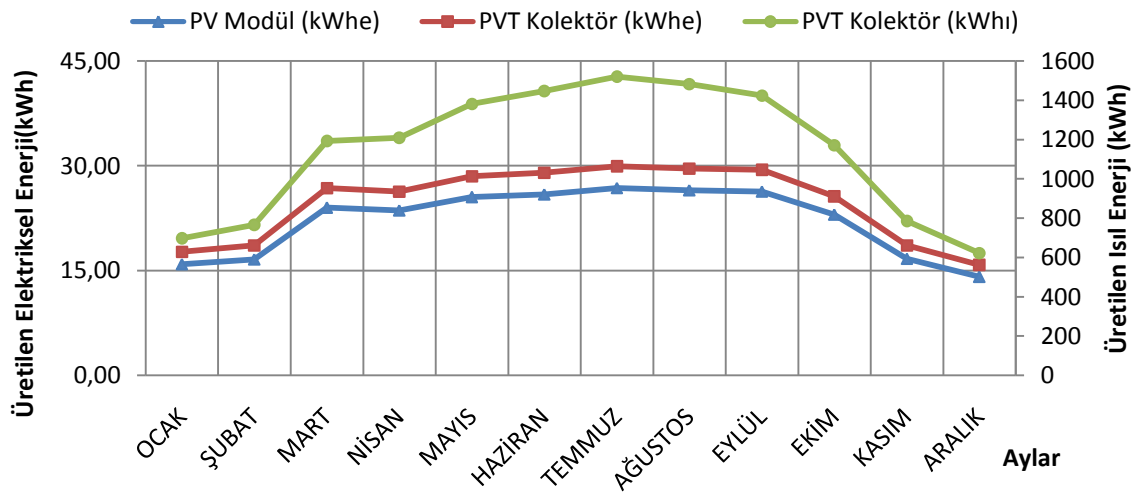
PV modül ve PVT kolektör için PVGIS programından faydalanılarak bir yıl içerisinde üretebileceği elektrik değerleri hesaplatılmış ve sonuçlar çizelge 4.5'de verilmiştir. Programa hesaplama yaptırılırken, PVT kolektörün tüm yıl boyunca PV modülden yaklaşık %10 daha verimli olduğu varsayılmıştır. Ulaşılmak istenen asıl sonuç PVT kolektörün, PV modülden eşit şartlar altında ne kadar fazla elektrik ve ısı enerjisi üretimi yaptığı, bu ısı ve elektrik enerjisi üretim farkından elde edilecek gelir ile PVT sistem maliyetinin, PV sistem maliyeti ile ilk kurulum maliyet farkına göre karşılaştırılması ve mali yönden PVT kolektörün ticarileşme durumunun incelenmesidir.

Bu tez kapsamında yapılan ekonomik analizde bir evin elektrik ihtiyacını karşılamaya yönelik her biri 2.28 kWp gücünde PV modül ve PVT kolektör kullanımı düşünülmüştür.

Çizelge 4.5. Bir yıl içinde aylara göre 12 adet 190 W lık PV modül ve PVT kolektörden elde edilen elektrik ve ısı enerjisi değerleri

AYLAR	PV Modül (kWh _e)	PVT Kolektör (kWh _e)	PVT Kolektör(kWh _i)
OCAK	192	214	697
ŞUBAT	202	225	765
MART	297	332	1,192
NİSAN	288	322	1,208
MAYIS	320	357	1,382
HAZİRAN	324	362	1,446
TEMMUZ	332	370	1,519
AĞUSTOS	323	361	1,483
EYLÜL	318	356	1,424
EKİM	277	310	1,171
KASIM	201	225	785
ARALIK	172	192	623
TÜM YIL TOPLAM	3,246	3,626	13,694

Çizelge 4.5'den de görülebileceği gibi bir yılda 190 W lık PV modülden üretilebilecek elektrik değeri 3,246 kWh_e iken PVT kolektörden üretilebilecek elektrik değeri 3,626 kWh_e dir. Bu da PVT kolektörden üretilen elektrik değerinin PV modülden üretilen elektrik değerine göre %10 daha fazla olduğunu gösterir. Ayrıca PVT kolektörden tüm yıl boyunca 13,694 kWh_i ısı enerjisi üretilmektedir. Bu kadar ısı enerjisi üretmek için harcanacak elektrik enerjisi 13,694 kWh_e dir (Dönüşüm verimi %100 kabul edilmiştir). Aylara göre PV modülden elde edilen elektrik enerjisi, PVT kolektörden elde edilen elektrik ve ısı enerjisi değerleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. PV modül ve PVT kolektörden bir yıl boyunca üretilen enerji değerleri

Deney sisteminde hem PV modül hem de PVT kolektörden elde edilen enerji değerleri 12 V 100 Ah lik 2 adet aküde depolanmıştır. Ayrıca her iki sistem için ayrı ayrı ölçümleme cihazı kullanılmıştır. PVT kolektörde PV modül den farklı olarak boyler, pompa ve borulama malzemesi kullanılmıştır. Ekonomik analiz yapılırken bu sistemler için deneysel uygulamanın yerine ticari uygulama alanlarından faydalanılmıştır. Bu bakımdan bir eve bu iki sistemin ayrı ayrı kurulduğu varsayılmıştır. Sistem olarak maliyetlerin daha doğru değerlendirilmesi adına her bir eve toplamda 2.28kW lık 12 adet PV modül ve PVT kolektör sisteminin kurulacağı düşünülmüştür.

PV modül paket sisteminde kullanılacak malzemeler;

- 12 adet 190 W PV modül,
- 1 adet şarj kontrol cihazı,
- 1 adet inverter,
- 8 adet 12V 150 Ah akü,
- PV montaj seti
- Kablo

PVT kolektör paket sisteminde kullanılacak malzemeler;

- 12 adet 190 W PVT kolektör
- 1 adet şarj kontrol cihazı,
- 1 adet inverter,
- 8 adet 12V 150Ah akü,
- PVT montaj seti
- Kablo
- 1 adet boyler
- 1 adet pompa
- Borulama ve tesisat malzemeleri
- 1 teneke antifiriz.

Aynı elektriksel malzemelerle kurulacak PV paket sistemin maliyeti yaklaşık 11,373.00TL iken PVT sistemin maliyetinin 15,431.00TL olduğu belirlenmiştir.

Tüm yıl boyunca bu sistemlerden elde edilen üretim değerleri göz önüne alındığında ve evsel kullanım için elektriğin kWh birim fiyatının 0.33TL olduğu kabul edilirse;

PV sistemin bir yıl boyunca elektrik üretimi 3,246 kWh_e, yıllık toplam kazanç 1,071.18 TL ve amortisman süresi 10.61 yıl olarak bulunmaktadır.

PVT sistemin bir yıl boyunca elektrik üretimi 3,626 kWh_e, yıllık toplam kazancı 1,196.58 TL dir. Elde edilen ısı enerjisinin de elektrik vasıtasıyla üretildiği varsayılırsa PVT kolektör için ısı enerjiden gelen elektrik enerjisi üretimi 13,694 kWh_e ve yıllık toplam kazancı 4,519.02 TL ve toplamda yıllık kazanç 5,715.60 TL, amortisman süresi ise 2.67 yıl olmaktadır. Isıl enerjisinin fuel-oil ile elde edilmesi durumunda, fuel-oil in kg fiyatının 2.74 TL olduğu kabul edilirse toplam yıllık kazanç 4,087 TL olmakta ve elektrik üretiminden gelen kazanç ile toplandığında yıllık toplam kazanç 5,283.58 TL, amortisman süresi 2.92 yıl olmaktadır. Isıl enerjisinin doğalgaz ile elde edilmesi durumunda, doğalgazın m³ fiyatının 0.96 TL olduğu kabul edilirse toplam yıllık kazanç 1,283 TL olmakta ve elektrik üretiminden gelen kazanç ile toplandığında yıllık toplam kazanç 2,479.58 TL, amortisman süresi 6.22 yıl olmaktadır.

Belirlenen amortisman süreleri toplam maliyetin yıllık kazanca bölünmesi ile bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Değişik enerji kaynaklarına göre PV ve PVT sistem amortisman süreleri

Birincil Enerji Kaynağı	PV	PVT
Elektrik	10.61 Yıl	2.67 Yıl
Fuel-oil	-	2.92 Yıl
Doğalgaz	-	6.22 Yıl

Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemler olarak ikiye ayrılır. Bu tez kapsamında kurulan deney düzeneği şebeken bağımsız (akülü) bir sistem olarak kurulmuştur. Pratikte PV ve PVT sistemleri bir yatırım amacı olarak kullanmak için şebekeye bağlı olarak kurmak gereklidir. Yukarıda yapılan ekonomik analiz, mevcutta bir şebeke bağlantısı olmayan bir tüketici için PV ve PVT sistemin akülü olarak kurulması durumunda elde edeceği amortisman sürelerini belirtir. Yapılan ekonomik analizde karşılaştırılan unsur, mevcutta bir şebekenin olması durumunda tüketicinin satın alacağı elektrik kWh ücretidir. Bu ücrete ek olarak tüketicinin bağlı bulunduğu elektrik dağıtım firmasından talep edeceği trafo ve ekstra OG hattın evine kadar olan direk dikimi ve kablolama maliyetleri amortisman hesabına dahil edilmemiştir. Bu kalemlerin amortisman hesabına dahil edilmemesinin nedeni her tüketici için tüketimine ve OG hattın olan uzaklığına göre farklı maliyetlerin ortaya çıkabilecek olmasından yada mevcutta şebekesi olup da akülü sistem kurmak istenmesinden dolayıdır. Bu bakımdan mevcutta bir şebekesi olan, Konya ilinde ikamet eden bir tüketici için, PVGIS programından elde edilen 1 yıllık üretim değerleri

baz alınarak PV ve PVT sistemlerden elde edilen elektrik üretim miktarlarına göre net bugünkü değer (NBD) ve iç karlılık oranlarına (İKO) göre şebekeye bağlı 100 kW lık PV ve PVT sistem için yatırım analizi yapılmış ve sonuçları aşağıda belirtilmiştir. Şebekeye bağlı sistemler bir yatırım aracı olarak görüldüğünden kurulu güç değeri yüksek tutulmuştur.

Net bugünkü değer (NBD) ve iç karlılık oranı (İKO) yöntemleri, paranın zaman değerini, yani bugünkü ve gelecekteki tüketime ilişkin tercihleri göz önünde bulunduran proje değerlendirme yöntemleridir (Demirbugan, 2008).

Bir projenin net bugünkü değeri, ekonomik ömrü boyunca oluşan net nakit akımlarının önceden belirlenen bir iskonto oranına göre bugünkü değere indirgenmiş değerleri toplamıdır. Net bugünkü değeri sıfıra eşitleyen iskonto oranı ise İKO olarak adlandırılır. İç karlılık oranıyla bir yatırımın getirisi oran ile ifade edilirken, net bugünkü değer yönteminde karlılık düzeyi mutlak bir büyüklük olarak belirlenir (Demirbugan, 2008).

NBD yöntemi;

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (4.19)$$

şeklinde tanımlanır (Gedik ve ark., 2005).

Denklemden belirtilen B_t ; t yılındaki nakit girişi, r ; iskonto oranı, C_t ; t yılındaki nakit çıkışı, n ; yıl (1,2,3,4...) olarak adlandırılır. Değerlendirme sonucu, uygulanacak iskonto oranından önemli ölçüde etkilenmektedir. Iskonto oranı, yatırımdan beklenen verim oranını göstermektedir. NBD yönteminde sonucun pozitif ($NBD > 0$) olması gereklidir. $NBD = 0$ çıkması durumunda yıllık gelirin işletme maliyetini ve yatırım maliyetini anca karşıladığı sonucuna varılır.

İKO yöntemi;

$$İKO = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (4.20)$$

şeklinde tanımlanır (Gedik ve ark., 2005).

Formül yardımı ile “ r ” iskonto oranı deneme yanılma metodu ile bulunur. Yani NBD’i sıfır yapan değer bulunmaya çalışılır. Bunun için önce tahmini bir “ r ” iskonto oranı alınır ve formülde yerine konularak sıfıra eşitlemeye çalışılır. Bulunan “ r ” iskonto oranı pozitif ise “ r ” değeri arttırılarak denemeye devam edilir. Eğer değer negatif

çıkarsa o zaman “r” ıskonto oranı azaltılmalıdır. Sonuç olarak NBD = 0 oluncaya kadar denemeye devam edilmelidir.

İKO’nın değerlendirilmesinde çözümüne ulaşıldıktan sonra bulunan “r” ıskonto oranı yatırımcının yatırım projesinden beklediği karlılık oranından büyük olması durumunda proje kabul edilir. Aksi bir durum olması durumunda proje reddedilir.

PVGIS programından yararlanılarak 100 kWp kurulu güçte PV modül ve PVT kolektör için aylara göre yıllık elektriksel ve ısıl üretim değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bir yıl içinde aylara göre 526 adet 190 W lık PV modül ve PVT kolektörden elde edilen elektrik ve ısıl enerji değerleri

AYLAR	PV Modül (kWh _e)	PVT Kolektör (kWh _e)	PVT Kolektör(kWh _i)
OCAK	8,525	9,517	27,543
ŞUBAT	9,858	11,005	36,410
MART	13,082	14,601	48,975
NİSAN	13,020	14,539	58,366
MAYIS	13,919	15,531	65,425
HAZİRAN	14,539	16,213	71,513
TEMMUZ	14,415	16,089	70,316
AĞUSTOS	14,105	15,748	66,635
EYLÜL	14,446	16,151	60,168
EKİM	12,276	13,702	47,910
KASIM	9,238	10,323	32,023
ARALIK	7,626	8,525	24,143
TÜM YIL TOPLAM	145,049	161,944	609,428

Çizelge 4.7’den de görülebileceği gibi bir yılda 526 adet 190 W lık PV modülden üretililecek elektrik değeri 145,049 kWh_e iken PVT kolektörden üretililecek elektrik değeri 161,944 kWh_e dir. Bu da PVT kolektörden üretilen elektrik değerinin PV modülden üretilen elektrik değerine göre %10 daha fazla olduğunu gösterir. Ayrıca PVT kolektörden tüm yıl boyunca 609,428 kWh_i ısıl enerji üretilmektedir. PVT kolektörden üretilen ısıl enerji amortisman hesabı doğalgaza göre yapılacaktır.

Çizelge 4.8 ve 4.9’da 100 kWp güçte sırasıyla PV ve PVT sisteme ait kullanılacak ekipmanlar ve yatırım maliyet tablosu bulunmaktadır.

Çizelge 4.8.100 kWp güçte PV sistem ekipmanları ve sistem maliyeti

	Malzemeler	Adet	Birim
1	190W PV Modül	526	Adet
2	10,000 W Inverter	10	Adet
3	Sistem Koruma Ekipmanları ve Sarf Malzemeler	1	Set
4	Kablolama	1	Set
5	Montaj Seti	526	Adet
6	İşçilik	Tüm sistem	
7	Konaklama ve İaşe Masrafları	30	Gün
8	Nakliye	2	Adet
Toplam Tutar			330.000,00 TL

Çizelge 4.9.100 kWp güçte PVT sistem ekipmanları ve sistem maliyeti

1	PVT sistemde kullanılacak malzemeler;	Adet	Birim
2	190 W PVT Kolektör	526	Adet
3	Kapalı Genleşme Tankı	1	Adet
4	Akümülayon Tankı- 5000 Lt	6	Adet
5	Plakalı Eşanjör	1	Adet
6	Sirkülayon Pompası	2	Adet
7	10,000 W Inverter	10	Adet
8	Kablolama	1	Set
9	Sistem Koruma Ekipmanları ve Sarf Malzemeler	1	Set
10	Otomatik Kontrol	1	Adet
11	Montaj Seti	526	Adet
12	Boru ve Fittingsler	1	Set
13	Antifriz	1000	Lt
14	İşçilik	Tüm Sistem	
15	Konaklama ve İaşe Masrafları	60	Gün
16	Nakliye	3	Adet
Toplam Tutar			650.000,00 TL

Tüm yıl boyunca bu sistemlerden elde edilen üretim değerleri göz önüne alındığında ve yatırım amaçlı kullanım için elektriğin kWh birim fiyatının 13.3\$cent

(standart teşvik) + 0.8\$cent (yerli üretim montaj seti teşviki) + 1.3\$cent (yerli üretim modül teşviki) = 15.4\$cent = 0.277TL (1\$=1.8TL) olduğu kabul edilirse;

PV sistemin bir yıl boyunca elektrik üretimi 145,039 kWh_e, yıllık toplam kazanç 40,175.80 TL olarak bulunmaktadır. Sistemin ekonomik ömrü 20 yıldır. Yıllık işletme gideri 2,000.00TL dir. Beklenen kârlılığın %8 olduğu varsayılırsa;

NBD yöntemine göre;

$$\sum B_t = 394,451TL$$

$$\sum C_t = 349,636TL$$

$$NBD = 394,451 - 349,636$$

$$NBD = +44,815TL > 0$$

olduğundan yatırım kabul edilir.

İKO yöntemine göre;

r=%5 varsayımına göre;

$\dot{I}KO = 145,659TL$ olduğu için r değeri arttırılmalıdır.

r=%10 varsayımına göre;

$\dot{I}KO = -5,169TL$ olduğu için r değeri azaltılmalıdır.

r değerinin %5 ve %10 sonuçları için enterpolasyon yapılırsa;

$$r = ((0 - 145,659) \times (0.1 - 0.05)) / (-5,169 - 145,659) + 0.05$$

$$r = 0.098 > 0.08$$

olduğundan yatırım kabul edilir.

PVT sistemin bir yıl boyunca elektrik üretimi 161,944 kWh_e, yıllık toplam kazanç 44,858.48 TL olarak bulunmaktadır. Ayrıca doğalgazın m³ fiyatının 0,96 TL olduğu kabul edilirse PVT sistemin ısı enerjisinden 1 yılda elde edilecek kazanç 66,297.00 TL olarak bulunmaktadır. PVT sistemden 1 yılda toplam 111,155,48 TL gelir elde edilmektedir. Sistemin ekonomik ömrü 20 yıldır. Yıllık işletme gideri 5,000.00TL dir. Beklenen kârlılığın %8 olduğu varsayılırsa;

NBD yöntemine göre;

$$\sum B_t = 1,091,340TL$$

$$\sum C_t = 379,090TL$$

$$NBD = 1,091,340 - 379,090$$

$$NBD = +712,250TL > 0$$

olduğundan yatırım kabul edilir.

İKO yöntemine göre;

$r = 5\%$ varsayımına göre;

$\dot{I}KO = 672,693TL$ olduğu için r değeri arttırılmalıdır.

$r = 20\%$ varsayımına göre;

$\dot{I}KO = -133,900TL$ olduğu için r değeri azaltılmalıdır.

r değerinin 5% ve 20% sonuçları için enterpolasyon yapılırsa;

$$r = ((0 - 672,693) \times (0.20 - 0.05)) / (-133,900 - 672,693) + 0.05$$

$$r = 0.175 > 0.08$$

olduğundan yatırım kabul edilir.

PV ve PVT sistemler için net bugünkü değer ve iç karlılık oranı metotları ile yatırım analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre 100 kWp kurulu güçte bir PV sistem kurmak isteyen bir yatırımcı NBD yöntemine göre 8% lik bir kâr beklentisi içinde böyle bir yatırım yapabilir. İç kârlılık oranına göre ise kuracağı sistemden elde edeceği kâr ekonomik ömür içerisinde 9.8% olacaktır. 100 kWp kurulu güçte PVT sistem kurmak isteyen bir yatırımcı ise ekonomik ömür içerisinde 17.5% lik bir kâr elde edebilecektir.

NBD ve İKO yöntemleri ile, bir yatırımın ekonomik ömrü içerisinde yatırımcı tarafından öngörülen kâr beklentisine göre yatırımın yapılıp yapılmayacağı noktasında sonuç elde edilir. Yatırımcının ilk yatırım maliyetini ne zaman çıkaracağı noktasında ise PV ve PVT sistem için ayrı bir amortisman hesabı yapmak gerekir. Buna göre;

PV sistemin yatırım maliyeti 330,000.00 TL, yıllık işletme gideri 2,000,00 TL ve yıllık getirisi 40,175.80 TL ise sistemin amortisman süresi 8.64 yıldır.

PVT sistemin yatırım maliyeti 650,000.00 TL, yıllık işletme gideri 5.000,00TL ve toplam yıllık getirisi 111,155.48 TL ise sistemin amortisman süresi 6.06 yıldır.

Yukarıda elde edilen sonuçlara göre ekonomik ömür içerisinde 9.8% den fazla kâr hedefleyen bir yatırımcı için PV sistemler yerine PVT sistemler, ekonomik ömür içerisinde 17.5% kâr oranı ile tercih edilebilir durumdadır. Burada ki tek dezavantaj sistemlerin amortisman sürelerinin kısa olmamasıdır. Kısa vadede (2-3 yıl) sistemin kâr etmesini bekleyen bir yatırımcı için PV veya PVT sistemler, devletin bugünkü vermiş olduğu teşvik miktarlarına ve ekipman maliyetlerine göre uygun birer yatırım aracı değildir. Ancak orta vadede (6-8 yıl) sistemi amorti edip kâr etmeyi planlayan bir yatırımcı için PV ve PVT sistemler uygun birer yatırım aracıdır.

4.7. PVT-Su ve PVT-Hava Kolektörler İçin TRNSYS Program Simülasyonu

Bu bölümde PVT-su ile PVT-Hava kolektör için TRNSYS programında simülasyon yapılarak elde edilen elektriksel ve ısı verilerinin karşılaştırılması ve PVT-su kolektör için yapılan deney sonuçlarının, TRNSYS programı kullanılarak yapılan simülasyon ile karşılaştırılması ve deney sonuçlarından yararlanılarak simülasyonun doğrulanması amaçlanmıştır.

TRNSYS, Wisconsin ve Colorado Üniversitelerinin güneş enerjisi laboratuvarları tarafından ortak olarak termal sistemlerin dinamik performansını hesaplayabilmek için geliştirilmiş bir araçtır. 1975 yılında ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kendisi de bir ısı sistem olan bina ile çevresi ve aktif sistemler arasındaki etkileşimi hesaplamak için kullanılır. Programın modüler bir yapısı vardır ve her bir sistem bileşeni bir FORTRAN altprogramı olarak ifade edilmiştir. Bu sayede esnek yapıya sahip programların başında gelir ve farklı enerji sistemlerini farklı detaylarla tanımlamaya olanak tanır. Sistemleri ifade eden Fortran alt programlarının bir araya getirildiği ve birbirleriyle ilişkilendirildiği grafiksel bir ara yüze sahiptir. Oldukça zengin bina malzemeleri, bina modelleri, standart HVAC ekipmanları, yenilenebilir enerji teknolojileri ve gelişmekte olan teknolojilere dair kütüphaneye sahiptir. Programı kullanabilmek için bu alanda belli bir uzmanlık gerekir (Anonim, 2011d).

4.7.1. TRNSYS program simülasyonunda kullanılan denklemler

TRNSYS simülasyon programında kullanılan ısı enerji formülleri Hottel-Whiller denklemine göre modellenmiştir. Buna göre ısı enerji;

$$\dot{q}_u = \frac{A_m}{N} \sum F_R (I_{(t)} (\tau\alpha) - U_L (T_{ag} - T_o)) \quad (4.21)$$

Denklemden; $\dot{q}_u$; ısı enerji (kW), A_m ; kolektör alanı (m^2), N ; kolektör sayısı, F_R ; debi faktörü, $I_{(t)}$; güneş ışınımı (W/m^2), τ ; geçirgenlik katsayısı, α ; absorpsiyon katsayısı, U_L ; ısı kayıp katsayısı (W/m^2), T_{ag} ; akışkan giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$), T_o ; ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$) dır.

Denklem 4.21'de debi faktörü (F_R);

$$F_R = \frac{N \cdot \dot{m} \cdot C_{pa}}{A_m \cdot U_L} \left(1 - \exp \left(- \frac{F' U_L A_m}{N \dot{m} C_{pa}} \right) \right) \quad (4.22)$$

Denklemdede; C_{pa} ; akışkan özgül ısısı (kW/kg°C), F' ; düz plaka kolektör verim faktörü dür.

Denklem 4.21 ve 4.22 de kullanılan ısı kayıp katsayısı (U_L) ise;

$$U_L = \frac{3.6}{N} + \frac{3.6\sigma(T_{ao}^2 + T_o^2)(T_{ao} + T_o)}{1} + U_{ay} \quad (4.23)$$

$$\frac{C_{pa}}{T_p} \left[\frac{T_{ao} - T_o}{N + f} \right]^{0.33} + \frac{1}{v} \quad \frac{\varepsilon_p + 0.05N(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon_c} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_c} - N$$

Denklemdede; T_p ; plaka sıcaklığı (°C), T_{ao} ; akışkan giriş-çıkış ortalama sıcaklığı (°C), f ; sürtünme katsayısı, v ; rüzgar hızı (m/s), ε_p ; plaka ısı yayılma katsayısı, ε_c ; camın ısı yayılma katsayısı, σ ; Stefan-Boltzman sabiti ($Wm^{-2}K^{-4}$), U_{ay} ; kolektör arka yüzey kayıp katsayısı ($Wm^{-2}°C$) dır.

Kolektör ısı verimi;

$$\eta = \frac{q_u}{A_m I_{(t)}} = \frac{\dot{m} C_{pa} (T_o - T_{ag})}{A_m I_{(t)}} = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_{ag} - T_0)}{I_{(t)}} \quad (4.24)$$

olarak tanımlanmıştır.

TRNSYS de modül akım-voltaj eğrisinin ışıma ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği kabul edilir. PV modellenirken, her zaman adımında bir akım-voltaj eğrisi oluşturmak için belirtilen çevresel koşullar boyunca dört modül sabitini (I_{fa} , I_{da} , γ ve R_{sd}) kullanır.

Modül akımının akım-voltaj denklemi;

$$I_{PV} = I_{fa} - I_{da} \left[\exp \left(\frac{q}{\gamma k T_h} (V_{PV} + I_{PV} R_{sd}) \right) - 1 \right] \quad (4.25)$$

Denklemdede; I_{fa} ; modül fotoakımı (A), I_{da} ; diyot ters doyum akımı (A), q ; elektron şarj sabiti, γ ; ampirik PV eğri parametresi, k ; Boltzmann sabiti (j/K), R_{sd} ; modül seri direnci (Ω) dir.

Fotoakımı (I_{fa}) doğrusal ışıma bağlıdır ve denklem 4.26'da ki gibi ifade edilir;

$$I_{fa} = I_{fa,ref} \frac{I_{(t)}}{I_{(t,ref)}} \quad (4.26)$$

Denklemdede; $I_{fa,ref}$; referans koşullarda modül foto akımı (A), $I_{(t,ref)}$; referans koşullarda güneş ışıması (W/m^2) dır.

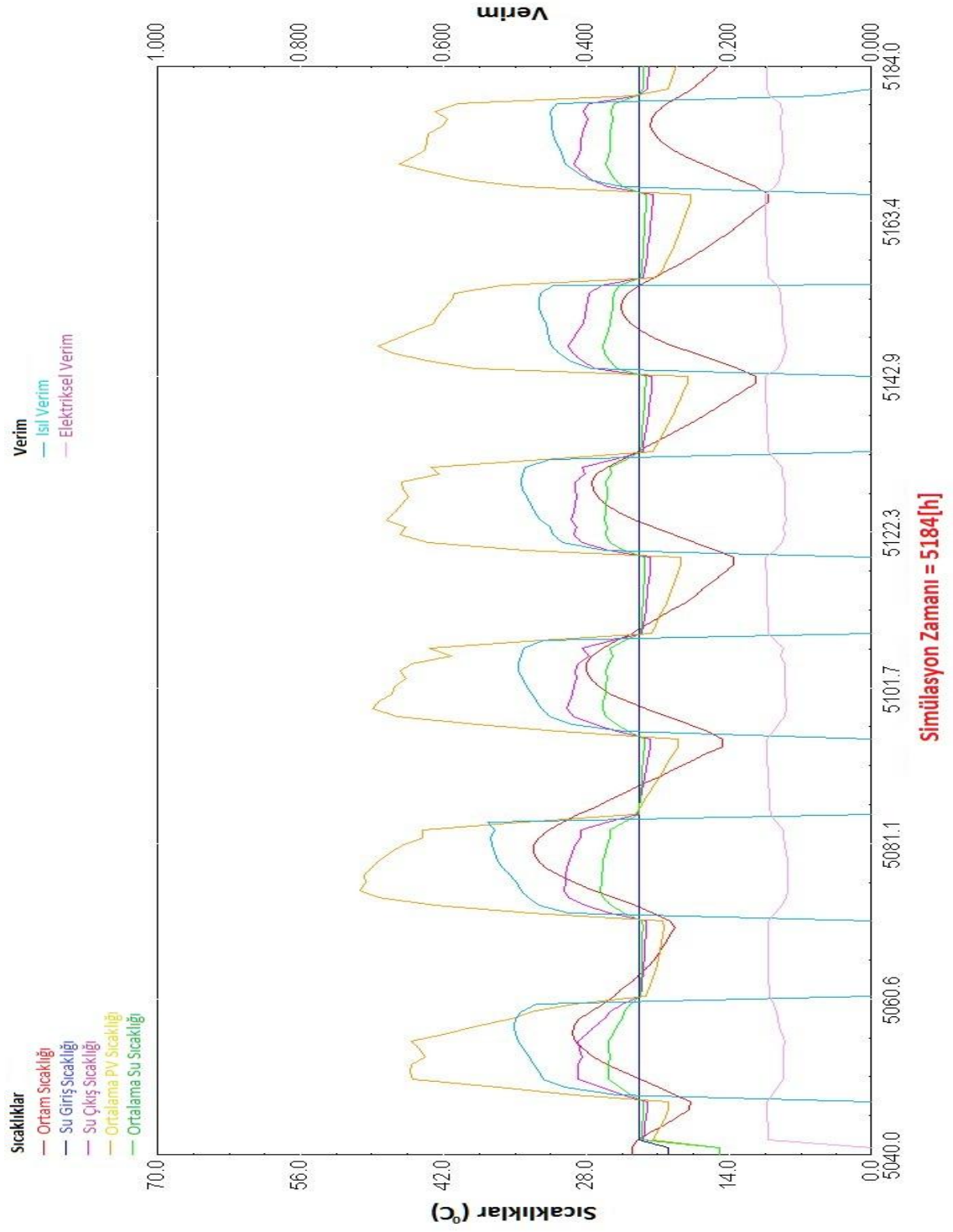
TRNSYS de referans güneş ışınımı 1000 W/m^2 olarak tanımlanmıştır. Buna göre diyot ters doyum akımının sıcaklığa bağlı fonksiyonu;

$$\frac{I_{da}}{I_{da,ref}} = \left(\frac{T_h}{T_{h,ref}} \right)^3 \quad (4.27)$$

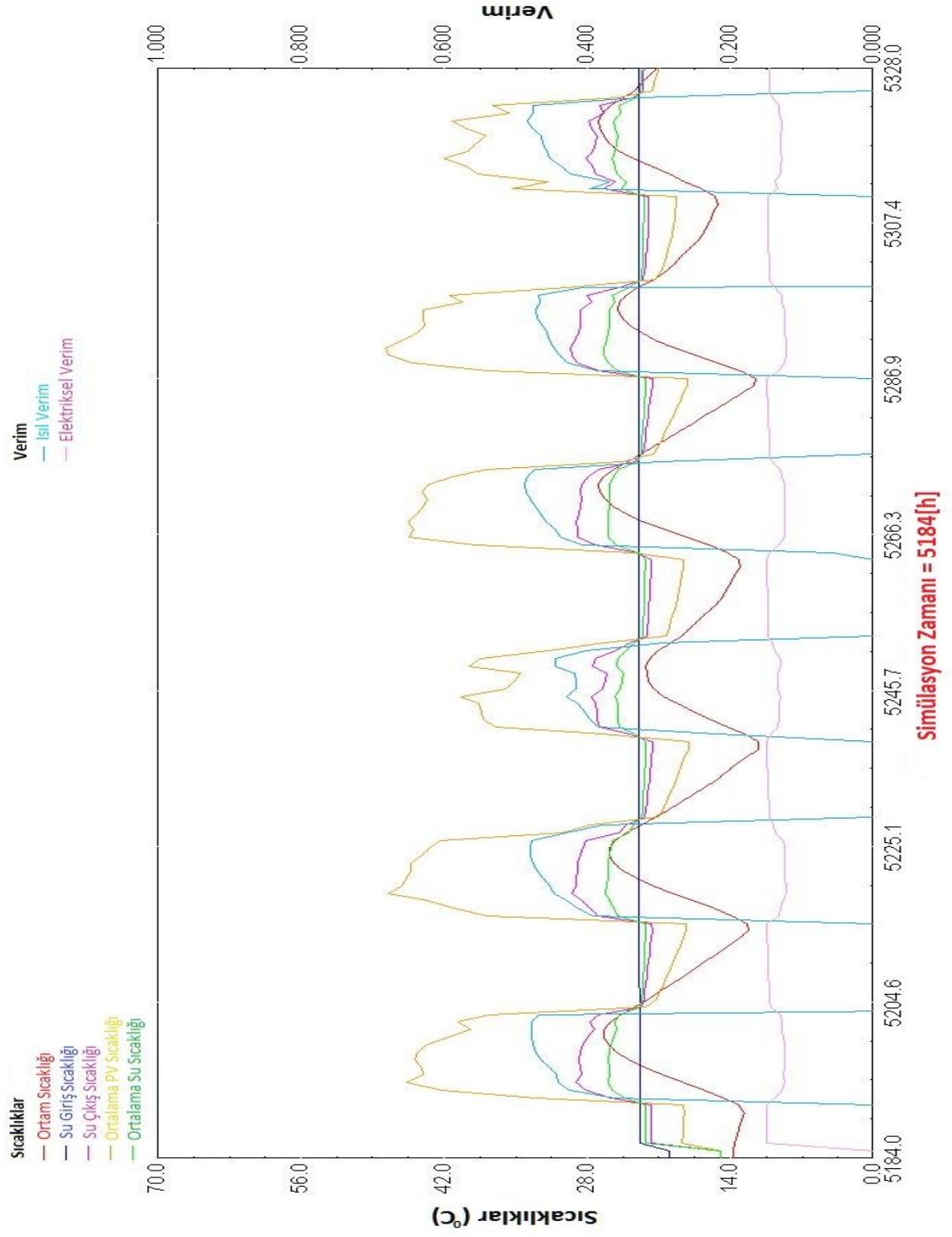
Denklem 4.25 de akım, voltajın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. I_{fa} ve I_{da} denklem 4.26 ve 4.27'den bulunur. Bu değerler ışığında çizilen akım-voltaj eğrisinden I_{PV} ve V_{PV} hesaplanır.

4.7.2. PVT-su kolektörler için TRNSYS program simülasyonu

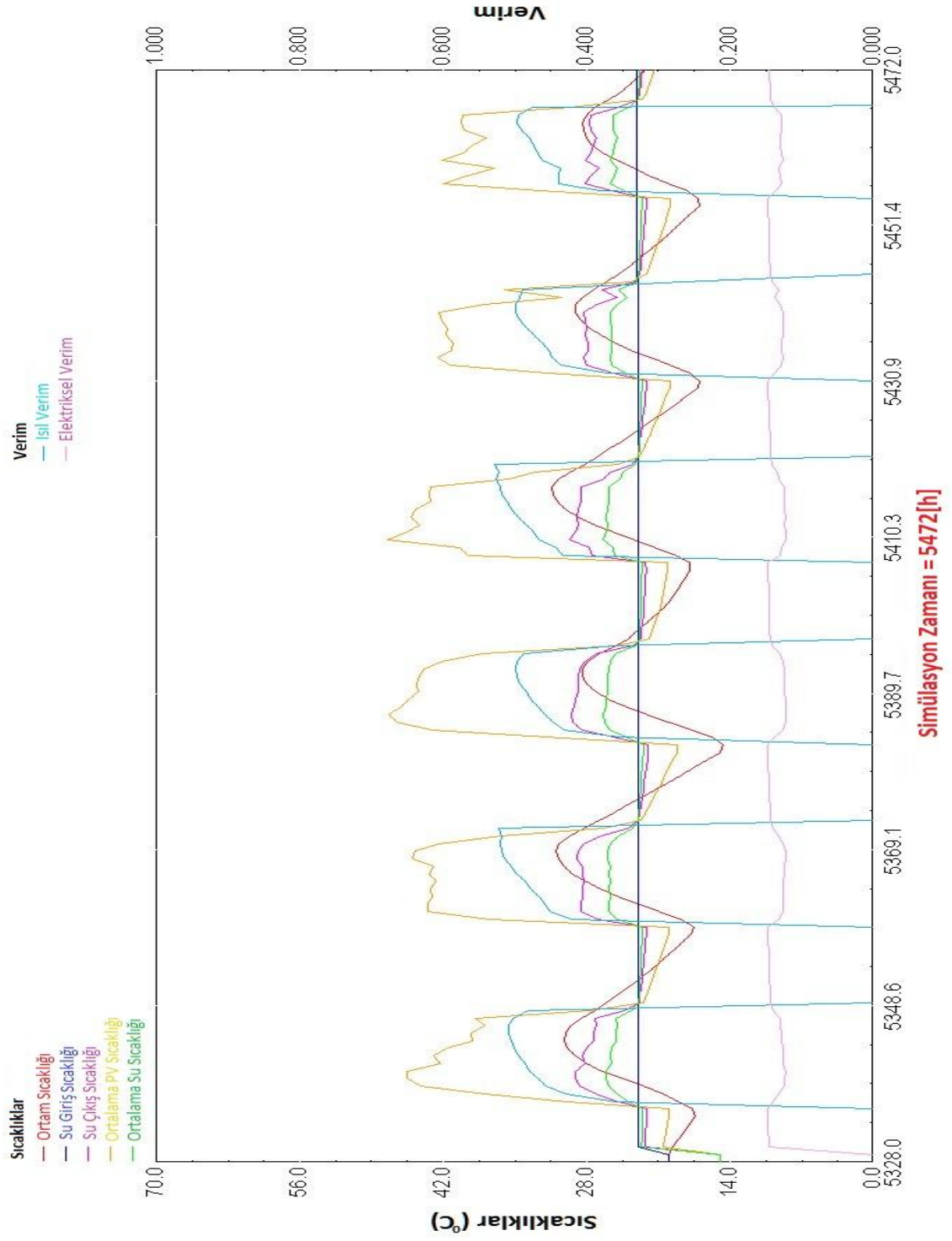
Deneylerin ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması için 2011 yılının temmuz ayında elde edilen veriler kullanılmıştır. TRNSYS programında, PVT-su kolektörün özellikleri, komponent tabanına işlenmiş ve program tabanına göre eşleştirmeleri yapılmıştır. Deneyler 2 farklı debi değerinde (0.03 kg/s ve 0.077 kg/s) yapıldığı için programa 0.03 kg/s debi değeri girilerek simülasyon yaptırılmıştır. Bu bakımdan 0.03 kg/s debi değerine göre deneysel olarak elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Konya'nın meteorolojik dataları program kütüphanesinden programa okutturulmuştur. Yapılan simülasyon sonuçları Şekil 4.22.- Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Grafiklerin alt sütunundaki 5,040 sayısı Temmuz ayının başlangıcını, 5,760 sayısı ise Temmuz ayının sonunu ifade etmektedir ve saat bazlı artış yapmaktadır.



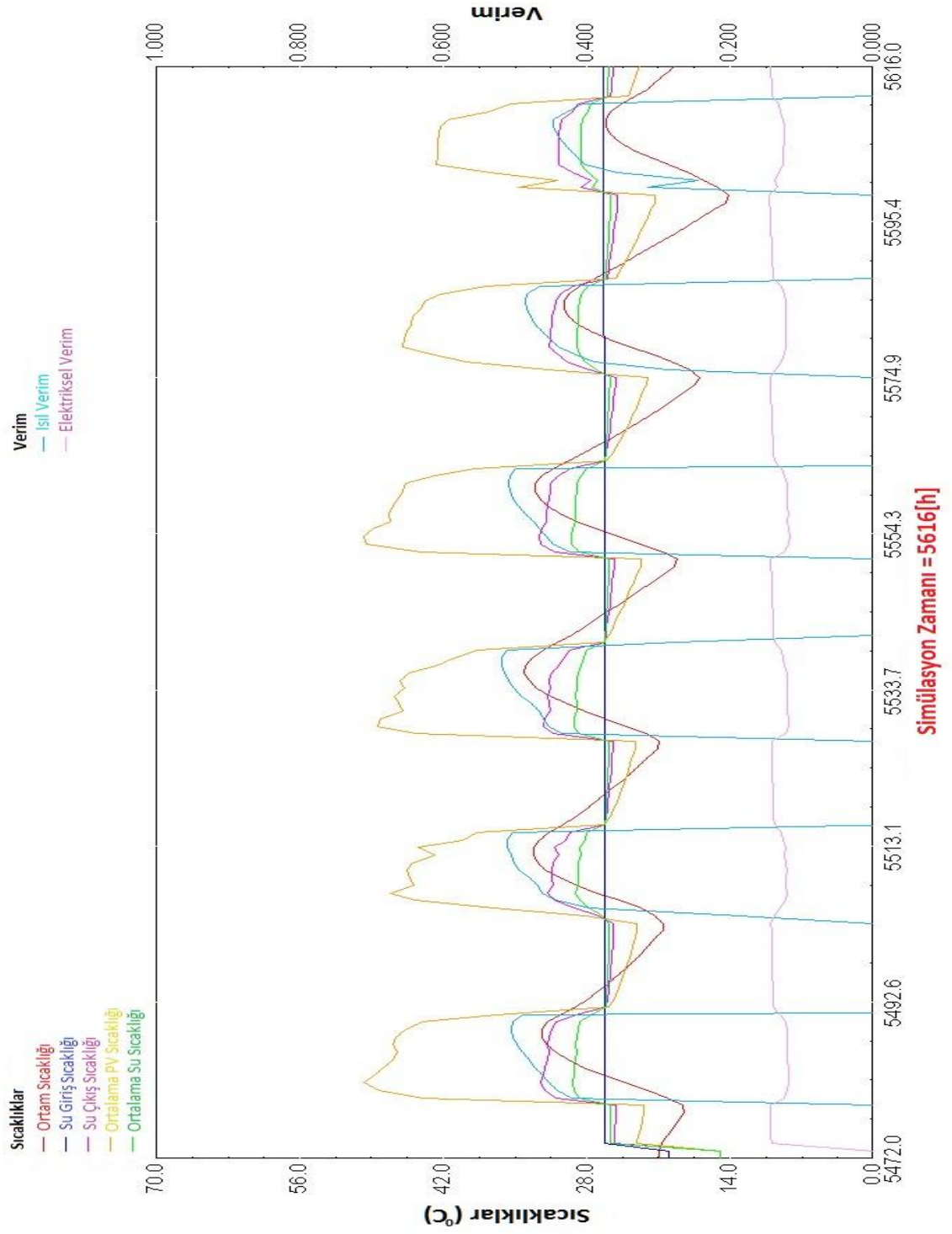
Şekil 4.22. 1-6 Temmuz 2011 için PVT-su kolektör simülasyon sonuçları



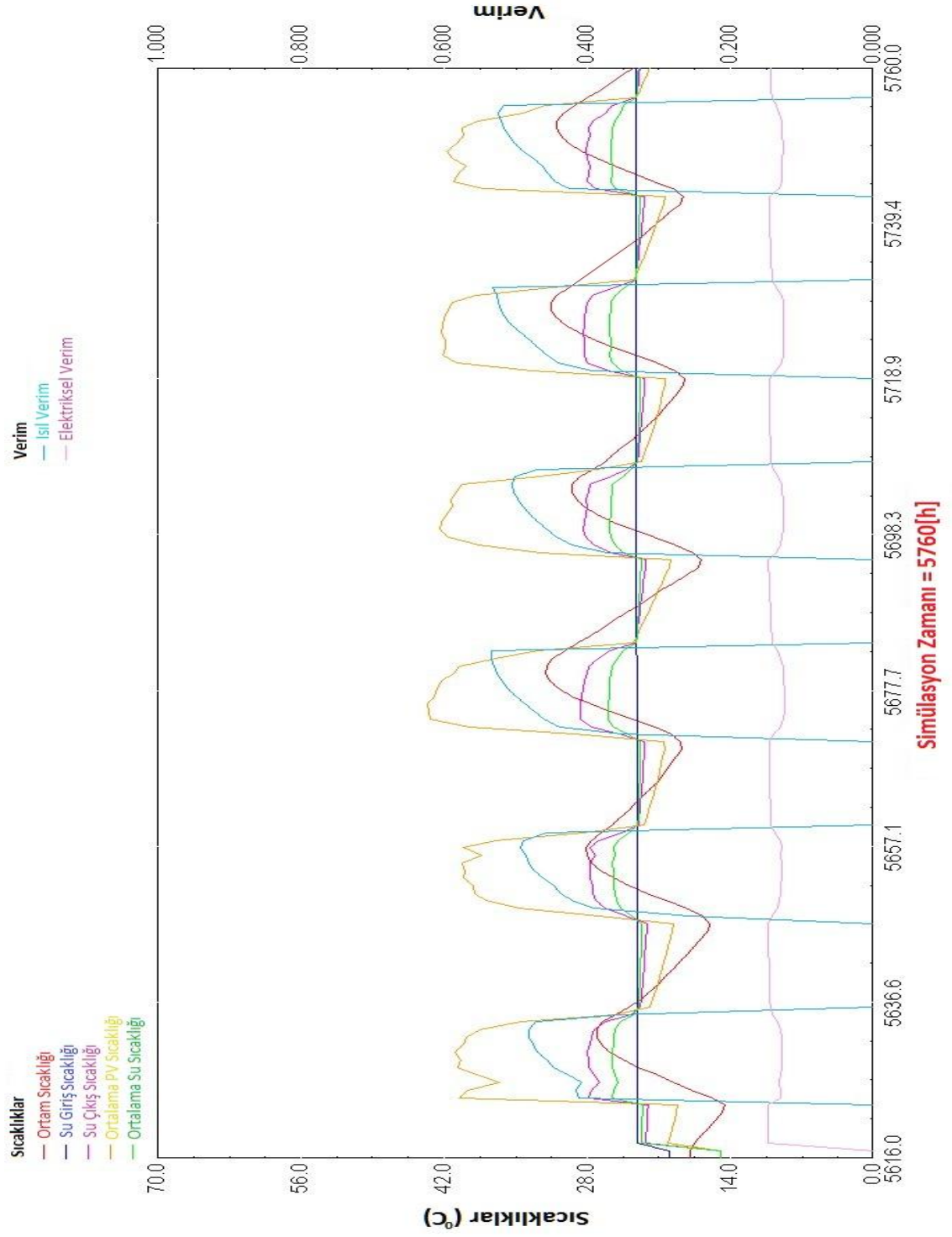
Şekil 4.23. 6-12 Temmuz 2011 için PVT-su kolektör simülasyon sonuçları



Şekil 4.24. 12-18 Temmuz 2011 için PVT-su kolektör simülasyon sonuçları



Şekil 4.25. 18-24 Temmuz 2011 için PVT-su kolektör simülasyon sonuçları



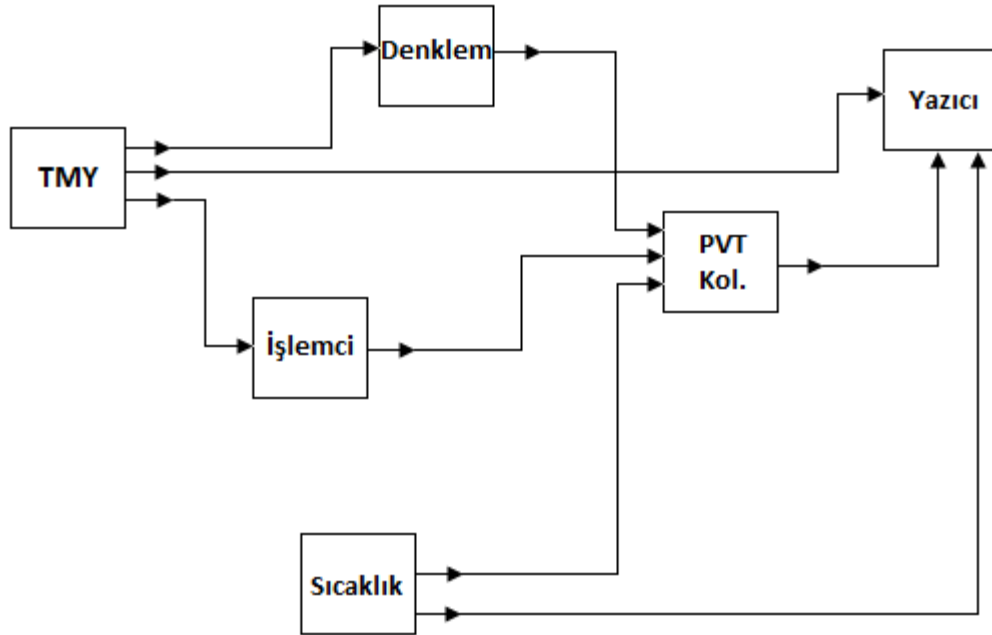
Şekil 4.26. 24-30 Temmuz 2011 için PVT-su kolektör simülasyon sonuçları

Elde edilen bu sonuçlara göre Temmuz ayı için çalışma koşulları altında maksimum ışıнімda PVT-su kolektör için gerçekleşen minimum yüzey sıcaklığı; 35⁰C, ortalama su sıcaklığı; 30⁰C, maksimum ısııl verim(η_i); %52, maksimum PVT-su kolektöryüzey sıcaklığın da ki elektriksel verim (η_e); %11 olarak bulunmuştur.

Yapılan deney sonuçlarına göre Temmuz ayında elde edilen veriler ise (0.03 kg/s debi değeriinde); çalışma koşulları altında maksimum ışıнімda elde edilen minimum PVT-su kolektör yüzey sıcaklığı; 32⁰C, ortalama su sıcaklığı; 27.5⁰C, maksimum ısııl verim; %52.5 ve maksimum PV sıcaklığın da ki elektriksel verim; %10.49 olarak bulunmuştur.

Grafiklerden de görülebileceğı gibi 7 farklı değeri aynı grafik üzerinde tanımlanmıştır. Bu değeriiler, ortam sıcaklığı, su giriş sıcaklığı, su çıkış sıcaklığı, ortalama PV sıcaklığı, ortalama su sıcaklığı, elektriksel verim ve ısııl verimdir. Grafiklerden elde edilen bulgulara göre sıcaklığın artması durumunda elektriksel verimde azalma meydana geldiğı görülmüştür. Bunun yanında ısııl verimin ise arttığı gözlemlenmiştir. Gün içerisinde öğle saatlerinde su giriş-çıkış sıcaklık farkının ve PV yüzey sıcaklığının maksimum değeriilere ulaştığı belirlenmiştir. Bu bulgular ile deneysel ve teoriksel bulgular karşılaştırıldığında benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

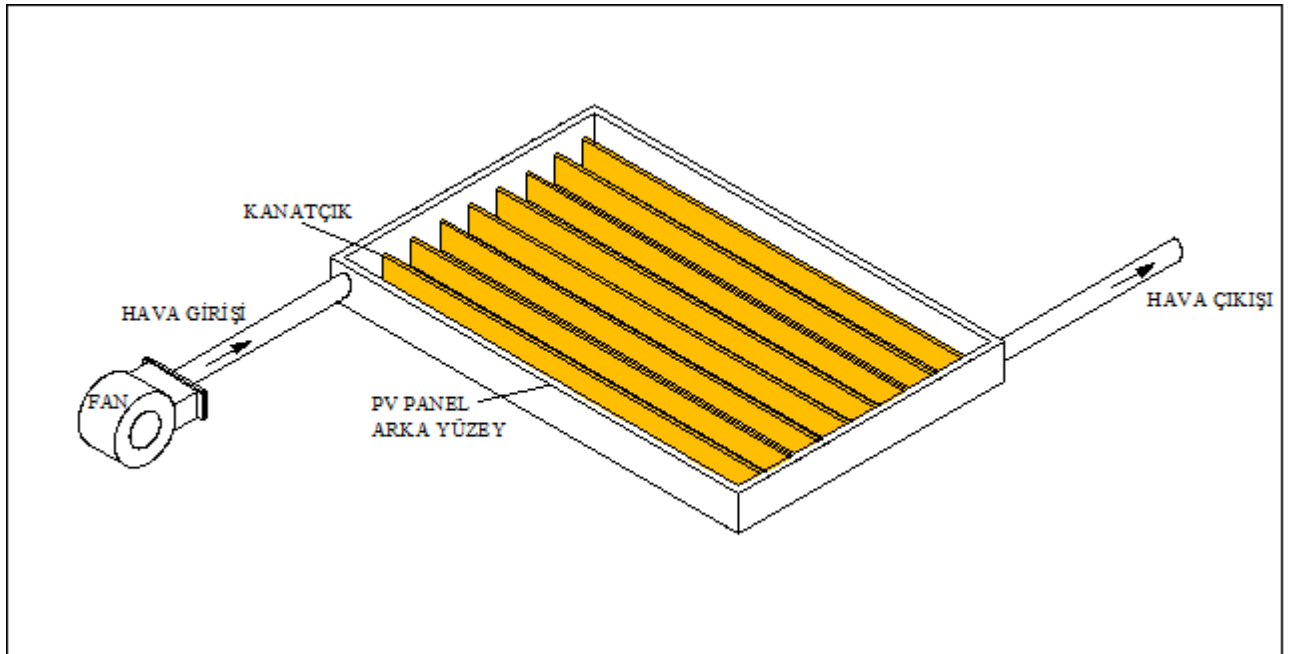
Programda kurulan düzeneğı ait akış diyagramı Şekil 4.27. de verilmiştir.



Şekil 4.27. TRNSYS sistem diyagramı

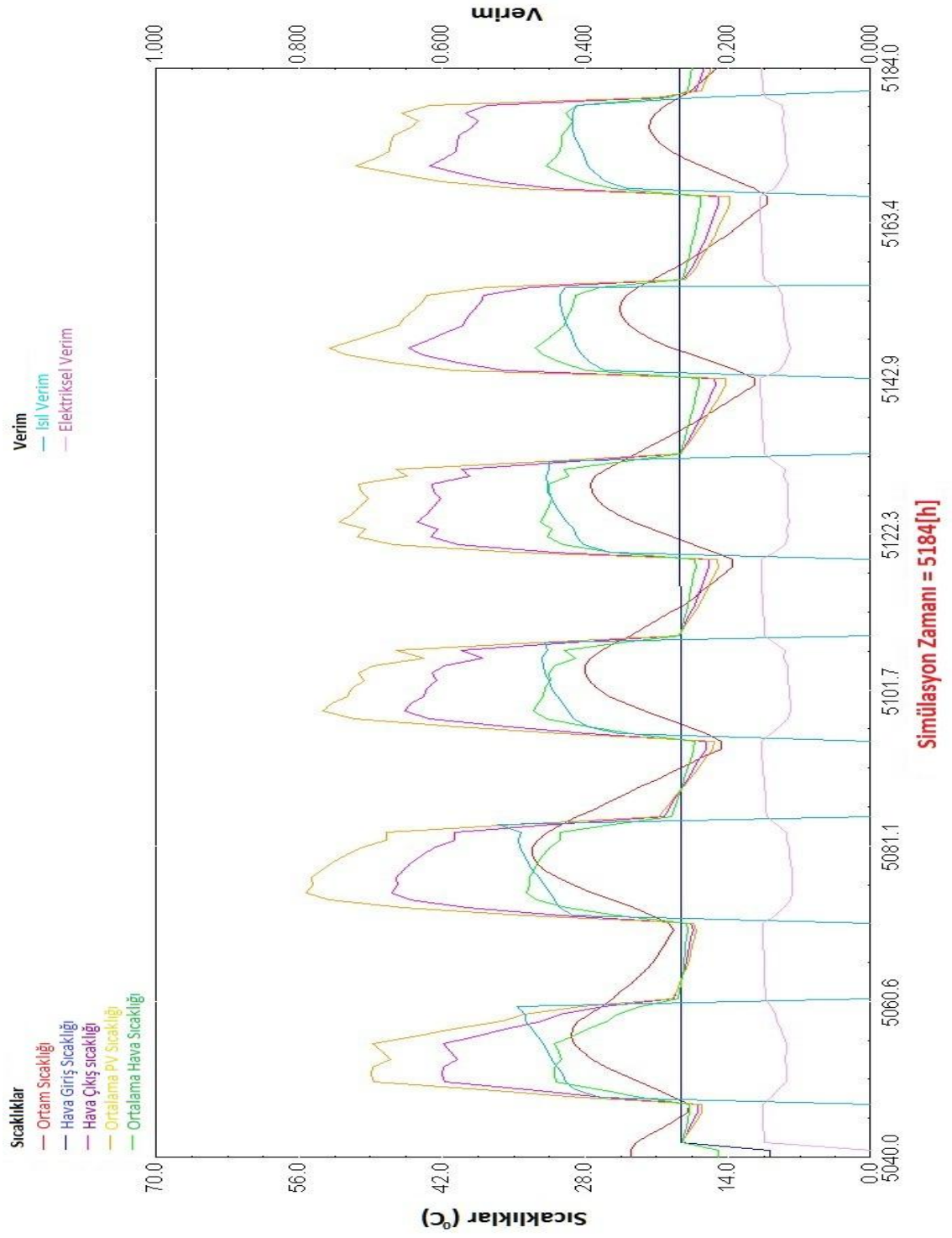
4.7.3. PVT-hava kolektörler için TRNSYS program simülasyonu

Sunulan tez kapsamında PVT-su kolektör için deneysel sonuçlar alınmış ve TRNSYS de modelleme yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Diğer yandan PV sistemlerde hücrelerden ısının atılması için PVT-hava kolektörlerinin de kullanıldığından materyal ve metot bölümünde bahsedilmişti. Bu bağlamda PVT-su kolektörle kıyaslama açısından PVT-hava kolektör içinde PVT-su kolektör ile aynı meteorolojik şartlar altında TRNSYS de modelleme yapılmıştır. PVT-su için kullanılan düzenek aynen PVT-hava içinde kullanılmış sadece PVT-su kolektör için veriler PVT-hava kolektörüne göre düzenlenmiştir. Şekil 4.28'de simülasyonu yapılan PVT-hava kolektöre ait resim bulunmaktadır.

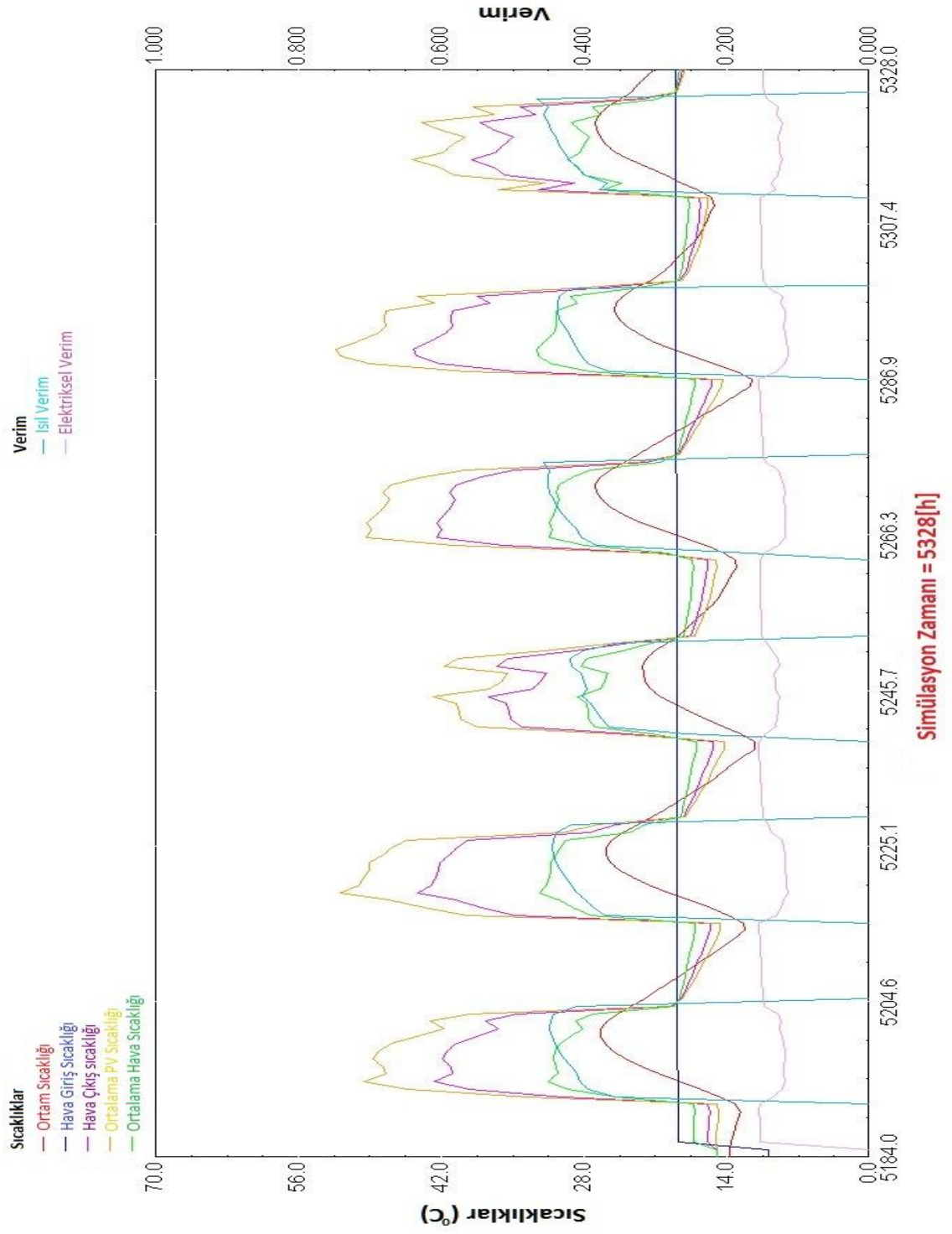


Şekil 4.28. Simülasyonu yapılan PVT-hava kolektörü

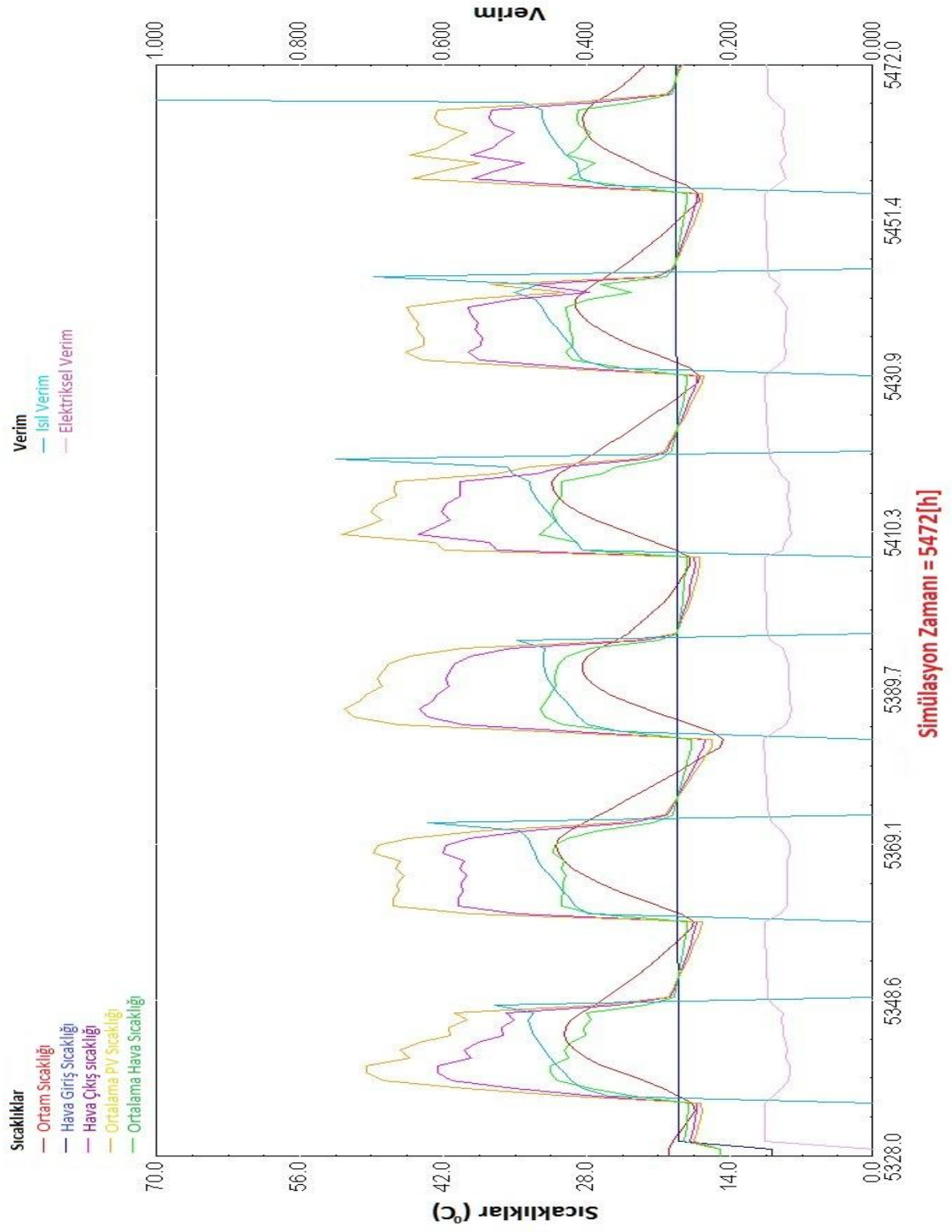
Bu bağlamda elde edilen sonuçlar Şekil 4.29- Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



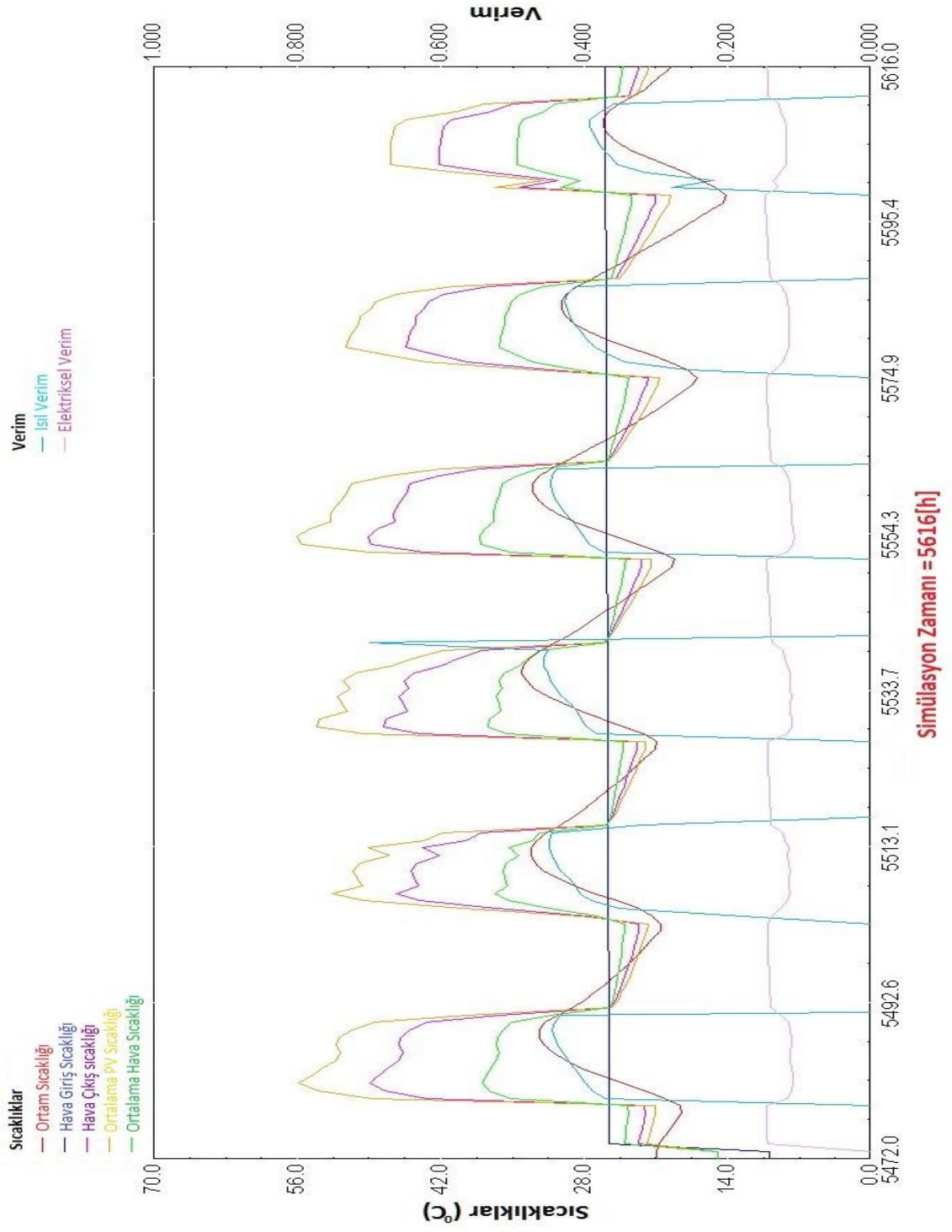
Şekil 4.29. 1-6 Temmuz 2011 için PVT-hava simülasyon sonuçları



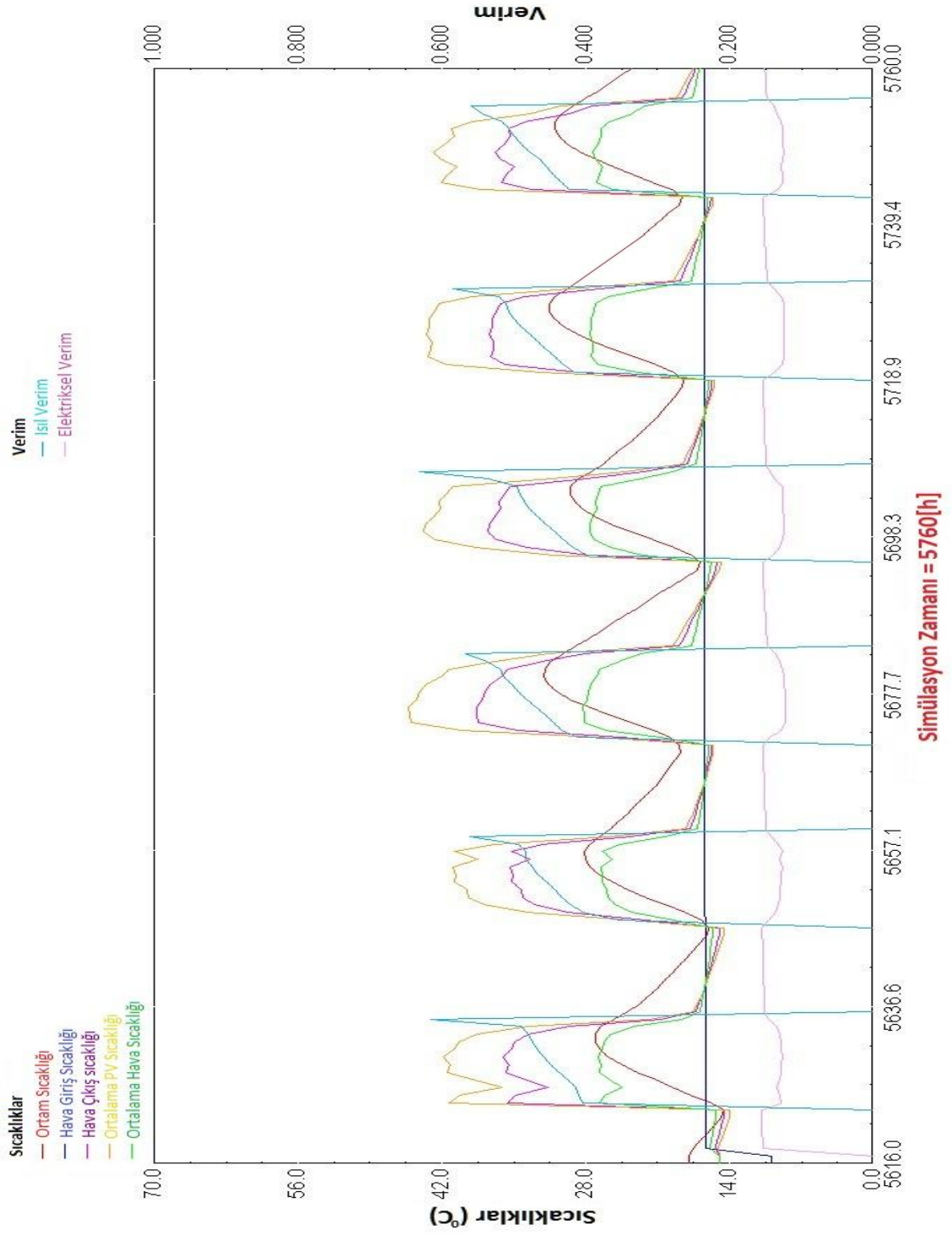
Şekil 4.30. 6-12 Temmuz 2011 için PVT-hava kolektör simülasyon sonuçları



Şekil 4.31. 12-18 Temmuz 2011 için PVT-hava kolektör simülasyon sonuçları



Şekil 4.32. 18-24 Temmuz 2011 için PVT-hava kolektör simülasyon sonuçları



Şekil 4.33. 24-30 Temmuz 2011 için PVT-hava kolektör simülasyon sonuçları

Elde edilen bu sonuçlara göre Temmuz ayı için çalışma koşulları altında maksimum ışıyımında PVT-hava kolektör için gerçekleşen minimum yüzey sıcaklığı; 40°C , ortalama hava sıcaklığı; 45°C , maksimum ısı verim(η_i); %45, maksimum PV sıcaklığında ortalama elektriksel verim (η_e); %10 olarak bulunmuştur.

Grafiklerden de görülebileceği gibi 7 farklı değer aynı grafik üzerinde tanımlanmıştır. Bu değerler, ortam sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı, hava çıkış sıcaklığı, ortalama PV sıcaklığı, ortalama hava sıcaklığı, elektriksel verim ve ısı verimidir. Grafiklerden elde edilen bulgulara göre sıcaklığın artması durumunda elektriksel verimde azalma meydana geldiği görülmüştür. Bunun yanında ısı verimin ise arttığı gözlemlenmiştir. Gün içerisinde öğle saatlerinde su giriş-çıkış sıcaklık farkının ve PV yüzey sıcaklığının maksimum değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Ancak PVT-su kolektörde elde edilen su giriş-çıkış sıcaklığı farkı, PVT-hava kolektörde ki hava giriş-çıkış sıcaklık farkına nazaran daha fazladır. Bunun yanında elektriksel verimdeki azalma PVT-hava kolektörde PVT-su kolektöre nazaran daha fazladır. PVT-su kolektör ile PVT-hava kolektörün, elde edilen simülasyon değerlerinin karşılaştırılmasında elektriksel ve ısı verim açısından PVT-hava kolektörde elektriksel verime sıcaklığın etkisinin PVT-su kolektöre nazaran daha fazla olduğu ve dolayısı ile elektriksel verimdeki düşüş miktarının daha fazla olduğu grafiklerden görülmektedir. Bu kapsamda ısı verim değerlerinde de PVT-su kolektörün PVT-hava kolektöre nazaran daha verimli olduğu karşımıza çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

PVT sistem performansı bu deneysel çalışmayla değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. TRNSYS ile yapılan simülasyon neticesinde elde edilen sonuçlar da, deneysel bulgulara yakınlığı ile doğruya yakın bir simülasyon yapıldığının göstergesidir.

PV modülün yüksek çalışma sıcaklıklarında, modülün elektriksel dönüşüm verimi, fotovoltaiik hücrenin açık devre gerilimindeki dikkate değer bir düşüş nedeniyle, önemli bir oranda düşmektedir. Bundan dolayı bu tezde, PV modül üzerinde performans iyileştirmesi ve en önemli madde olan soğutmanın etkisi incelenmiştir. Ayrıca sistemin belirsizlik, ekonomik analizi ve ekserji analizi de yapılarak deney sonuçlarının doğruluğu, sistemin verim iyileştirilmesinde kilit noktasının belirlenmesi ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği araştırılmış ve olumlu sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

Fotovoltaiik modül sıcaklığı, PV sistemin performansını ciddi biçimde etkileyen bir fonksiyondur. PV modül sıcaklığının 63°C olması durumunda elektriksel verim % 9 dur. Bu nedenle, sistemin amortisman süresinin uzaması, PV modülde kullanılan malzemelerin ömrünün kısılması bu sıcaklığın nedenleri arasındadır. PV modül çalışma sıcaklığı üzerine soğutmalı ve soğutmasız sistemlerin etkisi bu tez kapsamında açıkça belirtilmiştir.

Aktif soğutma tekniğinin kullanılması, deneysel sonuçlara göre PV modülün elektriksel veriminde anlamlı bir iyileşmenin ortaya çıktığını bize göstermektedir. Bu kapsamda PVT-su kolektörün elektriksel verimliliği maksimum %13.6 olarak bulunmuştur. PV modülden suya olan denenen iki farklı debide en iyi ısı transferini veren debi değeri ise bu çalışma kapsamında 0.03 kg/s olarak bulunmuştur. PVT kolektörün ısı performansını deneysel bulgular vasıtasıyla hesaplanmıştır ve sistemin optik ısı verimi %52.6 olarak bulunmuştur. Kısaca bu değer, güneş ışınımının %52.6 sının kullanılabilir enerjiye çevrildiğinin göstergesidir. Bu verim PVT kolektörün optik verimidir. Pratikte hesaplamalar yapılırken bu verim değerinden sıcaklığa bağlı kayıp katsayısının çıkarılması gerekir. 0.077 kg/s debi değerinde bulunan optik ısı verim, 0.03 kg/s debi değerinde bulunan optik ısı verimden daha büyüktür. Ancak pratik uygulamalarda karşımıza çıkan sıcaklığa bağlı kayıpların, 0.077 kg/s debi değerinde daha fazla olması ve dolayısı ile sıcaklığa bağlı kayıpların çıkarılması ile elde edilecek net ısı verimin 0.03 kg/s debi değerinde daha yüksek olması nedeniyle optik ısı verim

olarak 0.03 kg/s debi değeriinde elde edilen optik ısı verimin daha uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır.

PVT kolektörde elektriksel verime ışıının etkisi de incelenmiş ve 1,000 W/m² ışıının değeriinde soğutmalı ve soğutmasız sistem arasındaki farklar belirgin bir şekilde gösterilmiştir. Buna rağmen ışıının şiddetinin yaklaşık 250 W/m² değerlerine düştüğünde soğutmalı ve soğutmasız sistemin verim üzerine bir etkisinin olmadığı sonucuyla da bu tez kapsamında karşılaşılmıştır.

Yapılan deney sonuçlarının doğruluğunu denemek amacıyla hem PV hem de PVT sistemler üzerine elektriksel verim açısından belirsizlik analizi yapılmış ve bu analiz sonucunda bulguların toplam belirsizliğinin PVT kolektör de $\pm 0.23\%$, PV modülde $\pm 0.31\%$ olduğu belirlenmiştir. PVT kolektördeki hata oranının PV modüldeki hata oranına göre düşük kalmasının nedeni ise standart test koşullarına en yakın sonucun PVT kolektörden elde edilmiş olmasına bağlanmıştır.

PV modül ve PVT kolektör sisteminin 2 farklı ekonomiklik analizi yapılmış ve şebekeden bağımsız sistemler için PV modülün amortisman süresi 10.61 yıl, PVT kolektörün amortisman süresi, ısı enerjisinin elde edilme yöntemine göre sırasıyla elektrik için 2.67 yıl, fuel-oil için 2.92 yıl ve doğalgaz içinde 6.22 yıl olarak bulunmuştur. PV modülün amortisman süresinin uzun çıkmasının nedeni sistemin akülü olarak değerlendirilmesi neticesindedir. Diğer yandan bu sistemlerin küçük güçlerde kurulması PV modül harici ekipmanların maliyet üzerinde önemli etki oluşturmalarına neden olmaktadır. Şebekeye bağıli sistemler için 100 kWp kurulu güçte PV ve PVT sistemler için ekonomik ve yatırım analizi net bugünkü değer ve iç karlılık oranı metodlarına göre yapılmış ve her iki sistem içinde yatırım yapılabilir sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca şebekeye bağıli 100 kWp kurulu güçte PV ve PVT sistemler için amortisman süreleri sırasıyla 8.64 yıl ve 6.06 yıl olarak bulunmuştur.

TRNSYS simülasyon programı kullanılarak PVT-su kolektör için deneysel ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine kabul edilebilir oranda yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca PVT-hava kolektör için de simülasyon yapılmış ve PVT-su kolektör ile karşılaştırıldığında ısı verim değerlerinin PVT-su kolektörde %13.4, elektriksel verimin de % 9 mertebesinde daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. PVT-su kolektör ile PVT-hava kolektörün, elde edilen simülasyon değerlerinin karşılaştırılmasında elektriksel ve ısı verim açısından PVT-su kolektörün daha verimli olduğu sonucu karşımıza çıkmaktadır. Bu sonucun en önemli nedeni kuşkusuz PVT-hava kolektörde akışkan olarak kullanılan havanın suya nazaran ısı

taşıma kapasitesinin, özgül ısısının ve yoğunluğunun düşük olması ve bunun sonucunda hücrelerden çekilen ısıнын hava ile karşılaştırıldığında su da daha fazla olmasıdır.

Enerji verimliliği kanununa göre PVT kolektör gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı devlet tarafından desteklenmektedir. Bu durum firmaların enerji verimliliği adı altında hazırlayacakları projeler ile destek elde edebilmelerine olanak sağlamaktadır.

5.2 Öneriler

Türkiye güneş ışınımı açısından oldukça zengin bir ülkedir. Gerek Avrupa da meydana gelen ekonomik krizler, gerekse güneş enerjisi sektörünün Avrupa da yavaş yavaş doygunluğa ulaşması üreticileri ve danışman firmaları yeni pazar arayışına itmektedir. Türkiye'nin de hem hızlı gelişmekte olan ülkeler arasında olması hem de güneş enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olması nedeniyle hem yatırımcıların hem de üreticilerin dikkatlerini çekmektedir. Bu durumun, önümüzdeki 10 yıllık süre içerisinde öncelikle PV pazarında ve buna ilaveten diğer güneş enerjisinden elektrik üretim sistemlerinde ülkemizde mükemmel bir pazar oluşacağı aşikardır.

Örneğin Fransa da PVT kolektörler için ekstradan 0.32 Eurocent teşvik verilmektedir. Ayrıca bu sistemler eğimli çatılarda çatı içi montaj setleri ile beraber kurulursa bu teşvik miktarı 0.56 Eurocent e çıkmaktadır. Bu teşviklerle beraber amortisman süreleri neredeyse üçte birine inmektedir.

10 Mayıs 2005 tarihinde yürürlüğe giren ve 8 Ocak 2011 tarihinde revizesi yapılan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" da belirtildiği üzere, güneş enerjisine dayalı elektrik üretimine 13.3 Dolarcent/kWh standart teşvik verilecektir. Bu kapsamda toplam kurulu gücü 500 kW ve altı olan üretim santrallerinin kurulumu için de lisans alma zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu durum, yatırım yapmayı planlayan kişi veya kurumlar için hem süre, hem maliyet hem de zaman açısından oldukça avantajlı olmaktadır. Çünkü kurulu gücü 500 kW ı geçen elektrik üretim santrallerinde en az 6 ay güneş ölçümü yapma ve devam eden 6 ay içinde bir simülasyon programından ölçüm sonuçları alma şartı aranmaktadır. Lisansa tabi kurulumun en büyük dezavantajı ise 29 Mayıs 2012 tarihinde resmi gazete de yayımlanıp yürürlüğe giren "Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Lisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği"nde belirtilen, aynı bölge veya aynı trafo merkezine yapılacak lisans başvurularında yatırımcının belirlenmesi adına, devletin vereceği teşvik miktarında eksiltme

yapılmasıdır. Bu durum, diğer ülkelerdeki teşvik tutarlarına göre ülkemizde düşük olan teşvik tutarının biraz daha düşürülmesi, dolayısı ile kurulacak sistemin geri dönüş süresinin uzaması anlamına gelmektedir. Kısaca şu an itibari ile ülkemizde lisansa tabi olmayan (500 kW ve altı) elektrik üretim sistemlerinin kurulması daha uygundur.

PVT sistemlerin santral bazlı kurulumlar için uygunluğu, "üretilecek sıcak suyun nerede kullanılacağı" sorusunun cevabına bağlı olmaktadır. Amacı sadece elektrik üretilip satmak olan bir yatırımcı için santral bazlı (> 100 kW) bir PVT sistem kurulumu uygun olmamaktadır. Ancak, özellikle çıkan teşvik rakamlarının, santral bazlı kurulumlar a nazaran evsel kurulumlar için daha fizibil olmasından ötürü, PVT sistem kurulumları daha cazip hale gelmektedir. Bu durumun nedeni; teşvik rakamlarının evsel kurulumlar için daha cazip olması, üretilecek sıcak suyun kullanılabilecek bir alanının olması (duşlar, lavabolar vb.), evsel kurulumlarda öncelikli olarak tüketilen enerjinin üretilmesi, dolayısı ile yatırımcının, devletten satın aldığı elektrik fiyatından üretim yapmasındandır. Elektriğin devletten alış fiyatının 0.33 TL olduğu düşünüldüğünde, amacı sadece elektrik üretimi yapıp satmak olan bir yatırımcının, elektriği 15.4 dolarcent/kWh, yani 0.277 TL/kWh den devlete satacak olması, yatırımcının teşvik kapsamında 0.05 TL/kWh daha düşük fiyattan yararlanması anlamına gelmektedir. Bu bakımdan PVT sistem kurulumları evsel kullanımlarda daha uygun olmaktadır.

Bu tez kapsamında Solimpeks Enerji A.Ş. tarafından üretilmiş bir ürünün deneysel analizleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. PVT kolektör için değişik absorber yapılarının üretimi yapıp deneysel bulguların karşılaştırılarak en verimli absorber yapısının belirlenmesi ve dolayısı ile en verimli PVT kolektörün ortaya çıkarılması ileriki çalışmalar için tavsiye edilmektedir.

PV sistemlerin önemi artarken bu sistemlerden elde edilecek enerjinin maksimuma yaklaştırılması son derece önemlidir. Bu bakımdan PVT sistemler, uygulama alanı PV modüller kadar olmasa bile önümüzdeki yıllarda daha sık kullanılır hale gelecektir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2010a, <http://www.solimpeks.com.tr>, [Ziyaret Tarihi: 02 Haziran 2010].
- Anonim, 2010b, <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html> [Ziyaret Tarihi: 13 Ağustos 2010].
- Anonim, 2010c <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>, Tübitak Yayınları, Ankara, Sayı 490. [Ziyaret Tarihi: 15 Haziran 2010]
- Anonim, 2011a, <http://www.solarinnova.net>, [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2011].
- Anonim, 2011b, <http://www.stecasolar.com>, [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2011].
- Anonim, 2011c, <http://www.yigitaku.com>, [Ziyaret Tarihi: 23 Ağustos 2011].
- Anonim, 2011d, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory, [Ziyaret Tarihi: 23 Ocak 2012].
- Anonim, 2012a, <http://www.pacificsuntech.com/how/solar-cells.html> [Ziyaret Tarihi: 23 Haziran 2012].
- Anonymous, 2012b, <http://cleantechnica.com/2011/04/19/solar-junction-breaksconcentrated-solar-world-record-with-43-5-efficiency/> [Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2012].
- Agrawal, S., Tiwari, G. N., Pandey, H. D., 2012, Indoor experimental analysis of glazed hybrid photovoltaic thermal tiles air collector connected in series, *Energy and Buildings*, Volume 53, pages: 145-151.
- Antony, F., Durschner, C., Remmers, K. H., 2007, Photovoltaics for Professionals: Solar Electric Systems Marketing, Design and Installation, *Earthscan Publications Ltd.; illustrated edition*, 215 s.
- Aste, N., Chiesa, G., Verri, F., 2008, Design, development and performance monitoring of a photovoltaic-thermal (PVT) air collector, *Renewable Energy*, (33), pages: 914-927.
- Charalambous, P. G., Kalogirou, S. A., Maidment, G. G., Yiakoumetti, K., 2011, Optimization of the photovoltaic thermal (PV/T) collector absorber, *Solar Energy*, (85), pages: 871-880.
- Chow, T. T., Hand, JW, Strachan, PA. 2003, Building-integrated photovoltaic and thermal applications in a subtropical hotel building, *Applied Thermal Engineering*, (23), pages: 2035-49.
- Chow, T. T., He, W., Ji, J., 2007, An experimental study of facade-integrated photovoltaic/water-heating system, *Applied Thermal Engineering*, (27), pages: 37-45.

- Chow, T., Chan, A., Fong, K., Lin, Z., He, W., Ji, J., 2009, Annual performance of building integrated photovoltaic/water heating system for warm climate application, *Applied Energy*, (86), pages: 689-696.
- Chow, T. T., 2010, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, (87), pages: 365-379.
- Coventry, S. J. 2005, Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector, *Sol Energy*;78(2), pages: 211–222.
- Cox III CH, Raghuraman P. 1985, Design considerations for flat-plate photovoltaic/thermal collectors. *Sol Energy*, (35), page:227–241.
- Cristofari, C., Notton G. And Canaletti, J. L., 2009, Thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions, *Sol. Energ.*, (83), pages:1123-1138.
- Çetinkaya, H.B., 2001, Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi, yüksek lisans tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 154s.
- Demirbugan, N. A., 2008, Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde net bugünkü değer (NBD) ve iç karlılık oranı (İKO) yöntemlerinin karşılaştırılması, *İ.İ.B.F. Dergisi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, (C.X ,S II.).
- Dinçer, I., Rosen, M., 2007, Exergy: Energy environment and sustainable development, *Elsevier*, ISBN: 978-0080445298, page:167.
- Dubey, S., Sandhu, G. S., Tiwari, G. N., 2009, Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector, *Applied Energy*, (86), pages: 697-705.
- Duffie, J. A. and Beckman, W., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, *John Wiley and Sons Inc.*, New York. 908 page.
- Dupeyrat, P., Ménéz, C., Wirth, H., Rommel, M., 2011, Improvement of PV module optical properties for PV-thermal hybrid collector application, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, (95), pages: 2028-2036.
- Elswijk, M. J., Jong, M. J. M., Strootman, K. J., Braakman J. N. C., Lange, E. T. N., Smit, W. F., 2004, Photovoltaic/thermal collectors in large solar thermal system, *19th European PV Solar Energy Conference and Exhibition*, 6 s.
- Erdil, E., Ilkan, M., Egelioglu, F., 2008, An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV)-solar thermal hybrid system, *Energy*, (33), 1241– 1245.
- Field, H., 1997, Solar Cell Spectral Response Measurement Errors Related to Spectral Band Width and Chopped Light Waveform. *26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, September, Anaheim, California.

- Florschuetz L.W. 1979, Extension of the Hottel-Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors, *Sol Energy*, (22), pages: 361–366.
- Fraisse, G., Menezo, C., Johannes, K., 2007, Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combisystems of direct solar flor type, *Solar Energy*, (81), pages: 1426-1438.
- Fujiwa, T., Tani, T., 1997, Annual exergy evaluation on photovoltaic thermal hybrid collector, *Solar Energy Materials on Solar Cells*, (47), pages: 453-462.
- Gang, P., Huide, F., Tao, Z., Jie, J., 2011, A numerical and experimental study on a heat pipe PV/T system, *Solar Energy*, (85), pages: 911-921.
- Garg HP, Agarwall RK, Joshi JC.1994, Experimental study on a hybrid photovoltaic thermal solar water heater and its performance prediction, *Energy Conversion Management*, (35), pages: 621–33.
- Garg, H. P., 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), pages: 87-99.
- Garg, H.P., Adhikari, R.S., 1999, System performance studies on photovoltaic/thermal (PV/T) air heating collector, *Renewable Energy*, (16), pages: 725-730.
- Gedik, T., Akyüz, K. C., Akyüz, İ., 2005, Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer Yöntemlerinin İncelenmesi), *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, KTÜ Orman Fakültesi –, sayı7 cilt7.
- Genceli, O. F., 2008, Ölçme Tekniği (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri), *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 23-29.
- He, W., Chow, T. T., Ji, J., Lu, J. P., Pei, G., Chan, L. S., 2006, Hybrid photovoltaic and thermal solar collector designed for natural circulation of water, *Applied Energy*, (83), pages: 199–210.
- He, W., Zhang, Y., Ji, J., 2011, Comparative experiment study on photovoltaic and thermal solar system under natural circulation of water, *Applied Thermal Engineering*, (31), pages: 3369-3376.
- Hendrie, S. D., 1982, Final Report, *Report*, MIT.
- Holman, J. P., 1994, Experimental Methods for Engineers, *McGraw-Hill*, sixth edition, USA, 616s.
- Hottel H. C and A. Whillier. 1958, Evaluation of Flat-Plate Solar Collector Performance, *Trans. of the Conference on Use of Solar Energy*, (2) page: 74.

- Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C. and Sun, F. S., 1999, Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems, *Solar Energy*, (70), pages: 443-448.
- Ibrahim, A., Othman, M.Y., Ruslan, M. H., Mat, S., Sopian, K., 2011, Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (15), Pages: 352-365
- Ito, S., Miura, N., Wang, K., 1997, Heat pump using collector with photovoltaic modules on the surface, *Solar Energy*, (65), pages: 189-196.
- Ji, J., Chow, T., He, W., 2003, Dynamic performance of hybrid photovoltaic/thermal collector wall in Hong Kong, *Building and Environment*, (38), 1327-1334.
- Ji, J., Han, J., Chow, T. T., Yi, H., Lu, J. P., He, W., 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., Pei, G., 2007, A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation, *Applied Energy*, (84), pages: 222-237.
- Jones, A. D., and Underwood, C. P., 2001, A thermal model for photovoltaic systems. *Solar Energy*, (4), pages: 349-359.
- Joshi, A.S., Tiwari, A., 2007, Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) air collector, *Renewable Energy*, (32), pages: 2223-2241.
- Joshi, A. S., Dinçer, İ., Reddy, B. V., 2011, Effect of colors of light on the PV/T system performance, *Int. J. Energy Res.*, pages: 2-4.
- Kalogirou, S. A., 2001, Use of TRNSYS for modelling and simulation of a hybrid PV-thermal solar system for Cyprus, *Renewable Energy*, (23), pages: 247-260.
- Kanchan, V., Tiwari, G. N., 2012, Energy and exergy analysis of a building integrated semi transparent photovoltaic thermal (BISPVT) system, *Applied Energy*, pages 409-416.
- Karima, E. A., Al-Najjar, H. M. T., 2012, Analysis of thermal and electrical performance of hybrid (PV/T) air based solar collector for Iraq, *Applied Energy*, (98), pages: 384-395.
- Kern, Jr. EC, Russell, MC., 1978, Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, *Proceedings of 13th IEEE photovoltaic specialists*, Washington, DC, USA; . pages. 1153-7.
- Kline, S. J., and F. A. McClintock, 1953, Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments, *Mech. Eng.*, page: 3.

- Kumar, R., Rosen, M. A., 2011, Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins, *Applied Thermal Engineering*, (31), pages: 1402–1410.
- Küpeli, A.Ö., 2005, Güneş pilleri ve verimleri, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Lee, W.M., Infield, D.G., Gottschalg, R. 2001, Thermal modeling of building integrated PV systems, *Proceedings of 17th PV solar Energy Conference*, pages: 2754–2757.
- Lewis, K. J., 1983, Encapsulant material requirements for photovoltaic modules, in: (Geblein, C.G., Williams, D.J., Deanin, R.D.), 1983, *Polymers in Solar energy Utilisation*, ACS, Washington, DC, Chapter 23, pages: 367–385
- Loferski, J. J., Case, C., Doodlesack, G., Roessler, B., Dobbins R., and Russell, T., 1982, Design and construction of a hybrid 3 kWp photovoltaic-thermal solar energy system for residential-commercial building, *16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, San Diego, pages: 188–193.
- Othman, M. Y. H., Yatim, B., Sopian, K. and Abu Bakar, M. N., 2007, Performance studies on a finned double-pass photovoltaic-thermal (PV/T) solar collector, *Desalination*, (209), 43–49.
- Othman, M. Y. H., Yatim, B., Sopian, K. and Abu Bakar, M. N., 2005, Performance analysis of a double-pass photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector with CPC and fins, *Renewable Energy*, (30), pages: 2005–2017.
- Pacca Sergio, Sivaraman Deepak, Keoleian Gregory A., 2007, Parameters affecting the life cycle performance of PV Technologies and systems, *Energy Policy*, (35), pages: 3316–3326.
- Pottler, K., Sippel, C. M., Beck, A., Fricke, J., 1999, Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors, *Solar Energy*, (67), pages: 35–52.
- Prakash, J., 1994, Transient analysis of a photovoltaic-thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air/water, *Energy Conversion Management*, (35), pages: 967–972.
- Prasad, B. N., Saini J. S., 1991, Optimal thermohydraulic performance of artificially roughened solar air heaters, *Solar Energy*, (47), pages: 91–96.
- Radziemska, E., 2003, Thermal performance of Si and GaAs based solar cells and modules: a review, *Progress in Energy Combustion Science*, (29), pages: 407–424.
- Raghuraman, P., 1981, Analytical predictions of liquid and air photovoltaic / thermal flat plate collector performance, *J. Sol. Energy Engineering*, (103), pages: 291–298.

- Ratlamwala, T.A.H., Gadalla, M.A., Dincer, I., 2011, Performance assessment of an integrated PV/T and triple effect cooling system for hydrogen and cooling production, *International Journal of Hydrogen Energy*, (36), pages 11282-11291.
- Sandnes B., Rekstad, J., 2002, A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model, *Solar Energy*, (72), pages: 63-73.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., Behzadmehr, A., 2010, Exergetic performance assesment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, *Energy and Buildings*, (42), pages: 2184-2199.
- Solanki, S.C., Dubey S. and Tiwari, A., 2009, Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors, *Applied Energy*, (86), pages: 2421-2428.
- Sopian, K., Yigit, K. S., Liu, H. T., Kakac, S., Veziroglu, T. N., 1996, Performance analysis of photovoltaic thermal air heaters, *Energy Conversion & Management*, (37), pages: 1657–1670.
- Sopian, K., Liu, H.T., Kakac, S., Veziroglu, T. N., 2000, Performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector suitable for solar drying systems, *Energy Conversion & Management*, (41), pages: 353-365.
- Şenol, R., 2005, Güneş izlemeli fotovoltaiik pillerin mobil ölçüm istasyonlarına uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Takashima, T., Tanaka, T., Doi T., Kamoshida J., Tani T., Horigome T., 1994, New proposal for photovoltaic thermal solar energy utilization method, *Solar Energy*, (52), pages: 241–245.
- Tiwari, G. N. Ve Dubey, S., 2010, Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications, *RCS Publishing*, Cambridge, 398 pages.
- Tiwari, G. N., 2004, Solar Energy: Fundamentals, Design, Modeling and Applications, *Narosa Publishing House*, New Delhi, 521 pages.
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, Th., Souliotis, M., Yianoulis, P., 2002. Hybrid photovoltaic/thermal solar system, *Solar Energy*, (72), pages: 217–234.
- Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R., Corrado, A., 2005, Energy, Cost and LCA Results of PV and Hybrid PV/T Solar Systems, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, (13), pages: 235–250.
- Tripanagnostopoulos, Y., Kalogirou, S. A., 2006, Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, *Energy Conversion and Management*, (47), pages: 3368–3382.

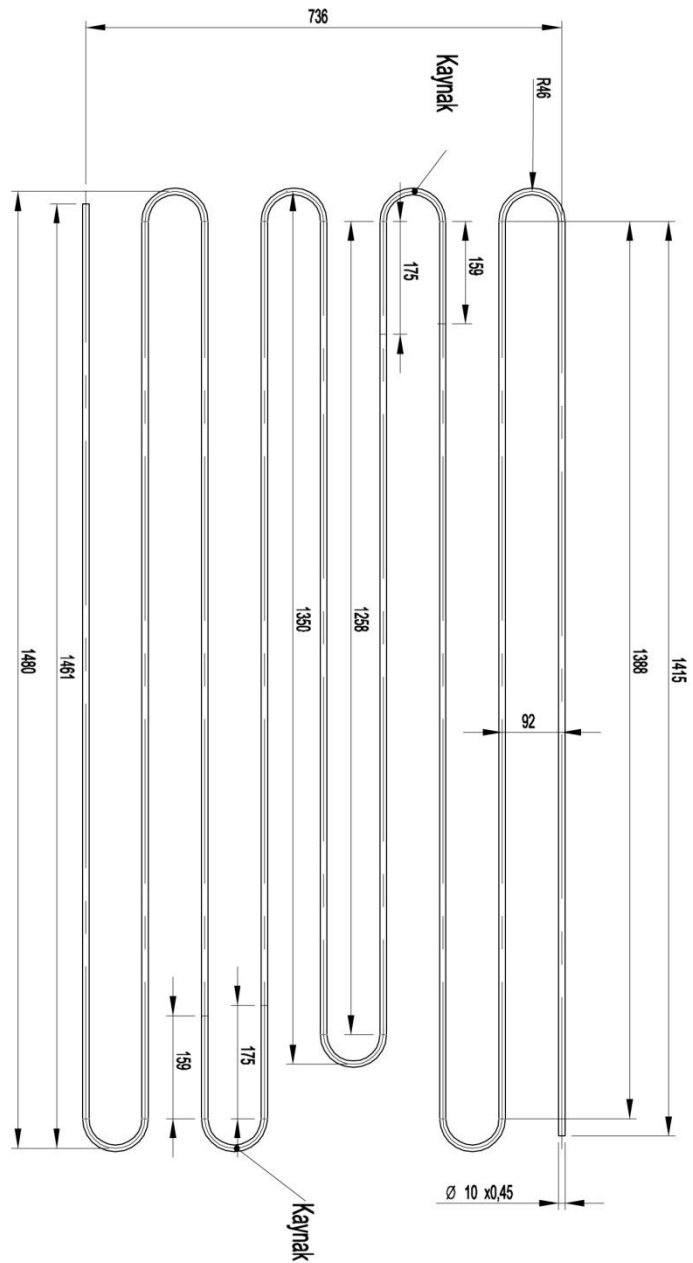
- Tripanagnostopoulos, Y, Tonui, J.K., 2007, Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, *Renewable Energy*, (32), pages: 623-637.
- Vokas, G., Christandonis, N., Skittides, F., 2006, Hybrid photovoltaicthermal systems for domestic heating and cooling--A theoretical approach, *Solar Energy*, (80), pages: 607-615.
- Wolf, M., 1976, Performance analysis of combined heating and photovoltaic power systems for residences, *Energy Conversation Management*, (16), pages: 79–90.
- Wu, S.Y., Zhang, Q. L., Xiao, L., Guo, F. H., 2011, A heat pipe photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid system and its performance evaluation, *Energy and Buildings*, (43), pages: 3558-3567.
- Zondag, H. A., De Vries, D. W., Van Helden, W. G. J., Van Zolingen, R. J. C. and Van Steenhoven, A. A., 2002, The thermal and electrical yield of a PV-thermal collector, *Solar Energy*, (72), pages: 113-128.

EKLER

EK-1 190 Watt fotovoltaik panel özellikleri

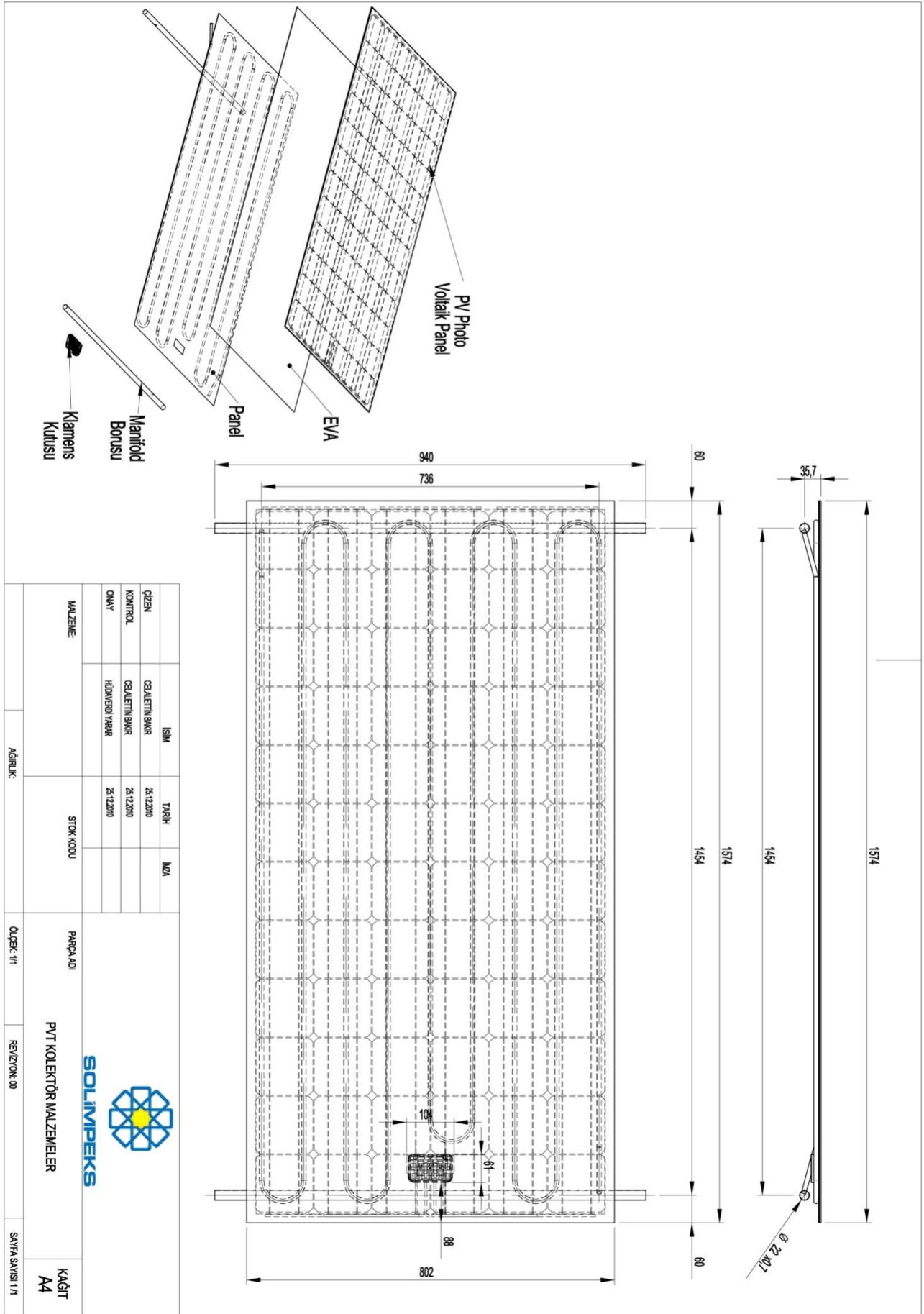
		Fevzi Çakmak Mh. 10753. Sk. No:3 Karatay/KONYA T: 444 06 02 F: 444 06 08 www.solimpeks.com.tr
MONOKRİSTAL MODÜLLER - SI - ESF - M - M190 W		
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER		
Maksimum Güç (P_{mp})	Watts	190
Tolerans	%	0 ~ 3
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	V	36.5
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	A	5.2
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	V	45.2
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	A	5.6
Maksimum sistem Gerilimi (V_{sis})	V	600 (UL)/1000 (IEC)
By-Pass Diyodu	Adet	3
Maksimum Sigorta Akımı	A	10
Modül Verimi (η)	%	14.9
Koruma Sınıfı	-	IP65
MEKANİKSEL ÖZELLİKLER		
Yükseklik	mm	1580
Genişlik	mm	808
Derinlik	mm	40
Dış Kasa	-	Anodize Alüminyum, Al6063-T5
Ağırlık	kg	15.5
Cam	-	Yüksek Geçirgenlikli Sertleştirilmiş Cam
Cam Kalınlığı	mm	3.2 ±0.2
Hücreler	Tip	Monokristalin
Hücre Adedi	Adet	72
Hücre Ebatları	mm	125 x 125
Hücre Seri Bağlantı Sayısı	Adet	72
Hücre Paralel Bağlantı Sayısı	Adet	1
Modülü Oluşturan Malzemeler	-	Cam-EVA-Hücre-EVA-TPT
Bağlantı Kutusu	Tip	IP65 - TUV/IEC/EN 61215
Kablo	Tip	UV Dirençli, Çift İzoleli, Polarize
Kablo Kesidi	mm ²	4
Konnektörler	Tip	MC4
ISIL KARAKTERİSTİKLER		
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı α (I_{cc})	%/°C	+0.028
Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı β (V_{oc})	%/°C	-0.347
Maksimum Güç Sıcaklık Katsayısı (P_{mpp})	%/°C	-0.471
Maksimum Güç Akımı Sıcaklık Katsayısı (I_{mpp})	%/°C	+0.1
Maksimum Güç Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (V_{mpp})	%/°C	-0.38

EK-2 PVT kolektör teknik resimleri

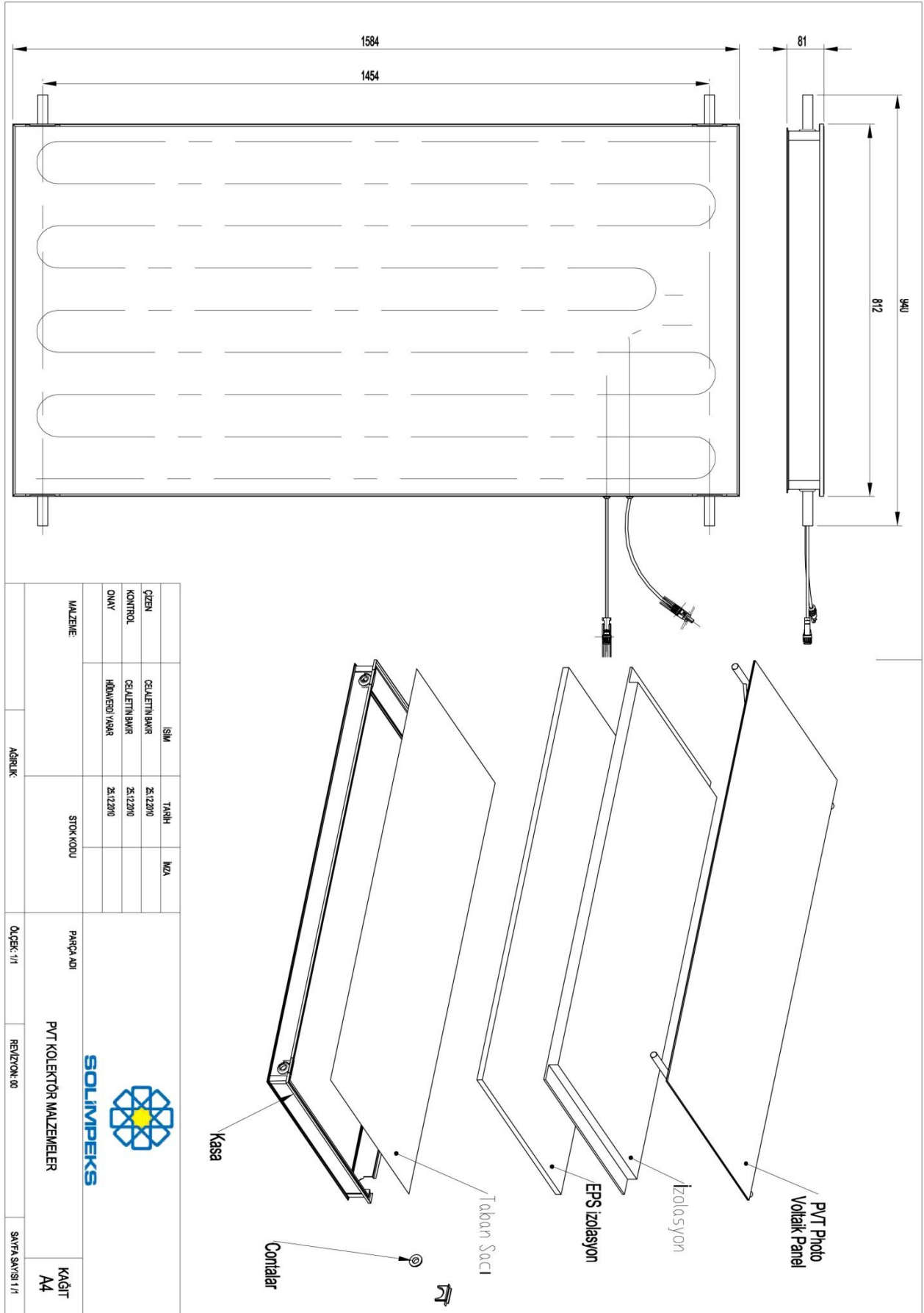


	İSİM	TARİH	MZA
GİZLEN	CELALETTİN BAKIR	ZS.12/2016	
KONTROL	CELALETTİN BAKIR	ZS.12/2016	
ONAY	HÜDAVERDİ YILMAZ	ZS.12/2016	
MÜZEMME:		STOK KODU	PARAÇA ADI
BAKIR			PVT KOLEKTÖR BORULAMA
ADIRLIK:		ÖLÇER: 111	REKLAM: 00
			SAYFA SAYISI 1 / 1

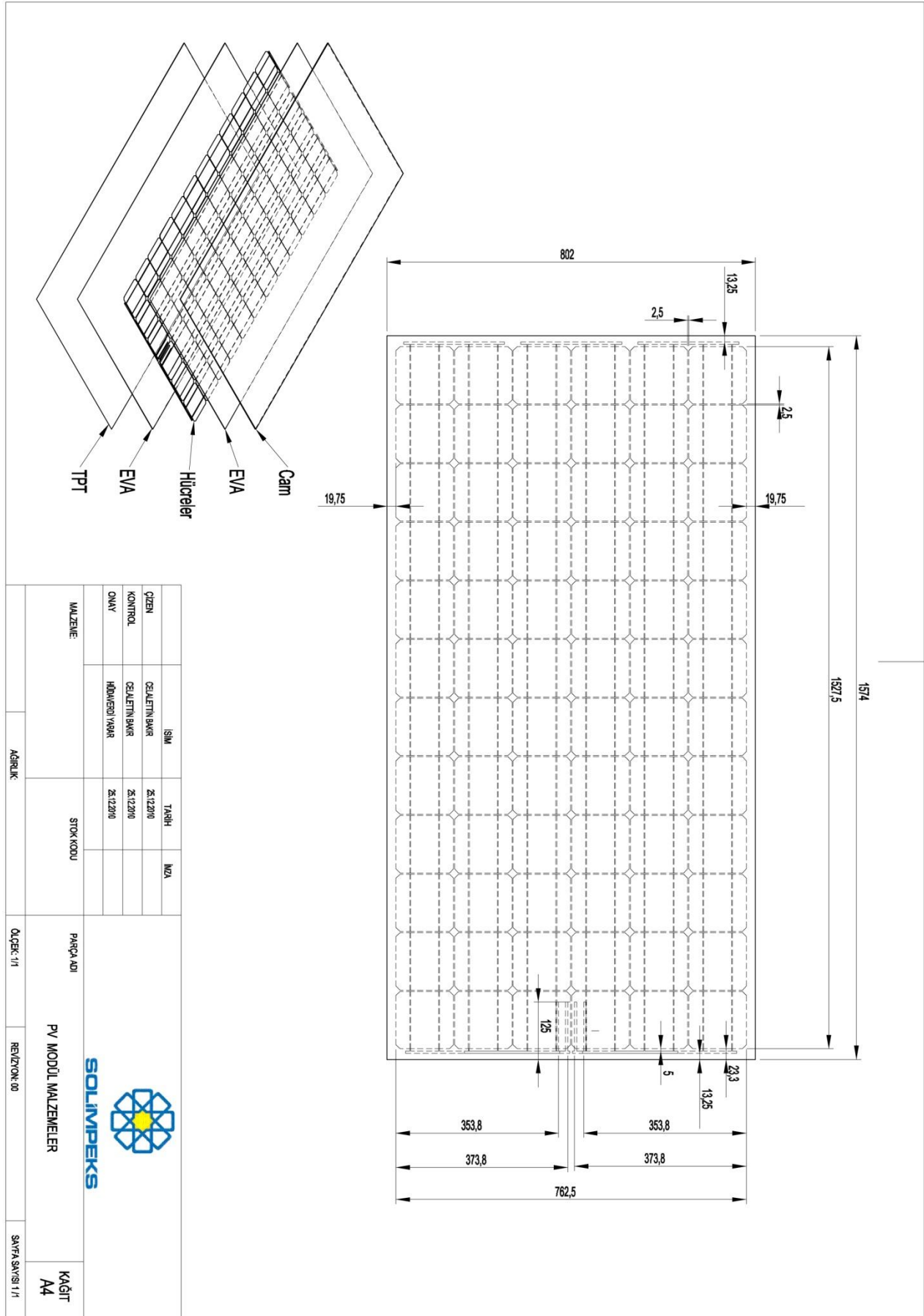
EK-3 PVT kolektör teknik resimleri-2



EK-4 PVT kolektör teknik resimleri-3



EK-5 PV modül teknik resmi



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Celalettin BAKIR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya / 15.04.1985
Telefon : 0530 551 43 39
Faks : 444 06 08
e-mail : celalettin.bakir@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Dolapoğlu Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2003
Üniversite	: Cumhuriyet Üniversitesi, Makine Mühendisliği Merkez, Sivas	2008
Yüksek Lisans :	Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D. Selçuklu, Konya	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2009	İntermak A.Ş. (KONYA)	Atelye Şefi
2010-....	Seiso A.Ş. (KONYA)	Proje & Taahhüt Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir enerji uygulamaları
 Güneş enerjisinden ısı ve elektrik üretim sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

ISO 9001, OHSAS 18001 Eğitim Sertifikaları,
 Solidworks Eğitim Sertifikası,
 Masa Tenisinde Üniversite birinciliği, Türkiye dokuzunculuğu 2008.

YAYINLAR

Atalay, B., Topaç, M. T., Bakır, C., Yazar, H., 2011, Kayseri ve Civarı Elektrik T.A.Ş. nin Hizmet Binaları Çatısına Kurulan Şebeke Bağlantılı Güneş Fotovoltaik (PV) Elektrik Üretim Sistemi, ICCI, Bildiriler kitabı.

M. Özgören, C.Bakır, E.C. Gürkan, 2011, Güneş Enerjisinden Elektrik Üretme Teknikleri ve Fotovoltaik Sistem Hesaplamaları: Konya Örneği, 3.Ulusal Konya Ereğli Kemal Akman Meslek Yüksekokulu Tebliğ Günleri, Ereğli/Konya.