

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ DEPOLAMALI YENİ NESİL FOTOVOLTAİK / TERMAL
KOLEKTÖRLERİN ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eda BAKIR

(151143101)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Teknolojileri

Programı: Termodinamik ve Isı Tekniği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Ekim 2017

KASIM – 2017



**ENERJİ DEPOLAMALI YENİ NESİL
FOTOVOLTAİK/ TERMAL KOLEKTÖRLERİN ISIL
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Eda BAKIR

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP
KASIM – 2017**

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ DEPOLAMALI YENİ NESİL FOTOVOLTAİK / TERMAL
KOLEKTÖRLERİN ISIL PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eda BAKIR

(151143101)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Teknolojileri

Programı: Termodinamik ve Isı Tekniği

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Ekim 2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Kasım 2017

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Fatih BAYRAK (S.Ü.)

KASIM – 2017

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; fotovoltaiik/termal panellerin verimini etkileyen açı, gölge ve faz değıştiren malzemelerin kolektörler üzerindeki etkileri deneysel bir şekilde incelenmiştir.

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP' a, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasında elde edilen veriler, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF 16.13 numaralı proje kapsamında finanse edilerek gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP birimine teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan Yrd. Doç. Dr. Fatih BAYRAK' a, çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen Enerji Laboratuvarı ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan her koşulda yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Eda BAKIR

ELAZIĞ – 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
ÖZET	IV
SUMMARY	V
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş enerjisi çalışmalarının zamanla gelişimi	1
1.2. Güneş kolektörleri ve sınıflandırılması	3
1.3. Fotovoltaik güneş hücrelerinin çalışma prensibi.....	4
1.4. Güneş hücre çeşitleri ve genel bilgiler	4
1.4.1. Kristal silisyum güneş hücreleri	5
1.4.2. İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)	5
1.5. PV/T sistemi	6
1.6. Gizli ısı depolama.....	7
1.6.1. Gizli ısı depolama malzemeleri	10
1.6.1.1. FDM'nin sınıflandırılması.....	10
1.6.1.2. FDM seçim kriterleri	10
1.6.1.3. Termokimyasal yöntemle ısı depolama.....	11
1.6.1.4. FDM'lerin ana kullanım alanları.....	12
1.6.1.5. Faz değiştiren madde çeşitleri	13
1.6.1.5.1. Parafinler	13
1.6.1.5.2. Yağ asitleri.....	14
1.6.1.5.3. Tuz hidratları	14
1.6.1.5.4. Ötektik karışımlar	14
1.7. Literatür taraması.....	14
1.7.1. PV/T su kolektörleri ile yapılan çalışmalar	15
1.7.2. PV/T hava kolektörleri ile yapılan çalışmalar	22
1.8. Güneş paneli açısının güneş açılarına bağlı olarak hesaplanması	26
1.8.1. Enlem açısı	26
1.8.2. Deklinasyon açısı.....	26

1.8.3. Zenit açısı	27
1.8.4. Güneş yükseklik açısı	27
1.8.5. Güneş geliş açısı	27
1.8.6. Eğim açısı	27
2. METARYAL VE METOD	28
2.1. Deney malzemeleri	28
2.1.1. Piranometre	28
2.1.2. Anemometre	29
2.1.3. Isıl Çift	29
2.1.4. Multimetre	30
2.1.5. Veri derleyici	31
2.1.6. Reosta	31
2.1.7. Faz değıştiren madde	32
2.2. Deneyin yapılışı	33
2.3. Enerji ve ekserji analizi	37
2.3.1. Güneş panellerinin ekserji analizi	38
2.4. Belirsizlik analizi	39
3. BULGULAR	41
3.1. Eğim açısı 25° olan PV/T kolektör verileri	41
3.2. Eğim açısı 30° olan PV/T kolektör verileri	44
3.3. Eğim açısı 35° olan PV/T kolektör verileri	46
3.4. Eğim açısı 40° olan PV/T kolektör verileri	48
3.5. Eğim açısı 30° olan PV/T kolektörlerde gölgelenme ile elde edilen veriler	51
3.5.1. Hücre içi gölgelendirme	51
3.5.2. Tam hücre gölgelendirme	53
3.5.3. Hücreyi aşan gölgelendirme	56
3.6. Belirsizlik analizi sonuçları	58
4. SONUÇLAR	59
5. ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere fotovoltaiik paneller (PV) adı verilir ve Bu sisteme ek olarak su ve hava ısıtan sistemlere de fotovoltaiik/termal sistemler (PV/T) denir. Bu tez çalışmasında; iki tane 150 Watt'lık PV/T kolektör kullanılmıştır. PV/T kolektörlerden bir tanesine faz değıştiren malzeme (FDM) deposu imal edilip deney seti hazırlanmıştır. Elazığ iklim şartlarında ve matematiksel konumu itibariyle güç, ışıınım, sıcak su, enerji ve ekserji analizi deneysel olarak yapılmıştır.

Çalışmaların birinci bölümünde açının FDM'li PV/T kolektöre ve FDM'siz kolektöre etkisi incelenmiştir. Eğim açıları 25°, 30°, 35° ve 40° kullanıldı. Elazığ iline göre kolektörün güç açısından en uygun açı değeri 30° ve sıcak su çıkışına göre en verimli açı 40° bulunmuştur.

Çalışmaların ikinci bölümünde 30° eğimli kolektörlerde üç farklı parametre incelenerek güç, sıcak su, enerji ve ekserji analizleri deneysel olarak yapılmıştır. Fotovoltaiik termal sistemler de ısının artması ve gölgelendirme panel verimi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaiik, Fotovoltaiik/Termal, Faz Değıştiren Malzeme, Gölgeleme, Açı, Enerji Depolama

SUMMARY

Investigation of thermal performance of new generation photovoltaic / thermal collectors with energy storage

PV/T (Photovoltaic/thermal) collectors convert solar radiation to electricity and waste heat of PV convert to produce hot water and air. In this thesis study; two PV/T collectors with 150 Watt were used. One of this panel has PCM (Phase Change Material). Experiments were performed in Elazig, Turkey. From the experiments, power, radiation, hot water, energy and exergy analysis are obtained.

In the 1st part of the study, effects of inclination angle on collectors are studied. Inclination angle values are changed 25°, 30°, 35° and 40°. According to the province of Elazig, the most suitable power angle for the collector is 30° and the most efficient angle for hot water is obtained 40°.

In the second part of the study, three different parameters were investigated for 30° angle value of collectors, and power, hot water, energy and exergy analyzes were experimentally performed. Both increasing of panel temperature and shadow effect decrease to panel efficiency.

Keywords: Photovoltaic, Photovoltaic/Thermal, Phase Change Material, Shading, Angle, Energy Storage

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. PV/T sistemlerin sınıflandırılması [3].....	3
Şekil 1.2. Düzlemsel ve toplayıcı güneş kolektörlerinin konumlandırılması [4]	4
Şekil 1.3. Hücre çeşitleri (a) polikristal (b) monokristal	5
Şekil 1.4. PV/T sulu kolektör	6
Şekil 1.5. PV/T hava geçişli kolektör	7
Şekil 1.6. Isı depolama yöntemleri [17]	10
Şekil 1.7. Tek camlı PV/T kolektörlerin önden görünüşü [26]	15
Şekil 1.8. Aktif sistem şeması [27].....	16
Şekil 1.9. PV/T kolektörlerin kesit görünüşleri a) su b)hava c)camlı su d)camlı hava sistemleri [12]	17
Şekil 1.10. PV/T kolektörünün genel görünümü [33]	18
Şekil 1.11. Tek geçişli ısıtıcı [40].....	20
Şekil 1.12. PV/T kolektörlerin şematik görünümü [41]	21
Şekil 1.13. Isı geri kazanımı ile havalandırılan PV [42]	22
Şekil 1.14. PV/T sistemi gösterimi [42]	22
Şekil 1.15. Çeşitli PV/T kolektörlerinin ısı transfer katsayılarıyla birlikte gösterilmesi [43]	23
Şekil 1.16. Kolektörün işlevsel diyagramı [49].....	25
Şekil 1.17. Engelli kanatçıkların görüntüsü (a) üstten görünüş, (b) yandan görünüş [52]..	26
Şekil 2.1. Piranometre	28
Şekil 2.2. Anemometre	29
Şekil 2.3. Isıl çift (thermocouple).....	30
Şekil 2.5. Veri derleyici	31
Şekil 2.6. Reosta	32
Şekil 2.7. Faz değiştiren madde.....	33
Şekil 2.8. PV/T sistemin önden görünüşü	34
Şekil 2.9. PV/T sistemin arkadan görünüşü	34
Şekil 2.10. PV/T sistemin yandan görünüşü	35

Şekil 2.11. 30° deki PV/T kolektörlerin gölgelenmiş haldeki durumları (a) D= 6 cm, (b) D= 15 cm, (c) D= 22 cm	36
Şekil 3.1. Eğim açısı 25° olan kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değışimi	41
Şekil 3.2. Eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki enerji değışimi.....	42
Şekil 3.3. Eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki ekserji değışimi	42
Şekil 3.4. Eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları	43
Şekil 3.5. Eğim açısı 30° olan kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T'de güç değışimi	44
Şekil 3.6. Eğim açısı 30° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki enerji değışimi.....	45
Şekil 3.7. Eğim açısı 30° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki ekserji değışimi.....	45
Şekil 3.8. Eğim açısı 30° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları	46
Şekil 3.9. Eğim açısı 35° olan kolektörün ışınlıma bağılı FDM'siz ve FDM'li PV/T kolektörlerde güç değışimi	46
Şekil 3.10. Eğim açısı 35° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değışimi	47
Şekil 3.11. Eğim açısı 35° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değışimi.....	47
Şekil 3.12. Eğim açısı 35° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları	48
Şekil 3.13. Eğim açısı 40° olan kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T'de güç değışimi	48
Şekil 3.14. Eğim açısı 40° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değışimi	49
Şekil 3.15. Eğim açısı 40° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değışimi.....	49
Şekil 3.16. Eğim açısı 40° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları.....	50
Şekil 3.17. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değışimi.....	51
Şekil 3.18. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değışimi	52

Şekil 3.19. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi	52
Şekil 3.20. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerde sıcak su çıkışları	53
Şekil 3.21. Eğim açısı 30° olan tam hücre gölgelenmiş kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişimi	54
Şekil 3.22. Eğim açısı 30° olan tam hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi	54
Şekil 3.23. Eğim açısı 30° olan tüm hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi	55
Şekil 3.24. Eğim açısı 30° olan tüm hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları	55
Şekil 3.25. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişimi	56
Şekil 3.26. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi	56
Şekil 3.27. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi	57
Şekil 3.28. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Faz değıştiren maddelerden istenilen özellikler [17].	11
Tablo 1.2. Faz değıştiren maddelerin kullanım alanları [19].	12
Tablo 2.1. Faz değıştiren madde $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'nun termofiziksel özellikleri	32
Tablo 3.1. Ölçülen değerlerin belirsizlik analiz sonuçları	58



SEMBOLLER LİSTESİ

A : Fotovoltaik panelin yüzey alanı (m^2)

h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)

I : Akım (A)

k : Isı iletim katsayısı (W/mK)

m : Kütle (kg)

P : Güç (W)

R : Direnç (Ω)

T : Sıcaklık ($^{\circ}C$)

V : Gerilim (V)

$\dot{E}$: Enerji oranı

$\dot{E}x$: Ekserji oranı

$\dot{W}$: Ekserji transferi

η_I : Enerji verimliliği

η_{II} : Ekserji verimliliği

Alt indisler

ζ : çevre

g : güneş

h : hücre

p : emici yüzey

KISALTMALAR

ARGE	: Araştırma Geliştirme
FDM	: Faz Değiştiren Malzeme
FÜBAP	: Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
PV	: Fotovoltaik
PV/T	: Fotovoltaik/Termal
STK	: Standart Test Koşulları
Si	: Silisyum
TEC	: Termoelektrik

1. GİRİŞ

Kullanım yüzdesi yüksek olan fosil yakıtların, çevre üzerinde negatif etkiler oluşturmaları ve zamanla tükenme ihtimali göz önüne alındığında diğer alternatif enerji kaynaklarıyla birlikte fotovoltaik enerji kaynağının da gün geçtikçe arttığı gözlemlenmiştir. Fotovoltaik (PV) modüller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebildikleri için alternatif bir enerji üretim aracıdır. PV panellerle güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi özellikle; pil şarj cihazları, su pompalama sistemleri, şebekeye bağlı PV sistemler, sanayinin ve evsel binaların elektrik enerjisi ihtiyacını ve uydu güç sistemleri gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Fotovoltaik paneller, elektrik enerjisi üretmekte olup bunun yanında arka kısımlarında çevreye önemli bir ısı geçişi olmaktadır. Bu atık ısı herhangi bir akışkana iletilmek suretiyle paneller elektrik enerjisi üretimi yanında ısı enerjisi de üretebilirler. Böylece, fotovoltaik/termal (PV/T) olarak tabir edilen ve kullanımı ticari olarak henüz pek yaygınlaşmamış ve araştırma geliştirme çalışmaları devam etmekte olan kolektörlerin kullanımı önemli avantajlar sağlayacaktır.

1.1. Güneş enerjisi çalışmalarının zamanla gelişimi

İnsanların tarihsel olarak güneş enerjisinden teknolojik açıdan faydalanması, güneş enerjisini kendi çabalarıyla ilerlettiği yollarla başka enerjilere çevirmesi çok eski zamanlara dayanmaktadır. Bilinen ilk çalışmalardan bir tanesi, Arşimed'in Sirakuza'da güneşten gelen ışınları büyük aynalarla yansıtarak düşman gemilerine göndermesi ve onları yakması olarak bilinir.

17.yy'da, yine aynalarla güneşten gelen ışınların yansıtılarak odun yığınlarının yakılmasında yarar sağladığı, 18.yy'da yansıtılmış güneş ışınlarının kimyasal tepkimelerde ve güneş ocaklarında yarar sağladığı görülür. 19.yy'da güneşten elde edilen enerjinin kullanım alanlarının arttığı gözlemlenmiştir. Yoğunlaştırılmış güneşten elde edilen enerji ile metal eritme, su dağıtma, buhar elde etme, güneşle enerjisiyle buhar makinesi çalıştırma, baskı makinesi gibi olan çalışmalar, kullanım alanlarına örnekleri olarak gösterilebilir.

20.yy'da insanların kullanmasıyla hayatlarına giren petrol, güneş enerjisi çalışmalarıyla ilgili gelişmeleri duraklatmıştır. Bunun yanı sıra, 1974'de petrol fiyatlarının artmasının ardından güneş enerjisi üzerindeki gelişmeler, yeniden hızlanmaya başlamıştır. Özellikle evlerde sıcak su temininde güneş kolektörleri kullanımı bu süre de fazlalaşmıştır. Bununla birlikte, temeli güneş enerjisi olan güneş santralleri bu zamanda yapılmaya başlanmıştır.

1954 yılında Bell Laboratuvarları'nda yapılan çalışmalarla fotovoltaik kullanım alanlarının ilerlemesi ile fotovoltaik, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren araçlar olarak zamanla yaygın kullanım alanları oluşturmuşlardır. Fotovoltaik ilk büyük ölçekli kullanım sektörü, uzay çalışmalarında yer almıştır. Uzay araçlarına enerji temin edilişinde bu paneller en uygun aygıtlar olmuşlardır. Önceleri küçük ölçeklerde çeşitli alanlarda yer alan fotovoltaik zamanla daha geniş kullanım sahalarına yayılmışlardır. Güneş panelleri fiyatları kullanım alanının artmasıyla fiyatlarında düşüş meydana gelmiştir. Günümüzde bu panellerle çalışan otomobiller, uçaklar, elektrik şebekesine yakın olmayan sahalardaki uygulamalar, fotovoltaik ile çalışan elektrik santralleri yer almaktadır.

Güneş enerjisinden başka kullanılan enerjiler, yerin iç ısısından (jeotermal enerji) yararlanma, çekirdeksel yakıtlardan yararlanma (nükleer enerji) ve Dünya - Ay arasındaki çekim enerjisinden yararlanma (gel-git enerjisi) olarak söylenebilir. Nükleer enerji yeryüzünde belirli miktarlarda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, depolanmış güneş enerjisi olarak kullanılan fosil yakıtlar da belirli miktarda bulunmaktadır ve tüketim hızına bağlı olarak artmamaktadır. Bu özelliklere sahip olduklarından dolayı, fosil yakıtlar ve çekirdeksel yakıtlar, tükenecek olan enerjilerdir. Bunun yanında diğer kaynaklar tükenmeyen enerjilerdir ve bu gün dünya bu tükenmez enerji kaynaklarının daha verimli ve yaygın olarak kullanılması için teknolojik gelişmelerin hız kazandığı bir döneme girilmiştir.

Günlük güneş enerjisinin zamana, iklime ve ülkenin coğrafi yapısına bağlı olması elde edilen enerjinin daha etkin ve verimli kullanılmasında olumlu veya olumsuz etki etmektedir. Oysaki şuanda dünyaya gelen güneş enerjisi, dünyada kullanılan tüm enerjinin 15-16 bin katı civarındadır. Bu durum, dünyada bu enerjiyi olabildiğince verimli ve etkin kullanabilme yolunu bulmamız gerektiğini açıkça göstermektedir. Bunun yanı sıra, en

mantıklı yollardan biri de güneş enerjisini dünyanın uzak bir yer de tutarak elektrik enerjisine çevirip dünyaya göndermektir.

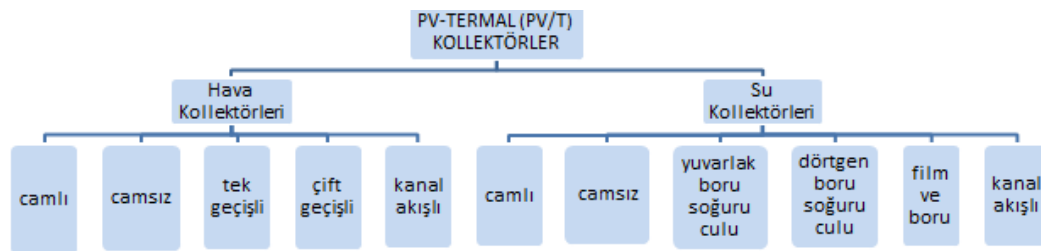
Uzayda veya bize yakın bir gök cismi olan ay üzerinde bu işlemi gerçekleştirebiliriz. Uzayda veya ayda bulutluluk sorunu ve gece gündüz engeli yoktur. Bununla birlikte hava kürenin soğurucu etkileri de vardır. Şimdilik teori de olan düşüncelerin kısa zaman içerisinde hayata geçirileceği beklenmektedir.

Tükenmez enerjiden ve güneş enerjiden yarar sağlama konusunda ülkemizin diğer ülkelerden geri de olmaması gerekmektedir. Ülkemiz matematiksel konum olarak yani üç kıtanın birleşiminde bulunması ayrıca güneş kuşağı içinde bulunması güneş enerjisinden büyük yarar sağlayabileceğimizin göstergesidir ve ülkemize üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca dengeli şekilde kalkınmanın, temiz ve tükenmez enerji kaynaklarına bağlı olacağı unutulmamalıdır [1].

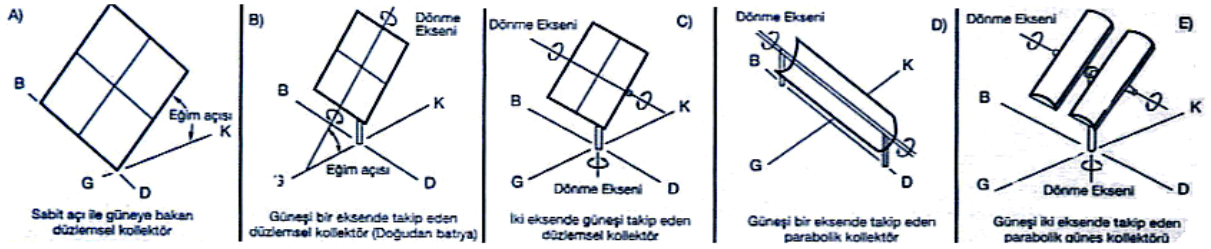
1.2. Güneş kolektörleri ve sınıflandırılması

Güneş kolektörü; güneşten gelen yararlı enerjiyi alıp, farklı akışkanlardan yararlanarak başka bir ortama aktaran sistem araçlarıdır. Genel olarak güneş kolektörleri, içerisinde geçen akışkan tipine göre sınıflandırılabilirler. Fotovoltaik/termal kolektörlerin sınıflandırılması Şekil 1.1’de açık bir şekilde gösterilmiştir.

Odaklanmayan veya düzlemsel olarak adlandırılan sistemlerde, güneş ışınımını soğuran alan, düzlemseldir ve soğurucu alan ile akışkanın var olduğu hacim aynı alana ve geometriye sahiptir. Düzlemsel ve toplayıcı güneş kolektörlerinin konumlandırılması Şekil 1.2’de verilmiştir. Odaklanan kolektörlerde ise, düzlemsel kolektörlere oranla daha küçük soğurucu yüzeye sahiptir, içerisinde akışkan geçmekte olan hacmin üzerine yönlendirilir [2].



Şekil 1.1. PV/T sistemlerin sınıflandırılması [3]



Şekil 1.2. Düzlemsel ve toplayıcı güneş kolektörlerinin konumlandırılması [4]

1.3. Fotovoltaik güneş hücrelerinin çalışma prensibi

Güneşten gelen ışınlar güneş hücresine temas ettiğinde hücrenin dış yüzeyindeki geçirgen tabakadan geçerek yarı iletken madde tarafından emilir. Işığın emilmesiyle serbest kalan elektronlar elektrik akımını oluştururlar. Güneş panelinde fazla miktarda elektron bulunduran P tipi yarı iletken madde ve az miktarda elektronu olan N tipi yarı iletken madde vardır. Güneş ışığı P tipi yarı iletken maddeden elektron koparır. Enerji kazanan elektronlar N tipi yarı iletken maddeye doğru akarlar. Bu sabit ve tek yönlü elektron akışı DC doğru akımı oluşturur. Elektronlar kurulan devreler boyunca akarak pillerin şarj edilmesinde ya da farklı alanlarda kullanılır ve P tipi yarı iletken maddeye geri döner. Yarı iletken eklemine güneş paneli olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümünü sağlaması gerekir. Bu dönüşüm P ve N bölgeleri arasında elektron akışıyla gerçekleşir. Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandı oluşur. Bu bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alır. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Bu şekilde PN eklem güneş panelinin ara yüzeyinde elektronlar P bölgesinden N bölgesine geçerken N bölgesinden P bölgesine akımı hareketliliği sağlanmış olur. Bu şekilde tekrar bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla elektron hareketliliği devam eder [5].

1.4. Güneş hücre çeşitleri ve genel bilgiler

Fotovoltaik, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Fotovoltaik %98'i silisyum (Si) ve silisyum dünyada bol miktarda bulunmaktadır. Buna göre saf halde olmayan Si, genel olarak silisyum dioksit

(SiO₂, kuvars) halde bulunur ve saflaştırma işlemi oldukça maliyetlidir. Bu yüzden fotovoltaik maliyeti de yükselmektedir.

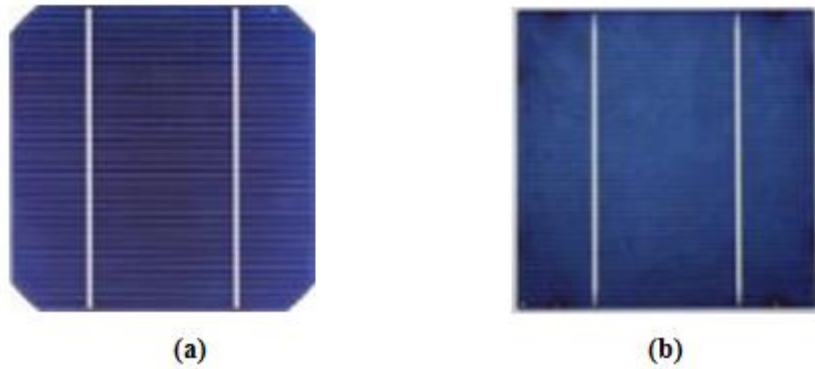
Standart test koşullarında (STK) fotovoltaik panellerin ideal çalışma sıcaklığı 100 W/m² güneş ışınımında 25°C'dir. PV'lerin çalışma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta olması verim kaybına neden olmaktadır [6].

Literatür incelendiğinde güneş hücreleri 3 sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

- 1) Birinci Nesil: Kristal silisyum güneş hücreleri
- 2) İkinci Nesil: İnce film güneş hücreleri
- 3) Üçüncü Nesil: Nano teknolojiye dayalı güneş hücreleri

1.4.1. Kristal silisyum güneş hücreleri

Güneş ışınlarını yutma oranı düşük olmasına karşın verimlerinin %12-16 arasında olması üreticiler için caziptir. Üretici firmaların tercih ettiği seçenekle beraber pazar payının %93'nü oluştururlar ve genel olarak 25 yıllık bir ömre sahiptirler. Wafer denen ince silikon dilimlerin kalınlıkları 0,17 mm'ye kadar düşürülmüştür. Kristal hücreler, monokristal ve polikristal olarak ikiye ayrılırlar ve Şekil 1.3'de şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Hücre çeşitleri (a) polikristal (b) monokristal

1.4.2. İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS)

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının sadece %7'ni oluştururlar. Oldukça ince yapıda ki (1-4 µm arasında) bu paneller %7-14 arasında verimlilik sunmaktadırlar.

1.4.3. ARGE aşamasında olan diğer hücre teknolojileri (üçüncü nesil)

Araştırmaları devam eden bu teknolojiye henüz sonuca tam olarak ulaşılmış değildir. Sunacakları yüksek verimden dolayı üretime başlanması halinde enerji konusunda büyük bir atılım yapacaklardır [7].

1.5. PV/T sistemi

Fotovoltaik sistemler, güneşten gelen enerjinin yaklaşık %15'ni elektrik enerjisine çevirebilirler, artan enerjinin yüksek bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek fotovoltaik hücrelerin ısınmasına sebep olur. Güneş pilinde oluşan her 1°C sıcaklık artışı elektrik üretimini % 0,45 azaltmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin uygun çalışma sıcaklığı 25°C olarak bilinirken, sıcaklığı 25°C olan bir bölgede çalışan fotovoltaik panel 45°C'ye yükselmektedir. Bu olay nedeniyle fotovoltaik panel sahip olduğu bu ısıdan faydalanmak ve fotovoltaik paneli soğutmak amacı ile hibrit sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden hem elektrik, hem de sıcak su/hava elde edilmiş olur. Güneş pilinin soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yönden ısı enerjisi kullanabilir duruma gelir. Fotovoltaik modülün altına bütünleşmiş su veya hava kanalları ile modül soğutulur. Su kanalları ile birleşerek panellerde var olan su, pompa yardımı ile sirkülasyonu yapılır. Su geçişli PV/T kolektör Şekil 1.4.'de gösterilmiştir. Hava kanalları bütünleşmiş uygulamalarda ısıtılmış havanın enerjisi, enerji aktarım birimi ile suya aktarılır ve ısıtılan hava doğrudan iç ısınmada kullanılır.



Şekil 1.4. PV/T sulu kolektör

PV/T güneş kolektörleri çoğunlukla hava ve su geçişli bir şekilde kullanılmaktadır. İki kolektörün çalışma şekli birbiriyle yaklaşık olarak aynıdır. Güneşten gelen ışınımı toplayan yutucu yüzeyi ile ısıl temasta olan fotovolttaik hücreler yardımıyla bir kısmı elektrik enerjisine dönüşür ve fotovolttaik hücrelerde bulunan fazla ısı termal düzeneğin girişi olarak işlev görür. Çalışma esnasında ısı taşıyan sıvı bu ısıyı yutucu yüzey ve hücrelerden uzak tutar. Fotovolttaik dönüşüm verimi sıcaklık ile paralel olarak azalan bir fonksiyonu olduğu için, ısı taşıyan sıvı vasıtası ile soğutulan fotovolttaik panelin çıkış gücü artar. Bundan dolayı, güneş enerjisi gibi tükenmeyen “temiz enerji” kaynağından elektrik enerjisi elde edildiği gibi aynı sürede ısı enerjisi de üretilir. Hava geçişli PV/T kolektörü Şekil 1.5’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5. PV/T hava geçişli kolektör

Hibrit mekanizmaların toplam enerji çıkışı (elektriksel ve termal olarak), güneş enerjisi girişi, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, sistem elemanlarının çalışma sıcaklığı ve soğutma durumuna bağlıdır. Elektrik veriminin daha fazla olması ilk istenen amaç olsa da hibrit sistemden kazanılacak verimin artırılması için termal sistem de verimliliğinin yüksek olması sağlanmalıdır [8].

1.6. Gizli ısı depolama

Gizli ısı, maddenin faz değişimi anında dışarıdan aldığı veya verdiği ısıya verilen isimdir. Depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı şeklinde ele alınarak yapılabilir [9].

İçlerinde en çok katı-sıvı dönüşümü kullanılmaktadır. Ayrıca değişik kristal yapıları bulunan katıların kristal yapı halinden başka bir hale dönüşürken aldıkları ve verdikleri ısılar katı-katı değişimiyle depolamada yarar sağlamaktadır. Katı-gaz, sıvı-gaz değişimleri gizli ısıları fazla olmasının yanı sıra, gazların hacim farkının yüksek olduğundan enerji depolama da elverişlidir [10].

Gizli ısı depolama metotlarında lazım olan depo hacmi, duyulur ısıya oranla yaklaşık 4 kat azdır. Mesela suyun gizli ısının duyulur ısına oranı yaklaşık 80'dir. Örneğin; 1 kg buzun ergimesinde lazım olan enerji miktarı 1 kg suyun sıcaklığını 10°C fazlaştırmaya lazım olan ısıdan yaklaşık 80 kat çok olduğudur. Oluşan bu hal depo imalatında yüksek bir etkidir. Depolama veya enerji değişimi için ekonomik açıdan da azaltır. Faz değiştiren maddeler (FDM) belirli sıcaklık düzeyinde depolama imkanı sağlar ayrıca erime sıcaklığıyla birlikte hem ısıtma hem de soğutma amacıyla yarar sağlar [11].

Gizli ısı depolama yöntemleri aşağıdaki hallerde kullanılmaktadır;

- Süresi az olan depolamada,
- Enerji yoğunluğu ve enerji kapasitesi yüksek olması istendiğinde,
- Depo hacminin az olması gereken alanlarda,
- Sıcaklık aralığı az enerji depolama gereken durumlarda [12].

Gizli ısı depolamanın farklı termal enerji depolama yöntemlerine göre avantajlı durumları; duyulur ısı depolamaya kıyasla termal enerji depolama miktarı fazladır, ısı deposu hacmi azdır. Kullanılacak FDM malzemelerin birim kütlelerinin termal enerji depolama miktarları fazladır. Faz değiştirdikleri sıcaklıkları, belirli sıcaklıkta depolama ya da geri kazanıma göre avantajlıdır.

Gizli ısı depolama yöntemleri; kullanılacak FDM malzemenin seçimi ve FDM'de depolanan ısının kullanılacak yere gönderimine yönelik ısı değiştirici imalatı aşamalı olarak gerçekleşmektedir [13].

Isı depolamada ki sistem ölçüleri, kullanılan depolama sistemi ve ısı depolama özelliklerine göre, yapılan sisteme göre düşük sıcaklıkta kısa ya da uzun bir zaman süresinde ısı depolanabilir. Güneş enerjisi ve ihtiyaç duyulan enerji miktarı arasındaki farkın düşük olması halinde, az bir zaman için depolama kullanılır. Mevsimlik olarak ihtiyacı istenen enerji miktarının güneş enerjisi ile karşılanması için uzun zamanlı ısı depolama kullanılarak, toplam enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisi etkisinin

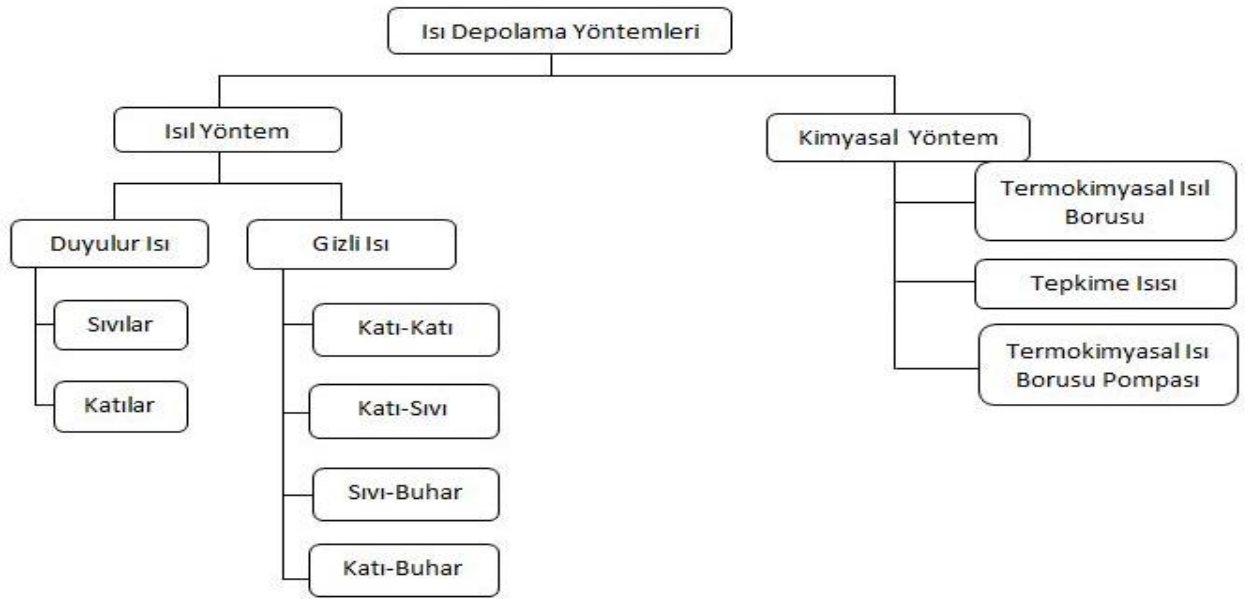
fazlaşmasına olanak sağlar. Enerjinin az bir maliyetle sağlandığı ve zamana bağlı olarak kısa ya da uzun zamanlı depolamanın uygun olduğu ön görülür [14].

Isı depolama sisteminin seçimi temel olarak; ısı depolama zamanı, ekonomik kullanılabilirlik ve işletme koşullarına bağlıdır. Gelişigüzel bir uygulama için depolama sisteminin seçilmesi, ısı depolamanın etkinlik ve ekonomikliğı sisteminin tasarımıyla değiştirilebilir. Isı depolama sistemlerinin dizaynının da aşağıdaki etkenler göz önüne alınır;

- Isı depolama malzemesinin birim kütle ya da hacminin ısıyı depolayabilme kapasitesi,
- Isı depolama, geri kazanma sıcaklığı ve tekniğı,
- Isı depolama ve geri kazanma çalışmaları için enerji ihtiyacı,
- Sıcaklık farkı,
- Sistem elemanlarının ölçülendirilmesi,
- Isı deposu malzemesi ve şekil ölçüleri,
- Depolama sisteminin yalıtımı ve ısı kayıplarının incelenmesi,
- Depolanan enerjinin kullanılacağı çevrenin şartları,
- Sistemin ekonomik durumu [15].

Temel olarak üç çeşit ısı enerji depolama sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler; duyulur, gizli ve kimyasal ısı depolamadır. Duyulur ısı depolama sistemleri ısı depolama materyalinin sıcaklığının değiştirilmesi ile enerji depolanır. Termokimyasal enerji depolarında ise enerji ayrışma tepkimesiyle depolanır. Enerjinin bırakılması ise tepkimenin tersinin gerçekleştirilmesiyle elde edilir [16].

Gizli ısı depolama yöntemlerinin ısının depolanması ya da serbest bırakılması ise faz değişimi esnasındaki füzyon (erime)/katılaşma ile gerçekleşir. Isı depolama yöntemleri Şekil 1.6' da şematik olarak gösterilmiştir. Faz değiştiren materyalinin gizli ısı depolama faz değişim esnasında yüksek yoğunlukta ve yüksek miktarda ısı depolamaya düşük miktardaki sıcaklık ve hacim değişimi ile göstererek olanak sağlar [17].



Şekil 1.6. Isı depolama yöntemleri [17]

1.6.1. Gizli ısı depolama malzemeleri

1.6.1.1. FDM'nin sınıflandırılması

Faz değiştirme biçimine göre, Faz Değiştiren Materyaller (FDM) üç gruba ayrılır; katı-katı FDM'ler, katı-sıvı FDM'ler, sıvı-gaz FDM'lerdir. İçlerinden katı-sıvı FDM'ler ısı enerji depolamaya en elverişli olanıdır. Kat-sıvı FDM'ler organik, inorganik FDM'ler ve ötektikler olmak üzere üç çeşittir [17].

1.6.1.2. FDM seçim kriterleri

Isı depolama yöntemleri için FDM seçimi çok önemli olup seçim aşamaları zorlu bir süreçtir. Kullanılacak olan FDM kullanım alanına göre uygun ergime sıcaklığına, faz değişim ısısına, ısı iletkenliği istenen düzeyde olmalıdır. Faz değiştiren malzemelerden istenen özellikler Tablo 1.1'de verilmiştir. Ergime sıcaklıkları bakımından binalarda gizli ısı depolama sistemleri için en uygun FDM'ler parafin, yağ asitleri, tuzlu hidratlar ve ötektik karışımlar olarak tespit edilmiştir [17].

1.6.1.3. Termokimyasal yöntemle ısı depolama

Kimyasal reaksiyon sırasında verilen ya da alınan ısınn sonradan kullanılmak için saklanması ile termokimyasal enerji depolama sağlanır. Kimyasal bağların tersinir bir şekilde birleşme ve ayrışması esnasında, ısı değeri fazla olan kimyasal reaksiyonlar olduğundan, ısı depolama kapasitesi çoğunlukla fazladır.

Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, gizli ısı depolama sistemlerine kıyasla sistematik olarak karışıktır. Reaksiyona girenlerin kendi aralarındaki muhtemel etkileşimleri önem arz etmektedir. Yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli tercih edilen reaksiyonun tersinir olmasıdır. Tersinir reaksiyonlarla ısı, reaksiyonun endotermik tarafına depolanır, ekzotermik tarafında ise geri kazanılabilir. Faz değıştiren maddelerden istenen özellikler Tablo 1.1’ de verilmiştir. [18].

Tablo 1.1. Faz değıştiren maddelerden istenilen özellikler [17].

Termodinamik Özellikler	İstenilen sıcaklık aralığında erimeye başlaması
	Birim hacim başına yüksek füzyon gizli ısı
	Yüksek ısı iletkenlik
	Yüksek özgül ısı ve yoğunluk
	Depolama problemini engellemek için faz değışimi esnasında düşük hacimsel fark ve buhar basıncı
	İhtiyaç duyulan ergime
Kinetik Özellikler	Erken soğumayı engellemek için yüksek çekirdeklenme hızı
	Isıl depodan ihtiyaç duyulan ısı isteğini karşılamak için yüksek kristalleşme hızı
Kimyasal Özellikler	Tersinir ergime / katılaşma çevrimi
	Kimyasal kararlılık
	Çok sayıda faz değışimi sonrası bozulma olmaması
	Aşındırıcı olmaması
Ekonomik Özellikler	Toksit, alevlenebilir ve patlayıcı bir materyal olmaması
	Ekonomik olarak uygun maliyet
	Geniş ölçekte kullanılabilirlik

1.6.1.4. FDM'lerin ana kullanım alanları

Günümüzde termal enerji depolamada kullanılmak üzere yeni maddelerin araştırılmasına yönelik yürütülen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Böylelikle, bu çalışmalar haricinde mevcut FDM'ler kullanılarak uygulamaya yönelik çalışmalar da malzemelerin kullanım alanlarının genişletilmesi için yürütülmektedir. FDM'lerin potansiyel kullanım alanları ve ısı kullanım veriminin bu maddeler yardımı ile arttırılabileceği yerler Tablo 1.2'de özetlenmiştir [19].

Tablo 1.2. Faz değiştiren maddelerin kullanım alanları [19].

Sıra No	Kullanım Alanları
1	Soğutma: Kurulu gücün azaltılması
2	Gıda ürünlerinin soğutulması
3	Motorların soğutulması
4	Isınma ve kullanma sıcaklık suyu
5	Tıbbi uygulamalar (kan, ilaç vb.)
6	Binalarda pasif ısı depolama
7	Yaşam ortamlarında sıcaklığın sabit tutulması
8	Kimyasal reaksiyonlarda ekzotermik piklerin etkisinin azaltılması
9	Güneş enerjisinin termal depolanması
10	Arabalarda termal konfor
11	Elektrik aletlerinin termal korunması
12	Uzay mekiği termal uygulamaları
13	Sıcak ve soğuk iklim kıyafetleri

1.6.1.5. Faz değiştiren madde eşitleri

Faz değiştiren maddeler, temel olarak aşağıdaki gibi 4 gruba ayrılırlar ve bu maddeler şöyle sınıflandırılmıştır [20].

- a) Parafinler,
- b) Yağ asitleri,
- c) Tuz hidratları,
- d) Ötektik karışımlar.

1.6.1.5.1. Parafinler

Parafinler organik FDM sınıfında yer almaktadır. Petrolün ham halinden yapılan, fazla miktarda alkan bulunan doymuş hidrokarbon birleşimidir. Yapıları mumsu şeklindedir. Parafinler arıtma işleminin ardından tatsız, kokusuz ayrıca toksik içermeyen malzemelerdir. Bunlar düz ve dallanmış zincirli olacak şekilde iki yapıya sahiptir. Çoğunlukla düz zincirli alkan birleşimlerinden meydana gelen parafinler kristallenmeleri sırasında oldukça fazla miktarda gizli ısı yayarlar. Ayrıca bunlar zincir miktarı fazlaştıkça erime ya da donma noktası ile erime ısıları artış gösterir. Royal teknoloji merkezinde enerji grubu soğuk depolama ve bölgesel soğutma da parafin karışımları ve bunların ikili birleşimlerini incelenmiştir. Termal enerji depolama kullanımlarına, yüksek ısı depolama miktarlarından ötürü parafinler fazla kullanılan malzemelerdendir. Yüksek sıcaklık değerlerine uygun malzemelerdir. Parafinlerin sabit bir erime aralığında erimleri TED kullanılacak alan içinde pozitif bir etken yaratır. Parafinler maliyeti düşük ayrıca kimyasal olarak kararlı yapıda oldukları için çoğunlukla ısı depolama da seçilirler. Aynı zamanda korozyif etkileri yoktur. Yüksek seviyede fazla soğuma göstermezler, kendi kendilerine ekirdekleşebilirler. Parafinler kimyasal ya da fiziksel özellikleri bakımından farklı kullanım alanlarına uygundur [21].

1.6.1.5.2. Yağ asitleri

Yağ asitlerinin kimyasal halleri çoğunlukla $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ biçimindedir. parafinlerle karşılaştırılabilecek gizli ısı seviyesine sahip malzemelerdir. Gizli ısı depolama da düşük sıcaklık kullanım alanları içi ideal bir malzemedir [20]. Hayvansal ve bitkisel yağlar olarak kullanılma elverişlidirler [22]. Yağ asitleri, organik ve anorganiklere alternatif olarak kullanılabilirler [23].

1.6.1.5.3. Tuz hidratları

Tuz hidratlar anorganik malzemelerdir. Termal enerji depolama kapasiteleri fazla olduğundan avantajları yüksektir. $0\text{--}150^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında uygundurlar. Erime ve donma işlemlerinde hacim değişim miktarı azdır ayrıca termal enerji depolama kapasiteleri fazladır. Organiklere oranla ısı iletkenlikleri fazladır. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ örnek gösterilebilir [21].

1.6.1.5.4. Ötektik karışımlar

Organik ve anorganik malzemelerle ötektik karışımlar oluşturulabilir. Oluşturulan ötektik karışımlar saf maddeye benzer belirli bir erime ve donma noktaları vardır. Enerji depolama kullanımına göre iki ya da daha fazla birleştirilerek ötektik bileşimi olan malzemeler oluşturulur. İkili birleşimlerde her iki bileşen ile de doygun olan ve en az donma sıcaklığı bulunan bu çözeltiye ötektik sıvı, sıvının bileşimine ötektik bileşim ve bileşimi belirli seviye de tutarak sıvının tümünün donduğu noktaya ötektik sıcaklık adı verilir [24].

1.7. Literatür taraması

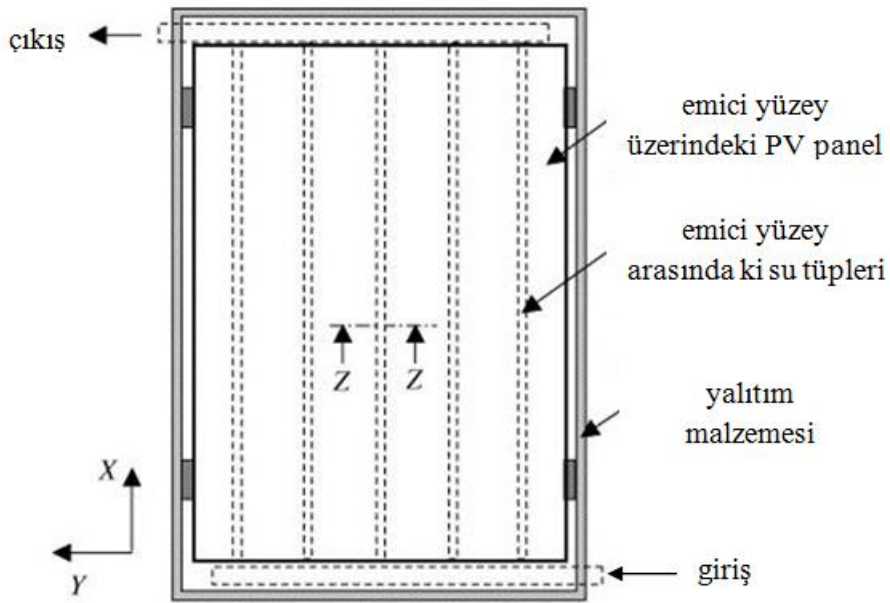
PV/T kolektörler yapılarına göre hava ve su kolektörleri olmak üzere iki yapıdadırlar. Konu ile alakalı bazı literatür çalışmaları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1.7.1. PV/T su kolektörleri ile yapılan çalışmalar

PV/T sistemler üzerine yapılan teorik ve deneysel çalışmaların en önemlileri son 40 yıl içerisinde yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları;

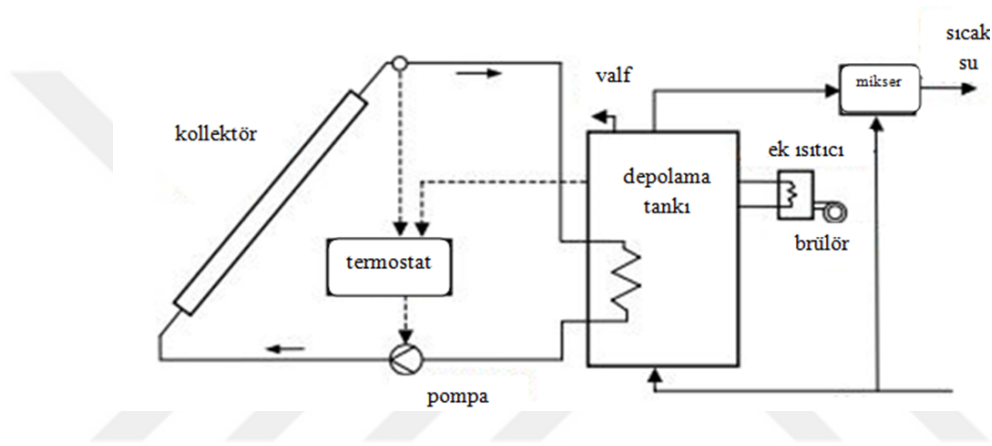
Raghuraman [25], iki ayrı fotovoltaiik/termal (PV/T) toplayıcının; hava geçişli düz bir plakanın ve elektriksel performansını incelemiştir. Analizler fotovoltaiik hücreler ve termal yutucu düz plaka arasındaki sıcaklık farkı üzerine yoğunlaşmıştır. Önerilen tasarım toplayıcılardan atılan toplam enerjiyi en üst düzeye çıkarmak için yapılmış, analiz sonuçları deneme ölçümleri ile kıyaslanmıştır.

Chow [26], tarafından yapılan bir çalışmada değişken debili akışkan için analizler yapılmıştır. Tek camlı düz yüzeyle PV/T kolektörler için yeni bir sistem geliştirmiştir. Tek camlı kolektörün görünüşü şekil 1.7’de verilmiştir. Çalışmada TRNSYS simülasyonu kullanılmıştır ve analiz yapılmıştır. Debi miktarının az olduğu durumlarda verimin yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 1.7. Tek camlı PV/T kolektörlerin önden görünüşü [26]

Kalogirou vd. [27], polikristal ve amorf silikon yapıdaki fotovoltaik panelleri kullanarak bir PV/T sistemini elektrik ısı verimini araştırmışlardır. Sistemin şeması Şekil 1.8’de gösterildiği gibidir. Çalışmada, TRNSYS simülasyon sonuçlarından da yararlanılmıştır. Evsel ve küçük ofis binaları için yapılan bu sistem hem su hem elektrik uygulamaları için verimli ve uygun bulunmuştur. Ayrıca, absorbe yüzeyinin alt tarafı ve tankın yan taraflarındaki ısı iletimini azaltmak için yalıtım yapılmıştır. Sonuç olarak polikristal güneş hücreleri kullanılarak yapılan sistemin elektrik üretimi amorf kullanılan sistemlere göre daha çok istihdam edildiği belirlenmiştir.



Şekil 1.8. Aktif sistem şeması [27]

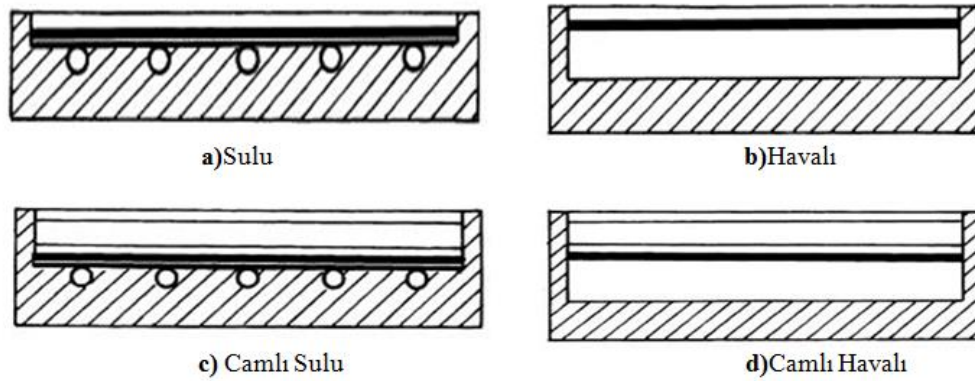
Chow vd. [28], çalışmalarında cam örtü bulunan ve bulunmayan sistemleri incelemiş ve bu sistemlerin termodinamik analizini yapmışlardır. Sonuç olarak, cam örtü bulunan kolektörlerin cam kullanılmayan sistemlere göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Huang vd. [29], su geçişli PV/T sistemlerinin performansını analiz etmişlerdir. Çalışmada polikristal modül kullanılmış ve yüksek bir verim elde edilmiştir. Camlı kolektörlerin camsız kolektörlere göre verimli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, camlı kolektörlerde ısıtma veriminin %76’ya kadar çıkarılabileceği göstermişlerdir.

Joshi ve Tiwari [30], çalışmalarında farklı iklimlerde farklı hava şartlarında (açık, bulutlu ve kapalı havalarda) farklı yıllarda kolektörlerin verim analizini yapmışlardır. Aylara göre grafiksel enerji analizi göstermişlerdir. Sonuç olarak yapılan sisteme dayanarak yaklaşık %14-15 genel bir elektrik verimliliğinin artışı, PV/T sisteminde %12 elektrik çıkışı, ek olarak termal enerjiye yaklaşık, %2-3 değerinde bir ekserjinin artışı olduğu belirlenmiştir.

Dupeyrat vd. [31], evsel sıcak su sistemleri için tek camlı düz yüzey PV/T hibrit kolektörlerin verimini inceleyerek 2 boyutlu modelleme yapılmıştır. PV modelleri, sıvının ve materyallerin özelliklerine bakıp en uygun sistemi seçmiştir. Prototip kolektörler dizayn edilip, test edilmiştir.

Tripanagnostopoulos vd. [32], çalışmalarında PV/T'leri hava ve su şeklinde iki farklı gruplandırmışlardır. Sonrasında akışkanları camlı ve camsız olmalarına göre sistem dizayn edip analizlerini yapmışlardır. Çalışmadaki en büyük avantaj alüminyum reflöktör kullanılmasıdır. Panel önüne konulan alüminyum reflöktörler ile panel üzerine düşen güneş miktarı arttırılmış bununla birlikte elektrik enerjisi üretimi ve beraberinde termal enerji üretimi fazlalaşmıştır. Camlı ve camsız fotovoltaik/termal kolektörlerin kesit görünümleri Şekil 1.9'de verilmiştir.



Şekil 1.9. PV/T kolektörlerin kesit görünümleri a) su b) hava c) camlı su d) camlı hava sistemleri [12]

Gang vd. [33], yaptıkları deneysel çalışmalarında eş zamanlı elektrik ve ısı enerjisi sağlayabilen yeni bir PV/T borusu öngör÷lmüştür. Eski tiplerle karşılaştırıldığında soğuk iklimlerde don olayının olmadığı gözlemlenmiştir. Farklı şartlar altında çalışan sistem olduğu tanımlanmıştır. Sonuç olarak farklı su akış hızları koşulları altında PV/T sistemin performansları üç farklı toplayıcı faktörler olan, ısı borularının farklılığı, tüpte bırakılan boşluk ve emici plakayı kapsayan farklı PV hücrelerin güneş emici kaplama çeşitleri incelenmiştir. Deney sisteminin genel görünüşü Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. PV/T kolektörünün genel görünümü [33]

Kalkış [34], bir binada güneş enerjisinden elektrik enerjisi temini, ısıtması, kullanım için sıcak su hazırlanması ve soğutma işlerini fazla sayıda katmanlı, tek bir birimde aynı zamanda gerçekleştirebilecek yenilikçi bir yapı malzemesi olan Güneş Tuğlasını anlatmıştır. Bina cephesi ile birleşebilecek ya da bina cephesini oluşturabilecek bu sistemin yapı malzemesini; güneş gözeleri, kılcal borulu ısı değıştirgeçleri, ısı yalıtım katmanı ve termoelektrik (TEC) katmanlarından meydana gelmektedir. Bina enerji konusunda kendine yetmesiyle birlikte ekserji yönünden fazla miktarda kendine yeterli olmakta güneş enerjisini akılcı ve çok katmanlı bir biçimde kullanarak, bununla birlikte bina yüklerini indirerek, güneş enerjisinin ekserjisini de bina ekserji taleplerine denk hale getirebildiğine ulaşılmıştır.

S. Khandelwal vd. [35], çalışmalarında soğurucu plakanın PV modüle temas ettiği ve etmediği iki farklı durumu araştırmışlardır. Temas halinde verimin yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir.

Adnan vd. [36], yaptıkları çalışmada hava ve su türlü kolektörlerin binalarda deneyerek çalışma yapmışlardır ve halojen lambalardan yararlanılarak yaptıkları güneş simülatörü ile performanslarına bakılmıştır.

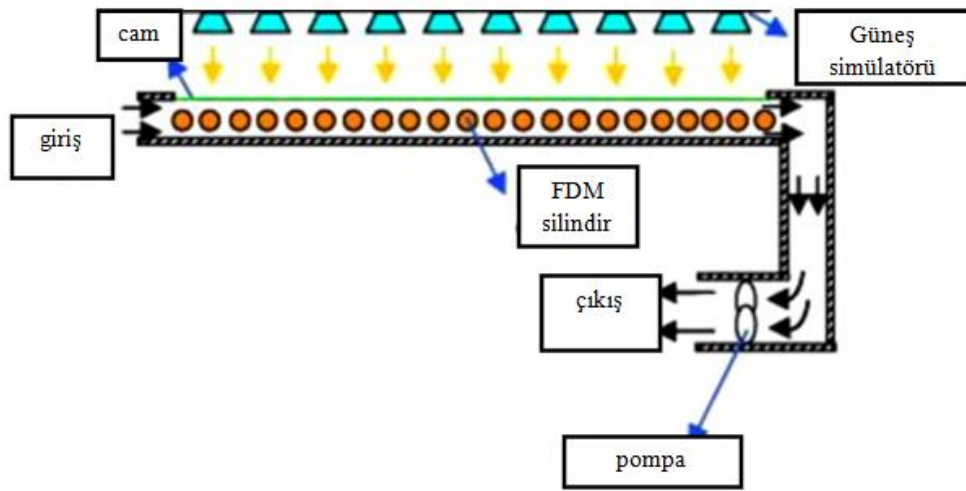
Deris [37], Güneş'in her gün doğudan batıya doğru olan hareketinin geliş açısına olan etkisini ortadan kaldırmak için panel ve bu doğrultudaki açısının da günün saatleri itibarıyla değiştirilmesi gerektiğini anlatmıştır. Sabit, yatay bir düzleme gelen enerji sabah ve akşam dolaylarında en az, öğle saatlerinde ise en fazla olduğunu belirtmiş. Geliş açısının minimum olabilmesi için Güneş'in doğu - batı istikametindeki hareketinin de takip edilmesi gerekir. Güneş Takip Sistemleri (Solar Tracking Systems) bu açılardan birinin veya her ikisini birden değiştirmek suretiyle, güneş ışınının panel üzerine tam dik olarak gelmesini sağlamak için geliştirilmiştir. Güneş'in iki eksenle hareket ile izlendiği sistemlerde geliş açısı 90° olmaktadır..

Messenger vd. [38], çalışmalarını kış mevsiminde yapmış olup, panelin eğim açısı fazla iken (enlem+ 15°) diğer iki farklı hale göre (enlem ve enlem- 15°) fazla enerji elde edilmektedir. Güneş ışını kış mevsiminde daha eğimli açılarla geldiği için panelin eğimi fazla iken ışınların daha dik geldiği görülmüştür. Bir yıl boyunca gelen güneş ışınım miktarının ortalaması dikkate alınınca panellerin yatayla yaptığı enlem, enlem-15 ve enlem+15 derecelik eğimler arasında en uygun olan eğim açısının enlem derecesine eşit olan durum olduğu görülmüştür. Güneşi takip etmeyen durumlarda kazanılan enerji verimine bakılınca , 1-eksenli takip yapmak yaklaşık %31 enerji avantajı göstermektedir. 2-eksenli takip yapmak yaklaşık olarak %34 enerji kazancı sağlamaktadır.

Engin vd. [39], yaptıkları sayısal çalışmada yarı saydam PV/T su kolektörünün İzmir ili hava şartlarında analizi yapılmıştır. Kullanılan yarı saydam a-Si güneş modülünde elde edilen hücre sıcaklıkları için sıcaklığın elektriksel verim üzerinde etkilerine bakılmış olup verim parametresi için önemli bir azalma görülmüştür.

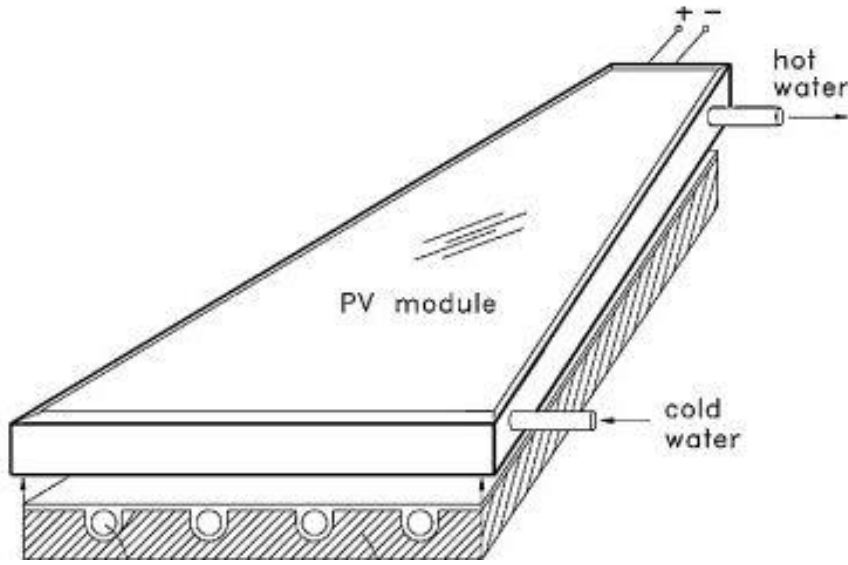
Nkwetta vd. [40], son zamanlarda, termal enerji depolama sürdürülebilir enerji kullanımı için şehirlerin ihtiyacını karşılamak için yüksek potansiyelli sistemlere olan ilginin arttığını belirtmişlerdir. Geleneksel olarak, bir enerji depolama malzemesinin büyük

bir hacim gerektirecek şekilde saklanmıştır. Tasarım, entegrasyon ve sıcak su tankları faz değişim malzemeleri (FDM'ler) uygulama ve ısı transfer ortamı olarak su/ hava kullanılarak güneş kolektörü azlığı gözden geçirilmiştir. Bu makalede aynı zamanda mevcut simülasyon, tasarım araçları ve FDM'ler sıcak su tankları kullanıma ve merkezi termal depolama ile ilgili deneysel çalışmalar anlatılır. Güneş simülatörünün şematik gösterimi Şekil 1.11' de verilmiştir.



Şekil 1.11. Tek geçişli ısıtıcı [40]

Tyagia vd. [41], göre güneş enerjisi çevreye olumsuz etki yapmadan ısı üretimi, tarım, tekstil, deniz ürünleri ve bina sistemlerinde kullanılan umut verici enerji kaynaklarından biridir. Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma için önemli bir rol oynar. Güneş enerjisi, doğa ve zamana bağlı olarak aralıklı kullanılan bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, FDM'lere dayalı termik enerji depolama sistemi güneş enerjisi bazlı ısıtma sistemleri için daha fazla popülerlik elde edebilir. Son araştırmalarda, faz değişimi malzemeleri (FDM'ler) üzerinde durulmuştur. Bu çalışma güneş hava ısıtıcısının bütünsel olarak incelenip farklı uygulamalar da ve bunların performansının belirlenmesinde kullanılabilir olduğunu göstermek için yapılmıştır. PV/T lerin şematik gösterimi Şekil 1.12' de verilmiştir.



Şekil 1.12. PV/T kolektörlerin şematik görünümü [41]

Zhanga vd. [42], fotovoltaik ve fotovoltaik/termal sistemlerin küresel pazardaki potansiyeli günümüz ve gelecek vizyonlarını ele alan bir çalışma yapmışlardır. Teknik değerlendirmek için PV/T ve PV kavramı tanıtılmıştır. PV/T sistemlerinin, ekonomik ve çevresel performansı ele alınmıştır. Sonuçların da PV/T tipi özellikleri ve araştırma metodolojisi açısından analizi yapılmıştır. Çeşitli şekilde PV/T sistemine ilişkin özelliklerin mevcut durumu, araştırma odakları ve mevcut güçlükleri tespit edilmiştir. Teorik analizler ve bilgisayar simülasyonu da dahil olmak üzere araştırma yöntemleri, deneysel / kuramsal araştırma, fizibilite çalışması tek tek ele alınmıştır. PV/T teknolojisi içine uygulanan ekonomik ve çevresel analizler yapılmıştır. Araştırma, PV/T teknolojisindeki sorulara cevap bulmada yardımcı olur. Ayrıca PV/T performansını artırmak için yeni araştırma konuları, yön belirlemek, PV/T pratik uygulama yöntemi bulmak, PV/T tasarımı ile ilgili standartlar hakkında bilgi bulmada yardımcı olur. Şekil 1.13 ve Şekil 1.14’de olduğu gibi örneklendirmelerde bulunmuşlardır.



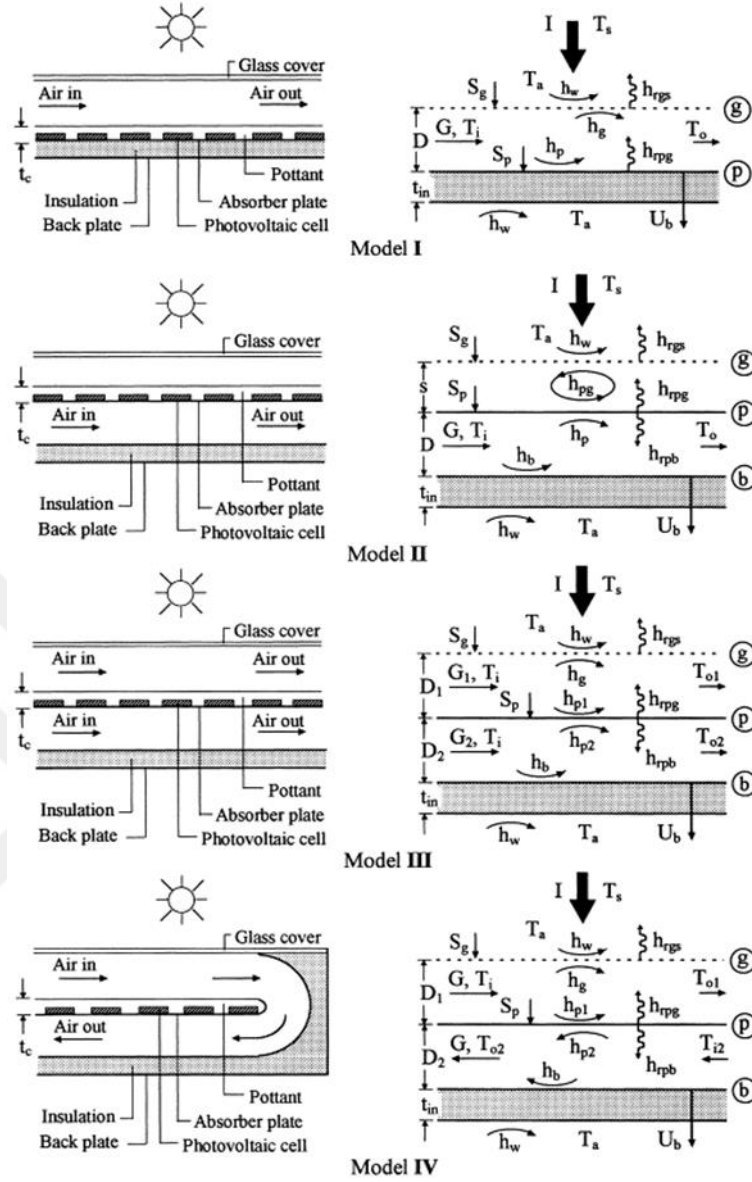
Şekil 1.13. Isı geri kazanımı ile havalandırılan PV [42]



Şekil 1.14. PV/T sistemi gösterimi [42]

1.7.2. PV/T hava kolektörleri ile yapılan çalışmalar

Hegazy vd. [43], yaptıkları çalışmada dört farklı PV/T hava kolektörünün detaylı bir performans çözümlemesini yapmışlardır. Dört farklı model şematik şekilde ısı transfer katsayılarıyla gösterilmiştir. Şekil 1.15’de farklı PV/T kolektörlerinin ısı transfer katsayılarıyla beraber gösterimi yapılmıştır.



Şekil 1.15. Çeşitli PV/T kolektörlerinin ısı transfer katsayılarıyla birlikte gösterilmesi [43]

Anand vd. [44], 1998-2001 yılı Srinagar Hindistan mevsim koşullarını kullanarak PV/T paralel plakalı hava kolektör performansını dört mevsim şartları için oluşturarak, ekserji verimliliğinin % 12-15 civarında olduğu sonucuna varmışlardır.

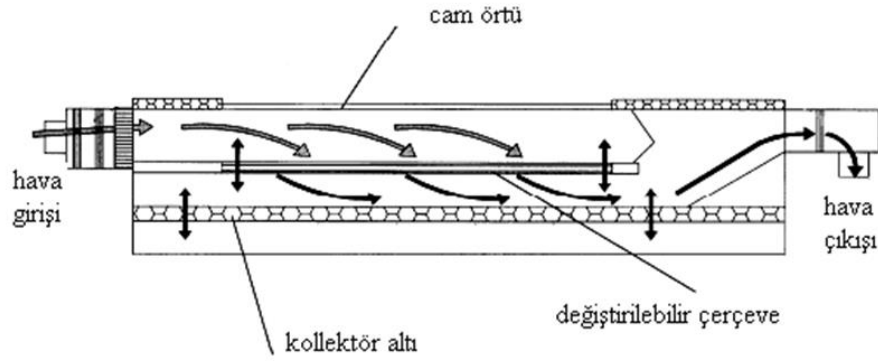
Zondag vd. [45], PV/T ünitesiyle toprak kaynaklı ısı pompasını birleştirerek performans değerlendirmesi yapmışlardır. Bu çalışmada, PV/T kolektörü ile toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin birlikte çalışması ile Hollanda da tipik yeni inşa edilmiş bir ailelik konutun toplam ısı yükünün %100'ünü karşılayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Sopian vd. [46], tek ve çift dolaşimli PV/T hava kolektörünün performans karakteristiklerini inceleyerek, çift dolaşımının tek dolaşımlıdan daha verimli olduğunu göstermişlerdir.

Shahsavari vd. [47], yapmış oldukları çalışmada, PV/T hava kolektörü deney düzeneğiyle, İran Kerman bölgesinde yapılmış olan analizde iki hava kanallı düzeneğin, cam kapaklı ve kapaksız, doğal taşınım ve iki, dört, sekiz fanla zorlanmış taşınım ve çalışma yüklü ve yüksüz bir şekilde düzeneğin veriminin analizi incelenmiştir. Elde ettikleri verilerde, doğal taşınım durumunun dışında, öteki parametrelerde aynı genel verim civarında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, camsız düzeneğin camlı düzeneğe ortalama olarak daha düşük verimde olduğu görülmüştür.

Tiana vd. [48], güneş kolektörleri ve termal enerji depolama sistemleri iki temel bileşenlidir. Bu çalışmada PV/T ile ilgili son gelişmeler üzerinde duruluyor ve güneş kolektörleri termal enerji depolama sistemlerinin incelemesini sağlayarak, güneş enerjisi uygulamalarında yoğunlaşmışlardır. Güneş kolektörünün çeşitli tipleri, konsantre toplayıcıları (düşük ve yüksek sıcaklık uygulamaları) da dahil olmak üzere gözden geçirilmiş ve tartışılmıştır. Termal enerji depolama sistemlerinin çeşitli türleri de gözden geçirilmiş ve hissedilir ısı depolama, gizli ısı depolama, kimyasal depolama ve peş peşe depolama dahil olmak üzere tartışılmıştır. Tasarım kriterlerine, malzeme seçimi ve farklı ısı transfer geliştirme teknolojileri açısından incelenmiştir.

Kolb vd. [49], yutucu yüzeyi matriks şeklinde olan bir havalı güneş kolektörü dizayn etmişlerdir. Burada yutucu matriks yüzey kolektörün en önemli kısmıdır. Kare bir alan ve düz bir şekilden oluşan oksitlenmiş iki paralel tabakadan oluşmuştur. Bir kafes şekli verilerek ısı kaybı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Kolektörün işlevsel diyagramı Şekil 1.16'da gösterilmiştir. Yeni kolektörün düşük basınç kayıplarında yüksek ısı performans verdiğini hesaplamışlardır. Bu durumda yüksek çıkış sıcaklıkları elde edilir bu da ısı kazancının kalitesini gösterir.

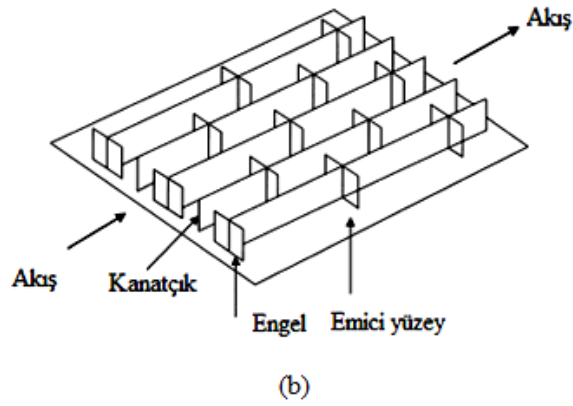
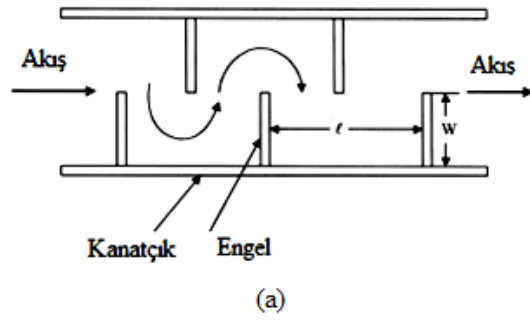


Şekil 1.16. Kolektörün işlevsel diyagramı [49]

Elswijk vd. [50], yaptıkları çalışmada, binalarda PV/T kolektör kullanımının %38 civarında alandan kazanç elde edeceğini göstermişlerdir. Bu durumun daire başına düşen kullanılabilir alan yönünden oldukça önem arz ettiğini ve düzeneklerin en büyük zararı olan gölgeleme etkisinden ötürü PV/T kolektörlerin eğim açısının, geleneksel ısı kolektörlere oranla daha az olmasının gerektiğini belirtmişlerdir.

Umut [51], çalışmasında çeşitli sensörler vasıtasıyla güneşin yerini tespit ederek panellerin güneşe doğru yönelmesini sağlayan sistemlerden bahsetmiştir. Bu sistemlerde geri besleme olduğu için kapalı döngü olarak adlandırılmışlardır. Diğer sistemlere göre en gerçekçi takibi yapan sistemler kapalı döngü sistemlerdir. Dezavantaj olarak maliyeti yüksek ve bakımı diğerlerine göre zordur.

Ho vd. [52], havalı güneş kolektörlerinin kanatçıklarına engeller yerleştirilerek kolektör verimi üzerinde çalışmışlardır. Şekil 1.17’de engelli kanatçıkların üstten ve yandan görünüşü verilmiştir. Kanatçıksız ve engelsiz düz kolektörlerin, engelli güneş kolektörlerine oranla daha düşük verime sahip olduğunu bulmuşlardır.



Şekil 1.17. Engelli kanatçıkların görüntüsü (a) üstten görünüş, (b) yandan görünüş [52]

1.8. Güneş paneli açısının güneş açılarına bağlı olarak hesaplanması

Durağan ya da hareketli bir alandaki panel yüzeyine yansıyan güneş ışınlam değeri, düzlemin olduğu yerleşim yerinin matematiksel konumuyla, o günün ve gün içerisindeki süreyle farklılık göstermiştir. Bazı güneş açıları aşağıda açıklanmıştır [53]:

1.8.1. Enlem açısı

Ekvatorun kuzeyinde veya güneyinde, ekvator merkezine bağlı oluşan açı değerine enlem açısı denir. Ekvatorun kuzey bölgesi pozitif, güney bölgesi negatif olarak konumlandırılır. Enlem açısı, $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ civarında olmaktadır.

1.8.2. Deklinasyon açısı

Ekvator düzlemi ile güneşin doğrultusu arasında kalan açıdır. Kuzeye pozitif denilerek, deklinasyon açısı, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ civarında değişmektedir [54]. Ekinoks zamanlarında, yani gece ile gündüz süresi aynı olduğunda deklinasyon açısının miktarı, güneş ışığı ekvatora paralel olduğundan sıfırdır [54].

1.8.3. Zenit açısı

Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasında-ki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle zamanında (12:00) ise zenit açısı 0° 'dir. Güneş öğle saatinde havada en yüksek yerde bulunur. Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenit açısı arasındaki değişimdir [54].

1.8.4. Güneş yükseklik açısı

Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı miktarıdır. Zenit açısını 90° 'ye tamamladığı için, buradan güneş yükseklik açısı; $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$ olur.

1.8.5. Güneş geliş açısı

Bir yüzeye direkt gelen ışıqla o yüzeyin normali arasındaki açı miktarıdır. Güneşin geliş açısını temsil eder. Bu açı denklem 1.1'deki gibi hesaplanır:

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cdot \cos\beta + \sin\theta_z \cdot \sin\beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (1.1)$$

Burada γ , yüzey azimut açısıdır.

1.8.6. Eğim açısı

Yatay ile verilen panel yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarımkürede güneye eğimli düşünülür. Eğim açısı, $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ arasında değişmektedir [54].

2. METARYAL VE METOD

Projenin iki temel amacı bulunmaktadır;

- Faz değiştiren madde kullanılarak g, enerji ve ekserji verimliliğini arttırmak
- Gölgelenmenin PV/T kolektörler üzerinde ki etkisini analiz etmek.

Bu amaçlar doğrultusunda deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 2017 yılının Temmuz ayı içerisinde, havanın açık olduğu günlerde gerçekleştirilmiştir. Deneyler de kullanılan ekipman ve malzemelere ait teknik bilgiler ise aşağıda detaylı bir şekilde verilmektedir.

2.1. Deney malzemeleri

2.1.1. Piranometre

Piranometre'nin temel mantığı; siyah yüzeyin gelen ışığı emerek oluşan elektrik hareket gücü sayesinde soğuk eklemden daha yüksek bir sıcaklığa ulaşmasıdır. 10 mV ile 20 mV arasında oluşan bu elektrik hareket gücünün belli bir zaman aralığında integrali alınır. Buradan elde edilen sonuç global radyasyonun ölçüm değeridir [55]. Piranometrenin şekil 2.12'de yandan görünüşü gösterilmektedir.



şekil 2.1. Piranometre

2.1.2. Anemometre

Anemometre, havanın ya da başka gazların akım hızlarını ölçmeye yarayan araçlara verilen isimdir. Pervaneli anemometrenin genel olarak bir tekerlek poyrasına oturtulmuş üç kanadı vardır. Pervane kanatları bir dikey düzlemde hareket ederler. Kanatları doğrudan rüzgara karşı tutmak için bir rüzgar fırılacağı gereklidir. Küçük pervaneli anemometreler çoğu zaman hava boruları için de akım ölçme araçları olarak kullanılır. Basınç tüplü ve yüksek gerilimli telle donatılmış anemometreler ya da Dine diye bilinenler, zincirli külâh, basınçlı levha, sürüklenen küre, sonik anemometreler daha az kullanılan türleridir [56]. Anemometrenin Şekil 2.2’de önden görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Anemometre

2.1.3. Isıl Çift

Termoelektrik termometre veya thermocouple olarak da bilinir. Deneylerde T tipi ısı çifti kullanıldı. İki ucundan da birbirine bağlı iki değişik metalden oluşan sıcaklık ölçüm aygıtıdır. Bağlantılardan biri sıcaklığı ölçülecek ortama yerleştirilir. Öteki uç ise sabit bir düşük sıcaklıkta tutulur. Devreye bir de ölçü aygıtı bağlanır. Sıcaklık farkı, devrede Seebeck etkisi denilen bir elektromotor kuvvetinin oluşmasına yol açar. Bu elektromotor kuvvet yaklaşık olarak iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır [57]. Isıl çiftin Şekil 2.3’de üstten görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Isıl Çift (thermocouple)

2.1.4. Multimetre

Multimetreler, herhangi bir devre tasarlarken kullanılacak komponentlerin sağlamlığını ya da arızalı bir devrede bozulmuş olan komponentin bulunması işlemini, belli testler ile gerçekleştiren ekipmanlardır. Standart özelliklere sahip bir Multimetre voltaj, frekans, akım ölçümü, direnç, diyot, kondansatör ölçümleri ve kısa devre kontrolü gibi ölçümleri yapabilmektedir [58]. Şekil 2.4’de multimetrenin üstten görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.4. Multimetre

2.1.5. Veri derleyici

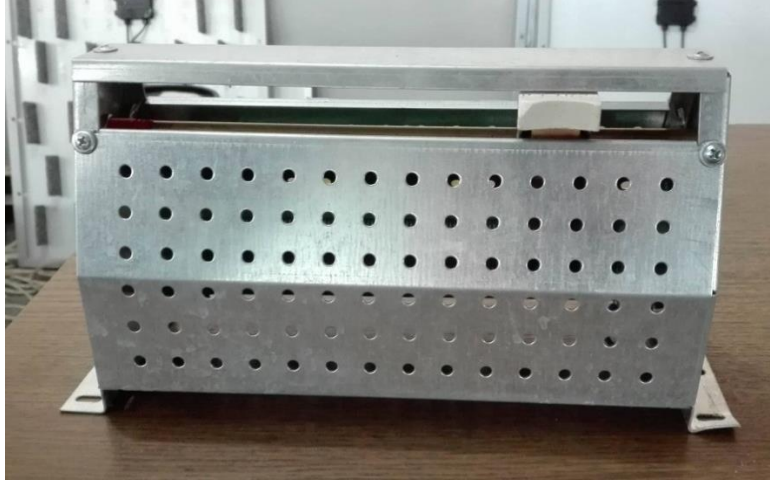
Datalogger (veri derleyici) seçilmiş verileri belirli bir süre boyunca, belirli aralıklarla kaydeden cihazlardır. Datalogger; sıcaklık, nem, basınç, su seviyesi, rüzgar hız ve yönü, güneşlenme değerleri, birçok fiziksel veriyi ve çevresel koşulları kaydeden cihazlardır. Bir proje gerçekleştirilecek ya da ürün bulundurulacak alanların hangi fiziksel koşullarda bulunduğu ne gibi durumlara maruz kaldığını süreleriyle birlikte bilme ve buna göre değerlendirme ihtiyacına yönelik cihazlardır [59]. Şekil 2.5’de çalışmada kullanılan veri derleyicinin görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.5. Veri derleyici

2.1.6. Reosta

Akımın şiddetini değiştirmek için kullanılır. Sürgülü ve lambalı olmak üzere başlıca iki çeşidi vardır. Mesela tramvaylarda vatmanın önündeki kol, büyük bir reostanın koludur. Vatman bu kolu hareket ettirerek akımın şiddetini ayarlar, böylece tramvayın hızını da ayarlamış olur. Kısa devre prensibi geçerlidir. Akım devamlı suretle en az dirençli yolu tercih ettiğinden, ayarlanan yolu kullanarak direnç azaltılıp akım şiddeti arttırılmış olur [60]. Sistemde kullanılan reostanın Şekil 2.6’da önden görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.6. Reosta

2.1.7. Faz değıştiren madde

Çalışmada fotovoltaiik/termal kolektörlerin yüzey sıcaklıklarını düşürmek için faz değıştiren madde kullanılmıştır. Termofiziksel özellikleri ve ekonomiklik dikkate alınarak $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ faz değıştiren madde tercih edilmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile yapılan analiz sonucu Tablo 2.1.'de de $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'nun termofiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Faz değıştiren madde $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'nun termofiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Erime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	29
Gizli ısı kapasitesi (kJ/kg)	195
Fiyat ($\$/\text{kg}$)	100
Özgöl Isı (katı)(J/kg.K)	1460
Özgöl Isı (sıvı)(J/kg.K)	2130
Isı İletim Katsayısı (katı)(W/m.K)	1.088
Isı İletim Katsayısı (sıvı)(W/m.K)	0.536
Isı Depolama Kapasitesi (kJ/m^3)	3.182×10^5



Şekil 2.7. Faz değıştiren madde

2.2. Deneyin yapılışı

Elazığ ilinin güneşlenme süresi ve en yüksek global ışıınıma sahip olduğu 2017 yılının Temmuz ayında ölçümler alınmıştır. Ölçümler saat 09:00 ve 18:00 arası yapılmış olup, açı deneylerinde yarım saatte bir alınırken gölgelendirme deneylerinde saat başı alınmıştır. Açı olarak $\phi = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ olarak çalışılmıştır. Gölgeleme D= 6 cm, 15 cm ve 22 cm çaplı saydam olmayan dairesel kesitli mukavva kullanılmıştır.

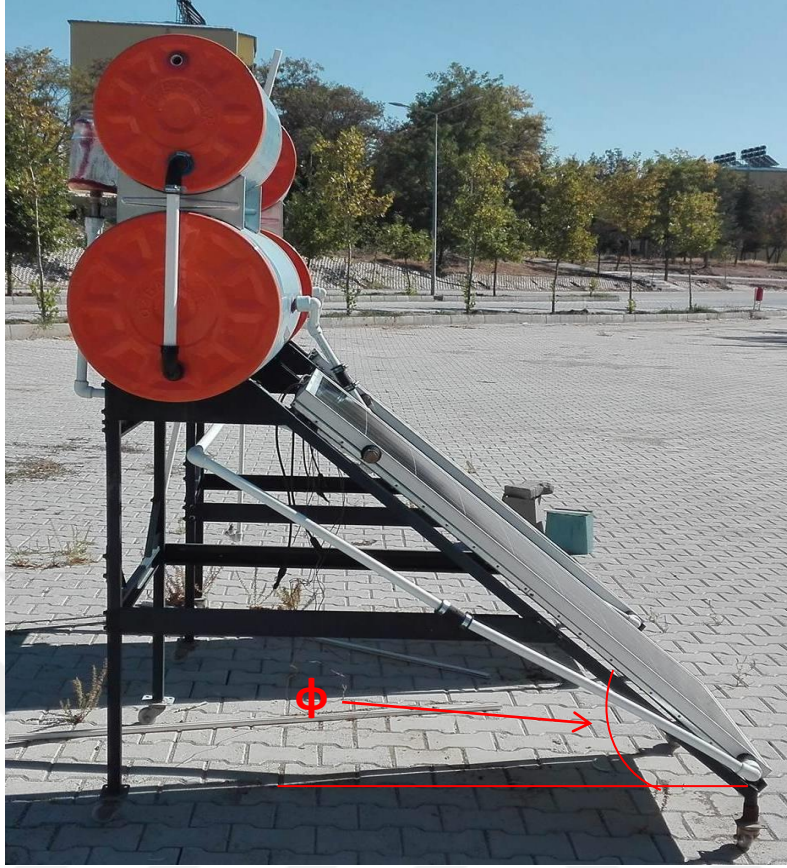
Deneyler sırasında panel üzerinden iki noktadan, kolektöre su giriş ve çıkışı, çevre sıcaklığı, dış panel yüzey sıcaklığı ölçülmüş ayrıca ışıınım değeri piranometre kullanılarak, rüzgar hızı ise anemometre kullanılarak ölçümleri alınmıştır. Şekil 2.8’de PV/T sistemin önden görünüşü, Şekil 2.9’de PV/T sistemin arkadan görünüşü, Şekil 2.10’da PV/T sistemin yandan görünüşü, Şekil 2.11’de PV/T kolektörlerin açısal görüntüleri, Şekil 2.12’de 30° deki PV/T kolektörlerin gölgeli haldeki durumları verilmiştir.



Şekil 2.8. PV/T sistemin önden görünüşü



Şekil 2.9. PV/T sistemin arkadan görünüşü



Şekil 2.10. PV/T sistemin yandan görünüşü



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.11. 30° deki PV/T kolektörlerin gölgelenmiş haldeki durumları (a) $D= 6$ cm, (b) $D= 15$ cm, (c) $D= 22$ cm

2.3. Enerji ve ekserji analizi

Enerjiyi iş veya iş yapabilme kabiliyeti şeklinde gösterebiliriz. Ekserji ise iş elde edebilme yeteneğidir. Enerji bir proseste her zaman saklanabilirken, ekserji ise yalnızca tersinir proseslerde saklanabilmekte, gerçek proseslerde tersinmezlikler sebebi dolayısıyla harcanmaktadır [61].

Bir sistemden sağlanacak en fazla iş, sistem sabit bir başlangıç durumundan, tersinir durum değişimiyle çevrenin bulunduğu duruma gelirse oluşturulur. Oluşan miktar, sistemin ilk durumundan, faydalı iş potansiyelini ya da iş yapabilme kabiliyetini göstermektedir ve kullanılabilirlik diye isimlendirilir. Ekserjinin, ısı sisteminin yapılan çalışmada yapabileceği iş şeklinde görülmesi lazımdır. Oluşan ifade, sistemin termodinamiğin kanunlarına ters düşmeden gerçekleştireceği işin üst çizgisini tayin eder. Makinenin kullanılabilirliğiyle yaptığı iş arasında az ya da çok bir değişim her durumda bulunmaktadır. Değişim mühendisler açısından daha fazla iyinin çizgilerini belirler. Oluşan durumda makinenin ekserjisi, makinenin şartlarıyla birlikte, çevre şartlarına, başka ifadeyle ölü durumla ilişkilidir. Bu yönden ekserji yalnızca makinenin değil, makine çevre bütününe özelliğidir. Çevreyi farklı almak kullanılabilirliği yükseltmenin bir seçeneği olabilir, ancak kolay seçenek değildir [62].

Termodinamik bakımdan ekserji; bir çevre ile denge durumuna gelirken, bir sistem veya madde ya da enerji aktarımıyla elde edilecek en yüksek seviyede iş şeklinde adlandırılır. Enerjiden farkı, ekserji; uygun ya da tersinir prosesler hariç korunum kanuna uymamaktadır. Ekserji en fazla, gerçek proseslerdeki tersinmezlikler sebebi ile tüketilir veya yok hale getirilir. Bir proses boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler sebebiyle oluşan entropi ile orantılıdır. Ekserji, başka bir tanımla, kullanılabilir enerji biçiminde adlandırılmaktadır. Ekserji bununla birlikte, verilmiş bir halin tüm diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerji miktarının bir ölçüsü de olabilmektedir [63].

Ekserji analizi yapmak çok fazla yönden önem göstermektedir, örnek olarak:

- Enerji kaynakları tüketilmesinin çevreye karşı etkilerinin doğru bir şekilde belirlenmesinde etkili yöntemdir.

- Enerji sistemlerinin dizaynı ve analizi için Termodinamiğin İkinci Yasası ile beraber kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini uygulayan önemli araçtır.

- Daha çok verimli kaynak kullanımını sağlayan ideal yöntemdir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek boyutları elde edilir.
- Kullanılan sistemlerdeki verimsizlikleri düşürerek, verimi yüksek enerji sistemleri dizaynı için önemli yöntemdir.
- Enerji politikalarının kurulmasında kullanılabilecek önemli bir etkidir [64].

2.3.1. Güneş panellerinin ekserji analizi

Fotovoltaik sistemlerin enerji verimliliği, sistemin çıkış enerjisinin giriş enerjisine oranı olarak tanımlanır. Fotovoltaik sistemlerin birinci yasası veya enerji verimliliği denklem 2.1'deki gibi hesaplanır [65]:

$$\eta_I = \frac{V_m I_m}{I_s A} \quad (2.1)$$

PV modülünün ekserji verimi, toplam çıktı ekserjisinin toplam girdi ekserjisine oranı olarak tanımlanır. Denklem 2.2'de hesaplanması gösterilmektedir:

$$\eta_{II} = \frac{E_{X_{\text{çıkış}}}}{E_{X_{\text{giriş}}}} \quad (2.2)$$

PV sistemlerin ekserji verimlerini değerlendirebilmek için, toplam güneş ışıyım ekserjisinin bilinmesi gerekir. Güneş ışıyım girişi ekserjisi denklem 2.3'deki gibi yazılabilir.

$$E_{X_{\text{giriş}}} = I_s A \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_c}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_c}{T_s} \right)^4 \right] \quad (2.3)$$

Fotovoltaik sistemin çıkış ekserjisi ise denklem 2.4' deki gösterilmektedir.

$$Ex_{\text{çıkış}} = V_m I_m + \left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right) h_{ca} A (T_h - T_c) \quad (2.4)$$

$$h_{ca} = 5.7 + 3.8v \quad (2.5)$$

Sistemin ekserji verimliliği sonuç olarak denklem 2.5' de olduğu gibi hesaplanabilir:

$$\eta_{II,PV} = \frac{V_m I_m + \left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right) h_{ca} A (T_h - T_c)}{\left(1 - \frac{T_c}{T_s}\right) I_s A} \quad (2.7)$$

2.4. Belirsizlik analizi

Akademik çalışmaları genel olarak deneysel ve teorik olarak ikiye ayırabiliriz. Teorik çalışmalar ise nümerik ve analitik kısımlardan oluşur. Nümerik yada analitik analizler matematiksel çözümlemelere dayanarak problemin analizini içerirken simülasyon çalışmaları gerçek hayattaki bir sistemin veya sürecin işleyişinin modellenmesidir. Yapılan teorik çalışma ister nümerik olsun isterse de simülasyon, deneysel çalışmalarla desteklendiğinde anlam kazanmaya başlamaktadır. Deneysel çalışmalarda ise elde edilen verilerin doğruluğu hakkında net fikir söylenemez. Bunun için bir deneysel çalışmanın geçerliliği öncelikle yöntemin sonra ölçülen değerlerin doğruluğuyla ilişkilidir.

Deneysel çalışmaların geçerliliğini sağlayan en önemli değişken, deneylerde ortaya çıkabilecek hatalardır. Bu hatalardan ilki deney setinin ve ölçü aletlerinin yapısından kaynaklanan hatalar diğeri ise deneyi gerçekleştiren kişiden kaynaklanan hatalardır.

Herhangi bir deney seti aracılığıyla tespit edilmesi/hesaplanması gereken büyüklük R , bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise; $x_1, x_2, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda; $R=R(x_1, x_2, \dots, x_n)$ yazılabilir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait sabit hata miktarları (belirsizlikler), $W_1, W_2, \dots, W_n$ olsun. R büyüklüğünün belirsizliği ise W_R olarak gösterildiğinde [66,67]

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

gibi yazılır. Belirsizlik analizi yapılmasında en önemli avantajı, deneylerde en büyük hataya neden olan değişkenin tespit edilmesidir. Tezde yapılan deneyler için belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak hata analizi yapılmıştır. Ölçülen büyüklüklerin hata analizinde kullanılacak olan belirsizlik değerleri,

$$I = V/R \quad (2.7)$$

$$P = I.V \quad (2.8)$$

Denklem (2.7) ve (2.8), denklem (2.6)'ya uygulanarak

$$W_I = \left[\left(\frac{\partial I}{\partial V} W_V \right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial R} W_R \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

$$W_P = \left[\left(\frac{\partial P}{\partial I} W_I \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial V} W_V \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

denklemleri elde edilmiştir. Enerji verimi; ışınlım, panelin yüzey alanı ve yük altındaki maksimum akım-gerilim değerlerinin bir fonksiyonu olduğundan

$$W_\eta = \left[\left(\frac{\partial \eta}{\partial V_m} W_{V_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I_m} W_{I_m} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I_s} W_{I_s} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I_s} W_A \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.11)$$

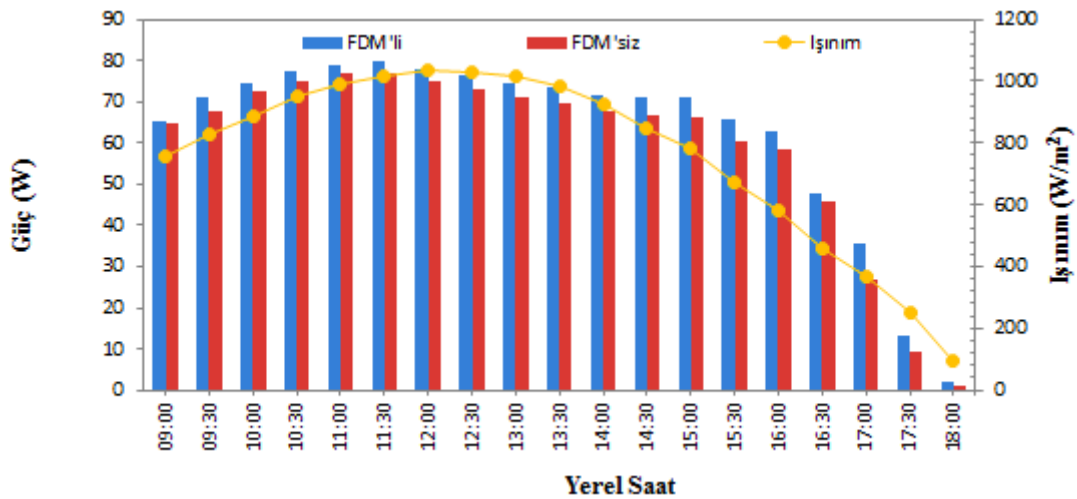
şeklinde hata analizi sonucuna varılabilir.

3. BULGULAR

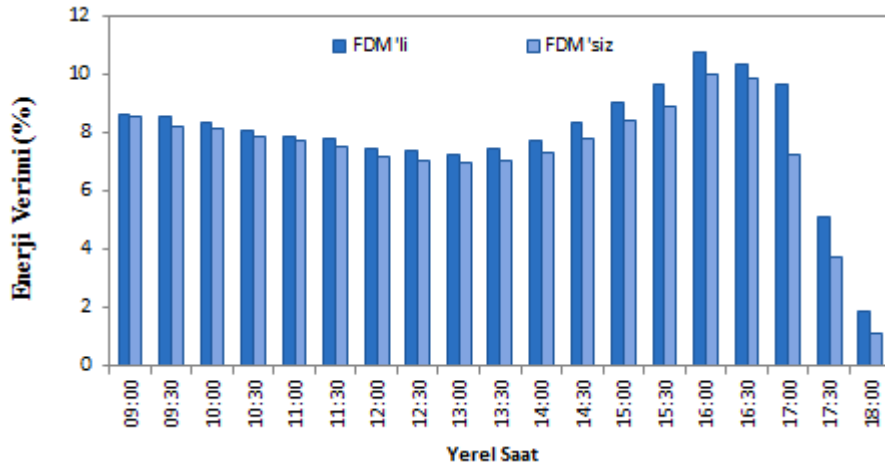
Güneş enerjisinin kolektörler üzerine etkisinden yararlanılarak yapılan deneysel çalışma da farklı açı çeşitleri ve farklı gölgelendirmeler uygulanmıştır. Eğim açısı 25° , 30° , 35° , 40° lik olan çalışmalardan elde edilen bulgular ve gölgelenme etkisiyle 30° eğimli kolektörlerde 3 farklı çapta ($D=6$ cm, $D=15$ cm, $D=22$ cm) dairesel gölgelendirmeden elde edilen bulgular verilmiştir.

3.1. Eğim açısı 25° olan PV/T kolektör verileri

Temmuz ayında yapılan deneysel çalışma, ışıınım yüksek değerleri nedeniyle güç üretiminde fayda sağlamıştır. Yapılan çalışma da ışıının artması gücün de artışına etki ettiği görülmüştür. FDM'li kolektörün düz kolektöre göre daha yüksek güç elde edildiği ve gücün yaklaşık değerinin 80 W olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.1'de gösterilen grafikte gün boyunca yarım saatte bir alınan verilerden yola çıkarak FDM'li panelin FDM'siz panele göre biraz daha yüksek güç göstermesinde ki en büyük etken FDM'li PV/T kolektörün arkasında bulunan depodaki FDM'nin soğutucu etken göstererek kolektörün verimin yükseltmesidir.

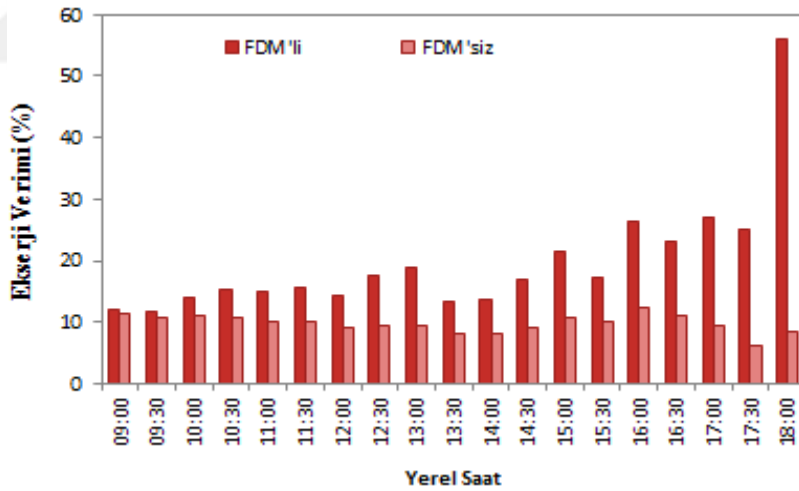


Şekil 3.1. Eğim açısı 25° olan kolektörün ışıınıma bağlı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişimi



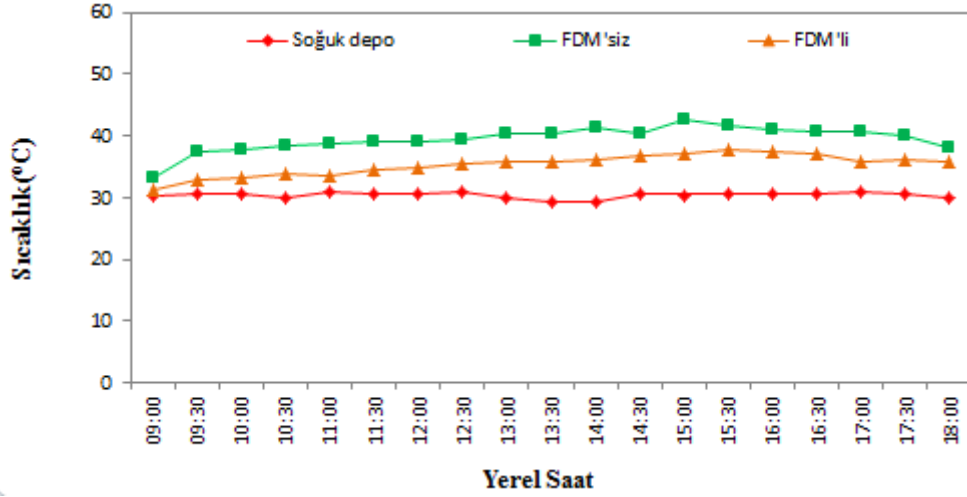
Şekil 3.2. Eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki enerji değişimi

Şekil 3.2'de 09:00 ve 18:00 arası yarım saate bir alınan eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki değerlerden elde edilen enerji verimi gösterilmiştir. Gün içerisinde sistemlerden elde edilen en yüksek enerji verimi değerleri saat 16:00'da FDM'li kolektörler için %10 iken FDM'siz kolektörlerde %9 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki ekserji değişimi

Şekil 3.3'deki grafikte FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerin 25° eğimde ekserji değişimlerinin zamana göre değişimleri gösterilmiştir. FDM depolamalı PV/T kolektörün ekserji veriminin FDM'siz PV/T ye göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Saat 18:00'da FDM 'nin ısıyı depolayıp güneş battıktan sonra o ısıyı kolektöre vermesiyle zamanla ekserji verimi %60 seviyesine kadar yükselmiştir.

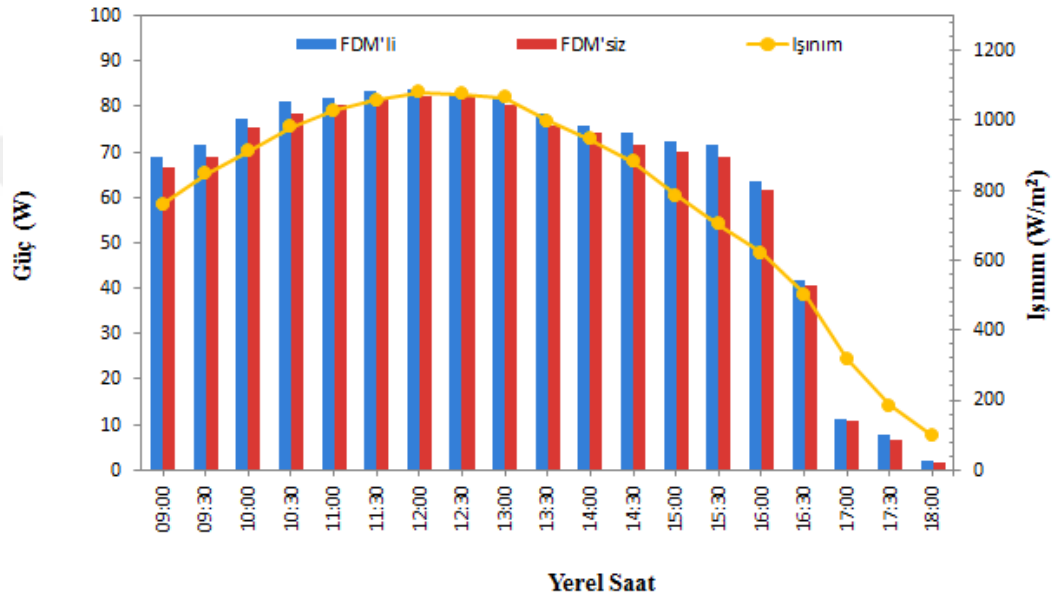


Şekil 3.4. Eğim açısı 25° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları

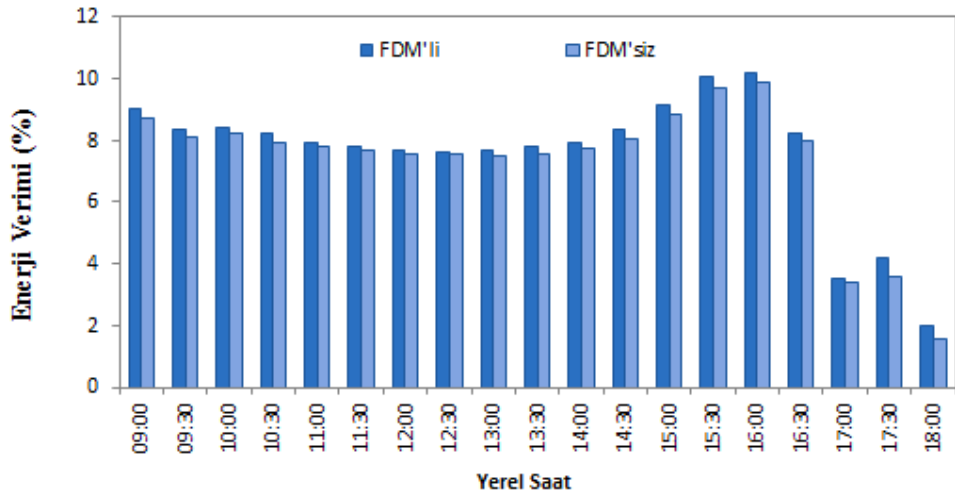
FDM'li ve FDM'siz 25° eğimli PV/T kolektörlerde sıcak su çıkışları Şekil 3.4' de gösterilmiştir. FDM'li PV/T kolektörde saat 15:00'da en yüksek sıcaklığa ulaşılmış ve 37°C olarak ölçülmüştür. FDM'siz PV/T kolektörde ise en yüksek sıcaklığa yine saat 15:00 da ulaşıp, 43°C olarak ölçülmüştür. FDM'siz PV/T'den elde edilen sıcak su çıkış sıcaklığı FDM'li PV/T den elde edilen sıcak su çıkış sıcaklığından daha yüksektir. Bunun nedeni FDM'li PV/T aldığı sıcaklığı sadece suya değil FDM deposuna da gönderdiği için sıcak su çıkış sıcaklığında azalma meydana gelmiştir.

3.2. Eğim açısı 30° olan PV/T kolektör verileri

Temmuz ayında yapılan 30° eğimli kolektör deneyi sonuçlarında FDM'li PV/T kolektörün, FDM'siz kolektöre göre daha yüksek verim elde edildiği görülmüştür. En yüksek güç değeri FDM'li PV/T'de saat 12:00'de 80 W üstünde bir değer olarak ölçülmüştür. Işınımın en yüksek olduğu saatte en yüksek güç elde edilmiş olup ışınımın düşmesiyle güç değerlerinde de düşüşler meydana gelmiştir. Bu durumlar Şekil 3.5' de gösterilmiştir.

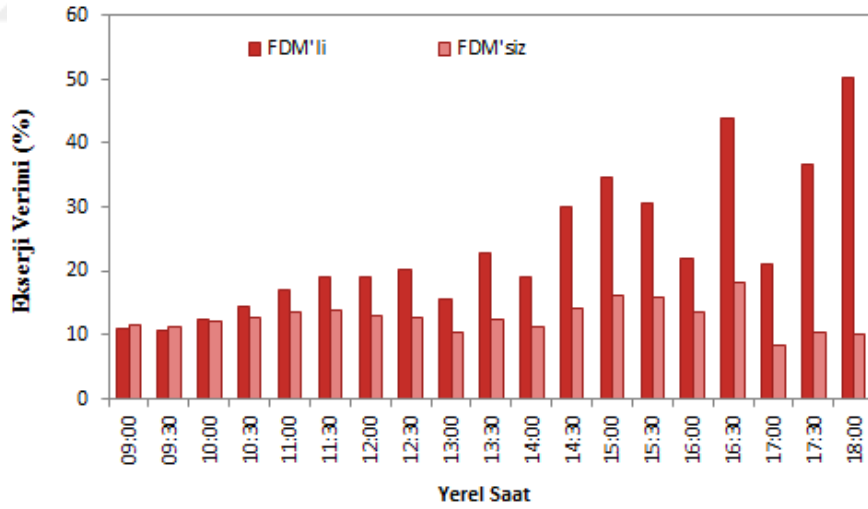


Şekil 3.5. Eğim açısı 30° olan kolektörün ışınımına bağlı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T'de güç değişimi



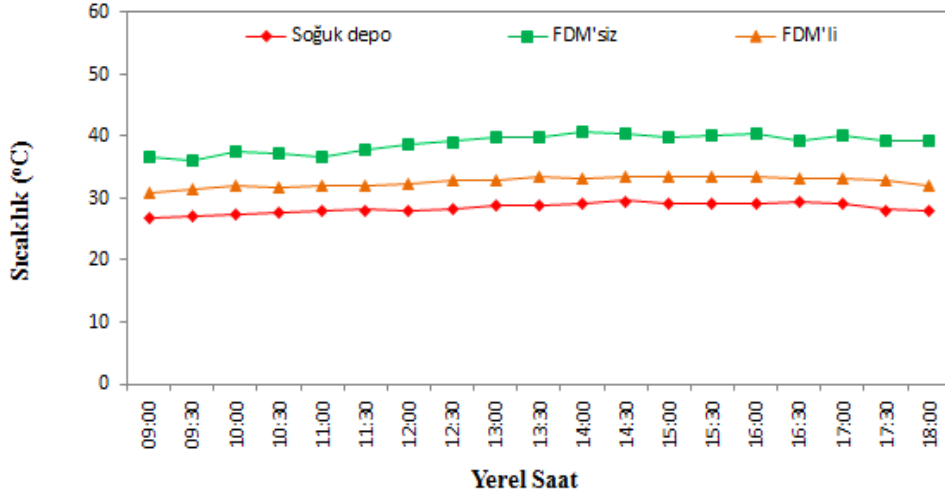
Şekil 3.6. Eğim açısı 30° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki enerji değişimi

Saat 09:00 ile 18:00 arası yarım saatte bir alınan deneyler sonucunda enerji veriminin 30° eğimli kolektörde FDM'li olan PV/T kolektörün, FDM'siz kolektöre göre daha yüksek olarak çıktığı görülmüştür ve en yüksek değer saat 16:00 da %10'nun üzerinde ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Eğim açısı 30° olan FDM'li ve FDM'siz kolektörlerdeki ekserji değişimi

Ekserji verim değişiminin FDM'li PV/T kolektör ve FDM'siz kolektör arasındaki değişimi Şekil 3.7'de verilmiştir. FDM'li PV/T kolektör ekserji verimi FDM'siz PV/T kolektöre göre daha yüksek çıkmıştır. FDM'li PV/T kolektörün ekserji veriminin zamanla yükselmesinin nedeni FDM'nin depoladığı ısı ve rüzgarın yüksek olmasıdır.

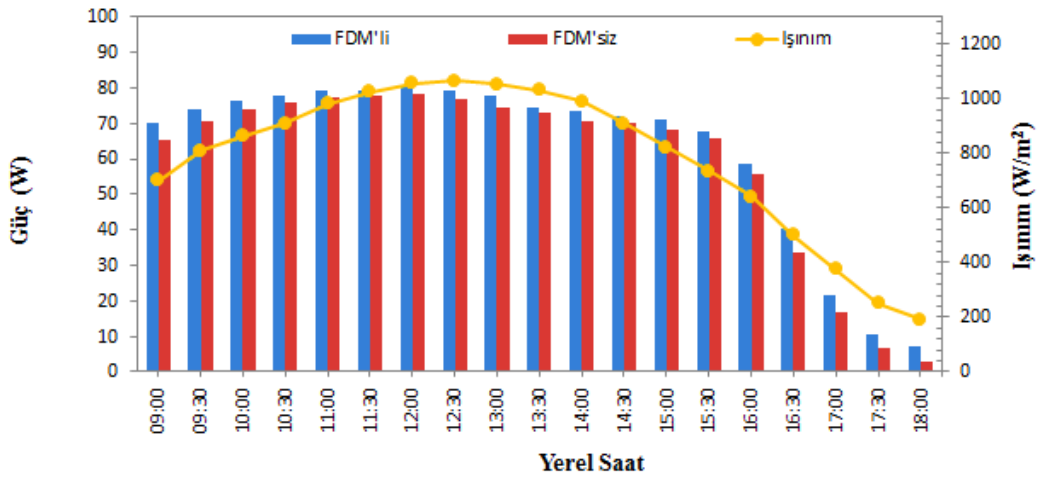


Şekil 3.8. Eğim açısı 30° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları

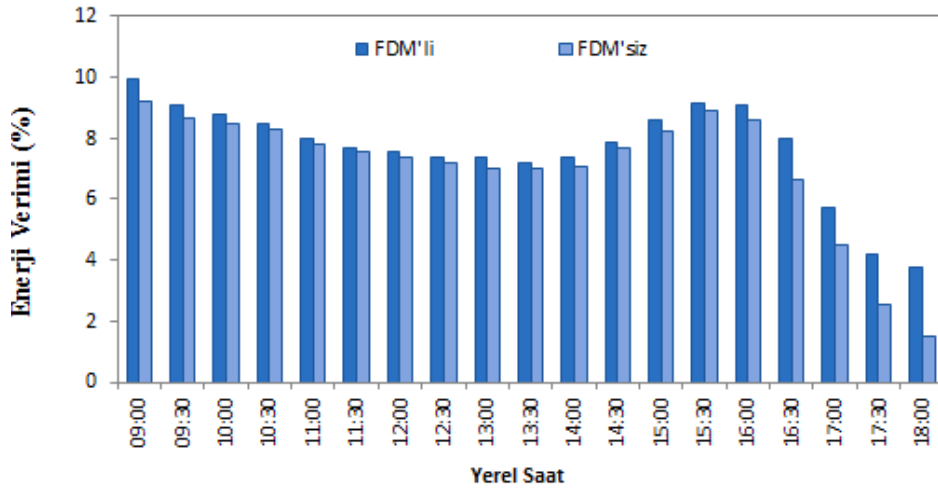
Eğim açısı 30° olan kolektörlerden alınan verilerden FDM'siz PV/T kolektörün su çıkışının FDM'li PV/T kolektörden daha yüksek çıktığı Şekil 3.8'de gösterilmiştir. En yüksek değere saat 14:30 ulaşılmış olup doğrusal olmayan bir değişim gözlemlenmiştir.

3.3. Eğim açısı 35° olan PV/T kolektör verileri

Temmuz ayında yapılan 35° eğimli kolektör deneylerinde en yüksek güç değere saat 12:00'de FDM'li PV/T kolektörde ulaşılmış olup yaklaşık 80 W ölçülmüştür. Düz panel ise daha düşük bir değere sahip olmuştur. 35° eğimli kolektörlerin güç değerleri ışınlama bağlı olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

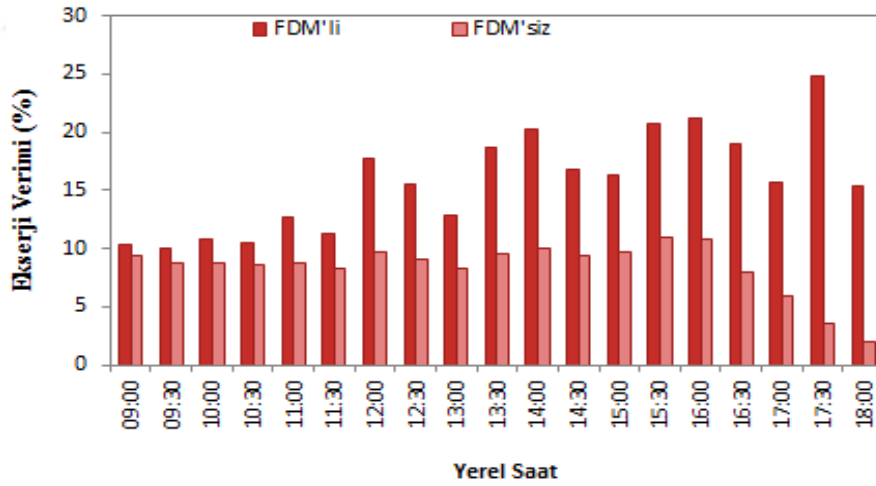


Şekil 3.9. Eğim açısı 35° olan kolektörün ışınlama bağlı FDM'siz ve FDM'li PV/T kolektörlerde güç değişimi



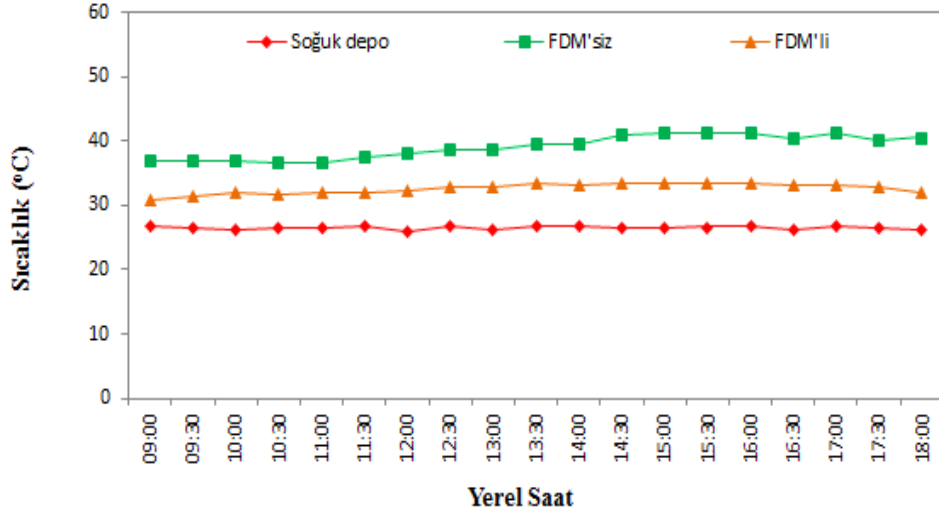
Şekil 3.10. Eğim açısı 35° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi

FDM'li PV/T kolektör ile FDM'siz PV/T kolektörlerinin 35° eğimli haldeki enerji verimleri Şekil 3.10'da gösterilmiş olup, FDM'li PV/T kolektörün FDM'siz PV/T kolektöre göre daha yüksek verim elde ettiği görülmüştür. Saat 09:00 da en yüksek verime ulaşılmış ve %10 olduğu ölçülmüştür.



Şekil 3.11. Eğim açısı 35° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi

Ekserji verimliliği deneyi saat 09:00 ve 18:00 arası yarım saatte bir alınarak Şekil 3.11'de ki grafik elde edilmiştir. FDM'li PV/T kolektörün ekserji verimi FDM'siz PV/T kolektöre göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. En yüksek ekserji verimi 17:30 da ölçülmüş olup, % 25 olduğu görülmüştür.

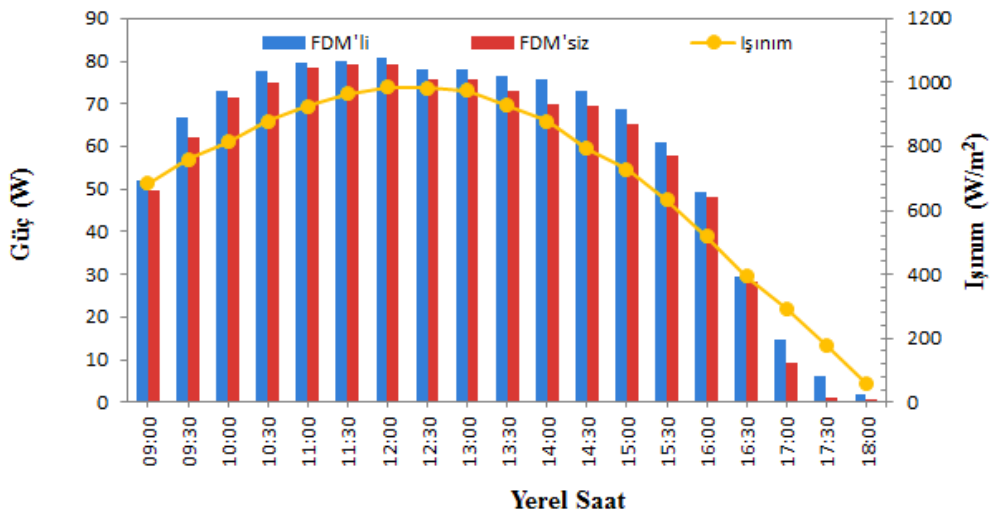


Şekil 3.12. Eğim açısı 35° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları

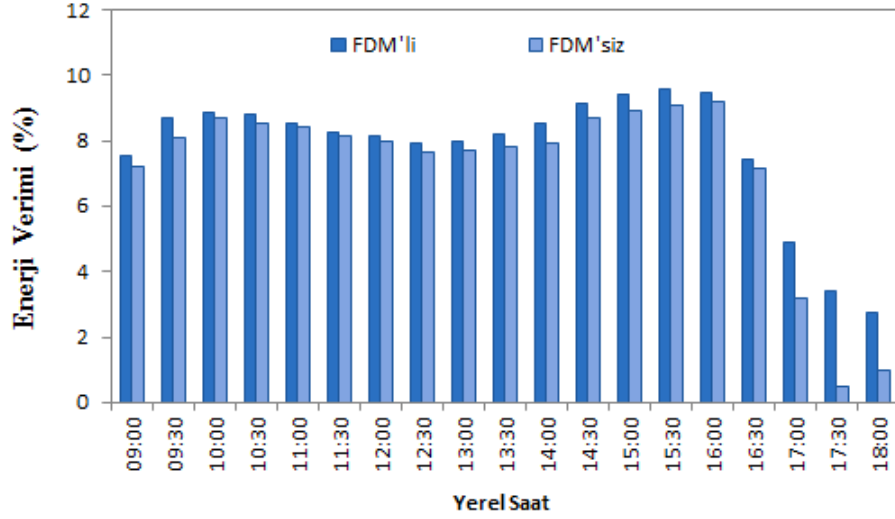
35° eğimli FDM'li PV/T ve FDM'siz PV/T kolektörlerden alınan sıcak su çıkışları Şekil 3.12'de gösterilmiştir. En yüksek su çıkış sıcaklığı saat 14:30'da 41°C olduğu ölçülmüş ve FDM'siz PV/T kolektörde olduğu tespit edilmiştir.

3.4. Eğim açısı 40° olan PV/T kolektör verileri

Temmuz ayında yapılan 40° eğimli kolektör deneyinde elde edilen verilerle 40° eğimli kolektörlerde ışınlıma bağlı güç değişim grafiği Şekil 3.13'de verilmiştir. FDM'li PV/T kolektörün güç değerleri gün boyu FDM'siz PV/T kolektörden fazla çıktığı görülmüştür.

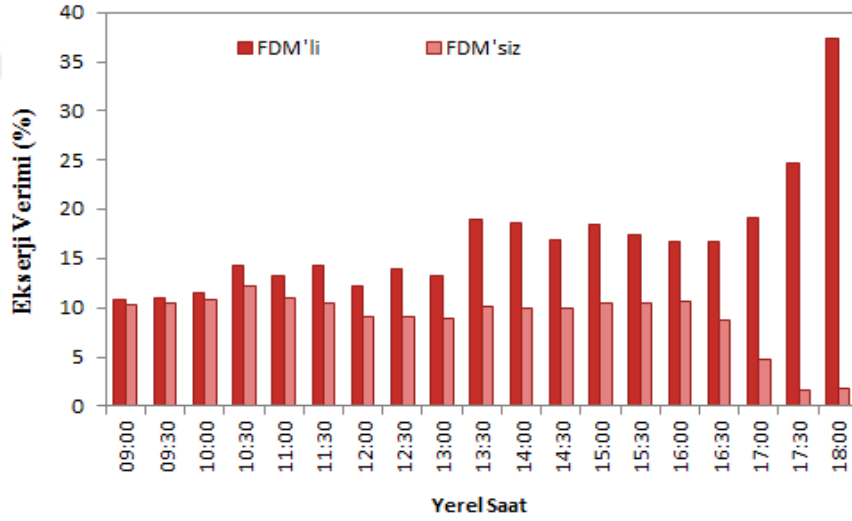


Şekil 3.13. Eğim açısı 40° olan kolektörün ışınlıma bağlı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T'de güç değişimi



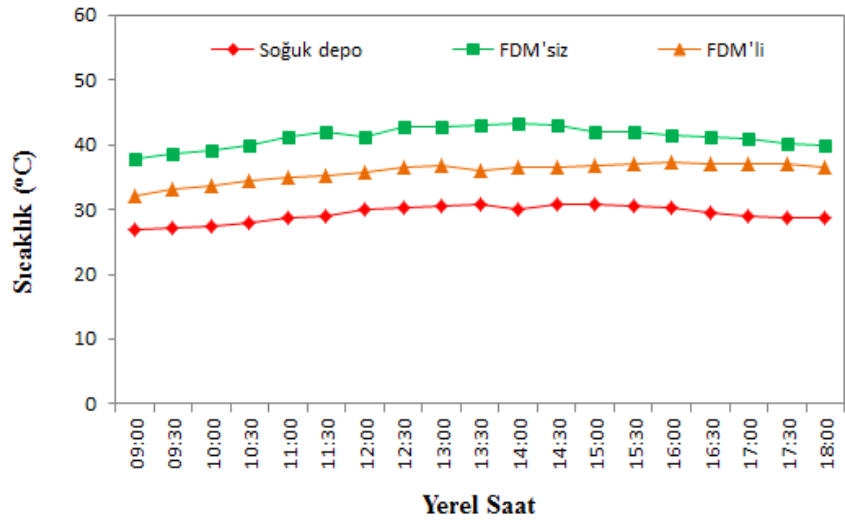
Şekil 3.14. Eğim açısı 40° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi

Eğim açısı 40° olan kolektörler için enerji veriminin zamanla değişim grafiği Şekil 3.14'de verilmiştir. Grafikte gösterildiği gibi FDM'li PV/T kolektör enerji verimi FDM'siz kolektöre göre yüksek çıkmıştır ve en yüksek değer saat 16:00'da %9 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.15. Eğim açısı 40° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi

Saat 09:00 ve 18:00 arası yarım saatte bir alınan 40° eğimli kolektörlerde ekserji verimliliği sonuçları Şekil 3.15'de verilmiştir. Alınan verilerin sonuçları ekserji verimliliğin FDM'li PV/T de yüksek çıktığını görülmüş ve 18:00'da %37 olarak ölçülmüştür.



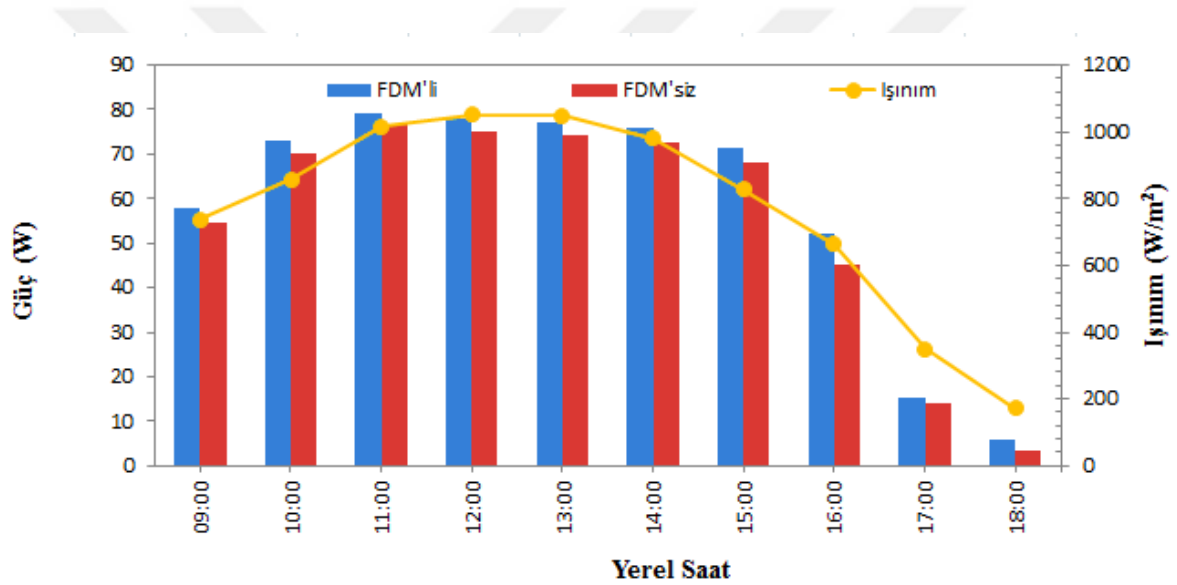
Şekil 3.16. Eğim açısı 40° olan FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları

Sıcak su çıkışları 40° eğimli kolektörlerde ki değerleri Şekil 3.16'da verilmiştir. FDM'li kolektörün ısıyı FDM'nin içerisine çektiği için değerleri düşük çıkmıştır. FDM'siz PV/T de yüksek çıkmasının sebebini bize açıklamaktadır. En yüksek değere 14:30'da ulaşılmış olup 41°C olarak ölçülmüştür.

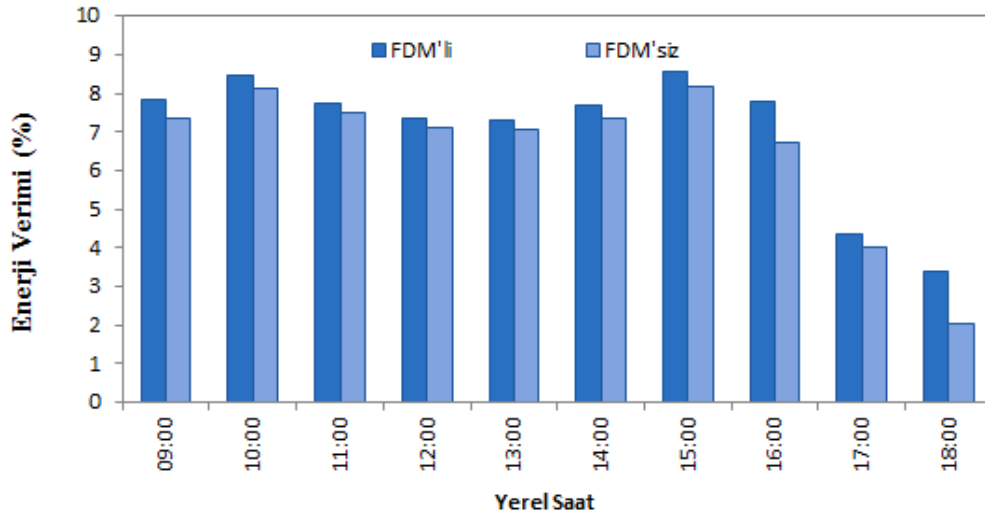
3.5. Eğim açısı 30° olan PV/T kolektörlerde gölgelenme ile elde edilen veriler

3.5.1. Hücre içi gölgelendirme

Temmuz ayında yapılan deneyden elde edilen ışınlıma bağılı güç değişim grafiği şekilde verilmiştir. Yapılan gölgelendirme ile güçte az bir miktarda düşüş meydana geldiği görülmüştür. FDM'li PV/T kolektörün FDM'siz PV/T kolektöre göre daha yüksek güç elde edildiği Şekil 3.17'de gösterilmiştir. En yüksek güce saat 12:00'da FDM'li PV/T'de ulaşılmış olup güç değeri yaklaşık 80 W olarak ölçülmüştür.

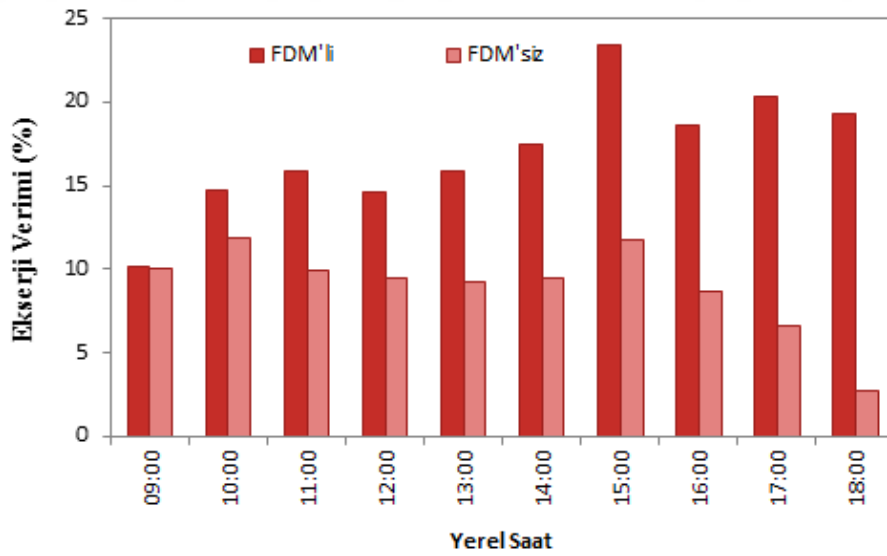


Şekil 3.17. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş kolektörün ışınlıma bağılı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişimi



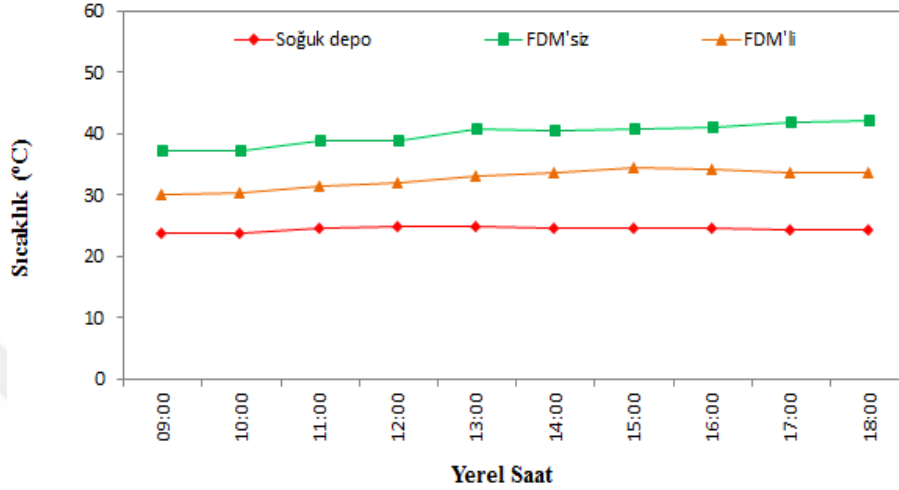
Şekil 3.18. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi

Saat 09:00 ve 18:00 arası saat başı alınan ölçümler de enerji verimliliği Şekil 3.18' de gösterilmiştir. Enerji verimliliği FDM'li PV/T kolektörde, FDM'siz PV/T kolektöre göre yüksek çıktığı görülmüştür. Saat 15:00'da en yüksek değere ulaşılmış yaklaşık %9 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.19. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi

Şekil 3.19’da 30° eğimli hücre içi gölgelenmiş FDM’li ve FDM’siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi gösterilmiştir. Grafikte yorumlandığı üzere FDM’li PV/T kolektörün ekserjisi FDM’siz PV/T kolektöre göre yüksek çıkmıştır. En yüksek değer saat 15:00’da ulaşılmış olup %24 olarak ölçülmüştür.

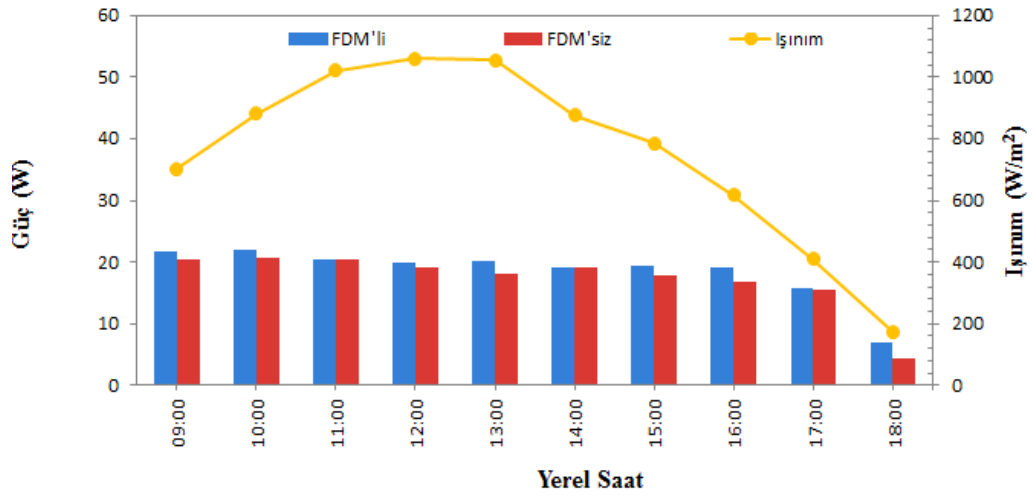


Şekil 3.20. Eğim açısı 30° olan hücre içi gölgelenmiş FDM’li ve FDM’siz PV/T kolektörlerde sıcak su çıkışları

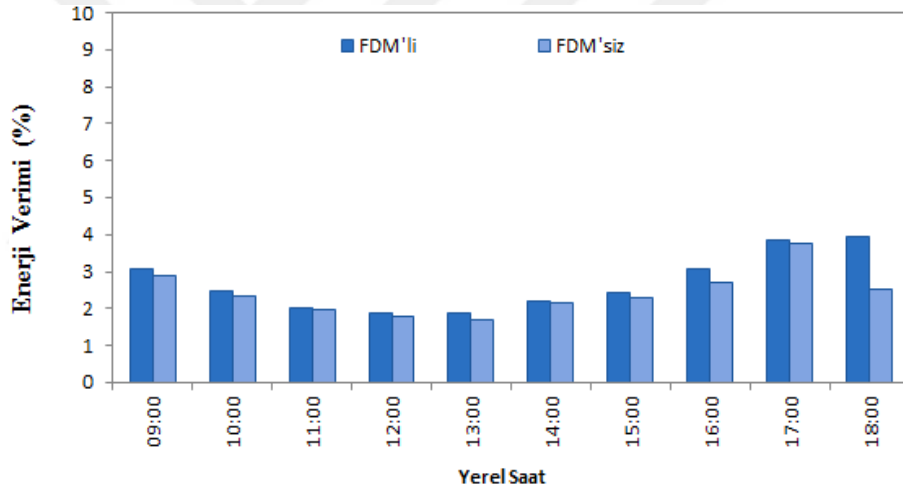
Hücre içi gölgelenmenin yapıldığı 30° eğimli kolektörlerde sıcak su çıkışları Şekil 3.20’de verilmiştir. Gölgelenmenin sıcak su çıkışlarına çok fazla etki etmediği görülmüştür. Güç, enerji ve ekserji de etkisi varken iken sıcak su da çok azdır.

3.5.2. Tam hücre gölgelendirme

Temmuz ayında yapılan deneyde 30° eğimli tam hücre gölgelenmiş kolektörün ışıınıma bağlı olarak FDM’siz ve FDM’li PV/T de güç değişimi Şekil 3.21’de verilmiştir. Hücrenin kapatılması ile yapılan güç-ışınım deneyinde aynı ışıınım değerinde gücün 80 W güçten 20W güç değerine düştüğü görülmüştür.

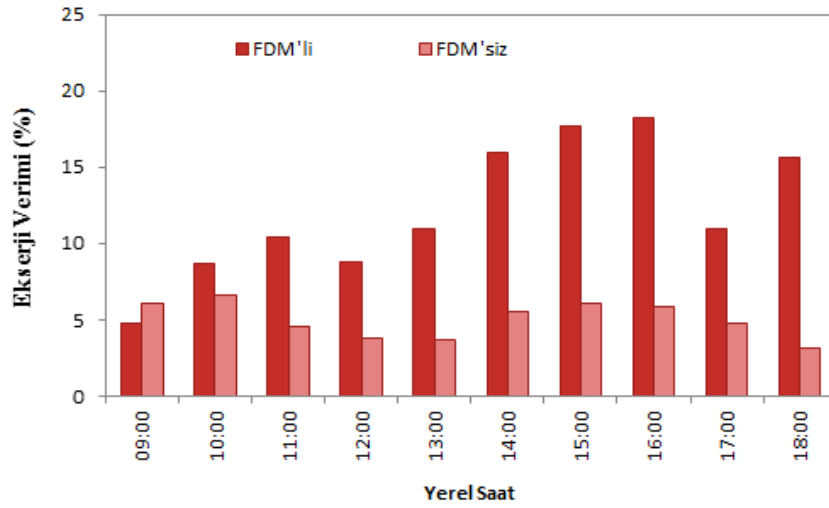


Şekil 3.21. Eğim açısı 30° olan tam hücre gölgelenmiş kolektörün ışınlıma bağlı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişimi



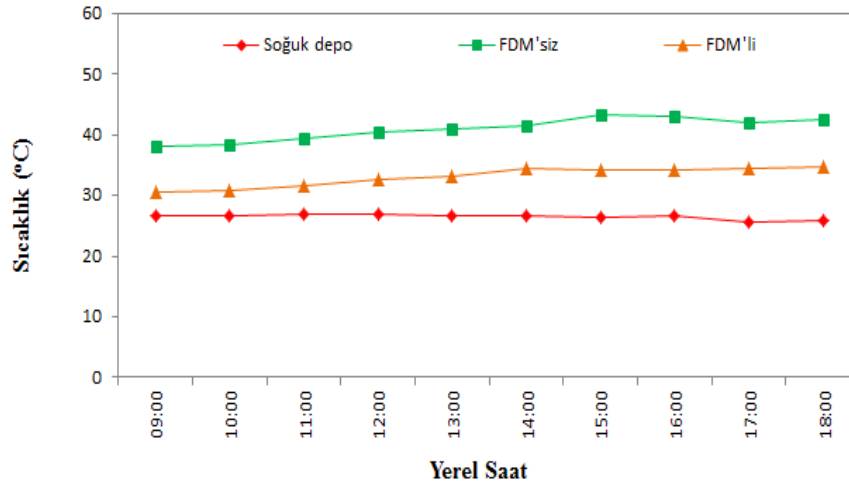
Şekil 3.22. Eğim açısı 30° olan tam hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi

Saat 09:00 ve 18:00 arası saat başı alınan 30° eğimli tam hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi Şekil 3.22' de verilmiştir. Gölgeleme olmadan yapılan deneyler göre %50 den fazla kayıp olduğu görülmüştür. FDM'li PV/T kolektörün FDM'siz PV/T kolektöre göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.



Şekil 3.23. Eğim açısı 30° olan tüm hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi

Tüm hücrenin gölgelenmiş olduğu 30° eğimli kolektörlerde yapılan ekserji deney sonuçları Şekil 3.23'de verilmiştir. Saat 09:00 ve 18:00 arası saat başı alınan veriler sonucunda gölgesiz olan çalışmalara göre daha düşük ekserji verimi elde edilmiştir. FDM'li PV/T kolektörün ekserji verimi FDM'siz PV/T kolektöre göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.



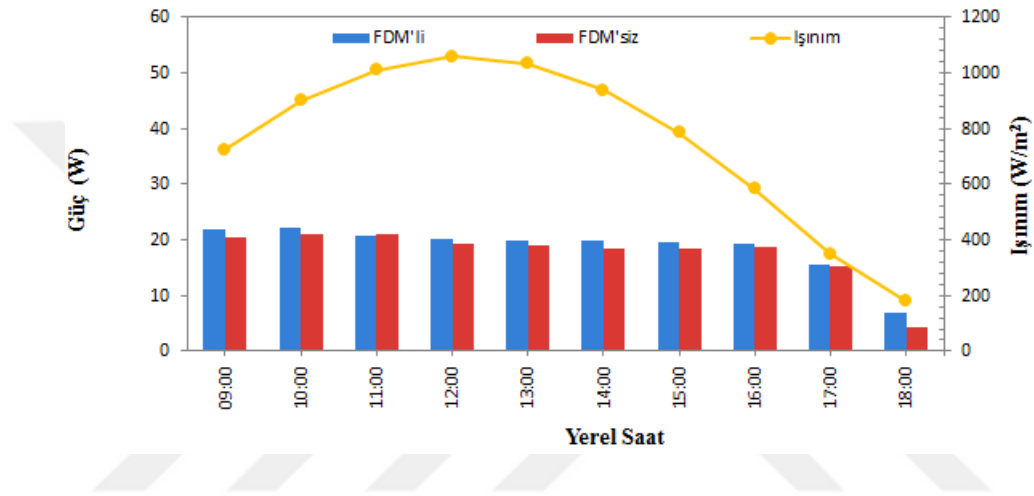
Şekil 3.24. Eğim açısı 30° olan tüm hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları

Şekil 3.24'de 30° eğimli tüm hücre gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları gösterilmiştir. Gölgelemenin sıcak suya çok fazla bir etki

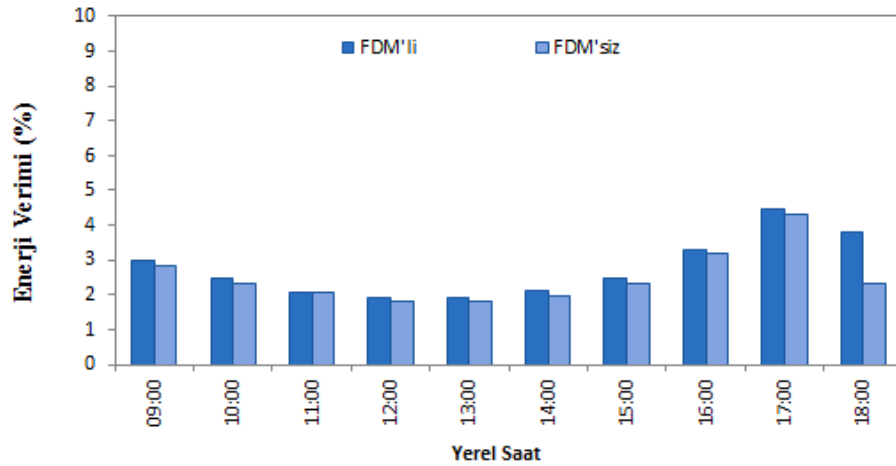
etmediği sonuçlarda gösterilmiştir. FDM'siz PV/T kolektörün sıcak su değerlerinin FDM'li PV/T kolektöre göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.

3.5.3. Hücreyi aşan gölgelendirme

Temmuz ayında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.25' de verilmiştir ve 30° eğimli hücreyi aşan gölgelenmiş kolektörün ışıma bağlı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişim grafiğidir. Aynı ışıma şartlarında gölgesiz kolektör verilerine göre % 50'den fazla güç kaybı meydana geldiği görülmüştür.

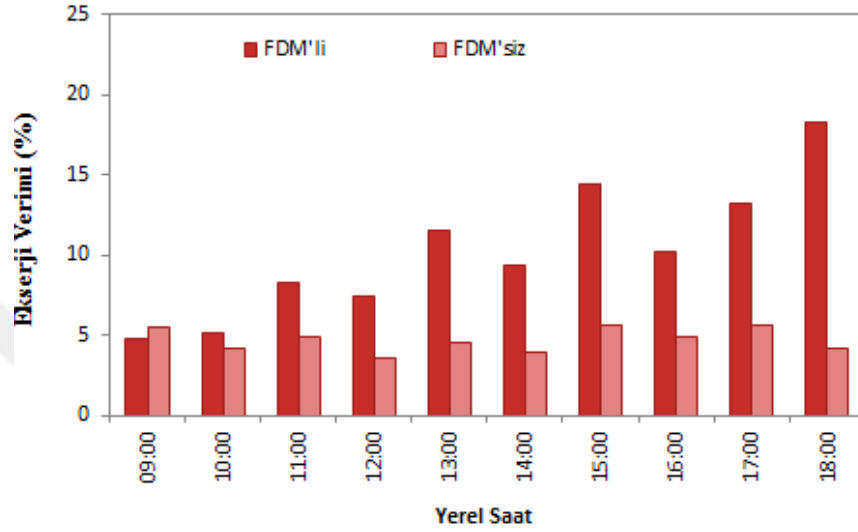


Şekil 3.25. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş kolektörün ışıma bağlı olarak FDM'siz ve FDM'li PV/T de güç değişimi



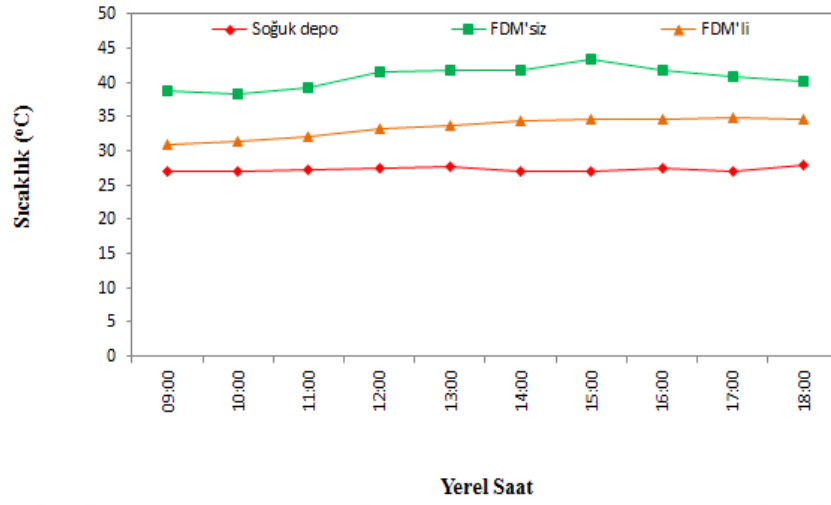
Şekil 3.26. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi

Saat 09:00 ve 18:00 arası saat başı alınan veriler sonucunda enerji verimlerinde düşüşün fazlalığı gözükmemektedir. 30° eğimli hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki enerji değişimi Şekil 3.26'da gösterilmektedir. FDM'li PV/T kolektörün enerji verimliliğinin FDM'siz PV/T ye göre %1 daha yüksek çıktığı görülmüştür.



Şekil 3.27. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörlerdeki ekserji değişimi

Ekserji verimliliği deneyinden elde edilen veriler Şekil 3.27'de verilmiştir. Hücreyi aşan gölgelenmede ekserji de düşüklük grafikte gösterilmiştir. En yüksek değer 18:00'da FDM'li PV/T kolektörde ekserji verimi yaklaşık %12 farkla FDM'siz PV/T kolektöre göre yüksek çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.28. Eğim açısı 30° olan hücreyi aşan gölgelenmiş FDM'li ve FDM'siz PV/T kolektörler de sıcak su çıkışları

Hücreyi aşan gölgelenmede ki sıcak su çıkış grafiği Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Gölgelemenin, sıcak su çıkış sıcaklıklarına etki etmediği görülmektedir. FDM'siz PV/T kolektörün çıkış sıcaklığı FDM'li PV/T kolektöre göre daha düşük çıktığı gösterilmiştir.

3.6. Belirsizlik analizi sonuçları

Tablo 3.1. Ölçülen değerlerin belirsizlik analiz sonuçları

Tanımlama	Birim	Toplam Belirsizlik (%)
Sıcaklık	°C	± 0.776
Hız	m/s	± 0.03
Işınım	W/m ²	± 0.02
Güç	W	± 1.52
Akım	A	± 0.85
Enerji verimliliği	—	± 1.29
Ekserji verimliliği	—	± 17.54

4. SONUÇLAR

Su ısıtmalı güneş kolektörlerinin çıkış su sıcaklığını ve verimini arttırmak için çeşitli yöntemler bulundu ve deneysel çalışma ile sonuçlandırıldı. Ayrıca gölgelenmenin fotovoltaik/termal sistemlerde etkisi incelendi.

Bu çalışmada dört farklı kolektör açısı ve üç farklı çapta gölgelenme incelendi. Açılar 25°, 30°, 35°, 40° olmak üzere PV/T deneyleri yapıldı ve Elazığ şartları için en verimli PV/T kolektör açısı saptandı. 6cm, 15cm, 22 cm çaplarda gölgelenmeler oluşturulup, PV/T üzerindeki etkilerine bakıldı. Çalışmada iki tane 150 W'lık PV/T kolektör alınarak PV/T'lerden birinin arkasına depo yapıldı ve farklı bir parametre olan faz değiştiren madde kullanıldı. PV/T kolektör içerisindeki su boruları bakırdan yapılmış olup iletkenliği yüksek bir malzeme seçilmiştir. Böylelikle 14 farklı parametre üzerine çalışılmış oldu.

Çalışmada 14 parametrenin ısıtım-güç, enerji verimi, ekserji verimi ve sıcak su çıkışları elde edilip grafikte gösterildi. Faz değiştiren maddenin güç, enerji verimi ve ekserji veriminde olumlu yönde etki ettiği ve değerleri yükselttiği görüldü. Sıcak su çıkışında önemli bir değişim saptanmadı. Faz değiştiren madde kolektördeki fazla ısıyı içine alarak PV/T kolektörün verimini arttırmış olduğunu gösterdi. Akşam saatlerine doğru içerisindeki ısıyı dışarıya veren faz değiştiren madde o saatlerde de yüksek enerji ve ekserji verimi elde ettiğini gösterdi.

Faz değiştiren maddelerin özelliklerine ve ekonomik açıdan uygunluğuna bakıldı ve şartlara en uygun olan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ malzemesi kullanıldı. Elazığ şartlarına göre en iyi PV/T kolektör açısı 30° olarak bulundu. Ayrıca gölgelenmeler hücreyi kaplayacak şekilde büyüdükçe güç, enerji verimi ve ekserji verimlerini %50 den fazla azalttığı sonucuna varıldı.

5. ÖNERİLER

Su ısıtmalı fotovoltaiik/termal sistemlerde uygun bir faz değiştiren madde kullanarak verim arttırılmış oldu. Deneylerde yapma olanaklarını bulunamayan durumları, bu konu hakkında araştırma yapmak isteyen araştırmacılara aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Güneş takip sistemi kullanılarak performans analizi yapılabilir.
- Farklı FDM'ler kullanılarak PV/T kolektörlerin verim değişimleri incelenebilir.
- Farklı debileri içinde analizler yapılabilir.
- Otomatik temizleme sistemi kullanılıp gölgelenmenin en aza indirilmesiyle oluşacak verim sonuçları incelenebilir.
- Farklı panel güçlerinde kolektörler kullanılabilir.
- Polikristal panel yerine diğer hücre tiplerindeki PV paneller kullanılarak deneyler tekrar edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.guneshaber.net/haber/1089-uzman-gozuyle-gunes-enerjisi-uygulamalarinin-tarihsel-gelisimi.html>, 7 Eylül 2017.
- [2] **Değirmencioğlu, C., İlken, Z.**, 2003. Havalı güneş kolektörleri üzerine bir literatür araştırması ve temel ilkeleri, *TTMD*, **23**, 28–34.
- [3] **Avezov, R.R., Akhatov, J.S., Avezova, N.R.**, 2011. A Review on PhotovoltaicThermal (PV/T) Airand Water Collectors, *Applied Solar Energy*, **47**, 169–183.
- [4] **Duffie, J. A., Beckman, W. A.**, 1991. Solar engineering of thermal processes, *John Wileyand Sons*, New York.
- [5] **Goetzberger, A., Hoffmann, V.U.**, 2005. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Üretimi. Germany, *Springer*, 0342–4111.
- [6] <http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php>, 7 Eylül 2017.
- [7] **Abuşka, M.**, Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları Dersi Notlari – II.
- [8] **Özonur K.Y.**, 2004. Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana.
- [9] **Lane G. A.**, 1983. Solar energy latent heat material , Volume I, CRC Pres Inc. 53 Boca Raton /Florida, 450.
- [10] **Feldman, D., Shapiro M. M., Banu D.**, 1986. Organic phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Mater*, **13**, 1–10.
- [11] **Abhat, A.**, 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage materials, *Solar Energy*, **30**, 313–332.
- [12] **Öztürk, H.**, 1997. Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değıştiren maddelerde depolanması üzerine bir araştırma, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana.
- [13] **Koray, A.**, 2006. Güneş Enerjisinin Depolanması ve Isıl Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

- [14] **Öztürk, H.H.**, 2005. Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of a seasonal latent heat storage system for greenhouse heating, Çukurova Üniversitesi, *Energy Conversion and Management*, **46**, 1523–1542.
- [15] **Dinçer, İ.**, 2002. Thermal energy storage systems as a key technology in energy conservation, *International Journal of Energy Research*, **26**, 567–588.
- [16] **Zhou, D., Zhao Y., Tiany C.**, 2002. Review on thermal energy storage with phase change materials in Building applications, *Applied Energy*, **92**, 593–605.
- [17] **Özonur, Y.**, 2007. Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu,. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [18] **Zalba, B., Marin, J., Cabeza, L., Mehling, H.**, 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 251–283.
- [19] **Abhat, A.**, 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage materials, *Solar Energy* , **30**, 313–332.
- [20] **Mazman, M.**, 2006. Gizli ısı depolaması ve uygulamaları, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana.
- [21] **Cedeno, F.O., Prieto, M.M., Espina, A., Garcia, J.R.**, 2001. Measurement of Temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by differential scanning calorimeter, *Thermochimica*, **369**, 39–50.
- [22] **Suppes, G. J., Goff, M.J., Lopes, S.**, 2003. Latent heat characteristic of fatty acid derivatives pursuant phase change material applications, *Chemical Engineering Science*, **58**, 1751–1763.
- [23] **Sarıkaya, Y.**, Fizikokimya, Gazi kitabevi, 2000.
- [24] **Raghuraman, P.**, 1981. Analytical Predictions of Liquid and Air Photovoltaic / Thermal, Flat-Plate Collector Performance, *J. Sol. Energy Eng*, **103**, 291-298
- [25] **Chow, T.T.**, 2003. Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model, *Solar Energy*, **75**, 143–152.

- [26] **Kalogirou, S.A., Tripanagnostopoulos, Y.**, 2006. Hybrid PV/T solar systems for domestic hot Water and electricity production, *Applied Thermal Engineering*, **27**, 1259–1270.
- [27] **Chow, T.T., Pei, G., Fong, K.F., Lin, Z., Chan, A.L.S., Ji, J.**, 2009. Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glasscover, *Applied Energy*, **86**, 310–316.
- [28] **Huang, B.J., Lin, T.H., Hung W.C., Sun, F.S.**, 2001. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems, *Solar Energy*, **70**, 443–448.
- [29] **Joshi, A.S., Tiwari, A.**, 2007. Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic– thermal (PV/T) air collector, *Renewable Energy*, **32**, 2223–2241.
- [30] **Dupeyrat, P., Menezo, C., Rommel, M., Henning, H.M.**, 2011. Efficient Single Glazed Flat Plate Photovoltaic-Thermal Hybrid Collector for Domestic Hot Water System, *Solar Energy*, **85**, 1457–1468.
- [31] **Tripanagnostopoulos, Y., Nouisia, T., Souliotis, M., Yianoulis, P.**, 2002. Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems, *Solar Energy*, **72**, 217–234.
- [32] **Gang, P., Huide, H., Huijuan, Z., Jie, J.**, 2012. Performance Study and Parametric Analysis of A Novel Heat Pipe PV/T System, *Energy*, **37**, 384–395.
- [33] **Kılıkış, B.**, 2012. Üçlü Güneş Enerjili Net Sıfır Enerji Evi, Tesisat Mühendisliği, **127**, 61–67.
- [34] **Khandelwal, S., Reddy, K.S., Srinivasa Murthy, S.**, 2007. Performance of Contact and Non-Contact Type Hybrid Photovoltaic-Thermal (PV/T) Collectors, *International Journal of Low Carbon Technologies*, **2**, 359–375.
- [35] **Ibrahim, A., Jin, G.L., Daghigh, R., Salleh, M.H.M., Othman, M.Y., Ruslan, M.H., Mat, S., Sopian, K.**, 2009. Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Air and Water Based Solar Collectors Suitable for Building Integrated Applications, *American Journal of Environmental Sciences*, **5**, 618–624.
- [36] **Deris, N.**, 1979. Güneş Enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği, Sermet matbaası, İstanbul.
- [37] **Messenger, R.A., Ventre, J.**, 2004. Photovoltaic Systems Engineering 2nd ed. CRC Pres, New York, 21-25, 31-35, 415-431

- [38] **Engin, D., Çolak, M.**, 2008. Yarı saydam güneş pilli-termal toplayıcısının (su dolaşımı) İzmir koşullarında analizi. C.B.Ü. Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi Cilt:2 Sayı:10.
- [39] **Nkwetta, D.N., Haghighat, F.**, 2014. Thermal energy storage with phase change material A state-of-the art review, *Sustainable Cities and Society*, **10**, 87–100.
- [40] **Tyagia, V.V., Panwarb, N.L., Rahima, N.A., Kothari, R.**, 2012. Review on solar air heating system with and without thermal energy storage system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 2289–2303.
- [41] **Zhanga, X., Zhaoa, X., Smitha, S., Xub, J., Yuc, X.**, 2012. Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 599–617.
- [42] **Hegazy, A.A.**, 2000. Comparative Study of the Performances of Four Photovoltaic/Thermal Solar Air Collectors, *Energy Conversion & Management*, **41**, 861–881.
- [43] **Anand, S., Tiwari, A.**, 2006. Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) air collector, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi 110016, India
- [44] **Bakker, M., Zondag H.A., Elswijk M.J., Strootman, K.J., Jong, M.J.**, 2004. Performance and costs of a roof-sized PV/thermal array combined with a 49 ground coupled heat pump Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, P.O. Box 1, 1755 ZG Petten, The Netherlands.
- [45] **Sopian, K., Yigit, K.S., Liu, H.T., Kakac, S., Veziroglu, T.N.**, 1996. Performance analysis of photovoltaic thermal air heaters, *Energy Conversion and Management*, **37**, 1657–1670.
- [46] **Shahsavar., Ameri, M.**, 2010. PV/T Hava kolektörü İran Shahid Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü.
- [47] **Tiana, Y., Zhao, C.Y.**, 2013. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications, *Applied Energy*, **104**, 538–553.
- [48] **Kolb, A., Winter, E.R.F., Viskanta, R.**, 1998. Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber, *Solar Energy*, **65**, 91–98.

- [49] **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.
- [50] **Umut, İ.**, 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Elektrik Enerjisine Dönüştürmede Kullanılan Yöntemler ve Örnek Uygulamalar, Yüksek Lisans, Trakya Üniversitesi.
- [51] **Yeh, H. M., Ho, C. D., Lin, C. Y.**, 2000. Effect of collector aspectratio on thecollector efficiency of upward type baffled solar air heaters, *Energy Conversion& Management*, **41**, 971–981.
- [52] **Şenpınar, A.**, 2006. Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar ile Kontrolü, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Elazığ.
- [53] **Beckman William A., Duffie John A.**, 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, JOHN WILEY& SONS, INC, Canada, 888.
- [54] **Messenger, R., Ventre, J.**, 2000. Photovoltaic Systems Engineering, CRC Pres LLC, Florida, 385.
- [55] <http://www.enerjibes.com/piranometre>, 22 Eylül 2017.
- [56] <http://www.nkfu.com/anemometre-nedir>, 22 Eylül 2017.
- [57] <http://www.bilim-teknoloji.com/forum/konu/isil-cift-nedir-thermocouple/>, 4 Ekim 2017.
- [58] <https://www.muhandisbeyinler.net/multimetre-nedir-ve-multimetre-kullanimi/>, 5 Ekim 2017.
- [59] <http://www.ram-limited.com/tr/1351/datalogger-nedir/>, 5 Ekim 2017.
- [60] <http://www.nedir.com/reosta>, 7 Ekim 2017.
- [61] **Özgener, L., Hepbaşlı, A.**, 2003. HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliliği ve Uygulamaları, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 8-11 Ekim.
- [62] **Çengel, Y. A., Boles, M. A.**, 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T., McGraw-Hill – Literatür, İstanbul, 867.
- [63] **Dinçer, İ.**, 2002. The Role of Exergy in Energy Policy Making, *Energy Policy*, **30**, 137–149.

- [64] **Würfel, P.**, 2005. Physics of Solar Cells, Wiley and Sons, ISBN 3-527-40428-7, 480.
- [65] **Joshi, A.S., Dincer, İ., Reddy, B.V.**, 2009. Energy and Exergy Analyses of a Photovoltaic System, **35**, 578–588.
- [66] **Holman, J.P.**, 1994. Experimental methods for engineers, 6th ed. Singapore: McGrawHill
- [67] **Esen, H.**, 2008. Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates, Building and Environment, **43**, 1046-1054.



ÖZGEÇMİŞ

Eda BAKIR, 25 Nisan 1991 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlköğrenimini Elazığ Namık Kemal İlköğretim Okulu'nda yapmıştır. Lise öğrenimini Elazığ Mehmet Koloğlu Anadolu Lisesi'nde gördükten sonra, 2011 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırmış olup bu bölümden 2015 yılında mezun olmuştur. 2015 yılı Eylül ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitimine başlamıştır.

