

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ PİLİ-TERMAL (PV-T) HİBRİT SİSTEMİN
OPTİMİZASYONUNUN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Fatma DUMAN**

**Danışman
Doç. Dr. Kemal ATİK**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Mayıs 2014
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ PİLİ-TERMAL (PV-T) HİBRİT SİSTEMİN
OPTİMİZASYONUNUN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Fatma DUMAN**

**Danışman
Doç. Dr. Kemal ATİK**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBY-12-4088 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

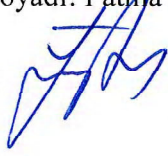
**Mayıs 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Fatma DUMAN

İmza:

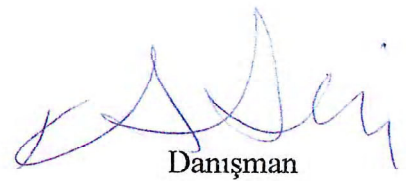
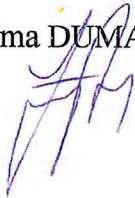


YÖNERGEYE UYGUNLUK

Güneş Pili-Termal (PV-T) Hibrit Sistemin Optimizasyonunun Deneysel Olarak İncelenmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Fatma DUMAN

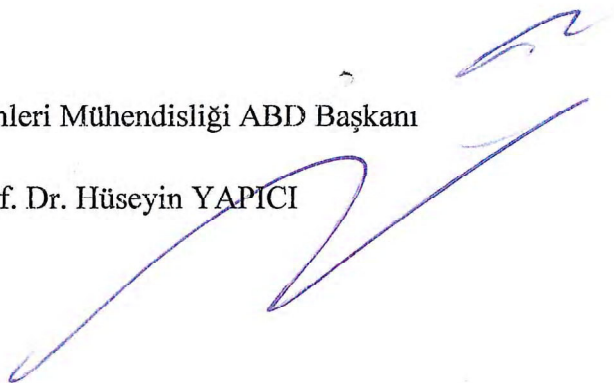


Danışman

Doç. Dr. Kemal ATİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin YAPICI

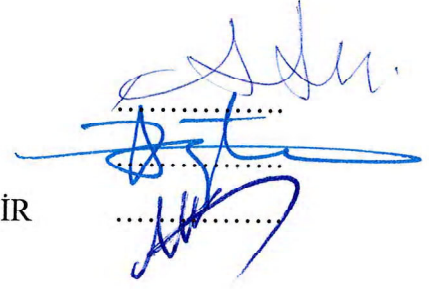


Doç. Dr. Kemal ATİK danışmanlığında Fatma DUMAN tarafından hazırlanan “**Güneş Pili-Termal (PV-T) Hibrit Sistemin Optimizasyonunun Deneysel Olarak İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

02 / 05 / 2014

JÜRİ:

Danışman :Doç. Dr. Kemal ATİK
Üye :Doç. Dr. Tahir AYATA
Üye :Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 13/05/2014 tarih ve 2014/22-19 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

13.05.2014



Prof.Dr. Kazım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince bana verdiđi deđerli fikir ve gűrűőleri ile yardımını esirgemeyen saygıdeđer hocam Doç. Dr. Kemal ATİK' e, çalıőmalarım boyunca bana sabır gűsteren aileme ve deđerli arkadaőlarım teőekkűrlerimi sunarım.

Fatma DUMAN

Kayseri/Mayıs 2014

GÜNEŞ PİLİ-TERMAL (PV-T) HİBRİT SİSTEMİN OPTİMİZASYONUNUN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Fatma DUMAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2014

Danışman: Doç. Dr. Kemal ATİK

ÖZET

Temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanan güneş pilleri, üzerlerine gelen ışınların bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneş pilleri elektrik enerjisine dönüştürülemeyen ışınların bir kısmını yansıtıp; bir kısmını da ısıya dönüştürdükleri için sıcaklıkları artmakta ve bu sıcaklık artışı elektriksel verimlerini düşürmektedir. Elektrik verimini yükseltmek için hücre sıcaklıklarının düşürülmesi gerekmektedir. Güneş pilinin soğutulmasıyla hem verim artışı sağlayan hem de ısı enerjisi elde edilmesi temeline dayanan güneş pili-termal (PV-T) hibrit sistemler mevcuttur. Ülkemizde güneş enerjisi yaygın olarak su ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Termal kolektörlerin kullanımı yaygındır ancak PV-T sistemler çok fazla bilinmemektedir.

Bu çalışmada hem elektrik hem de sıcak su üreten, PV-T ve termal kolektörlerin birlikte kullanıldığı bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin farklı hava şartları ve debilerde elde edilen deneysel verileri kullanılarak kolektörlerin modelleri elde edilmiştir. Bu modeller kullanılarak istenen elektriksel ve ısı güçleri karşılayabilen optimum kolektör sayılarının tespitine imkan veren bir program geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışma güneş pili ve termal kolektörler yerine daha avantajlı olan PV-T kolektörün tercih edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Termal kolektör, PV-T kolektör, Güneş pili, Optimizasyon

EXPERIMENTAL EXAMINATION OF OPTIMIZATION OF PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV-T) HYBRID SYSTEM

Fatma DUMAN

Erciyes University, Graduate School of Natural Sciences

Master Thesis, May 2014

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Kemal Atik

ABSTRACT

Solar cells benefiting from solar energy which is a clean and renewable source of energy convert some part of coming upon rays into electrical energy. Solar cells reflect or convert into temperature some part of rays which can not be converted into electrical energy. Because of this, their temperature increase and electrical efficiency decrease. Temperature of the cells needs to be reduced to increase electrical efficiency. There are thermal solar cell (PV-T) hybrid systems based on providing efficiency and obtaining temperature energy with cooling solar cells. Solar energy is commonly used in water heating systems in our country. For this reason, usage of thermal collectors is common PV-T systems are not very well-known.

In this study, a system is designed which produce both electricity and hot water and use PV-T and thermal collectors together. Models of the collectors were obtained by using scientific data of this system at different air conditions and flows. By using these models, a program is developed which allows identification of optimum number of collectors which can afford desired electrical and thermic power. In this study, PV-T collector are shown to preferred the most adventure than solar cell and thermal collector.

Keywords: Thermal collector, PV-T collector, Solar cell, Optimization.

İÇİNDEKİLER

GÜNEŞ PİLİ-TERMAL (PV-T) HİBRİT SİSTEMİN OPTİMİZASYONUNUN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1.Güneş Enerjisi	2
1.1.1. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.....	3
1.1.2.Türkiye’de Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi	3
1.1.3.Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	4
1.1.4.Kayseri İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	8
1.1.5.Dünyada Yenilenebilir Enerjinin Durumu.....	9

1.1.6.Güneş Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları.....	11
1.2.Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	12
1.2.1.Güneş Pili Teknolojisi	12
1.2.2.Isıl Güneş Teknolojisi.....	13
1.2.2.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri	13
1.2.3.Güneş Pili Termal (PV-T) Hibrit Sistem Teknolojisi.....	14
1.2.3.1. Sıvılı PV-T Kollektör	15
1.2.3.2. Havalı PV-T Kollektör	17
1.2.3.3. PV-T Yoğunlaştırıcı Hibrit Sistemler	18

2.BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM

2.1.Deneysel Çalışma.....	20
2.1.1.Deney Düzenegi	20
2.1.1.1. PV-T Hibrit Kollektör	22
2.1.1.2. Termal Kollektör	23
2.1.1.3. Debi Sensörü	24
2.1.1.4. Ölçüm Sistemi	24
2.1.1.5. Piranometre	25
2.1.1.6. Termokupllar.....	26
2.2.Yöntem.....	26
2.2.1.Elektriksel ve Isıl Güç Hesaplamaları	26
2.2.2.Sistemin Modellenmesi.....	29
2.2.3.Sistemin Optimizasyonu.....	32

3.BÖLÜM**ARAŞTIRMA VE BULGULAR**

3.1.Araştırma ve Bulgular	35
--	-----------

4.BÖLÜM**TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER**

4.1. Sonuçlar.....	42
---------------------------	-----------

KAYNAKÇA.....	43
----------------------	-----------

EKLER.....	47
-------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ	56
-----------------------	-----------

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltmalar

OECD	İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı
ERÜ	Erciyes Üniversitesi
MYO	Meslek Yüksek Okulu
YEGM	Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
BP	British Petroluem
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
Tübitak MAM	Tübitak Marmara Araştırma Merkezi
FF	Doldurma faktörü
mono-Si	Mono kristalin silikon
pc-Si	Polikristalin silikon
a-Si	Amorf silikon

Simgeler

Sembol	Anlamı	Birimi
σ_{ks}	Katı-sıvı ara yüzey enerjisi	mJ/m ²
c_p	Suyun özgül ısısı	kJ/kg°C
A	PV-T kollektör alanı	m ²
U	PV-T kollektörde oluşan gerilim	V
P_e	PV-T kollektörde üretilen elektrik enerjisi	W
G	Işınım Şiddeti	W/m ²
I_{sc}	Kısa devre akımı	A
I_{max}	Maksimum akım değeri	A
\dot{m}	Su akış debisi	kg/s
Q_{PV-T}	PV-T kollektörde üretilen ısı enerjisi	W
Q_t	Termal kollektörde üretilen ısı enerjisi	W
Q_T	Toplam ısı enerjisi	W
Q_{gg}	Güneşten gelen enerji	W
T_0	Ortam sıcaklığı	°C
T_g	PV-T kollektöre giren su sıcaklığı	°C
$T_ç$	PV-T kollektörden çıkan su sıcaklığı	°C
V_{oc}	Açık devre gerilim	V
V_{max}	Maksimum gerilim	V
ΔT_1	PV-T kollektördeki giriş-çıkış sıcaklık farkı	°C
ΔT_2	Termal kollektörde giriş-çıkış su sıcaklık farkı	°C

η_e	Elektrik verimi	
η_t	Termal verim	
n_{pv-t}	PV-T kollektör sayısı	Adet
n_t	Termal kollektör sayısı	Adet

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	6
Tablo 1.2. 2010 yılı itibariyle Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli	7
Tablo 1.3. Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi üretimi	8
Tablo 1.4. Bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları	9
Tablo 1.5. Fosil yakıtların tükenme ömürleri	10
Tablo 2.1. Deneyde kullanılan PV-T güneş pili termal kollektör özellikleri.....	23
Tablo 2.2. Deneyde kullanılan termal kollektör özellikleri	23
Tablo 2.3. Deneyde kullanılan debi sensörünün özellikleri.....	24
Tablo 2.4. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri.....	25
Tablo 2.5. Piranomotre özellikleri	25
Tablo 2.6. Termokupl teknik özellikleri	26

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Türkiye güneşlenme süreleri	5
Şekil 1.2. Türkiye global radyasyon değerleri	6
Şekil 1.3. Türkiye Güneş Haritası	7
Şekil 1.4. Kayseri ili güneşlenme saatleri.....	8
Şekil 1.5 Kayseri ili global radyasyon değerleri	9
Şekil 1.6. 2009 yılı Dünyada yenilenebilir enerji araştırmaları için yapılan harcamalar	11
Şekil 1.7. Düzlemsel güneş kolektörü	14
Şekil 1.8. Sıvılı PV-T	15
Şekil 1.9. Sıvılı PV/T sistem uygulaması	16
Şekil 1.10. Havalı PV-T.....	17
Şekil 1.11. Güneş yoğunlaştırıcıları	19
Şekil 2.1. Erciyes Üniversitesi (ERÜ) Mustafa Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksek Okulu (MYO)'nda kurulan deney düzeneği	21
Şekil 2.2. Deney düzeneğinin prensip şeması.....	22
Şekil 2.3. Ölçüm Sisteminin Grafikselsel Gösterimi.....	24
Şekil 2.4. Deneyde kullanılan termokupl resmi	26
Şekil 2.5. Modellemede kullanılan giriş çıkış parametreleri	29
Şekil 2.6. f fonksiyonunu oluşturmak için hataları minimum yapan çalışma.....	31
Şekil 2.7. Elde edilen eşitlikteki regresyon katsayılarının hesaplandığı matris	32

Şekil 2.8. Kafes arama yöntemi	33
Şekil 2.9. Optimizasyonda kullanılan akış şeması	34
Şekil 3.1. Sabit ortam sıcaklığında elektrik güç üretiminin güneş ışınımı ile değişimi	36
Şekil 3.2. Sabit ortam sıcaklığında ısı güç üretiminin güneş ışınımı ile değişimi	36
Şekil 3.3. Sabit ışınım şiddetinde ortam sıcaklığının elektriksel güç üretimine etkisi	37
Şekil 3.4. Sabit ışınım şiddetinde debi değişiminin elektrik üretimine etkisi	37
Şekil 3.5. Sabit ışınım şiddetinde değişen debi değerlerinde elektrik üretim grafiği	37
Şekil 3.6. Örnek 1 optimizasyonun ilk adımının ekran görüntüsü	38
Şekil 3.7. Örnek 1 optimizasyonun son adımının ekran görüntüsü	39
Şekil 3.8. Örnek 1 optimizasyon sonucunun grafiksel olarak gösterimi	39
Şekil 3.9. Örnek 2 optimizasyonun ilk adımının ekran görüntüsü	40
Şekil 3.10. Örnek 2 optimizasyonun son adımının ekran görüntüsü	41
Şekil 3.11. Örnek 2 optimizasyon sonuç grafiği	41

GİRİŞ

Fosil yakıtların giderek azalması ve çevreye zararlı gazlar vermesi nedeniyle, ülkeler tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen enerji üretiminin ve kullanımının yeni yollarını aramaya başlamışlardır. Fosil yakıt kaynaklarının çoğunluğu sanayileşmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Güneş bol ve tükenmeyen enerji kaynaklarından biridir. Çevreyi kirletici duman, gaz, kükürt, karbon monoksit ve radyasyon gibi atıkları olmadığından temiz enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi yerel uygulamalara elverişli olduğundan, enerjiye ihtiyaç duyulan her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür ve dışa bağımlı olmadığından dolayı ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.

Ülkemizde güneş enerjisi yaygın olarak su ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Termal kollektör kullanımı bu nedenle yaygındır ancak güneş pili - termal sistemler çok fazla bilinmemektedir. PV-T sistemlerde elektrik üretilirken aynı zamanda ısıtma da yapılmaktadır. Bazı ülkelerde bu konuda araştırmalar yapılmış ve bu sistem kullanılmakta iken ülkemizde bu konuda yapılan bilimsel çalışma sayısı yetersiz olup yaygın olarak kullanılmamaktadır. PV-T hibrit sistemler hem elektrik hem de ısı elde edilmesine olanak sağlayarak enerjinin daha verimli kullanılması mümkün olacaktır. Elektrik üretirken atık ısının kullanılıyor olması bu sistemleri daha cazip hale getirmektedir.

Bu çalışmada hem elektrik hem de sıcak su üreten, PV-T ve termal kollektörlerin birlikte kullanıldığı bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin farklı hava şartları ve debilerde elde edilen deneysel verileri kullanılarak kollektörlerin modelleri elde edilmiştir. Bu modeller kullanılarak istenen elektriksel ve ısıl güçleri karşılayabilen optimum kollektör sayılarının tespitine imkan veren bir program geliştirilmiştir.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışınımından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Güneşin korunda hidrojen çekirdekleri füzyon yaparak helyum çekirdekleri oluşmakta ve bu tepkimeler sonucu büyük bir enerji ortaya çıkmaktadır. Güneşin toplam ışınması 3.8×10^{26} J/sn olduğundan, güneşte bir saniyede yaklaşık 600 milyon ton proton, yani hidrojen tüketilmektedir. Bu sayı ilk bakışta ürkütücü gibi gelse de, güneşin kütlesi ve bu kütlenin %90'ına yakın kısmının protonlar olduğu düşünülürse, güneşteki hidrojen yakıtının tüketilmesi için yaklaşık 5 milyar yıllık bir süre olduğu ortaya çıkar. Bu yönüyle güneş, insanlık için tükenmez bir enerji kaynağıdır [1].

Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve $1,370 \text{ W/m}^2$ değerindedir; ancak yeryüzünde $0-1,100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden daha fazladır. Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren büyük bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr, güneş ışınlarının sıcaklık farkı oluşturmasından meydana gelir. Kömür ve bitki artıklarından petrol meydana gelmesi de güneş enerjisi sayesinde gerçekleşmektedir.

1.1.1. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

Güneş ışınları, asırlardan beri yeryüzüne geldiği halde, güneş enerjisinden yararlanmaya

başlama oldukça yenidir. Archimedes (Arşimed)'in (M.Ö. 267) içbükey aynalarla güneş enerjisini odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmektedir. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yılında Galile'nin merceği bulmasıyla artmıştır. İlk defa Fransa'da, Belidor (1725) tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir pompa yapılmıştır. Mouchot, 1860 yılında parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınlarını odaklayarak, küçük bir buhar makinesi yapmıştır. İlk defa güneş enerjisi ile çalışan, hava çevrimli makineyi, 1868 yılında Ericsson geliştirmiştir. Bu yıllarda güneş enerjisi konusunda çalışmalar yoğunlaşmış, tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Adams, Hindistan'da yedi askerin yemeğini en soğuk ay sayılan Ocak ayında, konik yansıtıcı güneş ocağıyla iki saatte pişirmiştir. Shuman ve Boys, 1913 yılında parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üreticisi yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil Nehrinden su çeken sulama pompasını çalıştırmışlardır [2]. H. Buchberg ve J.R. Roulet adlı bilim adamları güneş kolektörü ve depo ile komple bir sistem yaparak, maliyetleri azaltmak için çalışmalar yapmışlardır. Kurdukları sistemin fiziki olarak yeterliliklerini incelemişlerdir. Jalurai ve Gupta adlı bilim adamları güneş enerjisi depolama teknikleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Normal çevre şartları altında depoda sirküler olan suyun depo içerisinde sıcaklık farkına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden deponun alt tabakasında daha soğuk, üst tabakasında ise daha sıcak su bulunmaktadır [3].

Birinci Dünya Savaşı ve sonrasında petrolün önem kazanmasıyla güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar araştırma seviyesinde kalmıştır. Güneş enerjisinin önem kazanması daha çok 1973 yılındaki dünya enerji kriziyle başlamıştır. Petrol fiyatının gittikçe artması, yeni kaynaklar üzerindeki çalışmaları artırmış, özellikle güneş enerjisi, üzerinde en çok çalışılan konu olmuştur.

1.1.2. Türkiye'de güneş enerjisinin tarihsel gelişimi

1970'lerin ortalarında, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ülkemizde de özellikle güneş enerjisinin ısıl uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir [4].

Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir'de gerçekleştirilmiştir.Yine ilk pasif güneş enerjisi uygulaması Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) bünyesinde 1975 yılında tesis edilmiştir [5].

Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ağırlıklı olarak ODTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Yıldız ve Ege Üniversiteleri tarafından yaygın olarak yürütülmektedir. Türkiye'deki tek Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuştur. 1980'lerin sonunda bu konudaki çalışmaları devlet destekli Tübitak Marmara Araştırma Merkezi (Tübitak MAM) yürütmektedir. Tübitak MAM, güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerjisi ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977-1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklemiştir. Yine 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü güneş pillerinin tasarımı ve üretimi konusundaki çalışmaları desteklemiştir. Devlet Meteoroloji Enstitüsü geçen yüzyılın başından itibaren gittikçe artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır. Diğer taraftan Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü (YEGM)'nde güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğunlaştıran toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmaları imkân sağlamaktadır. Bu kuruluş 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin geliştirilmesinden sorumludur. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha çok araştırma ve geliştirme ve projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber, son yıllarda kaynakların tespiti ve potansiyel tayini ağırlık kazanmıştır. Makine ve Kimya Enstitüsü Kurumu ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretimi, testleri ve pazarlanmasına yönelik çalışmaları kısa sürelerle gerçekleştirmiştir. Türkiye'deki güneş enerjisi araştırmalarını güneş enerjisi potansiyelinin tespiti ve tayini hakkındaki çalışmalar ile güneş enerjisi teknolojisiyle ilgili çalışmalar olarak toplamak mümkündür.

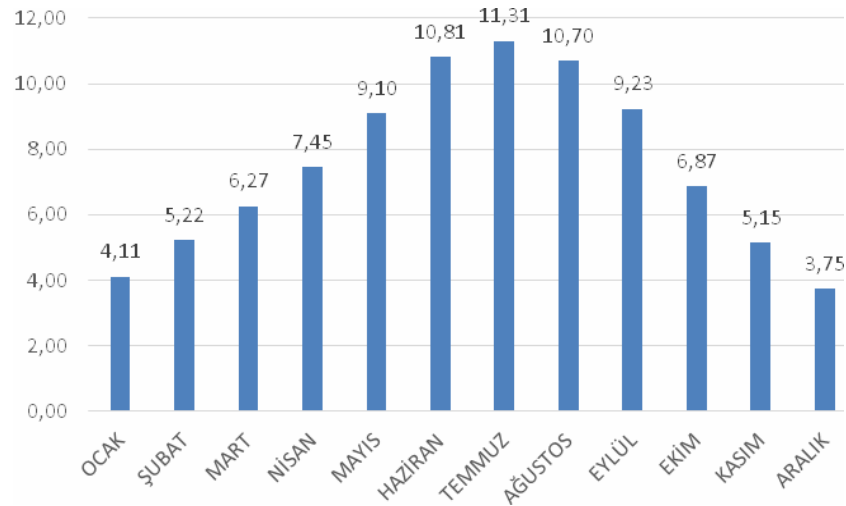
1.1.3. Türkiye' de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, 36°- 42° kuzey enlemleri ve 26°- 45° doğu meridyenleri arasındaki güneş bandında bulunmaktadır. Türkiye'nin 9.8 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP)'u ısı uygulamaları olmak üzere yıllık 36.2 MTEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın on ayı boyunca bu potansiyelin teknik ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün

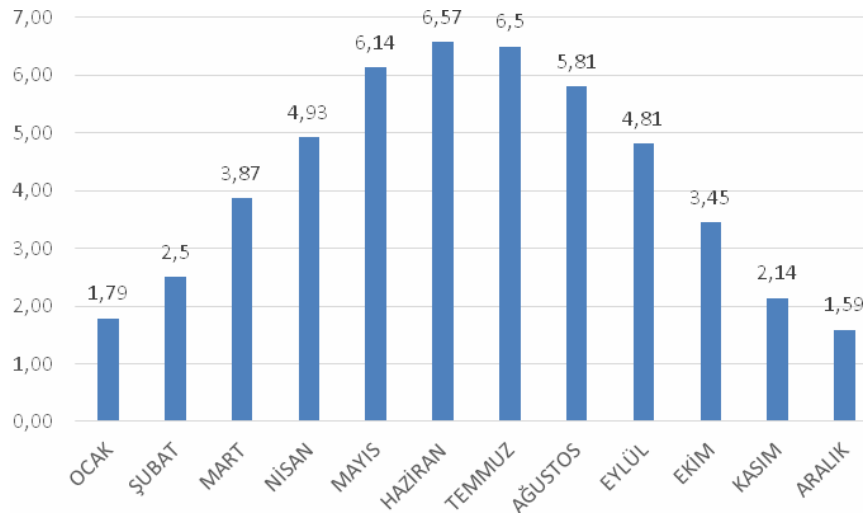
%63'ünden ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanılabilir [6]. Bilinen fosil yakıt rezervlerinin toplamı 2454 MTEP kadardır. Ülkemizde kullanılabilir ve/veya ekonomik boyutları ile 25 MTEP/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgâr ve 32 MTEP/yıl biyogaz enerji potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle Türkiye, yenilenebilir enerjiler üzerinde atılım yapmak için tüm doğal olanaklara sahip bir ülkedir ve güneş enerjisi Türkiye'nin en fazla faydalanabileceği doğal kaynağıdır [7].

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından çoğu ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde 1966-1982 yıllarında ölçülen ışıınım şiddeti ve güneşlenme süresi verilerinden yararlanarak YEGM tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama toplam ışıınım şiddetinin 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²), ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin ise 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat) olduğu tespit edilmiştir.

Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de verilmiştir. Bu grafiğe göre güneşlenme süresi en fazla temmuz ayında gerçekleşmektedir. Aralık ayında ise güneşlenme süresi minimumdur. Global radyasyon değeri en az aralık ayında, en fazla ise haziran ayında gerçekleşmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [8].



Şekil 1.2 Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [8].

Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz bölgesi gelmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ülkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kWh/m² ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bunun yanında Karadeniz bölgesi Türkiye'nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir. Bu veriler ışığında Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji 10¹⁵ kWh kadardır. Tablo 1.1'de Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı görülmektedir. Şekil 1.3'de Türkiye güneş haritası görülmektedir.

Tablo 1.1 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [9].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971



Şekil 1.3 Türkiye Güneş Haritası [8, 10].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası çalışması sonucunda, Türkiye'de 56 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji kapasitesi bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretim imkânının olduğu belirlenmiştir [10].

Yapılan çalışmalar sonucunda 2010 yılı sonu itibariyle tespit edilmiş bulunan yerli enerji kaynakları potansiyelimiz Tablo 1.2'de verilmektedir.

Tablo 1.2. 2010 Yılı İtibariyle Türkiye'nin Yerli Kaynak Potansiyeli [11].

Kaynak	Potansiyel
Linyit	11.4 milyar ton
Taş kömürü	1.3 milyar ton
Asfaltit	77.5 milyon ton
Ham petrol	44.3 milyon ton
Bitümler	1.6 milyar ton
Hidrolik	129.4 kWh /yıl
Doğalgaz	6.2 milyar m ³
Rüzgar	48.000 MW
Jeotermal	32.100 MW/yıl
Biyokütle	8.6 MTEP
Güneş Enerjisi	32.6 MTEP
Doğal Uranyum	9.129 ton

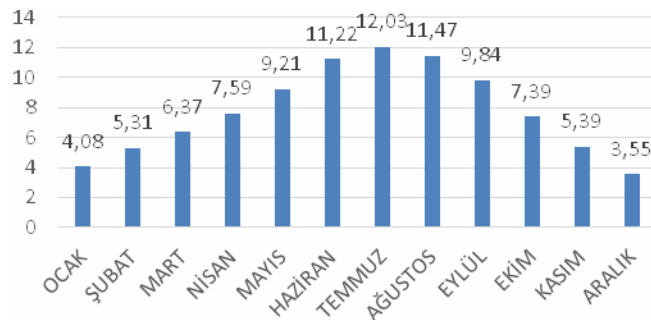
Türkiye'nin yıllara göre güneş enerjisi üretimi ise Tablo 1.3'de verilmiştir. Ülkemizde 1998 yılında güneş enerjisi üretimi 210 bin ton eşdeğer petrol (TEP) iken, 2001 yılında 80 bin TEP artış göstererek 290 bin TEP'e ulaşmıştır.

Tablo 1.3 Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi üretimi [10, 12].

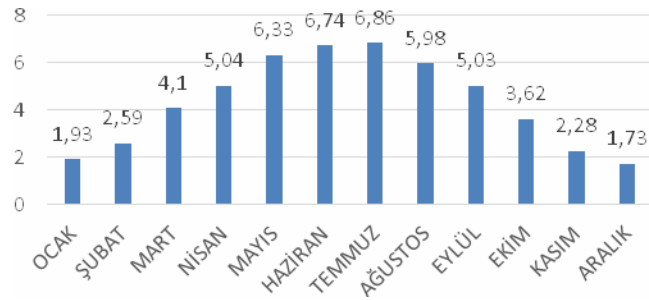
Yıllar	Güneş Enerjisi Üretimi (Bin Tep)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290
2006	403
2007/2008	420
2009	429
2010	432
2011	630
2012	768

1.1.4. Kayseri İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin orta kuşağında $37^{\circ} 45'$ ile $38^{\circ} 18'$ kuzey enlemleri ve $34^{\circ} 56'$ ile $36^{\circ} 58'$ doğu boylamları arasında bulunan Kayseri güneş radyasyon değerleri 1600-1700 kWh/m² yıl dır. En uzun güneşlenme süreleri Nisan-Eylül ayları arasında ve gün içerisinde ortalama 7-12 saat civarındadır. Şekil 1.4'de Kayseri ili güneşlenme saatleri ve Şekil 1.5' te Kayseri ili global radyasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 1.4 Kayseri ili güneşlenme süreleri (saat)



Şekil 1.5 Kayseri ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)

1.1.5. Dünya’da Yenilenebilir Enerjinin Durumu

Fosil yakıtların giderek azalması ve çevreye zararlı gazlar vermesi nedeniyle, ülkeler tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen enerji üretiminin ve kullanımının yeni yollarını aramaya başlamışlardır. Fosil yakıt kaynaklarının çoğunluğu sanayileşmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Bu ülkelerin sahip oldukları kaynaklar ve nüfuslarının az olmasına karşın, kullandıkları kaynak miktarı çok fazladır. Tablo 1.4’de bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları verilmiştir. Tabloya bakıldığında fosil kaynaklı yakıtların kullanımının, artan dünya nüfusu ve enerji ihtiyacı ile aynı oranda arttığı görülmektedir.

Tablo 1.4. Bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları [13].

Enerji Türü	1925	1938	1950	1960	1968	1980	1992
Katı Fosil Yakıtlar	36,039	37,856	46,675	58,541	67,830	77,118	90,596
Sıvı Fosil Yakıtlar	5,772	11,017	21,155	43,921	79,169	117,112	130,971
Doğal Gaz	1,406	2,930	7,384	17,961	33,900	53,736	74,569
Hidrolik Enerji	293	674	1,260	2,520	3,808	6,358	7,911
Nükleer Enerji	0	0	0	0	176	2,461	7,354
TOPLAM	43,511	52,476	76,473	122,943	184,766	256,785	311,400

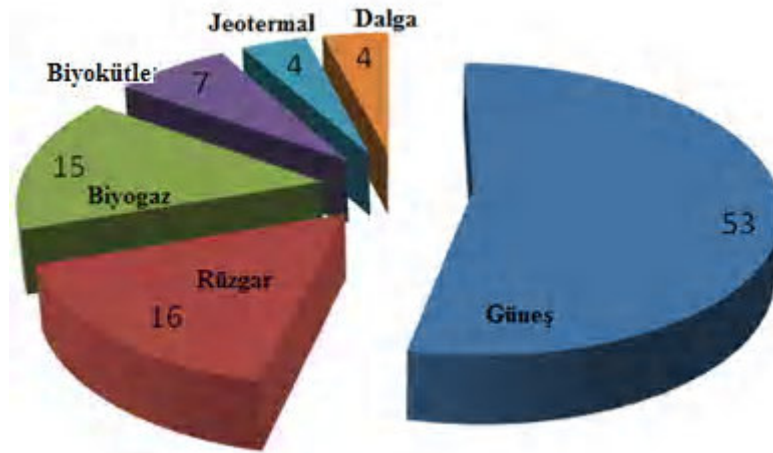
Uluslararası projeksiyonlara göre, bilinen rezervlerle dünyadaki petrole 46-50 yıl arasında ömür biçilirken, görünür doğalgaz rezervlerinin tükenme ömrünün de 63 ile 119 yıl arasında olacağı öngörülmüştür. Kömürün ise 119 ile 176 yılda tükeneceği

hesaplanmıştır. British Petroleum (BP)' in raporuna göre, fosil yakıtların tükenme ömürleri Tablo 1.5'te verilmiştir.

Tablo 1.5. Fosil yakıtların tükenme ömürleri [14].

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Kömür
Kuzey Amerika	15.0	11.3	235
Orta ve Güney Amerika	80.6	53.2	181.0
Avrupa-Asya	21.2	64.8	236.0
Orta Doğu	84.8	-	-
Afrika	36.0	72.4	131.0
Asya-Pasifik	14.4	37.0	59.0
-----	-----	-----	-----
TOPLAM DÜNYA	45.7	62.8	119.0
Avrupa	8.2	14.1	55.0
OECD	13.5	14.4	174.0

Uluslararası enerji ajansının 2000 ile 2008 yılları arasında yaptığı araştırmada İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ülkelerinin ürettiği enerji hakkında bilgi verilmektedir. Bu rapora göre, OECD ülkeleri ve diğer ülkeler arasında kömür ve doğalgazın elektrik üretimi payında büyük bir rol oynadığı görülmüştür. Buna bağlı olarak petrol rezervlerinin azalmasından dolayı dünya genelinde ve özellikle OECD ülkelerinde petrol kaynaklı elektrik üretimi giderek azalmıştır. OECD ülkelerinde birincil enerji kaynağı olarak hala kömür kullanılsa da ikincil kaynak olarak yenilenebilir enerji kullanılmaktadır. Aynı raporda yayınlanan, ülkelerin yenilenebilir enerji teknolojilerinin araştırma ve geliştirme çalışmalarına yapılan harcamalar Şekil 1.6'da yüzdelerle dilimleri görülmektedir [15].



Şekil 1.6. 2009 yılı Dünyada yenilenebilir enerji araştırmaları için yapılan harcamalar

Şekil 1.6'da görüldüğü gibi yenilenebilir enerji araştırmaları içinde güneş enerjisinin geliştirilmesine %53'lük bir pay ayrılmaktadır (Toplam 5.6 milyar dolar). Uluslararası Enerji Ajansı'nın tahminlerine göre 2001-2030 yılları arasındaki dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına 10 trilyon dolarlık yatırım gerçekleştirilecektir. OECD ülkeleri arasında da yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payının %25'e ulaşması hedeflenmektedir.

1.1.6. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Güneş bol ve tükenmeyen enerji kaynaklarından biridir. Çevreyi kirlletici duman, gaz, kükürt, karbon monoksit ve radyasyon gibi atıkları olmadığından temiz enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi yerel uygulamalara elverişli olduğundan, enerjiye ihtiyaç duyulan her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür ve dışa bağımlı olmadığından dolayı ekonomik bunalımlardan bağımsızdır. Güneş enerjisi karmaşık teknolojiye gerek duymadığından işletme masrafları azdır. Sessiz çalışmaları için gürültü kirliliğine neden olmaz. Birim yüzeye gelen güneş ışınımının az olmasından dolayı büyük yüzeylere ihtiyaç duyulması, güneş ışınımının sürekliliği olmadığından dolayı güneş ışınımını depolamak gerekmektedir. Depolama imkânlarının kısıtlı olması, güneş ışınımı enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında az ve geceleri de hiç olmaması, güneş enerjisi sisteminin güneş ışığından sürekli yararlanabilmesi için gölgenmelerin

olmaması gerekmesi, güneş ışınımından yararlanılan birçok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazla ve bazılarının ekonomik olmaması dezavantajlarındandır.

1.2. Güneş Enerjisi Teknolojileri

1.2.1. Güneş Pili Teknolojisi

Fotovoltaik etki 1839 yılında Edmond Becquere tarafından keşfedilmiş, daha sonra Einstein tarafından tam olarak açıklanmıştır. Fotovoltaik etki, birbirinden farklı iki malzemenin ortak temas bölgesinin foton radyasyonu ile aydınlatılması ile bu iki malzeme arasında oluşan elektriksel potansiyeldir. Güneş pili hücreler yarı iletken malzemelerden meydana gelir ve güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler. Bu güneş hücreleri, üzerine düşen güneş ışınımını Güneş pili etki prensibi gereğince enerjiye çevirirler. Hücreye çarpan güneş ışınları metal yüzeyden elektron koparırlar ve kopan elektronlar yerini pozitif yüke bırakarak bir sonraki atoma geçerler. Güneş pili üç katmanlı sistemden oluşur. Ortadaki tabaka elektron sayısı ve pozitif boşluk sayısı eş olan tabakadır. Bunun yanına (n tipi) elektron sayısı fazla olan tabaka yerleştirilir. Diğer yanında ise (p tipi) elektron sayısı az olan tabaka bulunur. Güneşten gelen fotonlar orta bölgede bulunan elektronlara çarparak bu elektronları serbest bırakır. Bunun sonucunda serbest kalan elektronların kendi bölgesinde boşluk oluşur. Serbest kalan elektronlar n tipi bölgedeki elektronları harekete geçirir ve diğer elektronun bıraktığı boşluğa yerleşir. N tipi bölgedeki serbest kalan elektron devreyi dolaşarak p bölgesine gelir ve boşluğa yerleşir. Böylece elektron hareketinin devamlılığı sağlanır ve elektrik akımı oluşur. Güneş pili yapımında en çok silisyum (1.1 eV), galyum arsenit (1.43 eV) ve kadmiyum tellür gibi anorganik yarı iletken malzemeler kullanılır. Güneş pili; silikon kristalli hücreler, ince film hücreler, silikonsuz karma ince film hücreler ve nano kristalli hücreler gibi çeşitli tipleri mevcuttur [16].

Güneş pili hücrelerinin avantajları; güneş pili hücrelerin kurulumu ve taşınması kolaydır. Eğer uygun analiz yapılırsa her ortamda çözüm üretebilir. Güneş pili hücrelerin kurulumu gerçekleştirildikten sonraki maliyeti neredeyse yoktur ve bu hücreler güneşten yararlandığı için dışa bağımlı değildir. Güneş pili hücrelerinin dezavantajları; güneş pili hücrelerin üretimi masraflıdır ve yüksek miktarda güç elde edebilmek için

geniş yüzey alanlarına ihtiyaç duyar. Güneş pili hücrelerinin elektrik üretebilmeleri için güneş ışığının olması gerekir, bu nedenle güneş ışığının az olduğu kış aylarında ve güneş ışığının hiç olmadığı geceleri elektrik üretemezler. Enerji verimi, günlük ve mevsimsel değişikliklere göre değişmektedir.

1.2.2. Isıl Güneş Teknolojileri

Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirdiği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Elde edilen ısı; düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir. 100°C'nin altındaki sıcaklıklar düşük sıcaklık uygulamalarıdır ve evlerde sıcak su temini amacıyla kullanılır. 150-200°C aralığı orta sıcaklık uygulamalarıdır. Orta sıcaklık uygulamaları; soğutma, ısıtma, havalandırma gibi uygulamalardır. 200 ile 5,000°C aralığı yüksek sıcaklık uygulamalarıdır. Yüksek sıcaklık uygulamalarından olan güneş fırınları ve kuleleri madenlerin ergitilmesinde ve elektrik üretiminde kullanılır [17, 18].

1.2.2.1. Düzlemsel Güneş Kolektörleri

Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlara güneş kolektörü denir. Evlerde sıcak su temini amacıyla kullanılan güneş kolektörlerinin ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renktedir ve bazı durumlarda seçiciliği artıran bir madde ile kaplanır. Kolektörler, kullanılacak yerin enlemine bağlı olarak güneşi en fazla alacak şekilde ve güneş ışınlarını dik alacak şekilde sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kolektörlü sistemler tabii dolaşım ve pompalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerle birlikte, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları sürmektedir ve bu sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanı 30 milyon m² üzerindedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye, 12.5 milyon m² kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır. Şekil 1.7'de düzlemsel güneş kolektörünün

temel bölümleri görülmektedir. Saydam örtü, kolektörü dış etkilerden korur. Yutucu yüzey, güneş ışınımının yutulduğu bölümdür. Bu nedenle güneş ışınlarını daha fazla çekebilmek için koyu renkli seçici yüzey kullanılmalıdır. Kolektördeki ısı yalıtımını sağlamak için yalıtım malzemesi kullanılır. Kolektör kasası ise kolektörü nem, toz gibi çevresel etkilerden koruyan bölümdür.



Şekil 1.7. Düzlemsel güneş kolektörü

1.2.3. Güneş Pili –Termal (PV-T) Hibrit Sistem Teknolojisi

Güneş pillerinin elektrik üretimi esnasındaki verim düşüşüne neden olan etkenler ve düzlemsel kolektörlerin ısı enerjisi üretimindeki avantajları düşünülerek güneş pili-termal (PV-T) hibrit sistemler geliştirilmiştir. Halen pek çok bilim adamı tarafından bu sistemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda; yeni bir enerji teknolojisi ortaya çıkarması, yeni endüstriler ve pazarlar oluşturması ile yenilenebilir enerji teknolojilerinde yeni uygulamalar ve kaynaklar sağlamıştır [19, 20].

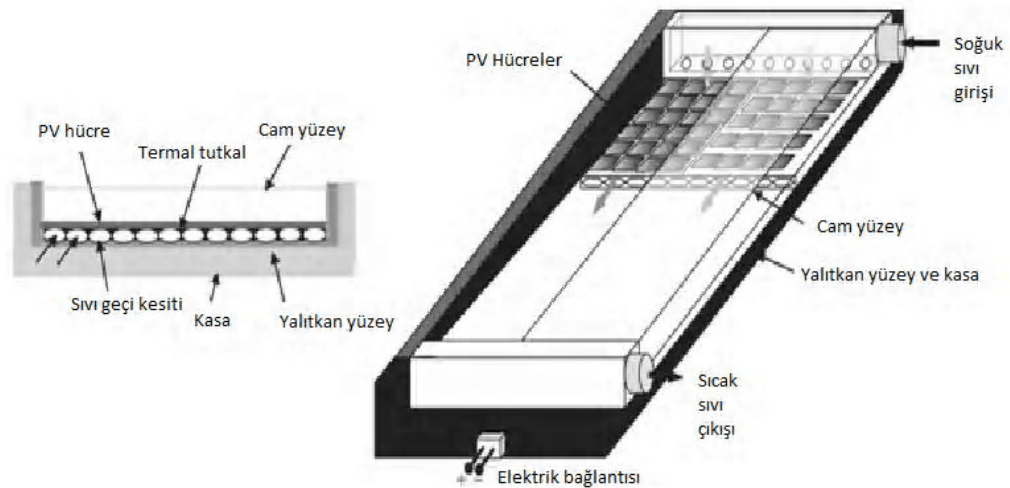
PV-T hibrit sistemler elektrik üretimi için kullanılan bir PV modül ve ısı üretimi için kullanılan termal sistemin bileşkesidir. PV modüller güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürürken enerjinin bir kısmı atık ısıya dönüşürler. Oluşan ısının bir akışkan yardımı ile alınması sistemine dayanan PV-T kolektörler hem atık ısının kazanılması

hem de ısı nedeniyle yaşanan elektrik verim düşüşünün önlenmesini sağlamıştır [19, 20, 21, 22].

Yapılan araştırmalarla pek çok farklı uygulamalı PV-T kolektör tipleri üretilmiştir. Bunlar; sıvı, hava, hem hava hem sıvı ile soğutma esasına dayanan sistemlerdir. PV hücre tipine göre çeşitli kristal yapıdaki hücrelerin kullanımını esas alan sistemleri de vardır [21, 23].

1.2.3.1. Sıvılı PV-T Kolektörler

Bu sistemler su ısıtma sistemi olan düz plakalı termal kolektör sistemine benzemektedir. Yüzeyde bulunan PV hücreleri ile elektrik üretilirken arka yüzeyde meydana gelen ısı PV arka yüzeyine yerleştirilen bakır borular içerisinde soğutucu sıvı geçirilerek alınır. Böylece kolektör arka yüzeyi soğutulur ve kolektörün elektrik veriminde oluşacak düşüş engellenmiş olur. Bu sistemler çeşitli evsel ve endüstriyel uygulamalar için kullanılabilir [19, 20]. Şekil 1.8’de sıvılı PV-T kolektör yapısı, Şekil 1.9’da sıvılı PV-T uygulaması görülmektedir.



Şekil 1.8. Sıvılı PV-T kolektör [19].



Şekil 1.9. Sıvılı PV-T uygulaması [19].

Dubey ve Tiwari [19], PV kollektör arka yüzeyine bakır borular yerleştirerek boru içerisinden su geçirilmesi ile sıvılı PV-T kollektör örneği hazırlamış ve bu sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda anlık verimin %33'ten %64'e kadar çıktığı gözlenmiştir. Anlık verimdeki bu artış elektrik ya da sadece ısı olmayıp hem ısı hem elektrik verimi sağlanması ile oluşmuştur. Erdil ve ark. [24], bakır tüpler kullanarak oluşturdukları PV-T sistemini Kıbrıs şartları için incelemişlerdir. İncelemede bir evin günlük tüketimi 7 kWh olarak düşünülmüş bu enerji için 10 m² alana sahip olması istenen kollektör yerine 0.6 m²'lik iki adet hücre kullanılarak 2.8 kWh'lık enerji elde edilebildiği görülmüştür. Deney esnasındaki kayıp enerji miktarı yalnızca %1 olmuştur. Ayrıca bu yapılan çalışma ile bu kollektörlerin iki yıl içerisinde kuruluş maliyetini ödediği anlaşılmıştır. Bu özellikleri nedeniyle bu sistemlerin verimli ve ekonomik sistemler olduğu görülmüştür. Ayrıca Fraisse ve ark. [25], yapmış oldukları çalışma sonucunda böyle bir sistem kullanarak PV hücre verimini %6.8 iken %9.4'e kadar yükseltmeyi başarmışlardır. Chow [26], yaptığı çalışmada ise %8.56'lık bir elektrik verimi elde etmiş ve bu sistemlerin ön ısıtma işlemleri için çok uygun olduğu sonucuna varmıştır.

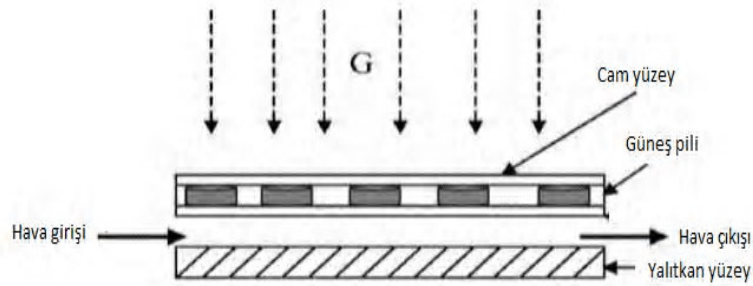
Almeida ve ark.[27], yapmış oldukları çalışma ile PV-T hibrit sistemin ısı, elektrik ve toplam verimi modelleme yaparak incelemiş mono silisyum (mono-Si) ve amorf silisyum(a-Si) kristalli PV hücreden oluşan sıvılı PV-T hibrit sistemin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada a-Si kristal yapıdaki PV-T hibrit sisteminin mono-Si yapıdaki PV-T hibrit sisteme göre daha verimli olduğu görülmüştür. Toplam verime

bakıldığında mono-Si PV-T hibrit sistemde toplam verim %70 iken mono-Si PV-T hibrit sistemde toplam verim %80 olduğu görülmüş, termal verime bakıldığında ise %66 iken %68 olduğu görülmüştür. Bu çalışma Portekiz' in dört farklı şehrinde güneşlenme süreleri göz önüne alınarak hem konut hem de otel şartları için yapılmıştır. İlk kurulum ve geri ödeme süresi hesaplamaları yapıldığında binalarda geri ödeme süresi 4-6 yıl, otellerde ise 5-12 yıl olduğu anlaşılmıştır. PV-T Hibrit sistemin ön ısıtma için kullanılabilceği bu şekilde kullanılmasının enerji verimliliği açısından ve karbon salınımının düşük olması nedeniyle tercih sebebi olması gerektiğine varılmıştır. Kalogirou ve Tripanagnostopoulos [28], yaptıkları çalışmada poli kristal silisyum (Pc-Si) ve a-Si sıvılı PV-T hibrit kollektörün ısı emme özellikleri modellenmiştir. Pc-Si sıvılı PV-T hibrit sistem veriminin daha yüksek olduğu ve verimin yüksek olduğu ve PV-T hibrit sisteminin kullanımı için teşviklerin olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kullandığımız sıvılı PV-T kollektör ile literatür çalışmalarda da olduğu gibi PV arka yüzeyi soğutularak hem ısı hem elektrik gücü elde edilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak PV-T kollektörle birlikte termal kollektörde kullanılmıştır. Termal kollektör kullanma nedeni çıkış su sıcaklığını daha yüksek tutmaktır. Yapılan bu çalışma ile istenilen bir ısı ve elektrik güç değerini sağlayacak PV-T ve termal kollektör kombinasyonunu en uygun sayıda kollektör ile kurulabilmesi için hazırlanan optimizasyon programı tez çalışmasını diğer literatür çalışmalarından farklı yapmaktadır.

1.2.3.2. Havalı Kollektörler

Hava ve su en iyi ısı transfer akışkanları olarak bilinmektedir. PV-T sıvılı sistemlerin ısıtma verimleri havalı sistemlere göre daha yüksektir ama pratik uygulamalar için havalı kollektör kullanımı daha avantaj sağlamaktadır. Özellikle de binalarda kullanılacak malzeme azlığı nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 1.10'da havalı PV-T hibrit sistemin yapısı görülmektedir.

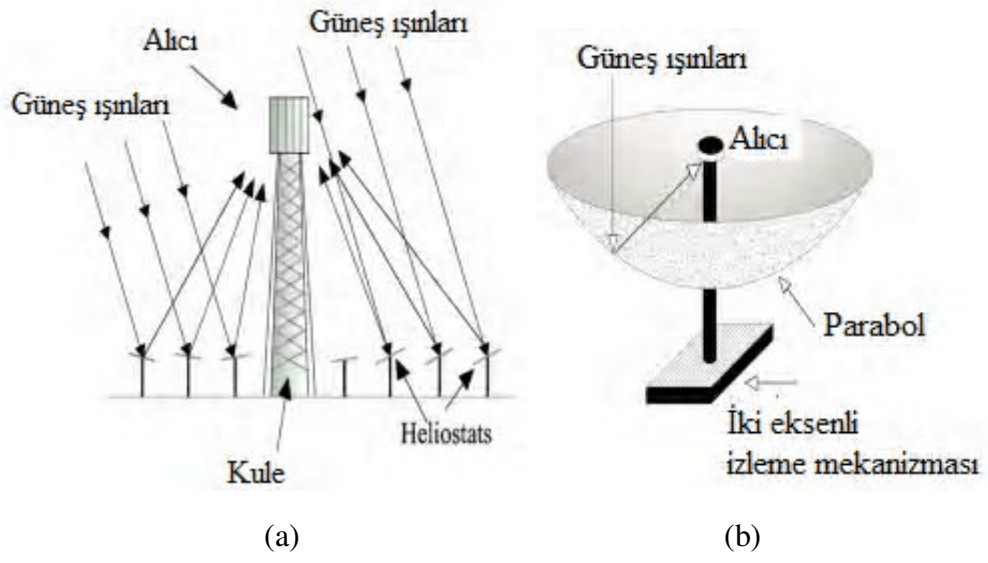


Şekil 1.10. Havalı PV-T Hibrit sistem [29] .

Sarhaddi ve ark. [29], PV-T hibrit sistemi kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada havalı PV-T hibrit sistemlerin ısı ve elektrik verimlerini incelemişlerdir. Çalışmada sıcaklık, arka yüzey sıcaklığı, çıkış hava sıcaklığı, açık devre gerilimi ve kısa devre akımı, maksimum güç noktası akımı ve gerilimi, ısı kayıp katsayısı değerleri simülasyon kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve termal verimin %17.18, elektriksel verimin %10.01, toplam verimin %45 olduğu saptanmıştır. Zondag ve arkadaşları [30], PV-T hibrit sistemin farklı türleri için çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda görülmüştür ki kanal ve bakır tüp kullanılan sistemlerde elektriksel verim daha yüksektir. Burada soğutma işleminin iyi yapılmış olmasının etkisi vardır. İki tabakalı havalı sistemlerde ısı verimin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Burada hem PV hücre yüzeyinden hem de PV hücre arka yüzeyinden hava taşınmasının etkisi yüksektir.

1.2.3.3. PV-T Hibrit Yoğunlaştırıcı Sistemler

Yoğunlaştırıcı kollektörler ile düz kollektörlere göre daha fazla enerji elde edildiği için tercih edilmektedir. Bu sistemler halen geliştirilmektedir. Bu sistemlerde daha çok elektrik enerjisi elde edileceğinden daha yüksek ısı enerjisi de elde edilebilmektedir. Şekil 1.11’de bazı güneş yoğunlaştırıcı sistemler görülmektedir [31, 32].



Şekil 1.11. a, b Güneş Yoğunlaştırıcı Sistemler [29].

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Çalışma

Deney düzeneği için gerekli olan malzemeler ERÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBY-12-4088 kodlu proje kapsamında temin edilmiştir. Deneylede kullanılan PV-T ve termal kollektör, ışınım şiddeti ölçme cihazı, debimetre, termokupllar, rezistans ve ölçme sistemi ön araştırmalar yapılarak, tasarlanan düzeneği oluşturacak şekilde seçilmiştir.

2.1.1. Deney Düzeneği

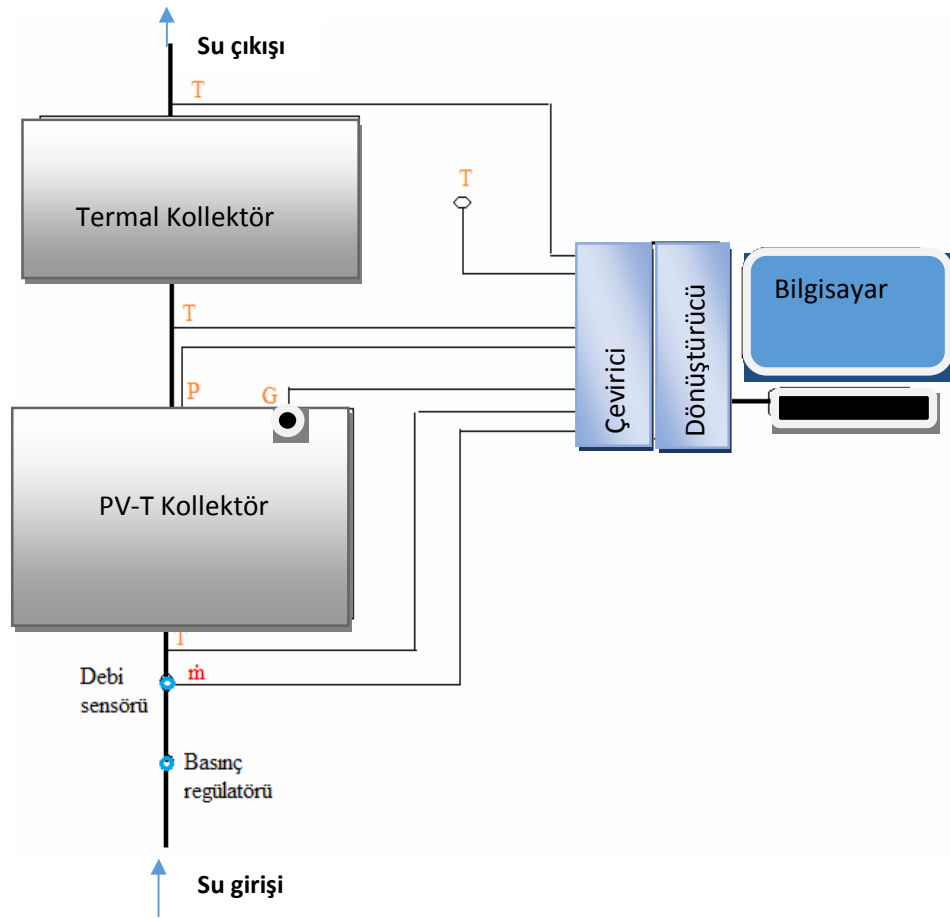
Deney düzeneği ERÜ Mustafa Çıkrıkçioğlu MYO'da kurulmuştur. Her iki kollektörün sabit tutulması için profil sac malzemeden taşıyıcı bir düzenek hazırlanmıştır. Kollektör giriş-çıkış su bağlantıları uygun bağlantı elemanı ve hortumlarla yapılmıştır. Piranometre PV-T kollektör üzerine monte edilerek kollektör üzerine gelen güneş ışınım şiddeti ölçümleri sağlanmıştır. PV-T kollektörün ürettiği elektrik enerjisi uygun bir rezistans vasıtasıyla harcanmıştır. Şekil 2.1'de deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 2.2'de deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir.

Kasım 2012 tarihinde ilk deneyler yapılmıştır. Deney esnasında su yükseklik farkı ile akış kullanılarak belirli bir yükseklikte bulunan su deposundan akış sağlanmış ve akış debisi ölçülmüştür. Deneyin ilerlediği ve ışınım şiddetinin yükselmesi ile PV-T arka yüzeyde ısınma başladıkça hava kabarcıklarının sürtünme etkisi nedeniyle akış debi kontrolü sağlanamamıştır.

Deneyin devamı için zorlanmış dolaşımın gerekliliği görölmüş ve deney düzeneği bahçe yerine ERÜ Mustafa Çıkırıkçıoğlu MYO balkonuna taşınarak şebeke suyuna bağlanmıştır. Şebeke suyunda okuldaki su tüketimi nedeniyle basınç değişimleri meydana gelmiştir. Bu basınç değişimlerinin giderilmesi için debi sensöründen önce basınç regülatörü kullanılmıştır. Kollektör ara bağlantılarında ısı kaybını önleyebilmek için strafor izolasyon malzemesi ile ara bağlantılar kapatılmıştır.



Şekil 2.1. ERÜ Mustafa Çıkırıkçıoğlu MYO’da kurulan deney düzeneği.



Şekil 2.2. Deney düzeneğinin prensip şeması

2.1.1.1. PV-T Hibrit Kollektör

Deneylede Tablo 2.1’de özellikleri verilen, Türkiye de üretilmiş “PowerVolt” model 190 W elektrik gücündeki PV-T kollektör kullanılmıştır. Kollektörde üretilen elektrik enerjisi bir rezistans yardımıyla harcanmıştır. Rezistansın seçimi kollektör maksimum elektrik üretim gücü göze alınarak seçilmiştir. Rezistans 8 Ω dirence sahip ve 40 V gerilim altında 200 W enerji harcamaktadır. Ölçüm sistemi kullanılarak kollektörün ürettiği akım ve gerilim ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kaydedilen bu değerler sonraki hesaplamalarda kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Deneide kullanılan PV-T hibrit kollektör özellikleri [33].

Özellikler	PV-T Hibrit Kollektör
Ebatlar (mm)	828x1601x90
Ağırlık (kg)	34.4
Hücre Paneli	Tek Kristal Silisyum Modül
Hücre Sayısı	72
Nominal Güç (W)	190
Soğurucu Yüzey	Bakır
Soğurucu Boru	Bakır
Nominal Akım (A)	5.2
Kısa Devre Akım (A)	5.8
Nominal Gerilim (V)	38.5
Açık Devre Gerilim (V)	40.2
Montaj Şekli	Düz Çatı, Çatı Üstü, Çatı İçi
Ürün Garantisi	10 yıl
Verimlilik Garantisi	%90 < 10 yıl, %80 < 20 yıl

2.1.1.2. Termal Kollektör

PV-T kollektörden su sıcaklığının ve ısıl gücün yeterli olmadığı durumlarda PV-T kollektöre ek olarak termal kollektörde kullanmak gerekecektir. Deneilerde kullanılan “EKOLİNE PAY 12” model termal kollektörün başlıca özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Bu kollektör hakkında detaylı bilgiler EK-1’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Termal kollektör teknik özellikleri [34].

Özellik	Birim	Değerler
Ölçüler (boy x en x yükseklik)	mm	930x1930x87.5
Brüt Alan	m ²	1.8
Cam kalınlığı	Mm	4
Panel Yüzey absorpsiyon		0.81±0.02
Panel Yüzey emisyon		0.05±0.02
Cam malzemesi	Düz Cam veya Prizmatik Cam	
Boru Malzemesi	Alüminyum	
Panel Yüzey Malzemesi	Siyah Boyalı Alüminyum	

2.1.1.3 Debi Sensörü

Her iki kollektörün ürettiği ısı miktarını hesaplamak için gereken debi değeri bir debi sensörü kullanılarak ölçülmüştür. Debi sensörünün başlıca teknik özellikleri Tablo 2.3’ de verilmiştir. Debi sensörü kataloğu EK-2’de yer almaktadır.

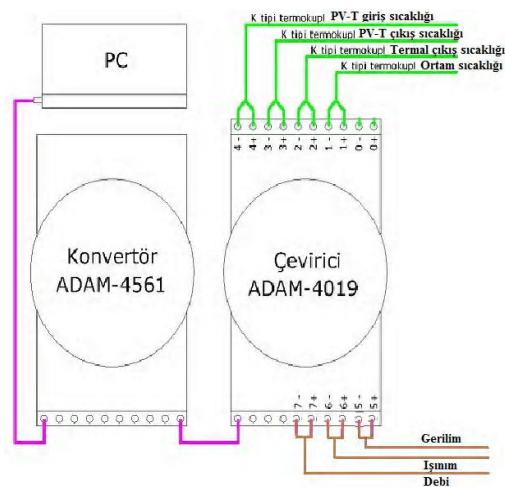
Tablo 2.3. Debi sensörünün teknik özellikleri

Özellik	Birim	Değerler
Analog çıkış	mA	4-20
Ölçme aralığı	l/dk.	0-25
Çalışma gerilimi	V	19-30 DC
Akım tüketimi	mA	90
Çalışma sıcaklığı	°C	10-60





2.1.1.4 Ölçüm Sistemi

Ölçüm sistemi hesaplamalarda gerekli olan parametrelerin ölçümü ve kaydı için kullanılmıştır. Ölçüm sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Tablo 2.4’de Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 2.3. Ölçüm Sisteminin Şematik Gösterimi


Tablo 2.4. Ölçüm Cihazlarının Teknik Özellikleri

Konvertör	USB V1.1 ile uyumlu	
	RS-232/422/485 port destekli	
Çevirici	İletim hızı 115.2 kbps	
	Sağlanan İzolasyon koruması 3000 VDC	
	Otomatik RS-485 data akış kontrolü	
Çevirici	4~20 mA, mV, V, mA ya da	
	Termokupl girişi	
	16-bit kararlı	
	İzolasyon gerilimi 3000 V DC	
Çevirici	8 kanallı evrensel analog giriş	

2.1.1.5. Piranometre

Deneyde kollektör yüzeyine gelen güneş ışınım şiddetini ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Tablo 2.5’de piranometrenin özellikleri gösterilmiştir. Bu cihazın kalibrasyon sertifikası EK-3’te verilmiştir.

Tablo 2.5. Piranamotrenin Özellikleri

Güneş ışınımı ölçüm cihazı	Hassasiyet 5-20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	
	Görüş alanı 180°	
	Maksimum güneş ışınımı 2000W/ m ²	
	Yön hatası < 20 W/m ²	
	Spektral aralık 285-2800 nm	

2.1.1.6. Termokupllar

Deneyde PV-T kollektörde giriş-çıkış su sıcaklıkları, termal kollektörde giriş-çıkış su sıcaklığı, ortam sıcaklığı ölçümleri için kullanılmıştır. Şekil 2.4'te deneyde kullanılan K tipi termokupl görülmektedir. Tercih edilme nedeni korozyon direncinin yüksek ve uygun ölçüm aralığında olmasıdır. Tablo 2.6'da teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.4. Deneyde kullanılan termokupl

Tablo 2.6. Termokupl teknik özellikleri

Malzeme	Nikel-krom-Nikel
Sıcaklık aralığı	-200 ÷ 1200°C
Tel çapı	0.5 mm

2.2. Yöntem

Deneylerde ölçülen veriler kullanılarak farklı şartlar altında kollektörlerin ürettiği elektriksel ve ısı güç değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen ölçüm ve hesaplamalar kullanılarak kollektörlerin karakteristikleri en küçük kareler yöntemi ile modellenmiştir. Son aşamada bu modeller kullanılarak istenilen ısı ve elektriksel gücü sağlayan PV-T ve termal sistemin optimum çözümünü sağlayan algoritma geliştirilmiştir.

2.2.1. Elektriksel ve Isıl Güç Değerlerinin Hesaplanması

PV-T kollektör tarafından üretilen elektriksel güç bir rezistans yardımıyla harcanarak hesaplanmıştır.

Bu rezistansın direnç ve güç değeri kollektörden en fazla gücü çekecek şekilde seçilmiştir. P_e üretilen elektriksel güç;

(1)

Burada U kollektörün rezistansta oluşturduğu gerilim, R kullanılan rezistansın direncidir. Bu rezistans 8Ω değerindedir. PV-T kollektör tarafından üretilen ısı;

$$Q_{PV-T} = \dot{m} c_p \Delta T_1 \quad (2)$$

formülü kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bu formülde yer alan kollektör içerisinde dolaşan su debisi, C_p su için özgül ısı değeri, ΔT_1 oluşan sıcaklık farkıdır. PV-T'den çıkan su sıcaklık değeri bir termal kollektör yardımı ile artırılabilir. Termal kollektör tarafından üretilen ısı;

(3)

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Deney düzeneğinde kullanılan debi sensörü katalog bilgilerinden faydalanılarak sistemde kullanılan su için akış debisi,

0 l/dk.....4 mA	}	Bu debi aralığında akım değişimi lineer olduğu için Eşitlik 4 elde edilmiştir.
25 l/dk.....20 mA		

(4)

Burada $I_{ölç}$, debi sensörünün verdiği akım değeridir. Güneş ışınımı ile elde edilen enerji değeri ise;

$$Q_{gg} = A G FF \quad (5)$$

Burada A, PV-T kollektör yüzey alanı; G, güneş ışınım şiddeti; FF, doldurma faktörüdür.

(6)

I_{max} : PV-T kollektörün maksimum akım değeri, V_{max} : Maksimum direnci, I_{sc} : Kısa devre akımı, V_{oc} : Açık devre gerilimi ifade etmektedir.

Bu formül kullanılarak Tablo 2.1'de verilen PV-T teknik özellikleri için $FF= 0.75$ olarak hesaplanmıştır. Verimler şöyle hesaplanacaktır. Elektriksel verim;

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q_{gs}} \quad (7)$$

PV-T kollektörün termal verimi;

$$\eta_t = \frac{Q_{PV-T}}{Q_{gs}} \quad (8)$$

Termal kollektörün verimi;

$$\eta_t = \frac{Q_{T2}}{Q_{gs}} \quad (9)$$

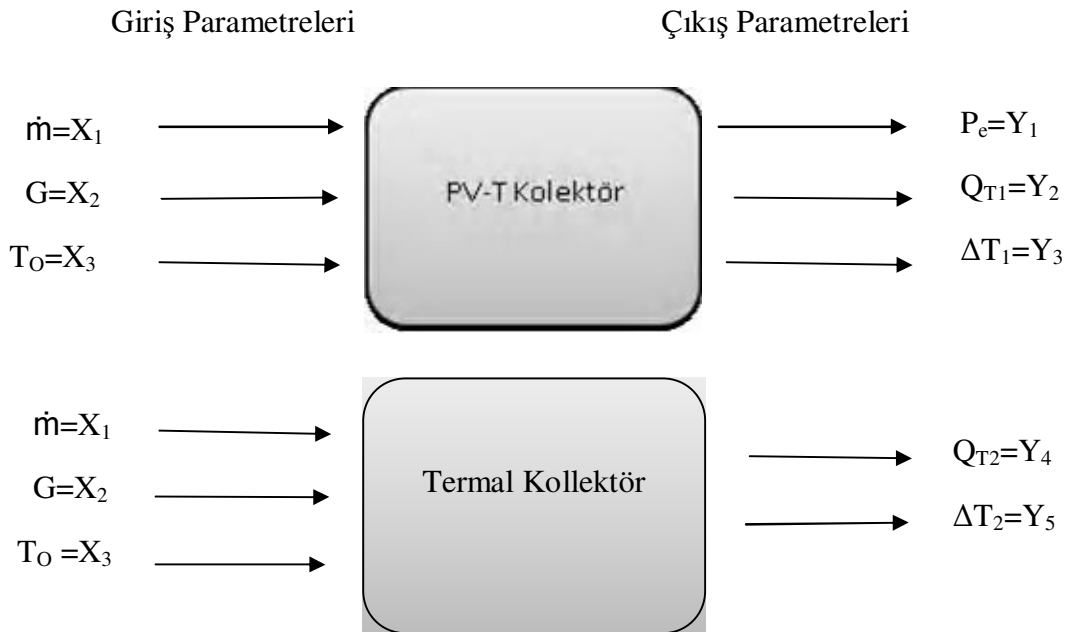
formülü ile hesaplanmıştır. Sistemin elde ettiği toplam ısı enerjisi;

$$(10)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.2. Sistemin Modellenmesi

PV-T ve termal kollektörlerin farklı hava şartları ve farklı debilerdeki davranışları incelenerek modellenmiştir. Bu model oluşturulurken regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Modellemede kullanılan giriş ve çıkış parametreleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Deney için değişken giriş parametreleri: su akış debisi (\dot{m}), ışınım şiddeti (G) ve ortam sıcaklığı (T_0) dir. Çıkış parametreleri ise: PV-T kollektörün ürettiği elektriksel güç (P_e) ve ısı güç (Q_{T1}), PV-T kollektörde oluşan sıcaklık farkı (ΔT_1), Termal kollektörün ürettiği ısı güç (Q_{T2}) ve kollektörde oluşan sıcaklık farkı (ΔT_2) dir. Doğru denkleminde yer alan X_1 , X_2 , X_3 değerleri, sırası ile su akış debisi, ışınım şiddeti ve ortam sıcaklığını ifade etmektedir.



Şekil 2.5. Modellemede kullanılan giriş çıkış parametreleri

Genel olarak sistem verileri arasında model oluşturmak amacıyla tercih edilen regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler ve kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir [35]. Regresyon modeli uydurulduktan sonra modelin yeterli olup olmadığının kontrolü regresyon analizinin en önemli bölümüdür. Uydurulan modelin doğru modele yeterli derecede yaklaşp yaklaşmadığını ve regresyon analizinin tüm varsayımlarını sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek gerekir. Eğer regresyon modeli yeterli uyum sağlamazsa zayıf veya yanıltıcı sonuçlar verecektir. Elde edilen sonuçların güvenilir olup olmadığını belirleyebilmek için korelasyon katsayısı (r) hesaplanır [35]. Eşitlik-11'de x ve y değişkenleri arasındaki korelasyon katsayısının hesaplanması için gerekli formül verilmektedir [36].

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (11)$$

Burada n veri sayısıdır. Korelasyon katsayısı r; $0 < r < 1$ arasında bir değere sahipse iki değişken arasında doğrusal bir ilişki vardır denir.

Regresyon analizi yaparken en çok kullanılan yöntemlerden biri en küçük kareler yöntemidir. En küçük kareler yöntemi, tıp, finans, mühendislik, ziraat, biyoloji ve sosyoloji gibi çeşitli bilim dallarında çeşitli değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenirken kullanılan en önemli araçlar arasındadır [37].

Belli ölçümler sonucunda $i = 1, 2, \dots, n$ için (x_i, y_i) verileri elde edilmiş olsun. Burada, her bir y_i nin x_i ye bağlı olarak değiştiği varsayılmaktadır. (x_i, y_i) düzlemde noktalar olarak düşünüldüğünde, pratikte bu noktalar düzgün bir eğri üzerinde, başka bir deyimle, bilinen bir fonksiyonun grafiği üzerinde bulunmazlar. Hatta bazı durumlarda, (x_i, y_i) 'ler arasında ne tür bir bağıntı bulunduğu dahi bilinmeyebilir. Ancak, yapılan ölçümlerin doğası gereği, her $i = 1, 2, \dots, n$ için $y_i = f(x_i)$ olacak biçimde bir fonksiyonun var olduğu, ölçümlerde yapılan hata nedeniyle bu eşitliklerin bazıları veya

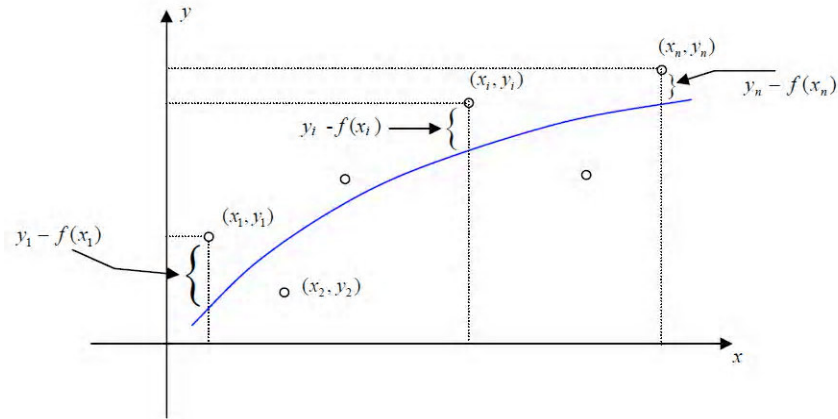
hepsinin sağlanmadığı kabul edilmesi mümkündür. Bu düşünceyle, ölçülen y_i değeri $f(x_i)$ için yaklaşık değer kabul edilerek bu yaklaşımdaki hatanın minimum olduğu f fonksiyonu belirlenmeye çalışılır. Bu amacı gerçekleştirmek için f fonksiyonunun bir takım parametrelere bağlı bir ifadesi bulunduğu varsayıp eldeki veriler yardımıyla bu parametreler belirlenmeye çalışılır. Örneğin, f fonksiyonu;

$$y = f(x) = ax + b \quad (12)$$

İfadesinde olduğu gibi bir doğrusal fonksiyon veya

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c \quad (13)$$

İfadesinde olduğu gibi bir karesel fonksiyon olabilir ki bu durumda belirlenmesi gereken parametreler a , b , c , dir. y_i değeri $f(x_i)$ için yaklaşık değer, $f(x_i) \approx y_i$, kabul edilince yapılan hata $y_i - f(x_i)$ dir ve amaç, bu hatalar minimum olacak şekilde bir f fonksiyonu bulmaktır. Şekil 2.6. da takip edilebilir.



Şekil 2.6. f fonksiyonunu oluşturmak için hataları minimum yapmayı amaçlayan çalışma [38].

$y_i - f(x_i)$ farklarından her birine bir artık denir. En küçük kareler yönteminde aranan fonksiyon, ya da onun parametreleri, tüm artıkların kareleri toplamı olan ifadesini minimum yapacak şekilde belirlenir. Bu, yöntemle neden en küçük kareler yöntemi dendiğini açıklar. Sözü edilen kareler toplamının minimum olması için her bir hatanın küçük olması gerektiğine dikkat edilmelidir [38].

Regresyon analiz metotları kullanılarak çeşitli eğriler elde edilebilir. Buradaki amaç geçirilen eğrinin en fazla noktayı temsil etmesidir. x-y dağılımının özelliğine göre çoklu regresyon analizleri yapılabilir. Hedef; eğri üzerindeki nokta ile var olan nokta arasındaki farkın karelerini minimum yapmaktır.

Çoklu regresyon analizinde doğru denkleminin genel ifadesi Eşitlik-14'de ifade edildiği gibidir. Doğru denklemi içerisinde yer alan a, b, c, d katsayıları regresyon katsayıları olarak bilinir ve Şekil 2.7'de ki matris yardımıyla hesaplanır.

$$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{12} X_1 & \sum_{i=1}^{12} X_2 & \sum_{i=1}^{12} X_3 \\ \sum_{i=1}^{12} X_1 & \sum_{i=1}^{12} X_1^2 & & \\ \sum_{i=1}^{12} X_2 & & \sum_{i=1}^{12} X_2^2 & \\ \sum_{i=1}^{12} X_3 & & & \sum_{i=1}^{12} X_3^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{12} Y \\ \sum_{i=1}^{12} YX_1 \\ \sum_{i=1}^{12} YX_2 \\ \sum_{i=1}^{12} YX_3 \end{bmatrix}$$

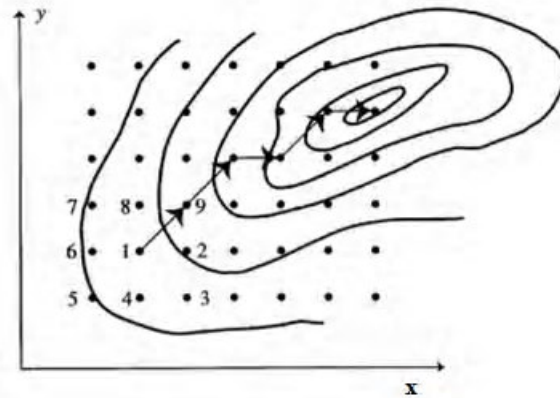
Şekil 2.7. Elde edilen eşitlikteki regresyon katsayılarının hesaplandığı matris [39].

2.2.3. Sistemin Optimizasyonu

Optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (en az maliyet ve en çok verim gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanır. Optimizasyonda modelleme ve çözümlenme iki önemli bileşen olarak nitelendirilmektedir. Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümlenme ise bu modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır [40].

Optimizasyon yöntemleri tek değişkenli ve çok değişkenli olabilir. Çok değişkenli yöntemler arasında farklı uygulamalar vardır. Bu uygulamalardan bir tanesi de “Lattice search” (kafes arama) yöntemidir.

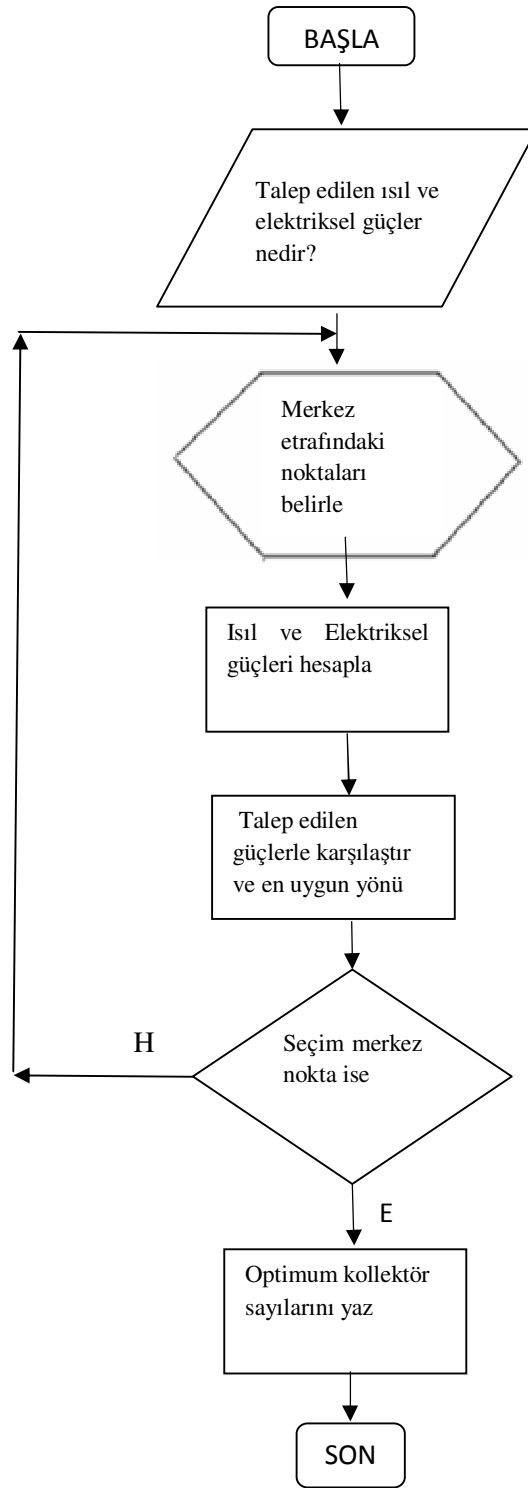
Kafes arama çok değişkenli sayısal arama metodudur. Bu metotta, amaç fonksiyonunun belirlenen bir noktadaki değeri hesaplanır. Amaç fonksiyonunun değişkenlerine ait noktalar ilk belirlenen noktanın ve hesaplanan değer etrafına bir kafes oluşturacak şekilde konumlandırılır, Şekil 2.8’de bu durum gösterilmiştir. Burada ilk belirlenen nokta 1 nolu noktadır. Diğer noktaların amaç fonksiyonuyla hesaplanan değerlerinden en küçük/büyük olanı yönünde bir adım sonrasındaki nokta, bir sonraki aramanın merkezi durumuna gelecektir. Bu döngü istenilen adım kadar tekrarlanabilir. Bulunan en küçük/büyük değer minimum/maksimum nokta ve amaç fonksiyonunun minimum/maksimum değeridir [41].



Şekil 2.8. Kafes arama yöntemi [42].

Optimizasyon algoritması oluşturulurken modelleme sonucu elde edilen modeller kullanılmıştır. Algoritma kafes arama yöntemine uygun olarak oluşturulmuştur [43].

Talep edilen herhangi bir elektrik, ısı güç değerlerini sağlayacak PV-T ve termal sistem için gereken kombinasyonda ki kollektör sayılarının tespit edilebilmesini sağlayan bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma ile oluşturulan optimizasyon programı Visual Basic bilgisayar yazılım programı kullanılarak hazırlanmıştır. Oluşturulan programın akış şeması Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Optimizasyonda kullanılan akış şeması

3.BÖLÜM

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Bulgular

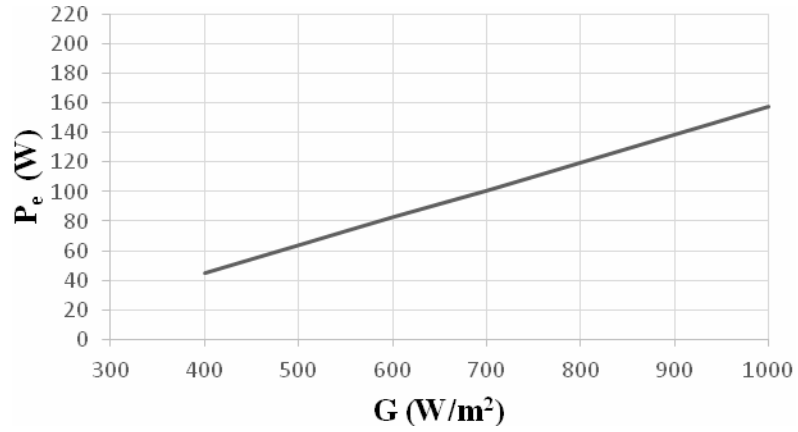
Yıl boyunca farklı hava şartları ve debi değerleri altında deneyler yapılarak veriler kaydedilmiştir. Bu değerler EK-4'te verilmiştir. Bu veriler kullanılarak çoklu lineer regresyon analizi ile PV-T kollektörün ürettiği elektriksel ve ısı güç, termal kollektörün ürettiği ısı gücü için eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitlikler sahip oldukları korelasyon katsayıları ile birlikte Eşitlik 15, 16, 17' de verilmiştir.

$$P_e = -1.18 + 11.97X_1 + 0.19X_2 - 1.457X_3 \quad r = 0.9587 \quad (15)$$

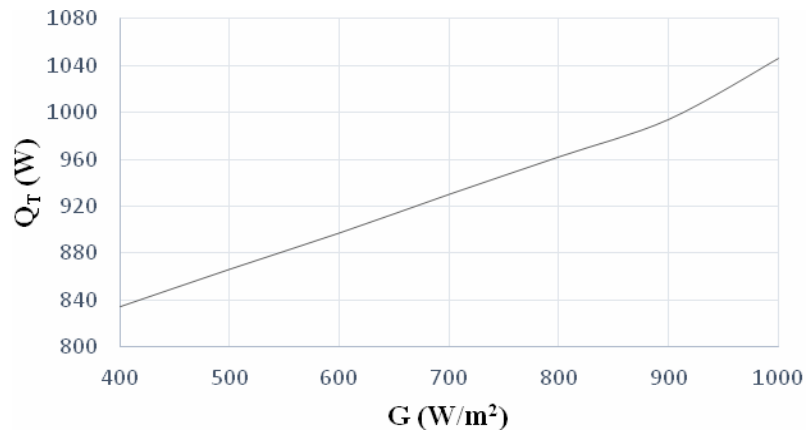
$$Q_{T1} = -6.24 + 36131X_1 - 0.2X_2 + 11.94X_3 \quad r = 0.9848 \quad (16)$$

$$Q_{T2} = -15.9 + 79489.68 X_1 + 0.32X_2 - 6.23X_3 \quad r = 0.9906 \quad (17)$$

Bu modellerde değişkenlerden bazıları sabit tutulduğunda sistemin performansına olan etkisi incelenmiştir. Sistemin karakteristiği incelendiğinde T_0 sabit iken PV-T kollektörde ışınım şiddeti arttıkça elektrik enerji üretiminin arttığı Şekil 3.1'de, ısı güç üretiminin yine arttığı Şekil 3.2'de görülmektedir.

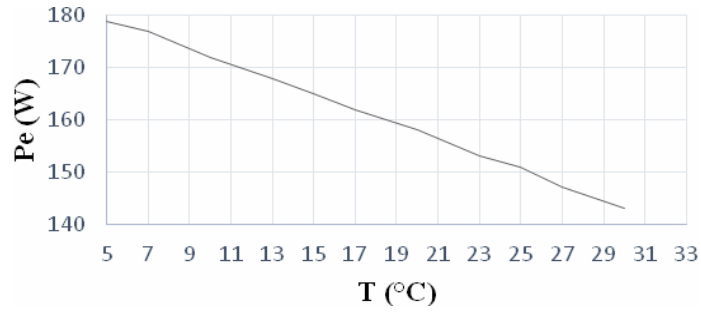


Şekil 3.1. Sabit ortam sıcaklığında elektrik güç üretiminin güneş ışınımı ile değişimi

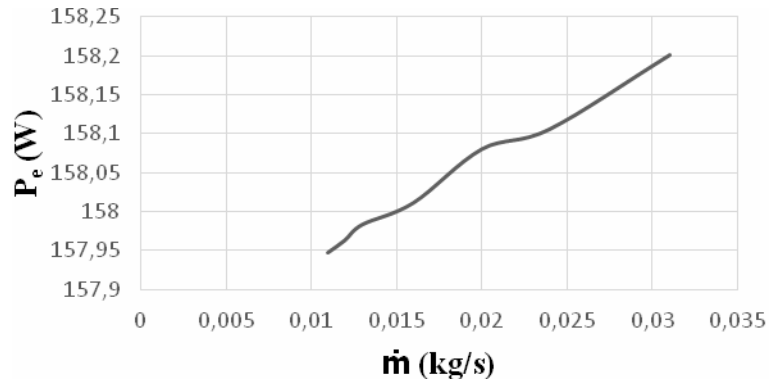


Şekil 3.2. Sabit ortam sıcaklığında ısı güç üretiminin güneş ışınımı ile değişimi

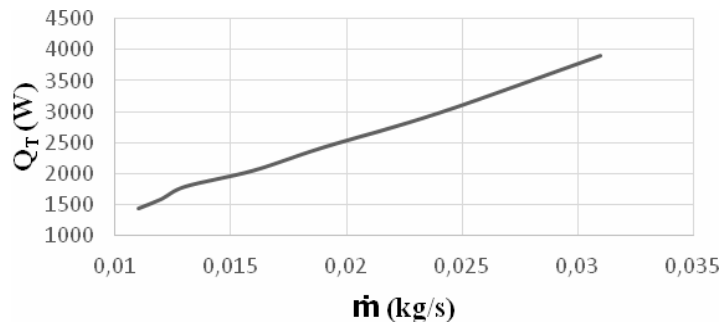
Işınım şiddeti sabit tutulduğunda ortam sıcaklığı arttıkça elektrik üretiminde düşüşün olduğu Şekil 3.3'te görülmektedir. Işınım şiddetinin sabit olması durumunda debi değişimlerinin elektrik ve ısı güç üretimlerinde artışa neden olduğu da Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Sabit ışınlım şiddetinde ortam sıcaklığının elektriksel güç üretimine etkisi



Şekil 3.4. Sabit ışınlım şiddetinde debi değişiminin elektrik üretimine etkisi



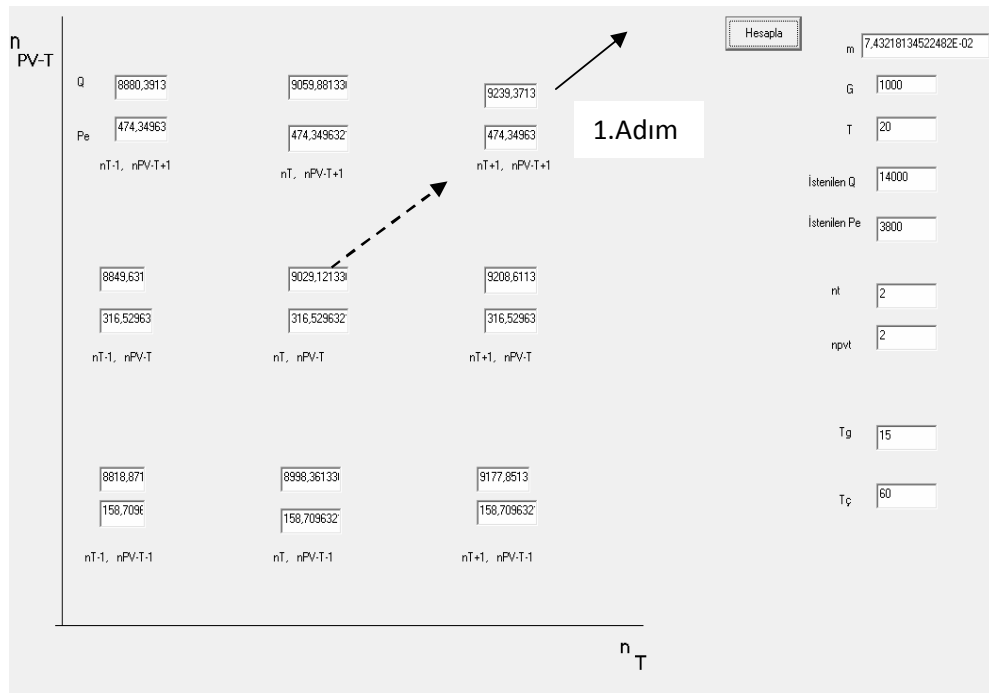
Şekil 3.5. Sabit ışınlım şiddetinde değişen debi değerlerinde ısı güç üretimine etkisi

İstenilen elektriksel ve ısı güç değerlerini verecek kombinasyonu sağlayan optimum çözümü sağlamak için geliştirilen kafes arama algoritmasında elde edilen Eşitlik-

15,16,17 kullanılmıştır. Bu algoritma ile sağlanan çalışmaya dair örnekler aşağıda verilmiştir.

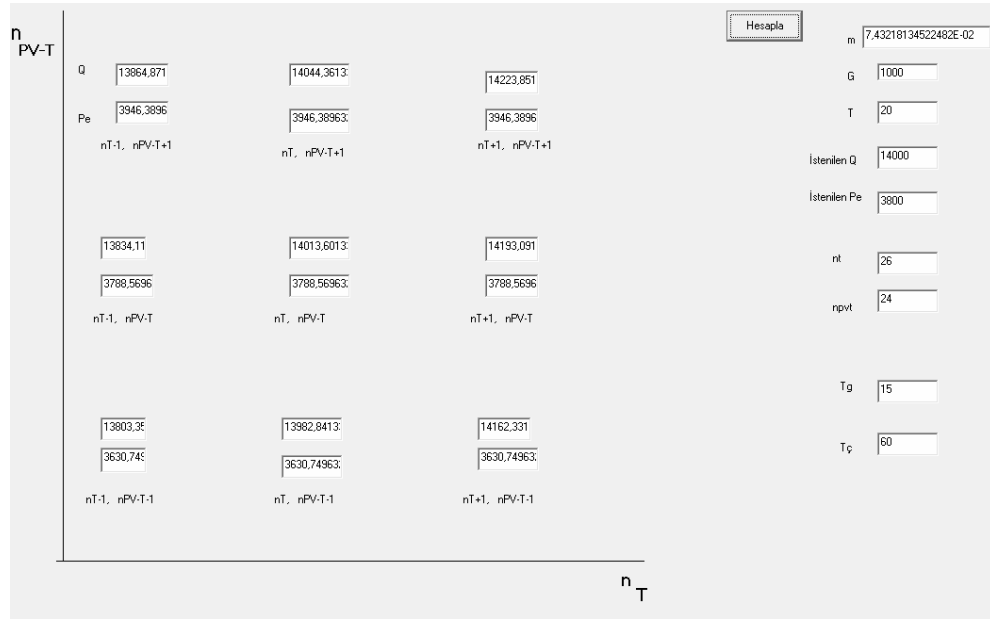
Örnek 1. Kurulacak bir kollektör sistemi ile 3,800 W elektrik gücü ve 14,000 W ısı gücü elde etmek istenmektedir. Bu güç değerlerini sağlayacak PV-T ve termal kollektör kombinasyonunun bulunması. Ortam sıcaklığının 20°C ve 1,000 W/m² güneş ışınım şiddeti olan hava şartlarında sisteme su giriş sıcaklığı 15°C ve su çıkış sıcaklığı 60°C olması düşünülmüştür.

Algoritması oluşturulan program aracılığı ile sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. İlk adım olarak PV-T ve termal kollektör sayıları iki adet olduğu varsayılmıştır. Şekil 3.6'da optimizasyonunun ilk adımı görülmektedir. Bu değerlerin istenilen değer olmaması durumunda etrafındaki en yakın sekiz noktada bulunan P_e ve Q_T değerleri hesaplanır en yakın değer gidiş yönü olarak belirlenir ve ikinci adım bu yönde atılır. İkinci adımda dört adet PV-T ve termal kullanıldığında güç değerleri belirlenir ve sonuca yakın nokta yönünde adım atılmaya devam edilmelidir. En son adımda nokta artık istenen güç değerlerine en yakın noktadır ve güç değerleri belirlenen kollektör değerleri ile sağlanmaktadır.

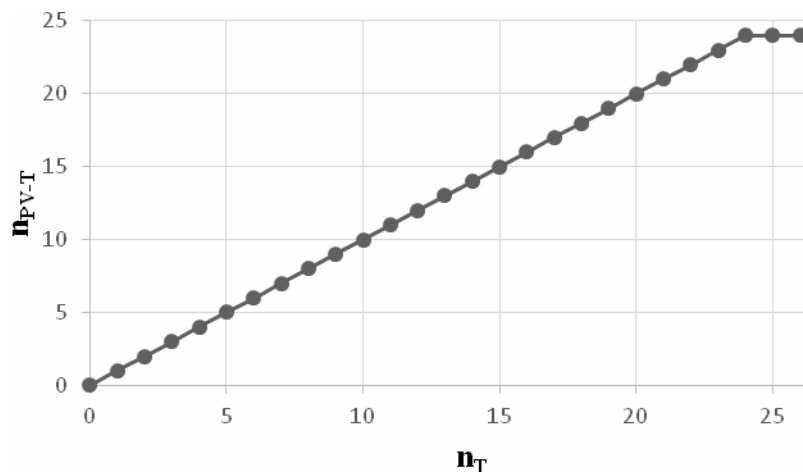


Şekil 3.6. Örnek 1 optimizasyonunun ilk adımının ekran görüntüsü

Program çalışması sonucunda yirmi altı adet termal kollektör ve yirmi dört adet PV-T kollektör birlikte kullanıldığında 14,000 W ısı ve 3,800 W elektriksel güç elde edileceği tespit edilmiştir. Şekil 3.7’de en son adımda kollektör sayısı sonucu programda hesaplanan değerler görülmektedir. Şekil 3.8’de Örnek 1 için optimizasyon sonucunun grafiksel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.7. Örnek 1 optimizasyonun son adımının ekran görüntüsü

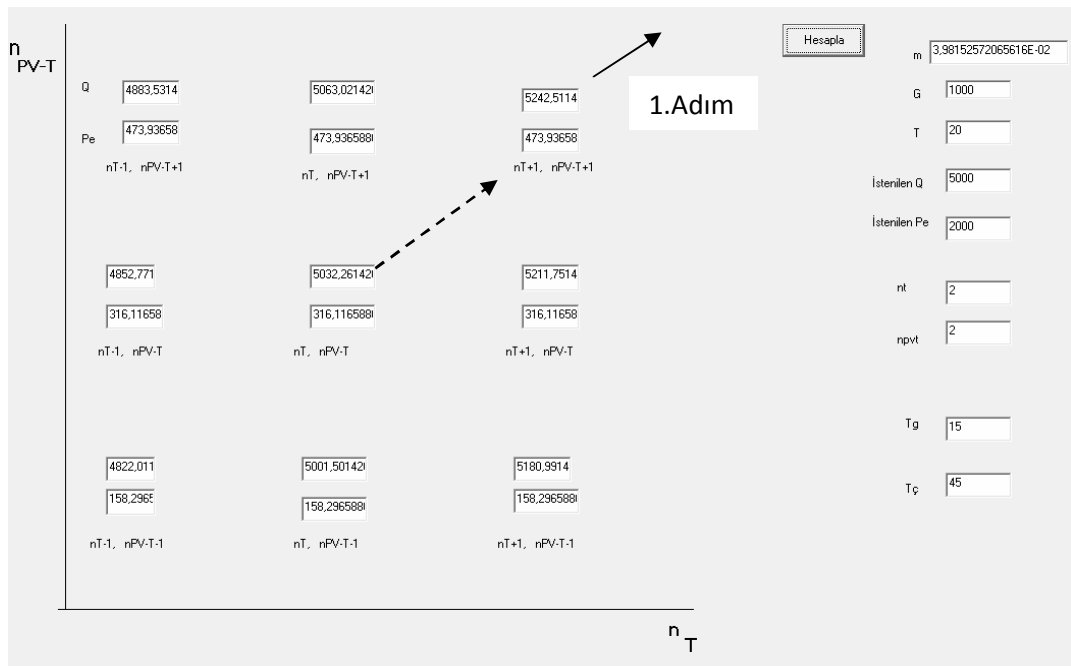


Şekil 3.8. Örnek 1 optimizasyon sonucunun grafiksel olarak gösterimi

Örnek 1’de ısı güç değeri elektrik güç değerine göre daha yüksek olduğu için yirmi dört kollektörden sonra sadece termal kollektör ilave edilmiştir. Elektrik güç değerinin ısı güç değerinden daha yüksek olduğu ikinci bir uygulama Örnek 2’de yapılmıştır.

Örnek 2. Kurulacak bir kollektör sistemi ile 5,000 W ısı güç ve 2,000 W elektriksel güç elde edilmek istenmektedir. Bu güç değerlerini sağlayacak PV-T ve termal kollektör kombinasyonunun bulunması. Sistemin kurulduğu ortam sıcaklığı 20°C ve güneş ışınım şiddetinin 1000 W/m² olduğu ve sisteme giriş su sıcaklığı 15°C ve çıkış su sıcaklığının 45°C olması düşünülmüştür.

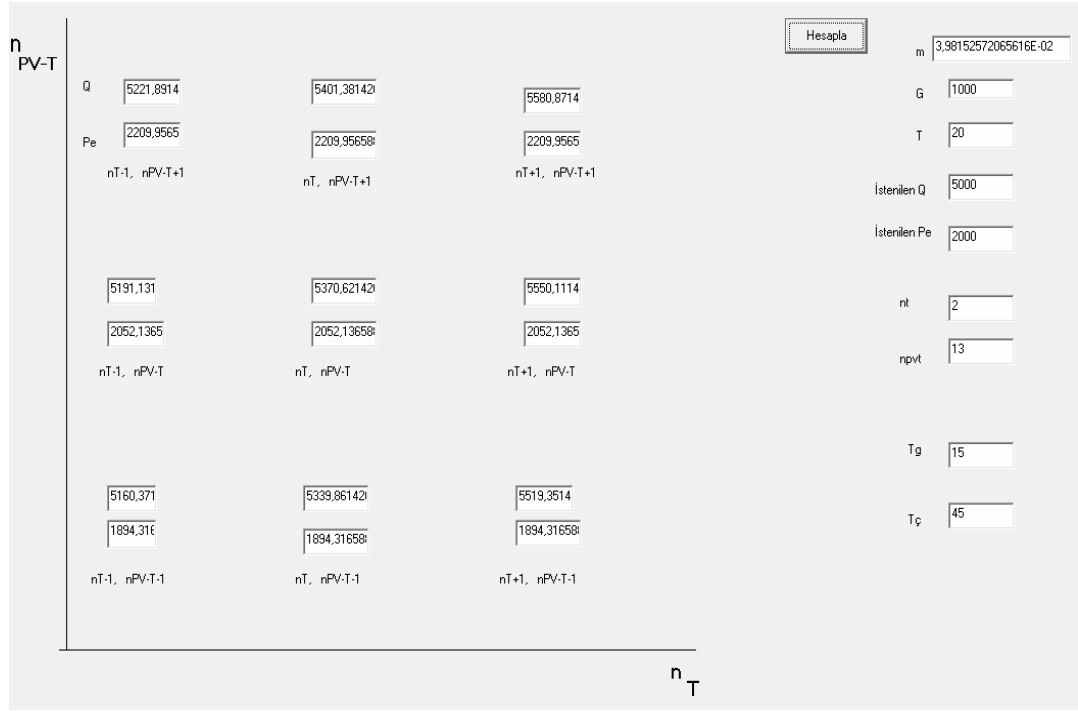
İlk adım da iki adet PV-T ve iki adet Termal kollektör kullanılması durumunda ne kadar güç elde edildiğinin tespiti yapılmıştır. Şekil 3.9’da ilk adım sonrası program sonucundaki hesaplanan değerler görülmektedir.



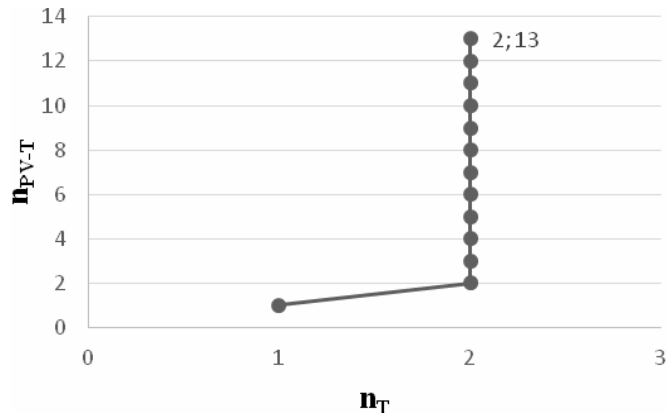
Şekil 3.9. Örnek 2 optimizasyonun ilk adımının ekran görüntüsü

İki adet termal kollektör ile birlikte on üç adet PV-T kollektör kullanılmasıyla 5,370 W ısı güç 2,052 W elektriksel güç elde edilmiştir. Isı güç değeri termal kollektör sayısı artmasa bile PV-T kollektör tarafından üretilen ısı nedeniyle artmaktadır. Şekil 3.10’da

son adım hesaplama sonucu görülmektedir. Şekil 3.11'de programda yapılan hesaplamaların grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Örnek 2 optimizasyonun son adımının ekran görüntüsü



Şekil 3.11. Örnek 2 optimizasyon sonuç grafiği

4.BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada PV-T hibrit sistemin Kayseri şartlarında yıl boyunca deneysel incelenmesi yapılmıştır. Deneylelerden elde edilen ölçümlerle sistem modelleri oluşturulmuştur. Modellerin korelasyon katsayıları modellemenin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Elde edilen modelden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır.

1. PV-T hibrit sistemde elektrik gücü yanında ısı gücü elde edilmiştir. Örneğin 1,000 W/m² ışınım şiddeti ve 20°C ortam sıcaklığı, 15°C giriş ve 50°C çıkış su sıcaklığının olduğu deney şartlarında ısı gücü 524 W, elektriksel güç 158 W olarak elde edilmiştir. PV-T kollektör ısı verimi %52.7, elektrik verimi %15.9 olarak hesaplanmıştır. Bütün sistem göz önüne alındığında PV-T kollektör toplamda % 68.6 verim sağlamaktadır. Bu verim değerlerinin literatürde ki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.
2. Işınım şiddeti arttıkça üretilen elektrik ve ısı enerjileri artmaktadır.
3. Ortam sıcaklığı arttıkça elektriksel verim düşmekte; ısı verim artmaktadır.
4. Akışkan debisi arttıkça elektrik ve ısı verim artmaktadır. Soğutucu akışkan kullanılmadığında elektriksel verimde %0.3' lük düşüş olmuştur.
5. İstenilen bir elektrik ve ısı gücü değerlerini verecek PV-T ve termal kollektör kombinasyonunu sağlayan optimizasyon algoritması oluşturulmuştur.

Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde daha çok kullanım suyu ısıtma amaçlı kullanılan güneş enerjisi son yıllarda güneş pilleri ile elektrik üretiminde de kullanılmaktadır. PV-T hibrit sistemler hem elektrik hem de ısı elde edilmesine olanak sağlayarak enerjinin daha verimli kullanılması mümkün olacaktır. Elektrik üretirken atık ısının kullanılıyor olması bu sistemleri daha cazip hale getirmektedir.

KAYNAKÇA

1. Güneş'in özellikleri ve enerji kaynağı olarak güneş, Web sayfası:, Erişim tarihi: Mart 2014
2. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihsel Gelişimi ve Türkiye'deki Yeri, Web sayfası: <http://www.gunessistemleri.com/gunes.php>, Erişim tarihi: Mart 2014
3. Güneş enerjisi hakkında bilgi, Web sayfası: www.gunessistemleri.org, Erişim tarihi: Mart 2014
4. Selçuk, M.K., Solar Stills for Agricultural Purposes, **Solar Energy**, 17,2:pp103-109,1975 http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=6644
5. Eryıldız, D.E., 2000. Demirbilek, F.N., Anatolia Solar Architecture, *Proceedings of the Third National Clean Energy Symposium*, November, İstanbul, Turkey, 245-254,
6. Türkyılmaz, O., Türkiye'nin Enerji Görünümü Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Web sayfası: [http:// www.imoankara.org.tr](http://www.imoankara.org.tr), Erişim: Mart 2014
7. Danacı, H. Gültekin, R., V. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, sayfa 243
8. Türkiye'nin güneşlenme süreleri, Web sayfası: **Hata! Köprü başvurusu geçerli değil.**, Erişim: Mart 2014
9. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası, www.eie.gov.tr, Erişim tarihi: Mart 2014
10. Varınca, K., Gönüllü, T., 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK 2006)*, Bildiriler Yoğun Diski, s: 270-275, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ), Eskişehir, 21-23
11. Dinçer, F., 2011. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme, **KSU Mühendislik Dergisi**, 14(1):8-17
12. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Web sayfası: http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398, Erişim tarihi: Nisan 2014
13. www.normenerji.com.tr, Erişim tarihi: Aralık 2012

14. Demircan Yücel, G., 2011, Petrol 50 yıl sonra bitecek, Web sayfası: http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=1094, Erişim Tarihi: Nisan 2014
15. International Energy Agency, World Energy Outlook 2010, International Energy Agency Pub., s.731, 2010
16. Güneş enerjisi, Web sayfası: http://www.emo.org.tr/ekler/310c83941df97d6_ek.pdf, Erişim Mart 2014
17. Gürbüz. K., 2013. Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri İle Buhar Üretiminin Deneysel Ve Teorik İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri
18. Duffie, J. A., Beckman, W., Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, 1991.
19. Tiwari, G. N., Dubey,S., 2010. Fundamentals of Photovoltaic Modüles And Their Applications, RSC Publishing , 256 pp.
20. Zondag, H.A., 2008. Flate-Plate PV-Thermal collectors and systems: A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **12**: 891–959
21. Öztürk, M., Özek, N., Batur, H., Koç, M., Fotovoltaik(PV)Sistemlerin Ve Fotovoltaik–Termal (PV-T) Kollektörlerin Termodinamik Değerlendirmesi, **Mühendis Ve Makina**, **52**: (619) 50-62 pp.
22. Engin, Ç., Çolak, M., 2008. Yarı saydam güneş pili /termal toplayıcı (PV/T) hibrid sistemin izmir koşullarında analizi, **CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi**, **2**(10):1-13
23. Charalambous, P.G., Maidment, G.G., Kalogirou, S.A., Yiakoumetti, K., Tiwari, G.N., 2007. Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review , **Applied Thermal Engineering**, **27**: 275–286
24. Erdil, E., Ilkan, M., Egelioglu, F., 2008. An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV)– solar thermal hybrid system, **Energy**, **33**: 1241-1245
25. Fraisse, G., Menezo, C., Johannes K., 2007. Energy performance of water hybrid PV/T Collectors applied to combisystems of Direct Solar Floor Type,**Solar Energy**, **81**: 1426-1438
26. Chow, T.T., 2010. A Review on photovoltaic/thermal hybrid solar tecnology, **Applied Energy**, **87**: 365-379

27. Almeida, L., Oliveira, A. C., 2008. Study of a hybrid PV-Thermal solar system to provide electricity and heat in Portugal, **International Journal of Ambient Energy**, 29 (3): 153-161
28. Kalogirou, S.A., Tripanagnostopoulos, Y., 2006. Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, **Energy Conversion And Management**, 47: 3368-3382
29. Sarhaddi. F., Farahat, S., H. Ajam, A. Behzadmehr, M. Mahdavi Adeli , 2010. An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, **Applied Energy**, 87: 2328–2339
30. Zondag, H. A. , De Vries, D. W., Van Helden, W. G. J., Van Zolingen, R. J. C., and Van Steenhoven, A. A., 2003. The Thermal And Electrical Yield Of A Pv-Thermal Collector, **Solar Energy**, 74: 253–269
31. Charalambous, P.G., Kalogirou, S.A., Maidment, G.G., Yiakoumetti, K., 2011. Optimization of the photovoltaic thermal (PV/T) collector absorber, **Solar Energy**, 85: 871–880
32. Tyagia, V.V., Kaushika, S.C., Tyagib, S.K., 2012. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16: 1383-1398
33. http://solimpeks.com.tr/images2/img/26038/File/urunler/pvt_presentation_en.pdf, Erişim tarihi: Mart 2014
34. <http://www.ezinc.com.tr/images/urun/Standartl%C4%B1ne%20S%20PAY%2012.pdf>, Erişim Mart 2014
35. Şahinler, S., 2000. En Küçük Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri, **M.K.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi**, 5 (1-2): 57-73
36. http://kisi.deu.edu.tr/kemal.sehirli/korelasyon_regresyon.pdf, Erişim tarihi: Mart 2014
37. Turk Toğrul, I., Onat, E., 1999. A study for estimating solar radiation in Elazığ using geographical and meteorological data, **Energy Conversion & Management**, 40: 1577-1584
38. http://www.baskent.edu.tr/~afet/dersler/genel.../dersnotlari.../DERS_%207.pdf Erişim tarihi: Mart 2014

39. Deniz, E., Atik, K., Buğutekin, A., 2006. Meteorolojik Verilerin Sayısal Analiz Metodları İle Tahmin Edilmesi, **Z.K.Ü. Teknoloji**, **9**: 271-276
40. Türkay, M., Optimizasyon Modelleri Ve Çözüm Metodları, Koç Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul
<http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Op-timizasyon.pdf>
41. Dieter, G.E., 1991. A Materials and Processing Approach, 2nd Edition, University of Maryland
42. **http://antipasto.union.edu/~andersoa/mer439/Optimization_2012.ppt** Erişim tarihi: Nisan 2014
43. Williams, S., Carter, J., Olike, L., Shalf, J., Yelick, K., 2008. Lattice Boltzmann Simulation Optimization on Leading Multicore Platforms, April 14-28, Miami, Florida, USA.

EKLER

EK-1: Termal kollektör teknik özellikleri

EK-2: Debi sensörü ürün kataloğu

EK-3: Piranometre kalibrasyon sertifika bilgileri

EK-4: Deney esnasında ölçülen değerler

EK 1. Termal kolektör teknik bilgiler

EKOLINE PAY 10
GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ

Ekoline PAY 10 Güneş Kolektörü kasa ve cam çatısı profilleri ALMgSi 0.5 (6063) kalite alüminyumdan üretilmiştir. Bu kanatlı borulardan 10 adet yan yana getirilerek, iki adet 30 mm çaplı alüminyum manifold üzerinde birleştirilmek suretiyle imal edilir. Panel hammaddesi olan ETİAL 60 kalite alüminyum alaşımının korozyona olan direnci son derece yüksektir.



Teknik Bilgiler

Panel: Alimünyum yuvarlak borulu, kendinden kanatlı yüzeylidir.

Cam: Düz Cam veya Solar Prizmatik Cam

Kasa: Elektrostatik toz boya ile boyanmış kasa.

İzolasyon: Camyünü izolasyon



Özellikler

Çeşit		Ekoline PAY 10
Özellik	Birim	Değerler
Ölçüler (boy x en x yükseklik)	mm	930x1930x87,5
Brüt Alan	m ²	1,8
Net Alan	m ²	1,6
Cam kalınlığı	mm	4
Cam malzemesi		Düz Cam veya Prizmatik Cam
Boru Malzemesi		Alüminyum
Boru çapı	mm	Ø 20
Boru sayısı	adet	10
Manifold malzemesi		Alüminyum
Manifold çapı	mm	Ø 30
Panel Kaynak Tipi		Ekstrüde Alüminyum Kendinden Kanatlı
Panel Yüzey Malzemesi		Siyah Boyalı Alüminyum
Panel Yüzey absorpsiyon		0,81±0,02
Panel Yüzey emisyon		0,05±0,02
Boş kolektör ağırlığı	kg	31
Kasa malzemesi		Elektrostatik Toz Boyalı Alüminyum Profil
İzolasyon malzemesi		Cam Yünü
İzolasyon kalınlığı	mm	50
Panel sıvı hacmi	lt	4,8
Sistem sıvısı		Antifiriz
Max çalışma basıncı	bar	6
Conta malzemesi		EPDM
Kollektör Isıl performansı	%	53
Ürün Kodu		31 101 102 24

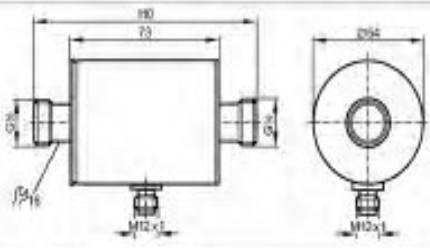
EK 2. Debi sensörü ürün kataloğu


efector300

SM6050

AKM
Akış sensörleri

Made in Germany



CE 

Ürün özellikleri

Manyetik indüktif akış sensörü

Soketli

Proses bağlantısı: Proses bağlantısı G1/4 düz conta

Analog çıkış 4...20 mA

Ölçme aralığı

0...25 l/min

Boruya bağlantısı montaj adaptörü ile

Uygulama

Uygulama	Ortam sıcaklığı [°C]	iletken sınırlar (iletkenlik: $\geq 20 \mu\text{S/cm}$ / Viskozite: $< 70 \text{ mm}^2/\text{s}$, 40°C de)
		-10...70

Elektriksel özellikler

Elektriksel yapı		DC
Çalışma gerilimi [V]		19...30 DC (1)
Akım tüketimi [mA]		90
İzolasyon direnci [MΩ]		> 100 (500 V DC)
Protection class		III
Ters polarite koruması		evet

Çıktılar

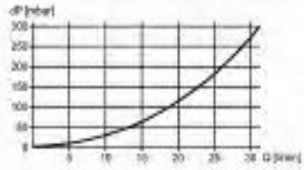
Çıkış		4...20 mA analog
Aşırı yük koruması		evet
Analog çıkış		4...20 mA
Maks. Yük [Ω]		max. 500

Ölçüm / ayar aralığı

Akış izleme		
Ölçme aralığı [l/min]		0...25

Doğruluk / sapma

Doğruluk		$\pm (2\% \text{ MW} + 0,5\% \text{ MEW})$
Basınç kaybı (dP) / akış oranı (Q)		




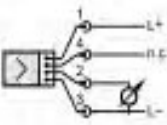
EK 2. Sayfanın devamı

efector 300



Akoş sensörleri

SM6050

Teplki süresi	
Bağlanış gecikmesi [s]	5
Akoş izleme	
Cevap verme zamanı [s]	< 0,150
Çevre koşulları	
Basınç aralığı [bar]	16
Çalışma sıcaklığı [°C]	-10...60
Depolama sıcaklığı [°C]	-25...80
Koruma	IP 67
Testler / Onaylar	
EMC	EN 61000-4-2 ESD: 4 kV CD / 8 kV AD EN 61000-4-3 HF yayılma: 10 V/m EN 61000-4-4 Patlama: 2 kV EN 61000-4-5 Dalgalanma: 0,5 kV EN 61000-4-6 HF İletim: 10 V
Şok dayanımı	DIN IEC 68-2-27: 20 g (11 ms)
Vibrasyon direnci	DIN IEC 68-2-6: 5 g (10...2000 Hz)
MTTF [Yıl]	182
Mekanik özellikler	
Proses bağlantısı	Proses bağlantısı G½ düz conta
Malzeme (ısılak parçalar)	Paslanmaz çelik V4A (1.4404); PEEK (Polieter Eterketon); FKM
Gövde malzemesi	Paslanmaz çelik V4A (1.4404); PBT-GF 20; EPDM/X (Santoprene)
Ağırlık [kg]	0,491
Elektriksel bağlantı	
Bağlantı	M12 Soket; altın kaplamalı kontaklar
Bağlantı	
	
Açıklamalar	
Açıklamalar	*) EN50178, SELV, PELV de MW = ölçülen değer MEW = ölçme aralığının son değeri
Paket miktarı [Adet]	1
Diğer veriler	
Tekrarlanabilirlik	± 0,2% MEW

EK 3. Piranometre kalibrasyon sertifikası



CALIBRATION CERTIFICATE

CERTIFICATE NUMBER	006751127279
PYRANOMETER MODEL	CMP 3
SERIAL NUMBER	127279
SENSITIVITY	17,38 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ at normal incidence on horizontal pyranometer
IMPEDANCE	44 Ohm
TEMPERATURE	22 \pm 2 °C
REFERENCE PYRANOMETER	Kipp & Zonen CMP 3 sn071176 active from 01/01/2012
CALIBRATION DATE	07 June 2012 (recalibration is recommended every two years)
IN CHARGE OF TEST	F. de Wit

Calibration procedure

The reference calibration procedure is based on a side-by-side comparison with a reference pyranometer under an artificial sun fed by an AC voltage stabilizer. It employs a 150 W metal-halide high-pressure gas discharge lamp. Behind the lamp is a reflector with a diameter of 18 cm. The reflector is 1 m above the pyranometers producing a vertical beam. The reference and test pyranometers are oriented horizontally on a table, which can rotate. The irradiance at the pyranometers is approximately 100 W/m^2 . During the calibration procedure the reference and test pyranometer are interchanged to control for any non-heterogeneity of the beam.

Hierarchy of traceability

The reference pyranometer was compared with the Sun and sky irradiance 35-50mm wide highly reflective solar conditions using the "conditions sun and sky irradiance". The measurements were performed in Dares (latitude: 51.8143, longitude: -5.8058, altitude: 1586 m above sea level). The readings are referred to the World Radiometric Reference (WRR) as stated in the IEC Technical Specifications. The regularly estimated uncertainty of the WRR relative to SI is $\pm 0.5\%$.

The inclination of the receiver surface versus the true horizontal plane was set to 0.0 degree. The transmitter angle was to the north. During the comparison, the instrument received global radiation (normal to the beam) of 419 W/m^2 with a mean of 419 W/m^2 . The angle between the solar beam and the normal of the receiver surface varied from 29.2 to 49.9 with a mean of 39.5 degrees. The ambient temperature ranged from +10.6 to +23.8 with a mean of +20.3 °C. The sensitivity calculation and the single measurement deviation (or are based on 291 individual measurements. The obtained sensitivity value and its expanded uncertainty (95% level of confidence) are valid for similar conditions and are: $17.22 \pm 0.38 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (see corrected by Kipp & Zonen in 11.25 $\mu\text{W}/\text{m}^2$). See "Correction applied" below.)
Date of measurements: 2011, August 1, 2, 11, 16-18

Global radiation data were calculated from the direct solar radiation as measured with the absolute cavity pyranometer PM02 (reference of the WRR, WRR factor: 0.998623, based on the last International Pyrohelometer Convention (IC-2010) and from the diffuse radiation as measured with a certified flat-plate pyranometer CM 22 #020559 with sensitivity 4.91 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ with heated air, temperature-wise to the north.

Correction applied: +0.3%

This correction is necessary to compensate for the mean photovoltaic errors of the reference CMP 3 at Dares. This error is estimated of 0.006 W/m^2 by measuring the directional error for the mean angle of incidence α around 5:00 and 5:30. The reference CMP 3 now measures the vertical beam of the solar calibration facility more correctly.

Justification of total instrument calibration uncertainty

The combined uncertainty of the result of the calibration is the positive "root sum square" of three uncertainties:

1. The expanded uncertainty due to various effects and instrumental errors during the calibration of the reference CMP 3 as given by the World Radiation Center in Dares is $\pm 0.38/11.22 = \pm 3.4\%$ (See traceability text).
2. The uncertainty in the correction for the systematic effect of a directional error (cosine error) during the calibration in Dares, based on experience this cosine error can be admitted with an expanded uncertainty of $\pm 0.5\%$.
3. Also based on experience the expanded uncertainty of the primary pyranometer calibration by comparison is estimated to be $\pm 0.5\%$.

The estimated combined expanded uncertainty is the positive "root sum square" of these three uncertainties: $\sqrt{3.4^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = \pm 3.5\%$.

NOTICE

The calibration certificate supplied with the instrument is at the date of first use. Even though the calibration certificate is dated relative to measurements or recalibration, the instrument does not undergo any significant changes while kept in the original packaging. From the moment the instrument is taken from its packaging and exposed to irradiance the sensitivity may decrease with time. See the "stability" value of change in sensitivity program given in the radiometer specifications.

Page: Kipp & Zonen B.V.
1/1: Delftechpark 36, 2628 KH Delft
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands

T: +31 (0) 15 2795 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com
www.kippzonen.com

VAT no.: NL0095.74.857.B.01
Trade Register no.: 27239004
Member of HVEI

EK 4. 4 Haziran 2013 tarihli deney ölçümleri.

Saat	PV-T çıkış	PV-T giriş	T ₀	m	U	G
08:32:00	29.9	24.4	25.1	5.242	3.208	15.29
08:33:00	29.6	23.4	25	5.247	3.211	15.45
08:34:00	29.8	23.2	25.5	5.037	3.216	15.42
08:35:00	30.3	23.5	25.5	5.048	3.225	15.4
08:36:00	30.6	23.7	24.5	5.042	3.244	15.53
08:37:00	30.6	23.7	23.9	5.054	3.119	15.56
08:38:00	31.4	23.8	27	5.042	3.112	15.52
08:39:00	31.3	23.9	24.6	5.042	3.113	15.47
08:40:00	31.8	24	25.3	5.042	3.11	15.52
08:41:00	32.1	24.1	26.2	5.054	3.117	15.53
08:42:00	32.4	24.2	25.3	5.048	3.126	15.58
08:43:00	32.3	24.4	26.1	5.059	3.135	15.61
08:44:00	32.2	24.6	26.1	5.042	3.147	15.67
08:45:00	31.7	24.4	25.4	4.893	3.156	15.67
08:46:00	32.1	24.7	26.8	4.952	3.159	15.66
08:47:00	32.5	24.9	27	4.947	3.163	15.73
08:48:00	33.1	25.1	25.4	4.935	3.172	15.86
08:49:00	33.1	25.5	26.8	4.946	3.179	15.8
08:50:00	33.7	25.8	26.1	4.924	3.178	15.79
08:51:00	34	26.1	25.4	4.952	3.181	15.72
08:52:00	34	25.9	25.4	4.922	3.187	15.82
08:53:00	33.9	25.9	25.4	4.934	3.186	15.81
08:54:00	34.2	25.4	27.1	4.939	3.193	15.87
08:55:00	34.5	25.8	28.4	4.922	3.197	15.93
08:56:00	34.6	26.5	25.2	4.94	3.208	16
08:57:00	34.2	25.4	28.2	4.928	3.214	15.97
08:58:00	34.2	25.8	27.8	4.946	3.222	16.01
08:59:00	34.8	26.1	27	4.94	3.243	16.05
09:00:00	34.5	26.1	26.9	4.839	3.251	16.11
09:01:00	33.5	25.5	25.9	4.845	3.258	16.09
09:02:00	33.9	25.7	26.9	4.845	3.26	16.1
09:03:00	34.6	26.2	28	4.845	3.261	16.17
09:04:00	34.7	26.4	27.6	4.846	3.273	16.22
09:05:00	34.9	26.6	24.8	4.839	3.276	16.26
09:06:00	35.2	26.7	25.4	4.845	3.278	16.18
09:07:00	35.2	26.4	25.3	4.839	3.28	16.24
09:08:00	35.4	27.2	26	4.827	3.286	16.27
09:09:00	35.8	27.2	26.8	4.833	3.289	16.26
09:10:00	35.8	27.8	26.7	4.667	3.292	16.3
09:11:00	35.5	27.7	26.8	4.71	3.298	16.32

EK 4. Sayfanın devamı

09:12:00	35.8	28	25.3	4.702	3.303	16.36
09:13:00	36.1	27.3	25.4	4.708	3.309	16.31
09:14:00	36.7	27.1	25.7	4.727	3.314	16.29
09:15:00	37.4	27.5	25.8	4.708	3.309	16.31
09:16:00	38.1	27.5	26.5	4.696	3.319	16.37
09:17:00	38.7	28.2	26	4.72	3.319	16.44
09:18:00	38.2	28.2	26.3	4.72	3.319	16.41
09:19:00	38.2	28	26.1	4.727	3.324	16.44
09:20:00	38.8	28.5	27.9	4.577	3.326	16.52
09:21:00	39.4	26.7	24.7	4.626	3.335	16.51
09:22:00	39.8	27.7	26.4	4.624	3.343	16.56
09:23:00	40.2	28.7	25.7	4.631	3.344	16.56
09:24:00	41	28.7	27.1	4.624	3.35	16.58
09:25:00	41.6	28.8	27	4.64	3.36	16.57
09:26:00	41.2	28.6	27.2	4.631	3.366	16.62
09:27:00	41.4	28.6	27.4	4.624	3.379	16.72
09:28:00	41.6	29.1	26.8	4.625	3.391	16.7
09:29:00	42.2	28.8	26.5	4.619	3.376	16.81
09:30:00	42.2	28.5	27.5	4.553	3.378	16.78
09:31:00	42.9	29.2	26.3	4.559	3.383	16.71
09:32:00	43.8	29.8	26.1	4.541	3.388	16.8
09:33:00	42.7	30.5	27	4.501	3.396	16.8
09:34:00	43.9	29.7	28.5	4.499	3.397	16.81
09:35:00	44.2	29.5	27.5	4.523	3.401	16.76
09:36:00	44.2	30.5	27.5	4.505	3.402	16.81
09:37:00	44.4	31.4	29.1	4.512	3.407	16.91
09:38:00	44.5	31.5	28.3	4.517	3.403	16.92
09:39:00	44.3	31.5	26.7	4.506	3.403	16.91
09:42:00	44.5	31.5	28.3	4.511	3.411	16.9
09:43:00	44	31.6	26.2	4.505	3.408	16.83
09:44:00	44.8	31.9	27.5	4.511	3.405	16.88
09:45:00	44.8	31.4	27.1	4.41	3.418	16.89
09:46:00	45.3	31.6	28.2	4.41	3.421	16.93
09:47:00	47.4	32.2	28.2	4.41	3.425	16.95
09:48:00	48.1	33	27.2	4.404	3.428	17
09:49:00	48.2	33.6	27.4	4.404	3.416	16.98
09:50:00	48.3	32.6	28	4.41	3.417	16.9
09:51:00	48.1	32	26.4	4.398	3.411	16.85
09:52:00	48.7	31.2	26.8	4.296	3.427	17
09:53:00	49.4	31.2	28	4.321	3.42	17
09:54:00	50.4	31.7	25.7	4.314	3.428	16.99

Ek 4. Sayfanın devamı

09:55:00	51	32.2	27.5	4.314	3.442	17.03
09:56:00	51.4	33.1	25.5	4.327	3.423	16.93
09:57:00	52.2	34.4	26.6	4.332	3.42	16.85
09:58:00	52.3	33.5	26.9	4.32	3.566	16.99
09:59:00	52.6	33.1	29	4.326	3.561	16.95
10:00:00	52.6	33	29.5	4.207	3.559	16.96
10:01:00	53.4	33.2	27.8	4.225	3.565	16.96
10:02:00	53.8	33.9	27.6	4.213	3.545	16.91
10:03:00	54.8	34.8	28.1	4.213	3.543	16.89
10:04:00	55.4	35.4	28.1	4.213	3.546	16.91
10:05:00	55.7	35.8	27.3	4.213	3.553	16.87
10:06:00	56.7	36.2	27.8	4.218	3.546	16.88
10:07:00	57.3	36.6	28.7	4.219	3.554	16.93
10:08:00	57.4	36.7	29.6	4.213	3.549	16.94
10:09:00	57.7	36.9	30.7	4.207	3.55	16.89
10:10:00	58.2	37.1	29.6	4.207	3.543	16.91
10:11:00	58.6	37.2	29.5	4.213	3.542	16.84
10:12:00	58.4	37.4	29	4.224	3.556	16.9
10:13:00	57.9	37.7	28.6	4.207	3.542	16.75
10:14:00	58.3	37.6	27	4.219	3.543	16.74
10:15:00	59.1	37.8	27.4	4.141	3.549	16.75
10:16:00	60.2	38.1	27.4	4.141	3.544	16.78
10:17:00	61.7	38.6	28.6	4.135	3.545	16.84
10:18:00	64.2	39.4	28.1	4.148	3.549	16.77
10:19:00	65.6	39.9	26.2	4.135	3.547	16.87
10:20:00	65.8	39.8	26.8	4.141	3.542	16.76
10:21:00	65.9	39.8	25.3	4.147	3.539	16.78
10:22:00	66.7	40	26.8	4.14	3.543	16.8
10:23:00	66.8	40	28	4.141	3.535	16.79
10:24:00	67.3	40.1	27.7	4.141	3.54	16.81
10:25:00	66.9	40	30.4	4.148	3.537	16.82
10:26:00	66.5	40.2	29.1	4.153	3.528	16.82
10:27:00	68.1	40.6	27.8	4.153	3.532	16.84
10:28:00	69.2	40.7	27.2	4.14	3.536	16.83
10:29:00	69.7	40.8	28.8	4.147	3.536	16.86
10:30:00	69.9	40.8	27.5	4.106	3.524	16.95
10:31:00	71.1	40.7	27.4	4.099	3.533	17.08
10:32:00	71.2	40.9	26.7	4.105	3.531	17.14
10:33:00	71.9	41.2	27.4	4.111	3.525	17.2
10:34:00	72.9	41.8	26.3	4.111	3.531	17.36

Ek 4. Sayfanın devamı

10:35:00	73.9	42.1	27.5	4.107	3.535	17.37
10:36:00	75.3	42.4	26.8	4.111	3.545	17.37
10:37:00	75.6	42.4	24.2	4.105	3.573	17.43
10:38:00	76.7	42.6	26.7	4.111	3.591	17.39
10:39:00	75.6	43	28.3	4.105	3.592	17.29
10:40:00	76.5	43.5	25.5	4.111	3.586	17.24
10:41:00	77.5	43.9	26.9	4.105	3.579	17.22
10:42:00	77.6	44.1	26.7	4.111	3.581	17.31
10:43:00	78.2	44.7	27.3	4.117	3.577	17.32
10:44:00	77.5	45	29.6	4.114	3.571	17.33
10:45:00	77.6	45.1	27	4.105	3.554	17.32
10:46:00	77.4	45.1	28.8	4.098	3.532	17.15
10:47:00	77.2	45	27.5	4.11	3.519	17.07
10:48:00	77.1	44.8	28.3	4.111	3.51	17.06
10:49:00	76.6	44.7	28.5	4.069	3.462	16.94
10:50:00	76.8	44.8	26.9	4.057	1.285	16.85
10:51:00	76.8	45.1	29.9	4.058	3.499	16.92
10:52:00	77.3	45.7	28.5	4.063	3.498	16.77
10:53:00	77.9	46.5	28.7	4.058	3.501	16.51
10:54:00	78.8	47.4	28	4.057	3.497	16.4
10:55:00	78.9	48.1	27.1	4.051	3.49	16.4
10:56:00	79.2	49	28.2	4.063	3.48	16.34
10:57:00	78.4	49.5	28.7	4.057	3.474	16.28
10:58:00	78.7	50.1	27.1	4.069	3.462	16.24
10:59:00	79.4	50.4	26.7	4.057	3.453	16.16
11:00:00	80.3	50.1	26.2	4.062	3.449	16.12
11:01:00	81	50	29.1	0	3.451	16.14
11:02:00	82.8	50	28.6	0	3.453	16.18
11:03:00	82.8	50.7	26.8	0	3.45	16.21
11:04:00	86.4	49.1	11.6	0	3.44	17.21
11:05:00	81.6	51.8	14.4	0	3.437	15.57
11:06:00	65	46.6	25.8	0	3.427	15.98
11:07:00	72.3	72.5	26.8	0	3.418	16.08
11:08:00	82.3	56.2	30.6	0	3.413	15.89
11:09:00	84.2	61.1	25.5	0	3.409	14.81
11:10:00	82.4	70.7	12.2	0	3.404	16.18
11:11:00	86	76	28.3	0	3.535	15.34
11:12:00	87.4	67.3	33.2	0	3.528	16.51
11:13:00	91.3	56.7	37	0	3.521	16.49
11:14:00	93.6	74	34.4	0	2.485	15.75
11:15:00	90	77.1	31.3	0	3.262	16.43

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Fatma DUMAN

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 3 Mart 1980, KAYSERİ

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: 0535 6196197

e-mail: fatmadkm@hotmail.com

Yazışma Adresi: Yıldırım Beyazıt Mah. Bel Sk. No:25 MELİKGAZİ/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kayseri	2014
Lisans	İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya	2002
Lise	Karamancı İ.H.L, Kayseri	1997

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013- Halen	FD Danışmanlık	Uzmanlık
2005-2012	Şahbaz Makine	Kalite Kont. Mdr.

YABANCI DİL

İngilizce