

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

ENERJİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ PANELLERİNDE KOJENERASYON VE EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET DİŞCİGİL

**HAZİRAN 2007
MUĞLA**

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

ENERJİ ANABİLİM DALI

GÜNEŞ PANELLERİNDE KOJENERASYON VE EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET DIŞÇIĞIL

MUĞLA 2007

Onay Sayfası

**MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Prof. Dr. Muhammed ELTEZ danışmanlığında **Mehmet DİŞCİGİL** tarafından hazırlanan **Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi** başlıklı tez, 15/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Muhammed ELTEZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Tayfun BÜKE

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Asude ELTEZ

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

ÖNSÖZ

Endüstri devrimi ve yetmişli yıllarda meydana gelen petrol krizi sonrası temiz yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gündeme gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanımı gelişen teknoloji ile sürekli artmaktadır.

Bu tez çalışmasındaki deneysel verilerin elde edilmesi için gerekli sistem, Muğla Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri) kapsamındaki bir proje desteği ile gerçekleştirildi. Maddi desteğinden dolayı Muğla Üniversitesine ve projede emeği geçenlere teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muhammed ELTEZ ve Yrd. Doç. Dr. Asude ELTEZ' e, teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmalarım sırasında, bana her yönden destek olan eşim Seda DİŞCİGİL' e, kızım Büşra Pırıl DİŞCİGİL' e ve başta babam Mehmet Yücel DİŞCİGİL olmak üzere tüm aileme çok teşekkür ederim.

Mehmet DİŞCİGİL

MUĞLA

01/06/2007

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ	X
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji ve Önemi	1
1.2. Yenilenebilir Enerjilere Olan Gereksinimler	1
1.3. Türkiye'nin Enerji Kaynakları	2
1.3.1. Fosil enerji kaynakları.....	3
1.3.2. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	3
1.4. Türkiye'nin Enerjiye Bakışı.....	5
1.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli	6
1.6. Güneş Toplaçları	10
1.7. Güneş Toplaçlı Sıcak Su Sistemleri.....	13
1.8. PV Güneş Toplaçları	15
1.9. PV Güneş Toplacı Sistemleri.....	20
1.10. Dünyada PV Güneş Toplacı Kullanımı.....	25
1.11. PV Güneş Toplaçları Uygulama Örnekleri	26
1.12. PV Güneş Toplaçları ve PV/Isıl (PV/T) Güneş Toplaçları	34
1.13. Kojenerasyon.....	37
1.14. Ekserji	37
2. KAYNAK ÖZETLERİ	38
2.1. Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Toplaçlarla Yapılan Çalışmalar	38
2.2. Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Toplacı Çeşitleri.....	39
2.2.1. Düz Yüzey Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Toplaçları.....	40
2.2.2. Akışkanlı Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Toplaçları.....	40
2.3. Teorik Analiz	40
2.3.1. Güneş Işınımı	42
2.3.2. Isıl Analiz	42
2.3.2.1 PV Güneş Toplacı Verimlilik Eğrisi	45
2.3.3. Elektriksel Analiz.....	46
2.3.4. Entropi ve Ekserji Analizi.....	48
2.3.4.1 Entropi.....	48
2.3.4.2 Ekserji	48
2.4. PV/T Güneş Toplaçlarının Analitik Modelleme ve Simülasyonu	49
2.5. Deneysel Çalışmalar.....	50

2.6. Kaynak Araştırması Sonuçları	50
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	52
3.1. Seçilen Konstrüksiyon ve Tasarım Parametreleri	52
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	58
4.1. Isıl Deneyler ve Hesaplamalar	58
4.2. Elektriksel Deneyler.....	65
4.3. Ekserji Analizi.....	66
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	74

GÜNEŞ PANELLERİNDE KOJENERASYON VE EKSERJİ ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

MEHMET DIŞCIĞIL

**MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

2007

ÖZET

Günümüzdeki ticari kullanımdaki çeşitli yapılardaki PV güneş topplaçlarının verimlilikleri ortalama % 6-16 aralığında olup kalan enerjinin önemli bir bölümü geri kazanılmayan ısı enerjisi biçimindedir. Sıcak su elde edilmesinde kullanılan ısı topplaçlarının verimlilikleri ise % 40-70 arasında değişmektedir. Bu iki sistemin birleştirilmesi ile elde edilen ikili üretim panelleri, kullanımda önemli bir maliyet avantajı sağlayacaktır. Birleşik verimliliğin, çok düşük bir maliyet artışına karşılık, en az % 50 oranında artırılması, PV güneş topplaç sistemlerinin geri ödeme sürelerini azaltacak ve yaygın kullanımını teşvik edecektir.

Muğla Üniversitesi'nde gerçekleştirilen test düzeneğinde, yalıtımlı ve yalıtımsız PV güneş topplaçları ve yalıtımlı su tipi akışkan ile soğutulan fotovoltaik/ısı güneş toplacı (PV/T kojenerasyon) aynı koşullarda test edilerek, kojenerasyon sisteminin getirdiği farklar ekserjik analizlerle belirlenmiştir. Bu sonuçlar ile sistem optimizasyonu yapılmış ve böylece deney sonuçlarının daha kapsamlı uygulamalar için temel oluşturması sağlanmıştır. Bu sonuçlar aynı zamanda literatürde yapılan diğer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır.

Yükselen PV güneş toplaç sıcaklıklarının verimliliğe olan negatif etkilerinin azaltılması ve ısı-geri kazanımının sağlanması yoluyla mevcut uygulamalara yönelik verimliliği artırmak bu tezin ana amacını oluşturmaktadır.

Yapılan tüm bu çalışmalar; fotovoltaik/ısı (PV/T) güneş toplaçların verimlerinin artırılması ve fiyatlarının düşürülmesi ile pazarda temiz bir enerji sistemi olarak daha da yaygın kullanımını hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler : PV Güneş Toplacı, Fotovoltaik, Kojenerasyon, Fotovoltaik-Isıl (PV/T) Toplaç, Ekserji,.

Sayfa Adedi :74

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Muhammed ELTEZ

COGENERATION IN SOLAR PHOTOVOLTAIC PANELS AND EXERGY ANALYSIS

(M. Sc. Thesis)

MEHMET DIŞCIĞİL

**MUĞLA UNIVERSITY
INSTITUTE of SCIENCE and TECHNOLOGY**

2007

ABSTRACT

Nowadays, several types of Photovoltaic (PV) collectors convert solar radiation into electricity with peak in the range of 6-16%. The efficiencies of flat plate thermal collectors which is used for heating water are about 40-70%. Combined Photovoltaic thermal (PV/T) collectors are very promising devices and no substantial steps have been taken towards reducing their cost and making them more competitive.

A covered PV system and an uncovered PV system and a covered PV/T system with water as the working fluids, are constructed and tested in Muğla University. Electrical and thermal energy amounts are calculated in Muğla weather conditions. Exergy analysis have been done. The test results are compared with the other systems in literature. The results show that PV/T collector produces the largest available total (electrical and thermal) energy.

This thesis presents also a review of the available literature on PV/T collectors. From the literature review, it is clear that PV/T collectors are very promising devices and further work should be carried out aiming at improving their efficiency and reducing their cost, making them more competitive and thus aid towards global expansion and utilization of this environmentally friendly energy device.

Key Words :Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) water-heating system, Solar Energy, Thermal Energy, Photovoltaic, Cogeneration, Exergy, PV/T Collector

Pages : 74

Adviser : Prof. Dr. Muhammed ELTEZ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Düzlemsel Güneş Toplacı (Anonim b, 2007)	11
Şekil 1.2. Güneş toplaçlı sıcak su sistemleri şematik gösterimi (Anonim b, 2007).....	13
Şekil 1.3. Güneş toplaçlı sıcak su sistemleri(Anonim b, 2007)	14
Şekil 1.4. Katkılanmış yarı-iletken malzeme	17
Şekil 1.5. PV güneş toplacı hücresi.....	18
Şekil 1.6. PV güneş toplacı modülü.....	18
Şekil 1.7. PV güneş toplacı enerji sisteminin şeması.....	21
Şekil 1.8. Dünyada PV güneş toplacı satışları.(Anonim b, 2007).....	25
Şekil 1.9. Dünyada kurulu PV güneş toplacının kullanım alanlarına göre dağılımı (Anonim b, 2007).....	26
Şekil 1.10. Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi çatısına entegre 10 kWp fotovoltaik güç sistemi. (Anonim d, 2006).....	27
Şekil 1.11. Muğla Üniversitesi ölçüm ve kontrol sistemleri(Anonim d, 2006)	28
Şekil 1.12. Muğla Üniversitesi Türk Evi restoran çatısına entegre 26 KWp fotovoltaik güç sistemi. (Anonim d, 2006).....	29
Şekil 1.13. Muğla Üniversitesi otopark çatısına entegre 15kWp fotovoltaik güç sistemi. (Anonim d, 2006).....	30
Şekil 1.14. Muğla Üniversitesi Sıtkı Koçman Köprüsü aydınlatma sistemi. (Anonim d, 2006)	31
Şekil 1.15. Muğla Üniversitesi kampüs içi yürüyüş yolu aydınlatma sistemi. (Anonim d, 2006)	31
Şekil 1.16. Muğla Üniversitesi Kampüs içi Su Depoları Aydınlatma ve Filtre Sistemi(Anonim d, 2006).....	32
Şekil 1.17. Muğla Üniversitesi Kereste Kurutma Sistemi. (Anonim d, 2006).....	34
Şekil 1.18. Yuvarlak biçimli bir bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemi (BIPV- Building Integrated Photovoltaic Systems).....	35
Şekil 1.19. Kare şeklinde bir bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemi (BIPV- Building Integrated Photovoltaic Systems), (Hammer, 2006)	36
Şekil 1.20. Piramit şeklinde bir bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemi (BIPV- Building Integrated Photovoltaic Systems), (Hammer, 2006).....	36
Şekil 2.1.(PV/T) Fotovoltaik/ısı güneş toplacı şematik gösterimi	39
Şekil 2.2. PV/T güneş toplacı sisteminin şematik olarak gösterimi.....	41
Şekil 2.3. PV güneş toplacı verimlilik eğrisi	46
Şekil 2.4. Amorf ve Silisyum Kristalli PV Panellerinin Sıcaklık Artışına Bağlı Güç Kaybı Grafiği (Hammer, 2006).....	47
Şekil 3.1. Test düzeneğinin önden görünüşü	53
Şekil 3.2. Test düzeneğinin yandan görünüşü.....	54
Şekil 3.3. Test düzeneğinin arkadan görünüşü	54
Şekil 3.4. Test düzeneğinin yandan görünüşü.....	55
Şekil 3.5. Test düzeneğinin yandan görünüşü.....	55

Şekil 3.6. Test düzeneğinin iç yapısının görünüşü.....	56
Şekil 3.7. Test düzeneğinin iç yapısının görünüşü.....	56
Şekil 3.8. Test sisteminde ölçüm değerlerinin alındığı kontrol paneli.....	57
Şekil 4.1.PV/T güneş toplacı verimlilik grafiği	60
Şekil 4.2. Panel sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	62
Şekil 4.3. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışınımının zamana göre değişimi.....	63
Şekil 4.4. Çevre sıcaklığının zamana göre değişimi	64
Şekil 4.5. Verimin zamana göre değişimi	65
Şekil 4.6. Elektrik enerjisinin zamana göre değişimi.....	66
Şekil 4.7. Ekserji üretiminin zamana göre değişimi	68

TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa No.</u>
Tablo 1.1. Türkiye'nin fosil enerji kaynaklarının miktarı (Kaya, 2004).	3
Tablo 1.2. Türkiye'de elektrik güç kapasitesi gelişimi (Ocak vd., 2003).	6
Tablo 1.3. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi (Anonim b, 2007)	7
Tablo 1.4. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı(Anonim b, 2007).....	8
Tablo 1.5. Muğla yöresinde metrekareye düşen güneş enerjisinin aylık ortalama toplam değerleri (Anonim d, 2006).....	9
Tablo 1.6. Güneş topaçlarının ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimimize katkısı (Anonim b, 2007)	10
Tablo 3.1. Kullanılan malzemelerin ve cihazların özellikleri	53
Tablo 4.1. Deneyde ölçülen değerler	58
Tablo 4.2. Hesaplanan değerler.....	59
Tablo 4.3. Ekserji analiz değerleri	67

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif (Sinüzoidal)
A_c	PV Güneş toplacı yüzey alanı (m^2)
BIPV	Building integrated photovoltaic systems (Bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemleri)
C_p	Suyun özgül ısısı ($4200 J/kg.K$)
CHAPS	Combined heat and power solar (Bileşik ısı ve güneş enerjili)
D	PV/T güneş toplacı boru çapı
DC	Doğrusal
E	Elektrik enerjisi (W)
E_g	Camın yayma katsayısı
F'	Toplaç verim faktörü
F_R	Toplaç ısı kazanç faktörü (kolektör ısı taşıma verim faktörü)
F_F	Akış faktörü
GBP	İngiliz Para Birimi Pound
h_w	Üst taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
I_T	Yüzeğe gelen toplam güneş ışınımı (W/m^2)
I	Yüzeğe β eğim açısıyla gelen toplam güneş ışınımı (W/m^2)
I_m	PV panel akımı (Amper)
k_p	Yutucu plakanın ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)
m	Kütleli debi ($kg/(s.m^2)$)
n	Cam örtü sayısı
PV	Fotovoltaik güneş toplacı
PV/T	Fotovoltaik/Isıl güneş toplacı
Q	Isıl enerji (W)
Q_u	Gerçek faydalı enerji (W)
Q_L	Güneş toplacısındaki kayıp enerji (W)
S	PV Güneş toplacı tarafından yutulan güneş ışınımı (W/m^2)
S_{gen}	Üretilen entropi (W/K)

S_{in}	Giren entropi (W/K)
S_{out}	Çıkan entropi (W/K)
S_p	Yutucu plakanın kalınlığı (m)
T	PV Güneş toplacı modül sıcaklığı(°C)
T_i	PV Güneş toplacı akışkan giriş sıcaklığı(°C)
T_o	PV Güneş toplacı akışkan çıkış sıcaklığı(°C)
T_{pm}	Yutucu yüzey sıcaklığı (°C)
T_a	Çevre sıcaklığı (°C)
U_L	Toplaç ısı kayıp katsayısı (w/m ² °C)
U_{eff}	Etkin ısı kayıp katsayısı (w/m ² °C)
U_t	Üst ısı kayıp katsayısı (w/m ² °C)
U_b	Alt ısı kayıp katsayısı (w/m ² °C)
U_e	Yan ısı kayıp katsayısı (w/m ² °C)
V_m	PV panel gerilimi (Volt)
V_r	Rüzgar hızı (m/s)
W	PV/T güneş toplacı boru aralığı
X	Ekserji
ϑ	Toplaç karakteristik eğrisinin eğimi ($F_R U_L$)
β	Toplaç eğim açısı
β_T	PV Güneş toplacı verimlilik sıcaklık katsayısı
η	Isıl verim
η_{el}	Elektriksel verim
η_T	Toplam verim
η_o	Standart durumda elektriksel verim
τ	Cam geçirgenlik katsayısı
α	Yutma katsayısı
σ	Stefan-Boltzman sabiti ($5,67*10^{-8}$)

1. GİRİŞ

1.1. Enerji ve Önemi

Günümüzde ülke kalkınmasının en önemli göstergelerinden biri, o ülkede kişi başına tüketilen enerjidir. Enerji, sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle, enerji ihtiyacı ulusal ve uluslararası gündemde oldukça önemli bir yer tutar. Enerji kaynaklarının tükenebilir oluşu, dışa bağımlılığın varlığı ve çevresel etkiler sebebiyle; günümüzde ülkeler için güvenli, yeterli miktarda, ucuz ve temiz enerji üretmek, ekonomik ve sosyal hayatın temel problemleri arasında yerini almaktadır. Sanayisi, ekonomisi ve nüfusu ile hızla büyümekte olan ülkemizde paralel olarak enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Bu nedenle, üretilen enerjinin yüksek verimle kullanılması, mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ait potansiyelin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Etemoğlu ve İşman, 2004).

Dünya enerji ihtiyacındaki artış çevresel faktörlerle birleşerek araştırmaları doğal kaynakların kullanımındaki teknolojinin geliştirilmesine yönlendirmektedir. Bu olgu, bilimsel çevreleri, enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye zorlamaktadır. Dünyadaki politik gelişmelere bağlı olarak enerji fiyatlarının sürekli artması, fosil yakıtların belli bir süre sonra bitecek ve üretiminin oldukça pahalı olması, alternatif enerji kaynaklarının tespit edilerek bu kaynaklardan yüksek verimle faydalanılmasını zorunlu kılmaktadır. (Etemoğlu ve İşman 2004).

1.2. Yenilenebilir Enerjilere Olan Gereksinimler

Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bir çok Avrupa ülkelerinin enerji politikaları arasındadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; biyokütle, biyogaz, hidrojen, okyanus, jeotermal, hidrolik, güneş ve rüzgar gibi fosil olmayan enerji kaynaklarıdır. Gelecek kullanımlar için deniz aşırı kaynaklardaki güvenlik sorununun artışı ile batıdaki petrol ve gaz kaynaklarının azalması; yenilenebilir ve

sürdürülebilir enerji kaynaklarına gereksinimi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan gereksinim nedenleri, aşağıda sıralanmıştır:

1. Petrol ve gaz kaynaklarının güvenliği üzerine olan endişelerin artması.
 - Ortadoğu bölgesindeki muhtemel anlaşmazlıkların artışı.
 - Venezuela' daki petrol kaynakların kullanımındaki problemler.
 - Politik olarak kararsız bölgelerde büyük enerji kaynaklarının varlığı.
2. Uzun dönem içerisinde enerji talep tahmininde çok fazla artış beklentisi.
 - Meksika körfezi ve kuzey denizindeki üretimin azalması.
 - Suudi Arabistan'da 2020 yılına kadar petrol üretiminin çok az artabileceğinin tahmini.
 - Özellikle Avrupa ve Amerika'da petrole göre, doğal gaza olan talebin artışı.
3. Artan dünya nüfusu ve çevresel baskılar.
 - Küresel ısınma ve sera gazı etkisi.
 - İnsanların çevresel tehlike oluşumunu fark etmeleri.
4. Yenilenebilir enerji maliyetlerindeki düşüşler.
 - Yenilenebilir enerji maliyetlerinin, fosil yakıtlı enerji kaynaklarının maliyeti ile rekabet edebilir şekilde azalması (Keedwell, 2002).

1.3. Türkiye'nin Enerji Kaynakları

Türkiye, çok fazla fosil yakıtlı rezervlere sahip değildir. Linyit hariç; kömür, petrol ve doğalgaz rezervlerimiz sınırlıdır ve ülkemizin projelendirilmiş taleplerini karşılamaktan uzaktır. Uzun vadede baktığımızda, linyit maden rezervleri yeterli görünmemektedir, fakat Türkiye yeterli ölçüde yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir (Kaya, 2004).

1.3.1. Fosil enerji kaynakları

Kömür, Türkiye için önemli bir yakıttır. Ülkemizde üretilen kömür temel olarak elektrik gücü, çelik ve seramik üretimi için kullanılmakla beraber, ülkenin toplam enerji tüketiminin % 24 civarındadır. Türkiye, büyük bir linyit kömürü üreticisidir; güneybatı ve güneydoğu Afşin-Elbistan havzasındaki madenlerden ekonomik olarak mümkün 7339 milyon ton rezerve sahiptir. Elbistan havzası toplamın % 40'ını oluşturan en büyük linyit madenidir. Türkiye'nin fosil enerji kaynakları

Tablo 1.1.' de gösterilmektedir (Kaya, 2004).

Tablo 1.1. Türkiye'nin fosil enerji kaynaklarının miktarı (Kaya, 2004).

Kaynaklar	Görünen	Mümkün	Olası	Toplam
Taş kömürü (milyon ton)	428	449	249	1126
Linyit (milyon ton)	7339	626	110	8075
Asfalt (milyon ton)	45	29	8	82
Bitümlü şist (milyon ton)	555	1086	269	1641
Petrol (milyon ton)	36	-	-	-
Doğal gaz (milyar metre küp)	8,8	-	-	-

1.3.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Türkiye, önemli yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Yenilenebilir enerji üretimi, toplam birincil enerji kaynaklarının %14,4'ü civarındadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, kömürden sonra ikinci en büyük ülke enerji kaynağıdır. Türkiye'de temel yenilenebilir enerji kaynakları sırasıyla; hidrolik, biyokütle, rüzgar, biyogaz, jeotermal ve güneştir.

Son yıllardaki çalışmalara göre, Türkiye 'nin ekonomik olarak kullanılabilir hidrogüç potansiyeli, bir yılda 125.000 GWh'dir. Türkiye hükümeti, yapım

aşamasında olan barajların tamamlanması, diğer nehir ve kanallar üzerine tasarlanan projelerin gerçekleşmesiyle 2020 yılına kadar hidroelektrik güç santrallerinin kapasitesini 35.000 MW' a çıkartmayı amaçlamaktadır.

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli yeterli ölçümler yapılmadığından dolayı kesin olarak bilinmemektedir. Türkiye'nin toplam rüzgar enerji teknik potansiyeli sadece kara kısmı için 40.000 ile 80.000 MW düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Yerleşim alanları dışında 10 m yükseklikte rüzgar hızı yıllık ortalaması Ege Bölgesi ve diğer kıyı alanlarımızda 4.5-5.6 m/sn, iç kesimlerde ise 3.4-4.6 m/sn arasındadır. Antakya, Bandırma, Bergama, Bodrum, Bozcaada, Çanakkale, Çeşme, Çorlu, Gökçeada, İnebolu, Mardin ve Sinop rüzgar enerjisince zengin yörelerimizdir. İzmir Çeşmede 55 kW gücünde rüzgar jeneratörü bir turistik tesisde kullanılmaktadır. 1998 yılında Alaçatı'nın Germiyen Köyünde üç rüzgar türbininden oluşan 1.7 MW kapasiteli özel sektöre ait bir rüzgar santrali kurulmuştur. Tesis edilen 7.2 MW kapasiteli Alaçatı Rüzgar Güç santrali 1998 yılında üretime başlamıştır. Halen Türkiye'de çeşitli özel sektör yatırımcılarınca geliştirilen ve yakın gelecekte gerçekleştirilecek rüzgar güç santral kapasitesi 700 MW'a ulaşmıştır. (Anonim c, 2007)

Güneş enerjisi, Türkiye'de ilgi çekici bir potansiyele sahiptir. İlk çalışmalar; ülkemizin bazı bölgelerde yüksek olmakla birlikte, bir günde 3,6 kWh/m² ortalama güneş ışığı yoğunluğuyla, yıllık 2640 saat güneşlenme süresine sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin toplam güneş enerji potansiyeli bir yılda 15 milyon ton petrol yakıtı olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de 2001 yılında, özellikle güney ve batı bölgelerimizde konut ve ticari sektörlerde güneş ısıtmalı üretim tahmini 287 000 ton petrol yakıtına eşdeğerdir.

Türkiye'nin tüm jeotermal enerji potansiyeli 35000 MW tahmin edilmektedir. Bu kullanım özellikle doğrudan ısıtma için, 2020 yılına kadar 6,3 milyon petrol yakıtına artırılacağı ümit edilmektedir.

Biyokütle enerjisi tarımsal artıklar, belediye atıkları, ağaç yakıtlar, hayvan atıkları ve diğer biyolojik kaynaklardan türetilen yakıtları içerir. Toplam geri dönüşebilir biyoenerji potansiyeli 16,92 milyon ton petrol yakıtı olarak tahmin

edilmektedir. Tahmin; tarımsal artıklar, çiftlik hayvanı atıkları, ormancılık, ağaç işleme artıkları ve belediye atıklarına bağlıdır. 2001 yılı için biyokütle enerji üretimi, 6.98 milyon ton petrol yakıtına eşittir (Kaya, 2004).

1.4. Türkiye'nin Enerjiye Bakışı

Türkiye, dinamik ekonomik gelişimine ve hızlı nüfus artışına sahiptir. Aynı zamanda, büyük bir ekonomiye ve parasal kararsızlığa sahiptir. Bu faktörlerin net etkisiyle, Türkiye'nin enerji talebini yıldan yıla artmaktadır. Bu gelişmenin sürekli sürmesi beklenmektedir, fakat gelişme taleplerini karşılamak için gerekli yatırımlar istenilen seviyede ilerlememektedir. Enerji talebinin karşılanması, Türkiye için çok önemlidir. Enerji üretimini ilerletmenin yanında, hava kirliliği önemli bir problemdir. Tahminler günümüz enerji politikasının bu şekilde devam etmesi durumunda, karbon emisyonunun hızlı bir şekilde artacağını göstermektedir. Bu yüzden, Türkiye'nin enerji ile ilişkili çevresel politikasının amacı, çevrenin korunması ve iyileştirilmesinin yanında, sürdürülebilir ekonomiyi ve sosyal gelişimi desteklemek için güvenilir ve ekonomik enerji sağlamaktır.

Türkiye Hükümeti, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması, yüksek karbonlu emisyonlu teknolojiler yerine düşük karbon emisyonlu yeni sistemlere yönelmek (kojenerasyon, temiz kömür, birleşik saykılı güç santrallerindeki ileri yanma teknolojileri), enerji tasarrufu, enerji dağıtım sistemlerindeki kayıpların önlenmesi ile enerji verimliliğini artırarak CO₂ ve diğer sera gazlarının emisyonunu azaltma çabasıdır.

Türkiye'nin enerji talebi 2000 ve 2010 yılları arasında iki kat ve 2000 ve 2025 yılları arasında dört kat artabileceği tahmin edilmektedir. Bu hızlı artış, Türkiye'nin yüksek ekonomik gelişim oranı yüzündedir. 2010 yıllarına kadar üretim araçları için yatırımın tahmini miktarı, 45 milyar dolar civarındadır. Aynı zaman dilimi için iletim ve dağıtım araçları için 10 milyar dolar ilave yatırım gerekmektedir.

Bu hızlı enerji ihtiyacımızın karşılanması için, sürekli yatırımın sağlanması önemlidir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, gelecek 20 yıl içerisinde elektrik üretim kapasitesini büyük ölçüde arttırmak için plan yapmıştır. Burada en büyük

payı, doğal gaz kaynaklı üretim almaktadır. Bakanlık aynı zamanda, yap-işlet-devret projesi ile yabancı yatırımcıların yeni güç santralleri yapmasını teşvik etmektedir. Tablo 1.2.' de Türkiye'nin elektrik güç kapasite gelişimi gösterilmiştir (Ocak vd., 2003).

Tablo 1.2. Türkiye'de elektrik güç kapasitesi gelişimi (Ocak vd., 2003).

Yakıt Çeşidi	2000		2010		2020	
	Kurulu Kapasite (MW _e)	Üretim (GWh)	Kurulu Kapasite (MW _e)	Üretim (GWh)	Kurulu Kapasite (MW _e)	Üretim (GWh)
Kömür	7 464	38 186	16 106	104 040	25 906	174 235
Doğal gaz	6 756	46 217	18 923	125 549	34 256	225 648
Petrol	2 124	9 531	3 246	18 213	8 025	49 842
Yenilenebilir	10 112	30 988	25 102	86 120	30 040	104 110
Nükleer	0,0	0,0	2 000	14 000	10 000	70 000
Toplam	26 457	124 922	65 377	347 922	109 227	623 835

1.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 1.3. 'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi (Anonim b, 2007)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo 1.4.' de verilmiştir.

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.

EİE' nin ölçü yaptığı 8 istasyondan alınan yeni ölçümler ve DMİ verileri yardımı ile 57 ile ait güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak bir kitapçık halinde basılmıştır.

Tablo 1.4. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı(Anonim b, 2007)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Güneş enerjisi araştırma ve geliştirme konularında EİE'nin yanında Tübitak Marmara Araştırma Merkezi ve üniversiteler (Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, ODTÜ, Kocaeli Üniversitesi, Fırat Üniversitesi) çalışmalar yapmaktadır.

Güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi konusunda Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü faaliyet göstermektedir. EİE de 1991 yılından bu yana kendi güneş enerjisi gözlem istasyonları kurmaktadır.

Güneş enerjisi ile ilgili standartlar hazırlanması konusunda Türk Standartları Enstitüsü;

- TS 3680 -Güneş Enerjisi Toplayıcıları-Düz
- TS 3817 - Güneş Enerjisi - Su Isıtma Sistemlerinin Yapım, Tesis ve İşletme Kuralları

konulu standartları hazırlamıştır. EİE bu standartların hazırlanmasında görev aldığı gibi, ısı performans testlerini de gerçekleştirmektedir. (Anonim b, 2007)

1.8.1. Muğla İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Muğla ili Türkiye'nin güney-batısında, Akdeniz ile Ege'nin kesiştiği noktada, 37.12° kuzey enlemi ve 28.21° batı boylamında 646 metre yükseklikte yer almaktadır. Yatay yüzeye gelen güneş ışınımı değerleri, Muğla Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Laboratuvar Bloğu çatısında bulunan Kipp&Zonnen CM11 tipi piranometre kullanılarak ölçülmektedir. Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma-Geliştirme Merkezi tarafından yapılan ölçüm sonuçlarına göre Muğla yöresi için metre kareye düşen güneş enerjisinin aylık ortalama toplam değerleri Tablo 1.5. ile verilmiştir.

Tablo 1.5. Muğla yöresinde metrekareye düşen güneş enerjisinin aylık ortalama toplam değerleri (Anonim d, 2006)

AY	(kWh/m ² -gün)	(W/m ²)	(kWh/m ² -ay)
Ocak	2,69	112,2	83,5
Şubat	3,50	145,8	98,0
Mart	3,83	159,7	118,8
Nisan	4,94	206,0	148,3
Mayıs	5,86	244,2	181,7
Haziran	7,91	329,8	237,4
Temmuz	7,64	318,3	236,8
Ağustos	6,16	256,8	191,1
Eylül	5,08	211,7	152,5
Ekim	3,56	148,1	110,2
Kasım	2,19	91,4	65,8
Aralık	1,80	75,1	55,9
YILLIK	4,60	191,8	1680,1 kWh/m ² -yıl

Yukarıdaki Tablo 1.5' deki verileri, Tablo 1.3 ve Tablo 1.4 ile karşılaştırdığımızda, Muğla ilimizin ortalama toplam ışınım şiddeti (1680 kWh/m²-yıl) hem Türkiye ortalamasının ve hem de bölgesel ortalamasının üzerinde kalmaktadır. Bu yüzden Muğla bu tür güneş enerjisi uygulamaları için ideal bir ilimizdir.

1.6. Güneş Toplaçları

Türkiye’de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı sıcak su ısıtma sistemleridir. Halen ülkemizde kurulu olan güneş toplaçları miktarı 2001 yılı için 7,5 milyon m² civarındadır. Çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan bu sistemlerden yılda yaklaşık 290 bin TEP ısı enerjisi üretilmektedir. Sektörde 100’den fazla üretici firmanın bulunduğu ve 2000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Yıllık üretim hacmi 750 bin m² olup bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş toplaçları üreticisi ve kullanıcısı durumundadır.

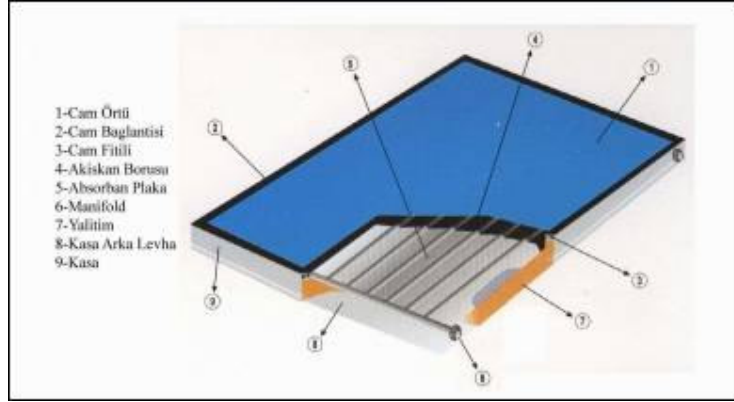
Güneş toplaçlarının ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimimize katkısı yıllara göre aşağıda Tablo 1.6.’ da yer almaktadır.

Tablo 1.6. Güneş toplaçlarının ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimimize katkısı (Anonim b, 2007)

Yıl	Güneş Enerjisi Üretimi (bin TEP)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290

Düzlemsel güneş toplaçları, güneş enerjisinin toplandığı ve herhangi bir akışkana aktarıldığı çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır.

Düzlemsel güneş toplaçları, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, toplaçın en önemli parçası olan absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve yukarıdaki bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. (Şekil 1.1.)



Şekil 1.1. Düzlemsel Güneş Toplacı (Anonim b, 2007)

Üst örtü, toplaçların üstten olan ısı kayıplarını en aza indirgeyen ve güneş ışınlarının geçişini engellemeyen bir maddeden olmalıdır. Cam, güneş ışınlarını geçirilmesi ve ayrıca absorban plakadan yayınlanan uzun dalga boylu ışınları geri yansıtması nedeni ile örtü maddesi olarak son derece uygun bir maddedir. Bilinen pencere camının geçirme katsayısı 0.88'dir. Son zamanlarda özel olarak üretilen düşük demir oksitli camlarda bu değer 0.95 seviyesine ulaşmıştır. Bu tür cam kullanılması verimi % 5 mertebesinde arttırır.

Absorban Plaka, toplacın en önemli bölümüdür. Güneş ışınları, absorban plaka tarafından yutularak ısıya dönüştürülür ve sistemde dolaşan sıvıya aktarılır. Absorban plaka tabanda ve üstte birer manifold ile bunların arasına yerleştirilmiş akışkan boruları ve yutucu plakadan oluşur. Yutucu plaka ışınları yutması için koyu bir renge, genellikle siyaha boyanmıştır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının (absorptivite) yüksek uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının (emissivite) düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle de bu özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Mat siyah boyanın yutuculuğu 0.95 gibi yüksek bir rakam iken yayıcılığı da 0.92 gibi istenmeyen bir değerdedir. Yapılan seçici yüzeylerde yayma katsayısı 0.1'in altına inmiştir. Seçici yüzey kullanılması halinde toplaç verimi ortalama % 5 artar. Absorban plaka, borular ile sıkı temas halinde olmalıdır. Alüminyumda olduğu gibi, akışkan borularının kanatlarla bir bütün teşkil etmesi en

iyi durumdur. Bakır ve sacda bu mümkün olmadığı için akışkan boruları ile plakanın birbirine temas problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem ya tamamen yada belli aralıklarla lehim veya kaynak yapmakla çözülebilir.

Güneş toplacının arkadan olan ısı kayıplarını minimuma indirmek için absorban plaka ile kasa arası uygun bir yalıtım maddesi ile yalıtılmalıdır. Absorban plaka sıcaklığı, toplacın boş kalması durumunda 150 °C'a kadar ısınması nedeniyle kullanılacak olan yalıtım malzemesinin sıcak yalıtım malzemesi olması gerekmektedir. Isı iletim katsayıları düşük ve soğuk yalıtım malzemesi olarak bilinen poliüretan kökenli yalıtım malzemeleri tek başına kullanılmamalıdır. Bu tür yalıtım malzemeleri, absorban plakaya bakan tarafı sıcak yalıtım malzemesi ile takviye edilerek kullanılmalıdır.

Güneş toplacı kasası, yalıtkanın ıslanmasını önleyecek biçimde yapılmalıdır. Özellikle toplaç giriş ve çıkışlarında kasanın tam sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Kasanın her yanı 100 kg/m² (981 Pa=N/m²) basınca dayanıklı olmalıdır (TSE-3680).

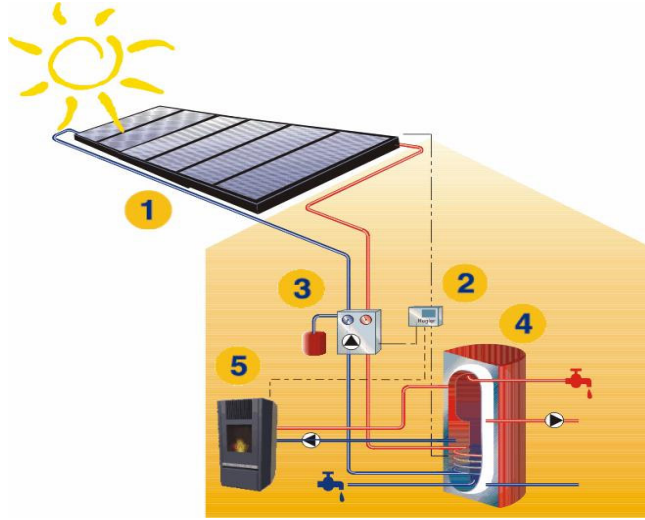
Sıvılı güneş toplaçlarında sızdırmazlığın yüzde yüz sağlanamadığı durumlarda camda yoğunlaşan su buharını dışarıya atmak amacıyla kasanın iki yan kenarına tam karşılıklı ikişer adet 2-3 mm çapında delik açılmalıdır.

Toplaç üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır, bir kısmı yine saydam örtüde yutulur ve geri kalan kısmı absorban plakaya (yutucu yüzeye) ulaşır. Absorban plakaya gelen enerjinin, bir kısmı ısı taşıyıcı akışkana geçerken bir kısmı absorban plakada depolanır, geri kalan kısmı ışınım, taşınım, ve iletimle çevreye gider.

Toplaçlarda ısı taşıyıcı akışkanda toplanan güneş enerjisinin, toplaca gelen güneş enerjisine oranına toplaç verimi denir. Toplaç giriş suyu sıcaklığı arttıkça verim düşme eğiliminde olacağından genel bir verim yerine anlık verimden yani verim eğrisinden bahsetmek daha doğru olacaktır. (Anonim b, 2007)

1.7. Güneş Toplaçlı Sıcak Su Sistemleri

Güneş toplaçlı sıcak su sistemleri, güneş enerjisini toplayan düzlemsel güneş toplaçlar, ısınan suyun toplandığı depo ve bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa ve kontrol edici gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır. Güneş toplaçlı sıcak su sistemlerinin, Şekil 1.2' de şematik olarak gösterimi; Şekil 1.3' de, pratikteki bir uygulaması yer almaktadır.



Şekil 1.2. Güneş toplaçlı sıcak su sistemleri şematik gösterimi (Anonim b, 2007)



Şekil 1.3. Güneş toplaçlı sıcak su sistemleri(Anonim b, 2007)

Güneş toplaçlı sistemler tabii dolaşımli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her iki sistem de ayrıca açık ve kapalı sistem olarak dizayn edilirler.

Tabii dolaşımli sistemler, ısı transfer akışkanının kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Düzlemsel güneş toplaçlarında ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi özelliğine dayanmaktadır. Bu tür sistemlerde depo toplacın üst seviyesinden en az 30 cm yukarıda olması gerekmektedir. Deponun alt seviyesinden alınan soğuk (ağır) su toplaçlarda ısınarak hafifler ve deponun üst seviyesine yükselir. Gün boyu devam eden bu olay sonunda depodaki su ısınmış olur. Tabii dolaşımli sistemler daha çok küçük miktarda su ihtiyaçları için uygulanır. Deponun yukarıda bulunması zorunluluğu nedeniyle büyük sistemlerde uygulanamazlar. Pompa ve otomatik kontrol devresi gerektirmediği için pompalı sistemlere göre biraz daha ucuzdur.

Pompalı Sistemler, ısı transfer akışkanının sistemde pompa ile dolaştırıldığı sistemlerdir. Deposunun yukarıda olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde su hatlarındaki direncin artması sonucu tabii dolaşımın olmaması ve büyük bir deponun yukarıda tutulmasının zorluğu nedeniyle pompa kullanma zorunluluğu doğmuştur.

Pompa sistemler otomatik kontrol devresi yardımı ile çalışırlar. Depo tabanına ve toplaç çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatın sensörleri; toplaçlardaki suyun depodaki sudan 10°C daha sıcak olması durumunda pompayı çalıştırarak sıcak suyu depoya alır, bu fark 3 °C olduğunda ise pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin zaman zaman arızalanması nedeniyle işletilmesi tabii dolaşımli sistemlere göre daha zordur.

Açık sistemler, kullanım suyu ile toplaçlarda dolaşan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemlere göre verimleri yüksek ve maliyeti ucuzdur. Suyu kireçsiz ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılırlar.

Kapalı Sistemler, kullanım suyu ile ısıtma suyunun farklı olduğu sistemlerdir. Toplaçlarda ısınan su bir eşanjör vasıtasıyla ısınısını kullanım suyuna aktarır. Donma, kireçlenme ve korozyona karşı çözüm olarak kullanılırlar. Maliyeti açık sistemlere göre daha yüksek verimleri ise eşanjör nedeniyle daha düşüktür. (Anonim b, 2007)

1.8. PV Güneş Toplaçları

PV Güneş toplaçları, literatürde; güneş gözeleri, güneş pilleri, fotovoltaiik kolektörler, fotovoltaiik diyotlar gibi isimlerle de adlandırılırlar. PV Güneş toplaçları, üzerine güneş ısığı düştüğünde, güneş enerjisini dorudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde hareketli parça bulunmaz. PV Güneş toplaçlarının çalışma ilkesi, Fotovoltaiik olayına dayanır. (Oktik, 2001)

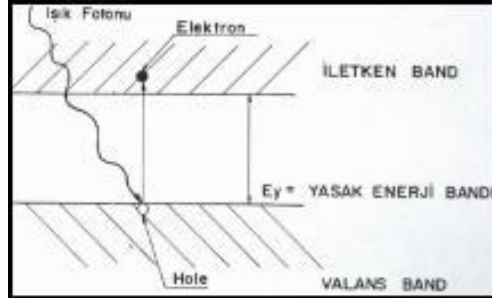
Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi PV güneş toplaçları da, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında PV güneş toplacı yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin PV güneş toplacı olarak kullanılabilmeleri için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın PV güneş toplacı maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine

periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.

P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

P ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemeler oluşturulur. n tipi yarıiletkenlerde elektronlar, p tipi yarıiletkenlerde holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve n tipi yarı-iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, p bölgesi tarafında negatif, n bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklem PV güneş toplacı olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Şekil 1.4' de Katkılanmış yarı-iletken malzemenin şematik olarak gösterimi yer almaktadır.

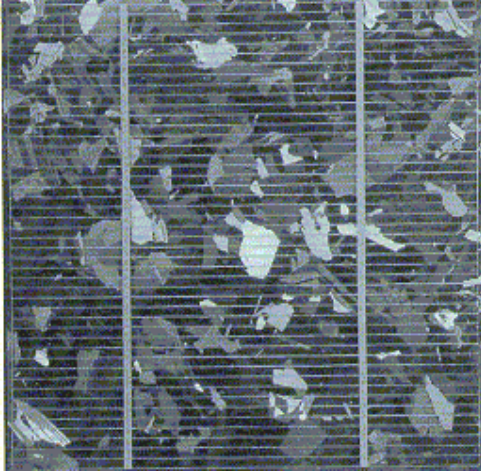


Şekil 1.4. Katkılanmış yarı-iletken malzeme

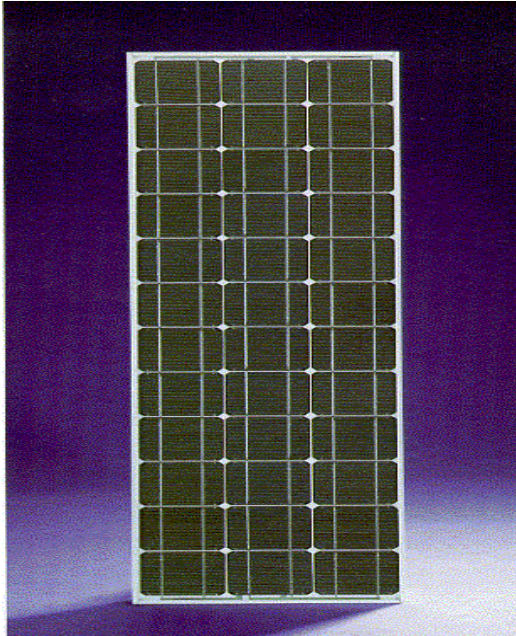
Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banttaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, pn eklem PV güneş toplacının ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde PV güneş toplacı, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, PV güneş toplacının uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun toplaç yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.

PV güneş toplaçları, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen PV güneş toplaçlarının alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. PV güneş toplaçları fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Toplacın verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, PV güneş toplacının yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda PV güneş toplacı hücresi, (Şekil 1.5.) birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya PV güneş toplacı modülü ya da

fotovoltaik modül adı verilir. Şekil 1.6' da bir PV güneş toplacı modülü görülmektedir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt' dan MegaWatt' lara kadar sistem oluşturulur.



Şekil 1.5. PV güneş toplacı hücresi



Şekil 1.6. PV güneş toplacı modülü

PV güneş topaçları pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler aşağıdaki bölümlerde anlatılmışlardır.

1.8.1. Kristal Silisyum

Önce büyütölüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen PV güneş topaçlarında laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal Silisyum PV güneş topaçları ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

1.8.2. Galyum Arsenit (GaAs)

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs topaçlarda %30 verim elde edilmiştir. GaAs PV güneş topaçları uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

1.8.3. Amorf Silisyum

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si topaçlardan elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum PV güneş topaçının bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

1.8.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile PV güneş topaçı maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

1.8.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Bu çok kristal güneş toplacına laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

1.8.6. Optik Yoğunlaştırıcı Hücresler

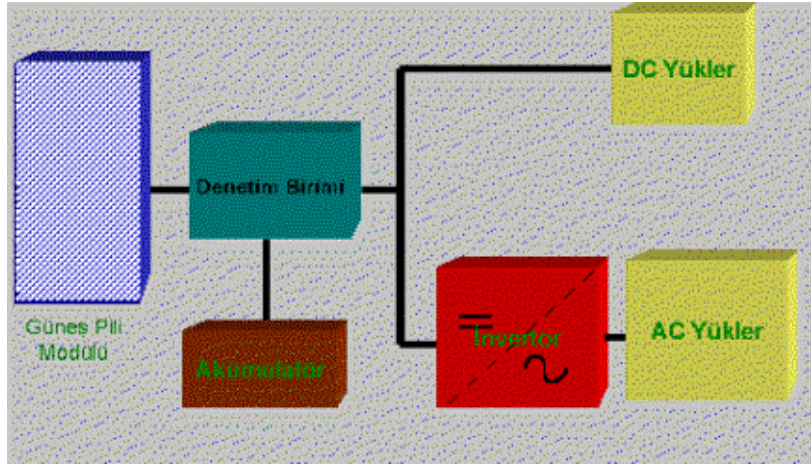
Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, toplaç verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

1.9. PV Güneş Toplacı Sistemleri

PV güneş toplaçları, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. PV güneş toplaç modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir PV güneş toplaç sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımamanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda PV güneş toplaç modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. PV güneş toplaç modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üretirken bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya PV güneş toplaçlarından gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, PV güneş toplaçlarının maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur.

Aşağıda Şekil 1.7' de şebekeden bağımsız bir PV güneş toplacı enerji sisteminin şeması verilmektedir.



Şekil 1.7. PV güneş toplacı enerji sisteminin şeması

Şebeke bağlantılı PV güneş toplacı sistemleri yüksek güçte, santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

PV güneş toplacı sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması

- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma

1.9.1 İnvvertörler

PV güneş topaçları, DC elektrik enerjisi üretirler. DC elektrik ile çalışan pek çok cihaz olmasına rağmen günlük hayatta ve diğer uygulamalarda kullanılan cihazların büyük bir çoğunluğu da AC elektrik ile çalışmaktadır. DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine uygun dönüştürücüler kullanarak çok az kayıplarla çevirmek mümkündür. Bu dönüşümde kullanılan elektronik aygıtlara invertör adı verilir. İnvvertörler sayesinde fotovoltaiik yoldan üretilen elektrik enerjisinin şebeke ile uyum içerisinde uygulaması mümkün olabilmektedir.

İnvvertörler PV sistemler gibi; şebekeye bağlı (Grid Connected veya Utility Interactive, UI) ve şebekeden bağımsız (Stand Alone, SA) olmak üzere iki kategoriye ayrılırlar. SA invertörler şehir şebekesinin elektriksel parametrelerinden bağımsız olarak PV sistemin elektrik üretiminin bir parçası olarak çalışırlar. SA invertörler PV örgüden, depolama ünitesinden, rüzgar türbinlerinden veya hidroelektrik güç üreteçlerinden gelen DC güce göre aktif hale gelerek enerji dönüşümünü gerçekleştirirler. Bir invertörün çıkışında: sabit bir voltaj, kararlı bir AC frekans ve sinüs eğrisine yakın bir dalga şekli olmalıdır.

UI invertörler, SA invertörlerden farklı olarak sadece şebekeye bağlı iken çalışabilirler ve şebeke ile PV örgü arasında bir ara yüzey bağlantısı sağlarlar. UI invertörler PV örgünün güç çıkışını düzenlemekle kalmazlar aynı zamanda sistemin

kontrol ünitesinin bir parçası gibi davranır ve yerel olarak üretilen elektriğin şebekeye aktarılmasını sağlarlar.

Bir invertörün çıkışının; sabit voltaj, kararlı bir AC frekans ve düzgün sinüzoidal dalga şeklinden çok az ayrılan bir AC sinüs dalga şekline sahip olması gerekir. İnvörtörün çıkışındaki özelliklerin yanında güç çevrimindeki verimi de önemlidir. AC/DC güç çevrimini sağlayan bir invertörün iç kayıpları PV sistemin DC güç çıkışının veya invertör girişinin %5'inden %40'ına kadar (düşük güç değerlerinde daha fazla kayıplar olabilir) olabilir. Mevcut şebeke bağlantılı PV sistem uygulamalarının hepsinde kullanılan invertörler şebeke fazının kesilmesi durumunda şebekeye güç aktarımını durduracak şekilde düzenlenmiştir. Bu uygulamadaki amaç şebeke fazının bakım, onarım gibi amaçlar için kesilmiş olabileceği ve bu işleri yapan personelin güvenliğini sağlamaktır.

Güneşin olmadığı durumlarda herhangi bir enerji üretimi olmayacağı için (veya düşük giriş güçlerinin olduğu durumlarda) UI invertörler gece koşulları denen duruma geçer ve PV örgüye gelen güneş enerjisi yeterli miktara ulaşınca kadar invertörü devre dışı bırakır.

PV örgünün ürettiği elektrik enerjisi, güneş ışınımı şiddeti, güneş ışınlarının yüzeye geliş açısı ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olduğundan enerji gün içerisinde sürekli değişmekte ve PV sistem ancak küçük bir zaman dilimi içerisinde tam kapasiteyle çalışabilmektedir. Bu nedenle PV sistemin boyutu ile invertör boyutu uyum içerisinde olacak şekilde seçilmelidir. Değişen sistem parametrelerine karşı invertörün daha yüksek verimde çalışması ve daha fazla DC enerjinin AC enerjiye dönüşümünü sağlamak için invertörlerde maksimum güç noktası izleyicileri (Maksimum Power Point Tracker, MPPT) kullanılır. Bu özellik PV örgüden tüm koşullarda maksimum verimin elde edilmesini sağlar. Aynı zamanda PV örgüden gelecek yüksek gerilimi de sınırlamaktadır. Bir PV sistemde kullanılacak invertör mümkün olduğu kadar yüksek bir ortalama verime veya yaklaşık olarak sabit bir verim eğrisine sahip olmalıdır.

Şebeke bağlantılı bir sistem için invertör verimi ve invertörün MPPT'ye sahip olması elde edilecek güç miktarını artırmaktadır. Fakat bunun yanında şebekeye aktarılan enerjinin kalitesi de önemlidir. UI invertörler şebeke voltaj ve frekansını temel alarak PV örgünün çıkışının şebeke ile tamamen senkronize (eş uyumlu)

olmasını sağlarlar. Şebekeye aktarılan elektrik enerjisi tam bir sinüs dalgası şeklinde olmalı ve bu dalgada olabilecek harmonikler (sinyal üzerindeki dalgalanmalar) Amerikan Ulusal Elektrik Normlarına göre (National Electric Code, NEC, (USA)) %5'ten fazla olmamalıdır. Toplam harmonik bozukluklar (total harmonic distortion, THD) %15 veya %20 değerinin üzerine çıkacak olursa sistemin sürdüğü yüklerde bulunan motor ve benzeri elektronik aletlerde bir ısınma meydana gelecektir.

Şebeke fazındaki AC sinyalini oluşturan akım ve dalga şeklindeki kalite oranına güç faktörü (power factor) denir. Güç çarpanı için ideal değer akım ve voltaj değerlerinin tam uyum içerisinde olduğu 1.0 değeridir. UI invertörlerde güç faktörü en iyi 0.95 olurken bazı durumlarda 0.3 değerine kadar düşmektedir. Bu da üretilen enerjinin kalitesini düşürmektedir. Sabit voltaj da üretilen enerjinin kalitesinde önemlidir. Şebeke bağlantılı sistemlerdeki voltaj değerlerindeki harmonik bozulmalar şebeke voltajı ile invertör çıkış voltajının tam uyum içerisinde olmamasıdır. Bu harmonik bozulmalar da PV sistemlerde çok sık rastlanan ve piyasada bulunan ticari invertörlerle %5 değerinin altında tutulması sağlanmış bozulmalardır.

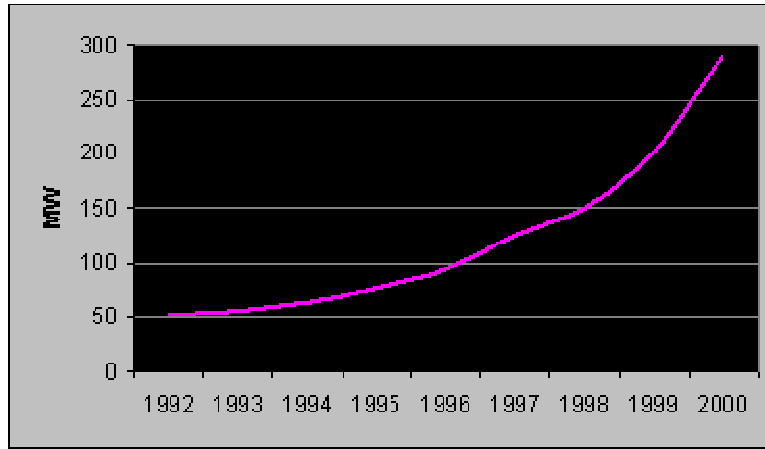
Üretilen AC sinyalin frekans kararlılığı da önemlidir. Çünkü sistemin süreceği yüklerde motor gibi şebeke frekansına kilitlenen elektronik cihazlar vardır. Uygun sinyalden olan sapsmalar saat ve benzeri elektronik devre elemanlarında tamir edilmesi güç hasarlara neden olur. UI invertörler için şebeke frekanstaki dalgalanma çok büyük sorun oluşturmamaktadır. Çünkü sistem otomatik olarak kendini şebeke frekansının o anki değerine ayarlamaktadır. Fakat SA invertörler sistemin AC sinyalini kendisi belirlediği için durum farklı olup bu tür frekans dalgalanmaları yoktur.

SA ve UI İnvörtörler çalışmaları esnasında elektromanyetik girişimler (electromagnetic interference, EMI) evde ve bulunulan çevredeki televizyon, telefon, bilgisayar gibi elektronik aletler için parazit oluşturmaktadır. Üretici firmalar istenmeyen bu parazit etkilerinden kurtulmak için invertörlerde filtreler kullanılmaktadır. Aynı zamanda invertörler çalışmaları esnaslarında büyüklük ve modellerine göre gürültü çıkarmaktadırlar. Gürültü invertörden çekilen güç ile orantılıdır.

Güvenlik önlemleri de invertör ve PV sistemler için önem taşımaktadır. NEC'e göre güvenlik önlemi olarak PV örgünün topraklamaya sahip olması gerekir. Ayrıca sistemde kullanılan invertörler yüksek yalıtımlı transformatörlere sahip olmalıdır. Bugün piyasada bulunan invertörlerin büyük bir bölümü yüksek yalıtımlı transformatörlere sahiptir. Bu tür transformatörlerin kullanılmasındaki amaç sistemin DC ve AC kısımlarının her ikisinde de yalıtımın tam olarak sağlanarak şebeke voltajının kesildiği durumlarda sistemin şebekeye güç aktarımının engellenmesidir. (Eke, 2000)

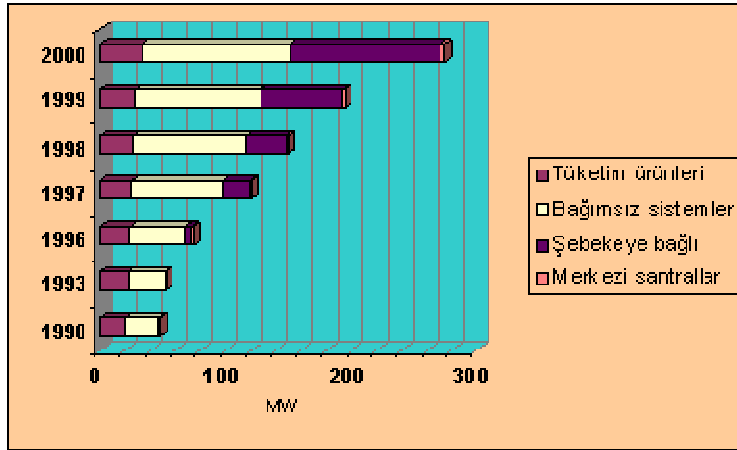
1.10. Dünyada PV Güneş Toplacı Kullanımı

Aşağıda Şekil 1.8' de dünyada yıllık PV güneş toplacı satış rakamları görülebilir.



Şekil 1.8. Dünyada PV güneş toplacı satışları.(Anonim b, 2007)

Aşağıdaki Şekil 1.9' da da dünyada kurulu PV güneş topaçlarının, kullanım alanlarına göre yıllık dağılımı görülebilir.



Şekil 1.9. Dünyada kurulu PV güneş toplacının kullanım alanlarına göre dağılımı (Anonim b, 2007)

Bu rakamlar günden güne hızla artmaktadır.

1.11. PV Güneş Toplaçları Uygulama Örnekleri

PV güneş toplaçları, halen ancak elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. Bu nedenle ve istenen güçte kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması vb. gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ülkemizde halen telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanılan PV güneş toplaçları kurulu gücü 300kW civarındadır. (Anonim b, 2007)

Güneş enerjisi araştırma ve geliştirme konularında Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma ve Geliştirme Merkezi, MUTEK’de, PV güneş toplaçları uygulamalarına örnek teşkil edecek pek çok çalışma yapılmıştır. (Anonim d, 2006)

2001 K 120930, numaralı “54 kW Gücündeki Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Muğla Üniversitesi Kütüphane Çatısına Entegrasyonu” isimli DPT projesi

ile dört aşamalı olarak Muğla Üniversitesi yerleşkesi içerisine toplam gücü 54kW olan fotovoltaik sistem kurulmuştur.

Projenin birinci aşamasında; Muğla bölgesinde ve Türkiye’de maliyet ve verimlilik yönünden ön plana çıkacak güneş pili tipini belirleyebilmek için farklı teknolojilerle üretilmiş dünya piyasasında öne çıkan sırasıyla Tek Kristal Silisyum, Çok Kristal Silisyum, İnce Film Amorf Silisyum ve CdTe ince film güneş pillerinden oluşan 10kWp (standart test koşulları, STC: 1000W/m² güneş ışınımı ve 25°C hücre sıcaklığında) gücünde güneş pili sistemi Merkez Kütüphane çatısı’na kurulmuştur. (Şekil 1.10) Sistem, yüzeye gelen güneş enerjisi değerine göre açık günlerde 60kWh, tamamen kapalı günlerde ise 3kWh kadar elektrik enerjisi üreterek şebekeye aktarabilmektedir. Yaz aylarında Kütüphane binası’ndaki soğutma sistemleri tam kapasiteyle çalıştığı durumlarda günlük elektrik ihtiyacının yaklaşık %10’u güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi ile karşılanabilmektedir.



Şekil 1.10. Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi çatısına entegre 10 kWp fotovoltaik güç sistemi. (Anonim d, 2006)

Güneş pillerinin performansının incelenebilmesi için karakteristik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla Kütüphane çatısı’na bu sistemin yanına çok kanallı bir ölçüm sistemi 2003 yılında kurulmuştur. Güneş pilleri veya modül

gruplarının 20 kanallı röle kutusuna yük ve hassasiyet bağlantıları yapılarak dört noktadan ölçüm yöntemiyle akım-gerilim eğrileri çok kısa bir süre içerisinde alınarak veriler bilgisayarda daha sonra incelenmek üzere depolanabilmektedir. (Şekil 1.11.)



Şekil 1.11. Muğla Üniversitesi ölçüm ve kontrol sistemleri(Anonim d, 2006)

54kW' lık Fotovoltaik sistemin ikinci aşamasında Merkez kütüphane çatısında kullanılabilir daha fazla alan kalmadığı için Muğla Üniversitesi Yerleşkesi içerisinde bulunan "Türk Evi" öğrenci kafeteryasının çatısı 2003 yılında güneş pilleriyle kaplanmıştır. 25,6kWp kurulu güce sahip bina entegreli şebeke bağlantılı sistem ile yıllık toplam 35.000kWh'in üzerinde elektrik enerjisi üretilerek şebekeye aktarılmaktadır. 2005 yılı sonunda sistemin kurulumundan itibaren 30 ayda üretilmiş olduğu toplam elektrik enerjisi 89.000kWh değerinin üzerindedir. (Şekil 1.12)



Şekil 1.12. Muğla Üniversitesi Türk Evi restoran çatısına entegre 26 KWp fotovoltaik güç sistemi. (Anonim d, 2006)

2004 yılında Projenin üçüncü aşamasında 15kW güce sahip hibrit bir fotovoltaik sistemin kurularak Üniversite giriş kapısı önünde bulunan havuzların su pompalarının beslenmesi amaçlanmış ve güneş pillerinin yerleşimi için en uygun alan olarak Muğla Üniversitesi Kongre Merkezi karşısındaki otopark alanı seçilmiştir. Hibrit olarak planlanan sistem halen şebeke ile uyumlu olarak çalışmakta olup şu anda sadece fotovoltaik kısmı devrededir, dizel jeneratör ve rüzgâr jeneratörü testleri henüz gerçekleştirilmemiştir. Mevcut haliyle sistem 2 saat otonom süresine sahiptir. (Şekil 1.13.)



Şekil 1.13. Muğla Üniversitesi otopark çatısına entegre 15kWp fotovoltaik güç sistemi. (Anonim d, 2006)

Otopark alanının kuzey köşesine hibrit sisteme ait enerji girişleri, çevirici-denetleyici sistemi, enerji depolama birimleri, sisteme ait tüm verilerin alındığı ve depolandığı, test ve ölçüm birimleri bulunmaktadır. Sistemde toplanan veriler bilgisayar ortamında tutulmaktadır. Elde edilen tüm verilerin Kütüphane çatısı ve Türk evi çatısında konuşlandırılmış sistemler de dâhil olmak üzere bir merkezde toplanarak internet üzerinden paylaşımcılara açılması amaçlanmaktadır. (Şekil 1.11)

Projenin dördüncü ve son aşamasında, toplam 4kWp güce sahip 75Wp ve 85Wp tek kristal ve çok kristal silisyum güneş pilleriyle Muğla Üniversitesi yerleşkesi içerisinde çeşitli noktalara bağımsız aydınlatma direkleri yerleştirilmiştir. Her birinde 60 adet LED (ışık yayan diyot) bulunan 80 adet lamba 40 adet direğe bağlanmış, 10 adet direk Muğla Üniversitesi Sıtkı Koçman Köprüsü üzerine yerleştirilerek halka teşhiri sağlanmıştır. (Şekil 1.14.) 17 adet direk üniversite yerleşkesinde bulunan orman içerisindeki su deposu gibi kör noktalara yerleştirilmiştir. 23 direk de lojmanlar yanında bulunan koşu yolunun aydınlatılmasında kullanılmıştır. (Şekil 1.15. ve Şekil 1.16.)



Şekil 1.14. Muğla Üniversitesi Sıtkı Koçman Köprüsü aydınlatma sistemi. (Anonim d, 2006)



Şekil 1.15. Muğla Üniversitesi kampüs içi yürüyüş yolu aydınlatma sistemi. (Anonim d, 2006)



Şekil 1.16. Muğla Üniversitesi Kampüs içi Su Depoları Aydınlatma ve Filtre Sistemi(Anonim d, 2006)

Projenin tamamlanmasıyla Muğla Üniversitesi Yerleşkesi, Fotovoltaik Sistemler konusunda, 2005 yılında Türkiye'deki en büyük teknoparkı haline getirilmiştir.

Dış ortamdaki hava durumunun ve bulunulan çevredeki rüzgar potansiyelinin belirlenebilmesi için Merkez Kütüphane çatısına bir meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Meteoroloji istasyonu ile güneş pillerinin performansını belirlemede kullanılan çevre sıcaklığı, rüzgar hız ve yönü, bağıl nem ve basınç ölçülmektedir. Ölçülen değerler Ammonit marka veri toplama ve depolama ünitesinde saklanarak işlenmek üzere bilgisayara aktarılmaktadır.

Çeşitli yarıiletken numunelerin elektriksel özelliklerinin incelenmesi Fizik Bölümü araştırma laboratuvarlarında HP 4192A empedans analizörü ve HP 3478 voltmetre kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Muğla Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen ve devam eden bir başka proje ile de Muğla üzerindeki güneş ışınımının tayfsal değişimi ölçülmeye çalışılmaktadır. Muğla sınırları içerisinde linyit kömürüne dayalı termik santrallerden açığa çıkan ve çevreye yayılan gaz ve parçacıkların çevre kirliliğine olan etkisini güneş ışınımının değişik dalga boylarındaki tayfsal analizi yoluyla belirleyebilmek mümkündür. Ölçümlerde, 200-1100nm aralığında her biri farklı dalgaboyu aralıklarında ölçüm alabilen sekiz bölümden oluşan S2000 spektrometre kullanılmaktadır. Muğla üzerinde bulunan toplam O₃, NO₂, SO₂, O₂ ve aerosollerin dağılımının günlük ve aylık değişimler gösterdiği gözlenmiş, Muğla yöresindeki termik santrallerin bu değişimlerdeki etkisi olası bulunmuştur.

Güney Ege, Muğla İklim Koşullarında Güneş Enerjisi Kondenzasyonlu Sistemiyle Çalışan Otomatik Kontrollü Kereste Kurutma Tesisinin Tasarımı, Kurulumu ve Kurutma Ekonomisinin Araştırılması isimli bir DPT projesi kapsamında 40 m³ iç hacme sahip, 40 m² havalı güneş kollektörü yüzeyli yıllık 300 m³ kereste kurutabilme kapasitesine sahip bir kereste kurutma tesisi kurulması planlanmıştır. Bu projede, ısı pompası yardımıyla fırın kazançlarını artırılması ve katı atık yakıt takviyesi ile kış aylarında da kurutma yaparak malzeme deformasyonlarının en aza indirilmesi, çakıl deposu kullanılarak enerji kullanım etkinliğinin artırılması amaçlanmış olup teçhizatın montajı tamamlanmış ve ilerideki yıllarda deneysel verilerin alınmasına başlanacaktır.(Şekil 1.17.)



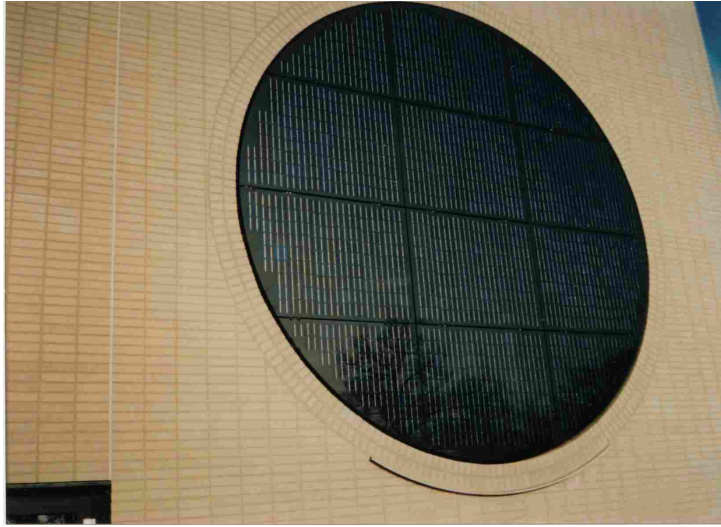
Şekil 1.17. Muğla Üniversitesi Kereste Kurutma Sistemi. (Anonim d, 2006)

Güneş ısı toplaçlarının, elektrik enerjisi elde edilmesinde de kullanılan TEC (Thermoelectric Collectors) sistemleri ile fotovoltaik hibrit diye adlandırılan elektrik üretiminin ön planda olduğu ve yan ürün olarak ısı enerjisinin üretildiği sistemler (PVHC), kojenerasyonun iki değişik amaçlı kullanımını belirtmektedir. 54 kWp şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemleri çalışmalarına böylece kojenerasyon uygulaması ve ısı enerjisinin geri kazanımı yolu ile birleşik verimliliklerinin artırılması ile BAP-Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenen bu proje ile yeni bir boyut eklenmiş olacaktır. Yükselen fotovoltaik modül sıcaklıklarının verimliliğe olan negatif etkilerinin azaltılması ve ısı-geri kazanımının sağlanması yoluyla mevcut uygulamalara yönelik verimliliği artırmak bu projenin amacını oluşturmaktadır.

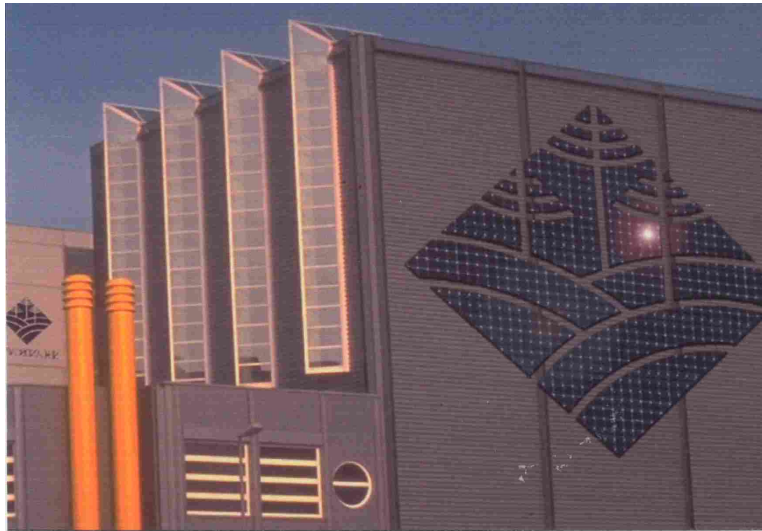
1.12. PV Güneş Toplaçları ve PV/Isıl (PV/T) Güneş Toplaçları

PV güneş toplaçları gelen güneş enerjisinin küçük bir bölümünü elektrik enerjisine çevirmektedir. Yenilikçi çözümlerle kullanılmayan ısı enerjisi ikincil ürün olarak elde edilebilmektedir. Bu çok fonksiyonlu sistemler (PV/T) Fotovoltaik kojenerasyon sistemleri olarak isimlendirilmektedir. Böylece aşağıdaki şekillerde

(Şekil 1.18, Şekil 1.19 ve Şekil 1.20.)örnekleri görülen, bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemlerinin (BIPV-Building Integrated Photovoltaic Systems) ekonomik analizleri olumlu yönde etkilenmektedir. PV sistemlerin yüksek ilk yatırım maliyetleri ve yüksek sıcaklıklarda azalan verimlilikleri bu çalışmanın temelini oluşturmuş ve güneş enerjisi uygulamalarının yaygınlaşmasının önündeki engellerin aşılmasında atılması gereken adımlardan biri olarak ele alınmıştır.



Şekil 1.18. Yuvarlak biçimli bir bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemi (BIPV-Building Integrated Photovoltaic Systems)



Şekil 1.19. Kare şeklinde bir bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemi (BIPV-Building Integrated Photovoltaic Systems), (Hammer, 2006)



Şekil 1.20. Piramit şeklinde bir bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemi (BIPV-Building Integrated Photovoltaic Systems), (Hammer, 2006)

1.13. Kojenerasyon

Kojenerasyon sistemleri, elektrik ve ısı enerjisinin aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu üretim tarzı hem kalite, hem ekonomik bakımdan yüksek olduğundan dolayı tercih edilmektedir. Sadece gaz türbini ya da motorun kullanıldığı sistemlerde verim %30-40'larda iken; enerjinin kojenerasyon sisteminde dönüşümü sırasında atılan ısı enerjisinin de kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesi sayesinde verimi %70-90 seviyelere yükseltmektedir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" (combined heat and power generation) de denmektedir. Günümüz koşulları göz önünde bulundurulduğunda yakıt rezervlerinin azalması, dünya çapında rekabetin ters orantılı bir şekilde artması veya genel kullanılan sistemlerdeki düşük verim; ısı ve enerjinin bir arada üretilmesine olanak sağlayan yüksek verimli kojenerasyon sistemlerin kullanılmasını ve hızlı bir şekilde yaygınlaşmasını sağlamıştır. (Anonim a, 2004)

1.14. Ekserji

Belirli bir halde ve belirli bir miktarda enerjiden elde edilebilecek işi veren bir özelliğin tanımlanması çok yararlı olacaktır. Bu özelliğin adı 'kullanılabilirlik'tir. Kullanılabilirlik terimi ABD' de 1940' lı yıllarda M.I.T: Mühendislik Fakültesi'nde ortaya atılmış ve bilim çevrelerinde benimsenmiştir. Bugün, 1950' li yıllarda Avrupa'da önerilen ve aynı anlamı ifade eden 'ekserji' terimi tüm dünyada benimsenme yolundadır. Bunun bir nedeni de her dilde çevrilmeden yer alabilmesidir.(Çengel ve Boles, 1996)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Toplaçlarla Yapılan Çalışmalar

PV modüllerde oluşan atık ısının geri kazanılması için yapılan çalışmalar yaklaşık 30 yıl öncesinden başlamıştır (Bazillian vd., 2001). Enerji verimliliğini arttırırken maliyet, güneş enerjisi sistemlerinin büyüklüklerinin azaltılması arasında dengeler oluşturmaya çalışılmıştır. Verimliliği % 15 olan bir PV modülüne gelen ışınım şiddeti 1000 w/m² olduğunda, 850 w/m² büyüklüğünde bir atık güç oluşmaktadır. Birçok çalışmada, oluşan atık ısının havaya aktarılması ile geri kazanımına çalışılmıştır. Sopian vd., (1996) iki tür havalı toplacı PV/T güneş toplacı sistemi olarak incelemiş ve tek/çift geçişli hava akımı kullanmıştır. Fujisawa ve Tani (1997) PV/T güneş toplacı sistemi kurarak bir yıllık teste tabi tutmuşlar ve ısı/elektriksel verimliliklerini incelemişlerdir. Hibrid PV/T güneş toplacı sistemleri ile ilgili olarak Vries, (1998) tasarım için gerekli olan analitik denklemleri oluşturmuş ve ısı/elektriksel verimliliklerin hesabı için yöntemler geliştirmiştir. Sonuçlar deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır . Hegazy, (2000) 4 türlü hava tipi akışkanlı PV/T güneş toplacını incelemiş, her iki taraftan verilen hava akımı ile elde edilen ısı geri kazanımını analiz etmiştir. Huang vd., (2001) hibrid PV/T güneş toplacı sistemini inceleyerek bilinen PV güneş toplaçları ile karşılaştırmıştır. Tripanagnostopoulos vd., (2002) 4 değişik PV/T güneş toplacı seti kurarak havalı ve sulu sistem verimliliklerini incelemiştir. Sandnes ve Rekstad, (2002) ise üç tip PV/T hibrid sistemi kurarak değişik yutucu yüzeylerin etkisini incelemiştir. Vokas vd., (2005) tarafından PV/T güneş toplaçlarının teorik analizleri için gerekli karakteristik parametreler hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada PV/T güneş toplaç verimleri, üç ayrı bölgede (farklı β açılarında) hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak seçilen PV/T güneş toplacının verimi, düzlemsel güneş toplacının verimine göre 9% düşük kaldığı hesaplanmıştır.;Sonuç olarak düzlemsel güneş toplaçlarının PV güneş toplacı ile adaptasyonunda önemli bir verimlilik kaybı olmayacağı anlaşılmaktadır. Başka bir araştırmada, düzlemsel PV ve düzlemsel ısı toplacın, hibrit PV/T güneş toplacına dönüştürme maliyetinin GBP 450 olduğu ve yatırımın geri dönüşünün 4,6 yılda tamamlandığı Kalogirou, (2001) tarafından bahsedilmektedir. Zondag vd., (1999) tarafından yayımlanan makalede, (PV/T) fotovoltaik/ısı güneş toplaçlarının

enerjisi ile evlerde kullanılan sıcak su üretimi gibi, düşük sıcaklık uygulamaları gerçekleştirilebilir.

PV/T güneş topaçları, düz yüzey PV/T güneş topaçları ve akışkanlı PV/T güneş topaçları olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz.

2.2.1. Düz Yüzey Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Topaları

Düz yüzey PV/T güneş topaçlarının görünümleri, düzlemsel güneş topalara benzerdir. Temel fark, Şekil 2.1'de açıkça görüldüğü gibi, yutucu yüzey üzerine yerleştirilmiş olan PV güneş toplacıdır.

2.2.2. Akışkanlı Fotovoltaik/Isıl (PV/T) Güneş Topaları

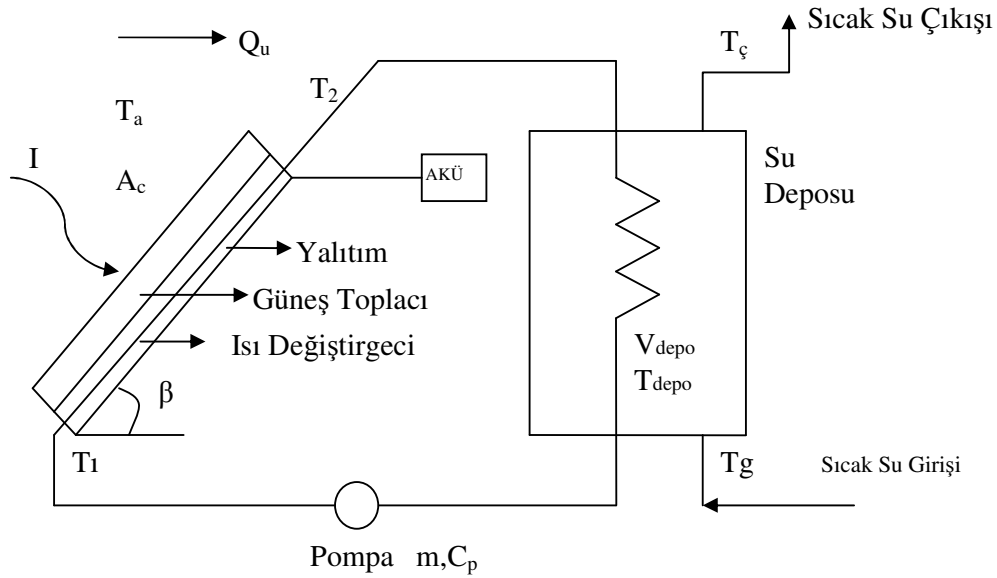
Bilindiği gibi PV güneş topaçlarının fiyatları oldukça yüksektir. Akışkanlar PV güneş toplacının verimini yükseltmek için kullanılırlar. Şekil 1.2 'de görüldüğü gibi, akışkan su borusu içinden geçirilmektedir. Akışkanlı PV/T güneş topaçları, kullanılan akışkanın cinsine göre su ve hava tipi olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Su soğutmalı tip PV/T güneş topaçlarının kullanıldığı yapılar ve binalar Brogren vd., (2001) tarafından incelenmiştir. Bu araştırmada, sistemde düşük fiyatlı alüminyum folyo yansıtıcıları kullanılarak PV/T güneş toplacının konsantrasyonu 4,3 kat daha artırılmıştır. Conventry, (2005) tarafından CHAPS (Combined Heat and Power Solar, Bileşik Isı ve Güneş Enerjili) PV/T güneş topaçları geliştirilmiştir. Monokristal silikon PV hücrelerin kullanıldığı bu araştırmada, toplacın konsantrasyonunun 37 kat arttığı görülmüştür. PV hücrelerin arka yüzeylerinden su ve antifiriz geçirilerek ısı enerjisi elde edilebilir. Charalambous vd., (2006) tarafından dört su tipi akışkanlı PV/T güneş toplacı incelenmiştir.

2.3. Teorik Analiz

PV/T güneş topaçlarının teorik analizi için karakteristik parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için düzlemsel güneş toplacı denklemlerinden yararlanılacaktır (Duffie ve Beckman, 1991). Bu denklemler PV-elektrik enerjisi

çıkışını kapsayacak forma dönüştürülerek PV/T güneş toplacı sisteminin F_R ve U_L değerlerinin çözülmesi ve verimlilik değerlerinin elde edilmesinde kullanılacaktır.

PV/T güneş toplacı sistemlerinde toplaç üzerine gelen güneş ışınımının bir bölümü taşınım, iletim ve ışınlama kaybolurken, bir bölümü elektrik enerjisine, kalan kısmı da ısı enerjisine dönüştürülerek yararlı hale getirilir. Şekil 2.2' de PV/T güneş toplacı sistemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2. PV/T güneş toplacı sisteminin şematik olarak gösterimi

Teorik incelemeler üç başlık altında toplanabilir;

- Güneş ışınımı
- Isıl analiz
- Elektriksel analiz

2.3.1. Güneş Işınımı

Toplacın birim yüzeyi tarafında yutulan güneş ışınımı, S ; τ , cam geçirgenlik katsayısı; α , toplaç yutma katsayısı olmak üzere, aşağıdaki bağıntıyla verilebilir.

$$S = I \cdot (\tau\alpha) \quad (2.1)$$

Tüm toplaç yüzeyine gelen toplam enerji aşağıdaki bağıntıyla verilebilir.

$$A_c I (\tau\alpha) = Q_u + E + Q_L \quad (2.1)$$

Toplam verimler aşağıdaki bağıntılarla ifade edilebilir.

$$\eta_T = \frac{Q_u + E}{A_c I} = \frac{q_u + e}{I} \quad (\text{PV/T için}) \quad (2.2)$$

$$\eta_T = \frac{E}{A_c I} \quad (\text{PV için}) \quad (2.3)$$

2.3.2. Isıl Analiz

Sistemdeki faydalı enerji aşağıdaki bağıntıyla verilebilir.

$$Q_u = F_R A_c [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (2.4)$$

Sistemin toplam ısıl geri kazanımı aşağıdaki Eşitlik (2.4) ile ifade edilebilmektedir.

$$Q_u = F_R A_c [I(\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] = \dot{m} C_p (T_1 - T_2) \quad (2.5)$$

Isıl performans analizi için aşağıdaki denklemler kullanılır. (Duffie ve Beckman, 1991; Vries, 1998) .

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (2.6)$$

U_t – hesabı:

$$f = (1+0,089 h_w \epsilon_p)(1+0,07866 N) \quad (2.7)$$

$$e = 0,0430(1-100/T_{pm}) \quad (2.8)$$

$$C = 520 (1-0,000051 \beta^2) \quad (2.9)$$

$$W = (\epsilon_p 0,00591N h_w)^{-1} + [(2N+f-1+0,0133 \epsilon_p)/ \epsilon_g] - N \quad (2.10)$$

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{W} \quad (2.11)$$

$$U_b = k / L_b \quad (2.12)$$

$$U_e = \frac{kch}{L_e} \left(\frac{1}{A_c} \right) \quad (2.13)$$

Verim Faktörü (F'):

$$F' = \frac{1}{\frac{WU_L}{\pi Dh_f} + \frac{WU_L}{C_b} + \frac{W}{D + (W - D)F}} \quad (2.14)$$

F_R - Toplaç ısı kazanç faktörü:

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(\frac{-A_c U_L F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (2.15)$$

F_F - Toplaç ısı kazanç faktörü:

$$F_F = \frac{F_R}{F'} \quad (2.16)$$

Q_u - Faydalı enerji:

$$S = G_T \left[\frac{\tau \alpha_p}{1 - (1 - \alpha_p) \rho_c} \right] \quad (2.17)$$

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (2.18)$$

T_2 - Akışkanının toplaçtan çıkış sıcaklığı:

$$T_2 = T_1 + \frac{F_R A_c [S - U_L (T_i - T_a)]}{\dot{m}C_p} \quad (2.19)$$

Toplaç ısı verimi (η):

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{F_R A_c [S - U_L (T_i - T_a)]}{A_c G_T} \quad \text{anlık} \quad (2.20)$$

$$\eta = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_u}{\int_{t_1}^{t_2} G_t} \quad (2.21)$$

2.3.2.1 PV Güneş Toplacı Verimlilik Eğrisi

Sistemin toplam ısıl geri kazanımı aşağıdaki Eşitlik (2.22) ile ifade edilebilmektedir.

$$Q_u = F_R A_c [I(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (2.22)$$

Kollektörün ısıl verimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I} \quad (2.23)$$

Yukarıdaki eşitlik (2.22) ve eşitlik (2.23) birleştirildiğinde,

$$\eta = -F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I} + F_R \tau\alpha \quad (2.24)$$

$$a = F_R U_L \quad (2.25)$$

$$x = \frac{(T_i - T_a)}{I} \quad (2.26)$$

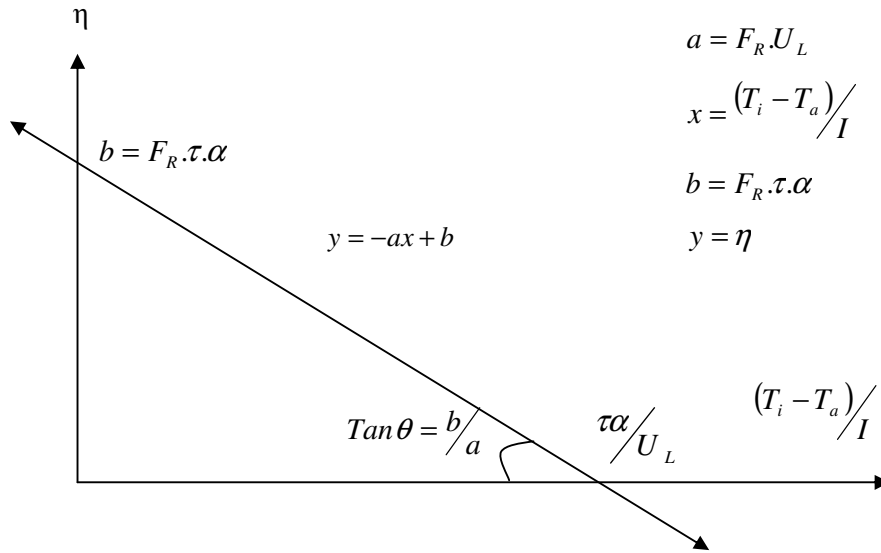
$$b = F_R \tau\alpha \quad (2.27)$$

$$y = \eta \quad (2.28)$$

olmak üzere,

$$y = -ax + b \quad (2.29)$$

Yukarıdaki eşitliğin grafik olarak gösterimi PV güneş toplacının verimlilik eğrisini vermektedir. Bu eğri aşağıda Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. PV güneş toplacı verimlilik eğrisi

Bu verimlilik eğrisi ile, toplacımızın ısı verimi (η), ısı kazanç faktörü (F_R) ve ısı kayıp katsayısı (U_L) değerleri, yukarıdaki karmaşık ısı denklemlere gerek kalmadan, herhangi bir, T_i , T_a veya I değeri için kolaylıkla hesaplanabilir.

2.3.3. Elektriksel Analiz

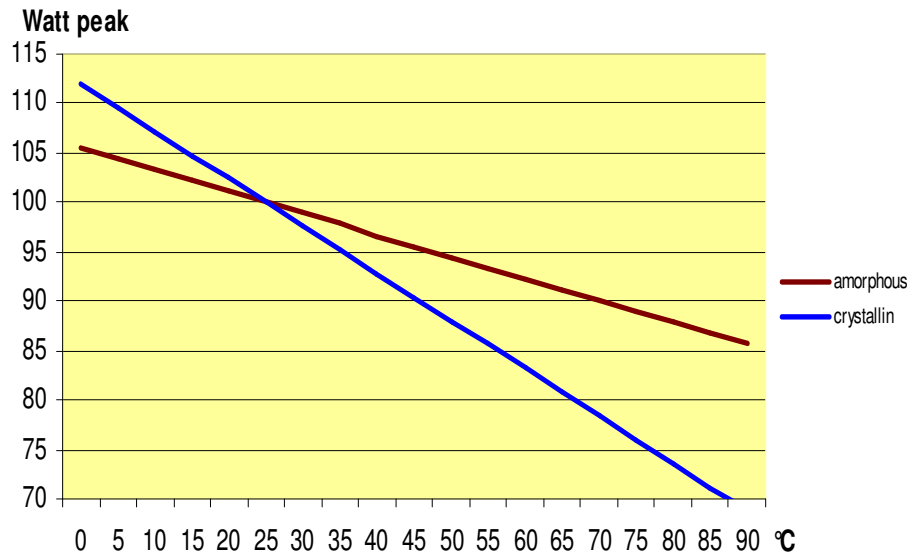
Panel sıcaklığındaki artışın PV elektriksel güç kaybına neden olduğu bilinmektedir ve PV/T güneş toplacı tasarımında rol oynamaktadır. Mono-kristal ve poli-kristal silikon hücrelerde negatif sıcaklık katsayısı 0,4-0,6 % / °C olarak verilmektedir (Wenham vd., 1998).

Isı geri kazanımı, ısı çevrim ve silisyum kristal gerilimlerini azaltmaktadır.
Açık devre voltaj kaybı:

$$\frac{1}{V_{oc}} \frac{dV_{oc}}{dT} = 0,003/^\circ C \quad (2.30)$$

olarak verilmektedir (Bazilian ve Prosad, 2002).

Şekil 2.4' de Amorf ve Silisyum kristalli PV panellerinin sıcaklık artışına bağlı güç kaybı grafiği görülmektedir.



Şekil 2.4. Amorf ve Silisyum Kristalli PV Panellerinin Sıcaklık Artışına Bağlı Güç Kaybı Grafiği (Hammer, 2006)

Bir güneş topacı modülünün elektriksel verimi, eşitlik (2,26) ile verilebilir.

$$\eta_{el} = \frac{I_m \cdot V_m}{A_c I} \quad (2.31)$$

Bir PV güneş toplacının performansı, sıcaklığının artmasıyla ilişkilidir. Zondag vd., (1999), bir PV güneş toplacının elektriksel veriminin, modül sıcaklığına bağlılığını, eşitlik (2.26) ile vermektedir.

$$\eta_{el} = \eta_o [1 - \beta_T (T - 25^\circ C)] \quad (2.32)$$

2.3.4. Entropi ve Ekserji Analizi

2.3.4.1 Entropi

Entropi, S_{gen} simgesiyle gösterilir ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$S_{gen} = \frac{Q}{T} \left[\frac{W}{K} \right] \quad (2.33)$$

Entropi üretimi, bir hal değişimi sırasında üretilen entropi olarak adlandırılır ve S_{gen} ile gösterilir. Sistemimizin entropi değişimi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır. (Çengel ve Boles, 1996)

$$(S_{in} - S_{out}) + S_{gen} = \Delta S_{sys} \quad (2.34)$$

Kapalı sistemlerde ise aşağıdaki eşitlik geçerlidir.

$$(S_{in} - S_{out}) + S_{gen} = \Delta S_{sys} = 0 \quad (2.35)$$

2.3.4.2 Ekserji

Belirli bir halde ve belirli bir miktarda enerjiden elde edilebilecek işi veren bir özeliğin tanımlanması önemlidir. Bu özeliğin adı kullanılabilirlik yani ekserji'dir. Bir sistemin ekserjisi, aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir. (Çengel ve Boles, 1996)

$$X = T_a \cdot S_{gen} \quad (2.36)$$

2.4. PV/T Güneş Toplaçlarının Analitik Modelleme ve Simülasyonu

Florschuetz, (1979) ; Hottel ve Willier'in (1958) düz yüzey kolektörler için oluşturduğu analitik modeli geliştirmiştir. Bu analitik model, PV/T güneş toplaçlarında da kullanılabilir. Literatürdeki, güneş toplacı verim katsayısı F' ve güneş toplacı ısı taşıma verim katsayısı F_R gibi, bu konudaki tüm bilgi ve açıklamalar geçerlidir. Düzlemsel güneş toplaçlarının teorik modelindeki tüm eşitlikler, PV/T güneş toplaçlarında da geçerlidir.

Bergen ve Lovvik, (1995) PV/T güneş toplaçlarının performansını, özellikle Duffie ve Beckman, (1991) tarafından sunulan enerji transfer analiz metodlarını kullanarak oluşturduğu bir model ile incelemiştir. Bu modelde, PV/T güneş toplaçlarının verimleri (ısı ve elektriksel) 60-80 % olarak hesaplamıştır.

Sandnes ve Rekstad; (2002) Hottel ve Willier'in düzlemsel güneş toplaçlarını geliştirerek oluşturdukları PV/T güneş toplacı modelinde, solar hücrelerin etkilerini de göz önüne almışlardır. Simülasyon ve deneysel sonuçlar, birbirleriyle uyum içinde çıkmışlardır. Absorb edici yüzey üzerine konan solar hücrelerin, sadece absorb edici yüzey ile karşılaştırıldığında, bu yüzey tarafından yutulan solar enerji miktarını 10% azalttığı rapor edilmiştir. Fakat bu kayıp enerji PV tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Ayrıca ısı transferinin absorb edici yüzey ve ısı transfer akışkanı arasında arttığı dw belirtilmiştir.

Sopian vd., (1996) tarafından tek ve çift hava geçişli PV/T güneş toplaçların performansları incelenmiştir ve çift hava geçişli PV/T güneş toplaçların, tek hava geçişlilere göre daha yüksek verimliliğe sahip oldukları görülmüştür.

Kalogirou, (2001) PV/T güneş toplaç sisteminin modelleme ve simülasyonunu, TRNSYS simülasyon programını kullanarak yapmıştır. PV/T güneş toplaç sistemi; PV panel serileri, pil bankası, bir invertör ve bir sıcak su saklama tankı ve pompasını içermektedir.

Garg ve Adhikari, (1997) tarafından, tek ve çift camlı PV/T hava ısıtmalı güneş toplacı konfigürasyonlarını simüle ederek performansları incelenmiştir. Hava kütle debisinin akış hızının 25-150 kg/h.m² arasında seçilmesinin maksimum verim için gerekli olduğunu belirlemişlerdir.

2.5. Deneysel Çalışmalar

Tripanagnospoulos vd., (2002) tarafından, su ve hava akışkanlarının kullanıldığı PV/T güneş toplaç sistemleri kurulmuş ve testleri yapılmıştır. Elektriksel verimleri karşılaştırıldığında, poli-kristal silisyum (pc-Si) PV/T güneş toplaç sisteminin veriminin, poli-kristal silisyum (pc-Si) PV güneş toplacı modülünün veriminden 3,2% fazla olduğu görülmüştür. Aynı zamanda poli-kristal silisyum (pc-Si) PV/T güneş toplaç sistemi, reflektörlerle birlikte kullanıldığında, elektriksel veriminin 19,2% arttığını gözlemlemişlerdir ki bu reflektörler PV/T güneş toplacı sisteminin fiyatını sadece 4% arttırmaktadır.

Ayrıca Bregren ve Karlsson, (2005) su ile soğutulan PV/T güneş toplacının performansını test ettiğinde, bu sistemin elektrik üretiminin, PV sisteminden 2 kat fazla olduğu ve ısı enerjisinin de 3-4 kat arttığını ve 50 °C sıcaklığında su elde edildiğini görmüştür.

Conventry, (2005) CHAPS PV/T güneş toplacı için, ısı verimi yaklaşık 58%; elektriksel verimi yaklaşık 11%; yani toplam verimin 69% olarak bildirmiştir.

2.6. Kaynak Araştırması Sonuçları

Yukarıdaki bölümlerde, sıvı ve hava tipi PV/T güneş toplaçlarıyla ilgili son 25 yıldır yapılan tüm çalışmalar ve literatür özetleri verilmiştir. Şu sonuçlara ulaşılmıştır. Yapılan, analitik ve nümerik modelleme ve analizlerden PV/T güneş toplaçların verimleri, çok iyi toplaçlarda %70' in üzerinde, düşük kalitedeki toplaçlarda %60' in altındadır.

Hava tipi PV/T güneş toplaçları, genel olarak sıvı tipi PV/T güneş toplaçlarından daha az verime sahiplerdir. Bununla beraber, boru dizaynı toplaçların üretiminin daha kolay olmasından dolayı ve verimlerinin sadece 2% olmasından dolayı, bu tipler en tercih edilenlerdendir.

Pratik bazı amaçları gerçekleştirmek için, önce toplaç verim faktörü (F_F) ve ısı taşınım faktörü belirlenmelidir (F_R).

Üzeri cam kaplı olmayan PV/T güneş toplaçların ısı performansları, özellikle yüksek sıcaklıklardaki, tepeden ısı kayıplarından dolayı azalmaktadır. Fakat üzeri cam kaplı olmayan PV/T güneş toplaçların elektriksel performansları, daha yüksek olmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, PV/T güneş toplaçların verimini attırıp, fiyatlarını da azaltarak geri dönüşüm sürelerini azaltmak için yapılmıştır. Petrol fiyatlarının yükseldiği şu günlerde, çevreyle dost, yenilenebilir enerji aracı olan PV/T güneş toplaçların fiyatının düşük olmasıyla, ticari olarak rekabet edebilmesini amaçlamaktayız.

Optimal PV/T güneş toplacı akış hızının $0,001-0,118 \text{ kg/sm}^2$ olması gerektiği bulunmuştur. Bununla beraber, $0,015 \text{ kg/sm}^2$ akış hızı da rapor edilmiştir. Bu yüzden akış hızı ile ilgili araştırmaların devam etmesi gerekmektedir.

Isıl verimin, boru aralığının (w), boru çapına (D) oranı 1'den 10'a çıkarıldığında, boru aralığı sabit kalmak koşulu ile, arttığı gözlenmiştir.

PV/T güneş toplaçları, kullanıldığı bölgeye uygun olarak, farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Güneş ışınımının düşük olduğu, soğuk kuzey ülkelerinde, bina entegrasyon uygulamalarında, hava tipi PV/T güneş toplaçları ortama sıcak hava vermektedirler. Daha sıcak iklimlerde, su tipi PV/T güneş toplaçları, daha çok evlerin sıcak su ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılırlar.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Seçilen Konstrüksiyon ve Tasarım Parametreleri

Muğla Üniversitesi'nde, Muğla iklim koşullarında gerçekleştirilen test düzeneğinde, benzer parametrelere sahip tek kristalli, yalıtımlı ve yalıtımsız PV güneş toplacı ve yalıtımlı su tipi akışkan ile soğutulan fotovoltaik/ısı güneş toplacı (PV/T kojenerasyon) aynı koşullarda test edilerek, kojenerasyon sisteminin getirdiği farklar ekserjik analizlerle belirlenmiştir ve elde edilen verimlilik artışları incelenmiştir. Bu artışlar,

- Atık ısının geri kazanımı,
- Panel sıcaklığının düşürülmesi ile oluşan elektriksel kazançlar olarak test edilmiştir.
- Faydalı ısı enerjisiyi maksimize etmek için PV/T güneş toplacı sisteminde alt yalıtım kullanılmıştır. Aynı zamanda panelin soğutulması, elektrik enerjisi çıktısını arttırmıştır.
- Diğer eş paneli yalıtılarak, yalnızca ısı taşımanın etkileri karşılaştırılmıştır.
- Piyasada kullanıldığı biçimde çıplak panel değerleri aynı zaman aralığında ele alınmaktadır.

Tablo 3.1' de deney düzeneğimizde kullanılan malzemelerin ve cihazların özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.1. Kullanılan malzemelerin ve cihazların özellikleri

Eleman	Teknik Özellikler
PV-Panel	BP Solar, Monokristal, Silisyum, 2adet 12V/85W, $V_{max}= 16 V$, 1170x 510 mm, $A_c=0,6 m^2$
Isı Değiştirgeci	n=6 mm bakır boru n:16 adet, yalıtım:60mm
Su Deposu	İzolasyonlu dış ölçüler: 450 ϕ x 570 mm, depo: $\phi=330 mm$ x 450mm V= 40 lt
Sirkülasyon Pompası	WILO Star 175/ 28 W-230V-50 Hz./ 0.3 Amp.max /Class F / PN 10/TF 95 / IP 42
Kalorimetre	Alnatronic
Göstergeler	Gerilim(V), Akım(I) ve Sıcaklık (T) göstergeleri
Debimetre	DWYER Instruments Inc. 690KPa, 100PSIG Max, 54 °C ,130 °F Max., Lt/min
İnvertör	M POWER150-12, 12V DC 230V AC, 12V,15A max, 230 V, 50 HZ, 150W

Aşağıdaki şekillerde deney düzeneği, deneyin yapılışı, kullanılan malzeme ve cihazlarla ilgili fotoğraflar görülebilir.



Şekil 3.1. Test düzeneğinin önden görünüşü



Şekil 3.2. Test düzeneğinin yandan görünüşü



Şekil 3.3. Test düzeneğinin arkadan görünüşü



Şekil 3.4. Test düzeneğinin yandan görünüşü



Şekil 3.5. Test düzeneğinin yandan görünüşü



Şekil 3.6. Test düzeneğinin iç yapısının görünüşü



Şekil 3.7. Test düzeneğinin iç yapısının görünüşü



Şekil 3.8. Test sisteminde ölçüm değerlerinin alındığı kontrol paneli

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Isıl Deneyler ve Hesaplamalar

16 Mayıs 2006'da yaptığımız ilk ölçümler ve sonuçları Eltez ve Disçigil, (2006) bildirisinde yorumlanmıştır. Bu tez için yapılan ölçümler, Muğla Üniversitesi yerleşkesinde, 17 Mayıs 2007 günü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm değerleri Tablo 4.1' de görülebilir.

Tablo 4.1. Deneyde ölçülen değerler

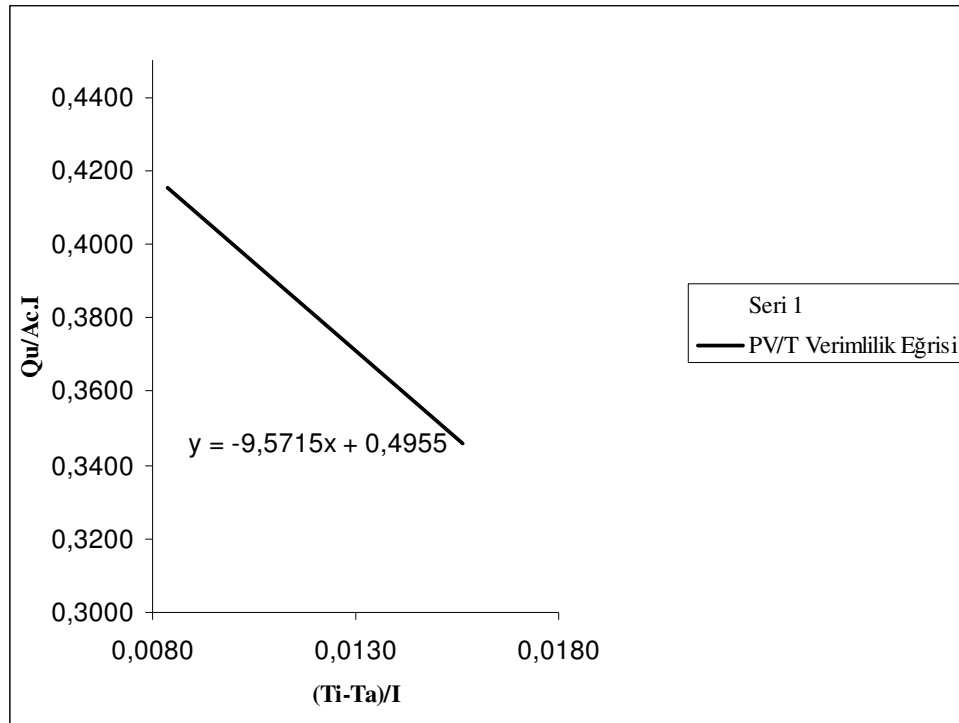
17.05 2007	PV/T + yalıtım			PV + yalıtım			Şahit PV Ac=210 m2				m (debi)		
Saat	Tp1	I	V	Tp2	I	V	Tp3	E (W)	Ti	To	kg/sm ²	I [W/m ²]	Ta[°C]
10:00	26	3,6	13,9	29	3,4	13,9	21,06	4.848	21	22	0,0109	233	24,64
10:10	52	3,6	13,9	50	3,4	13,9	23,32	5.972	21	22	0,0109	268	24,69
10:20	58	3,6	13,8	55	3,4	13,8	25,65	6.606	21	22	0,0109	302	24,91
10:30	60	3,5	13,8	55	3,5	13,8	28,18	7.158	21	22	0,0109	343	25,33
10:40	62	3,5	13,9	57	3,4	13,9	31,01	8.215	21	22	0,0288	378	25,55
11:00	66	3,3	13,9	61	3,3	13,9	35,32	9.658	21	22	0,0288	451	26,18
11:10	64	3,4	14,0	64	3,1	14,0	37,22	10.204	22	23	0,0288	485	26,36
11:20	52	3,7	14,1	65	3,0	14,1	43,51	10.725	22	23	0,0288	519	26,51
11:30	42	4,0	14,3	63	3,0	14,3	51,74	11.595	22	23	0,0288	551	26,65
11:40	40	4,1	14,3	65	3,0	14,3	53,91	11.743	22	23	0,0288	582	26,93
11:50	39	4,1	14,4	63	3,0	14,4	55,67	12.315	22	23	0,0288	607	27,21
12:00	39	4,1	14,4	59	3,1	14,4	57,88	12.876	22	23	0,0288	639	27,43
12:10	39	4,1	14,4	57	3,1	14,4	60,29	13.083	22	23	0,0288	669	27,68
12:20	38	4,1	14,5	54	3,3	14,5	62,35	13.925	22	23	0,0288	693	27,81
12:50	36	4,1	14,6	47	3,6	14,6	67,09	14.824	22	24	0,0288	763	28,74
13:00	35	4,1	14,7	44	3,6	14,7	68,76	14.544	22	24	0,0288	783	29,06
13:10	35	4,0	14,6	45	3,5	14,6	69,83	15.131	22	24	0,0288	805	29,29
14:30	36	4,0	14,6	46	3,0	14,6	66,53	15.880	22	24	0,0288	912	31,12
14:50	36	4,1	14,7	43	2,9	14,7	65,53	15.701	22	24	0,0288	919	31,22
15:00	36	4,1	14,4	45	2,8	14,4	63,07	16.368	22	24	0,0288	918	31,36
15:10	36	4,1	14,5	44	2,7	14,5	61,9	15.903	22	24	0,0288	916	31,47
15:30	36	4,1	14,4	44	2,5	14,4	56,64	16.153	22	24	0,0288	912	31,70
15:40	36	4,0	14,3	41	2,3	14,3	55,36	15.695	22	24	0,0288	907	31,79
15:50	36	4,0	14,3	39	2,2	14,3	55,49	16.174	22	24	0,0288	896	31,85
16:00	36	3,9	14,2	39	2,1	14,2	56,06	15.836	22	24	0,0288	887	31,89

Tablo 4.1.'deki ölçüm değerlerinden aritmetik işlemlerle hesaplanan, PV/T güneş toplacı sistemimizin verimlilik grafiğini elde etmek için faydalanılacak değerler Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2. Hesaplanan değerler

X	Qu(W)	Termal verim	PV/T +Yalıtım Ac=0.6	PV +Yalıtım Ac=0.6	Şahit PV Ac=0.6	PV/T +Yalıtım	PV +Yalıtım	PV/T Yalıtım
(Ti-Ta)/I	m.cp.(To-Ti)	Qu/Acl	E=V.I	E=V.I	E=V.I	El. Verim	El. Verim	Top.Verim
0,0156	45,78	0,33	50,04	47,26	13,85	0,36	0,34	0,69
0,0138	45,86	0,29	50,04	47,26	17,06	0,31	0,29	0,60
0,0129	45,86	0,25	49,68	46,92	18,87	0,27	0,26	0,53
0,0126	45,86	0,22	48,3	48,3	20,45	0,23	0,23	0,46
0,0120	120,91	0,53	48,65	47,26	23,47	0,21	0,21	0,75
0,0115	120,91	0,45	45,87	45,87	27,59	0,17	0,17	0,62
0,0090	120,91	0,42	47,6	43,4	29,15	0,16	0,15	0,58
0,0087	120,91	0,39	52,17	42,3	30,64	0,17	0,14	0,56
0,0084	120,91	0,37	57,2	42,9	33,13	0,17	0,13	0,54
0,0085	120,91	0,35	58,63	42,9	33,55	0,17	0,12	0,51
0,0086	120,91	0,33	59,04	43,2	35,19	0,16	0,12	0,49
0,0085	120,91	0,32	59,04	44,64	36,79	0,15	0,12	0,47
0,0085	120,91	0,30	59,04	44,64	37,38	0,15	0,11	0,45
0,0084	120,91	0,29	59,45	47,85	39,79	0,14	0,12	0,43
0,0088	241,82	0,53	59,86	52,56	42,35	0,13	0,11	0,66
0,0090	241,82	0,51	60,27	52,92	41,55	0,13	0,11	0,64
0,0091	241,82	0,50	58,4	51,1	43,23	0,12	0,11	0,62
0,0100	241,82	0,44	58,4	43,8	45,37	0,11	0,08	0,55
0,0100	241,82	0,44	60,27	42,63	44,86	0,11	0,08	0,55
0,0102	241,82	0,44	59,04	40,32	46,77	0,11	0,07	0,55
0,0103	241,82	0,44	59,45	39,15	45,44	0,11	0,07	0,55
0,0106	241,82	0,44	59,04	36	46,15	0,11	0,07	0,55
0,0108	241,82	0,44	57,2	32,89	44,84	0,11	0,06	0,55
0,0110	241,82	0,45	57,2	31,46	46,21	0,11	0,06	0,56

Yukarıdaki Tablo 4.2 deki hesaplanan değerlerden faydalanarak elde edilen, sistemimizin deneysel verimlilik grafiği, Şekil 4.1.'de görülebilir.



Şekil 4.1.PV/T güneş toplacı verimlilik grafiği

Bu grafik kullanılarak yapılan hesaplamalar aşağıdaki şekildedir.

$$y = -ax + b \quad (4.1)$$

$$a = F_R \cdot U_L \quad (4.2)$$

$$x = \frac{(T_i - T_a)}{I} \quad (4.3)$$

$$b = F_R \cdot \tau \cdot \alpha \quad (4.4)$$

$$y = \eta \quad (4.5)$$

olmak üzere,

$$b = F_R (\tau\alpha)_n = 0.4955 \quad (4.6)$$

$$(\tau\alpha)_n = \tau\alpha = 0.74 \quad (4.7)$$

olduğundan,

$$F_R = 0.67 \quad (4.8)$$

bulunur.

$$a = F_R U_L = 9.571 \text{ W/m}^2 \text{ K} \text{ ve } F_R = 0.67 \quad (4.9)$$

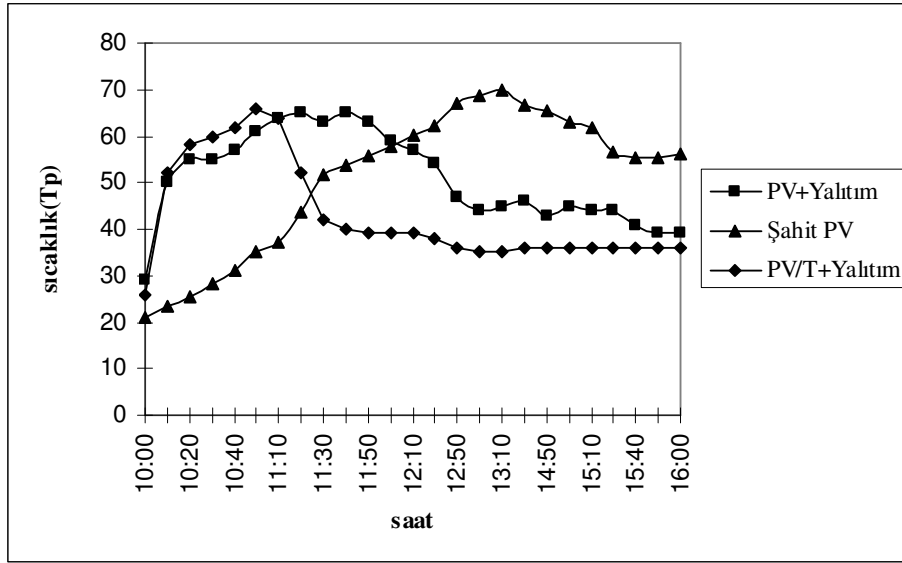
olduğundan,

$$U_L = 14.29 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (4.10)$$

olarak bulunabilir.

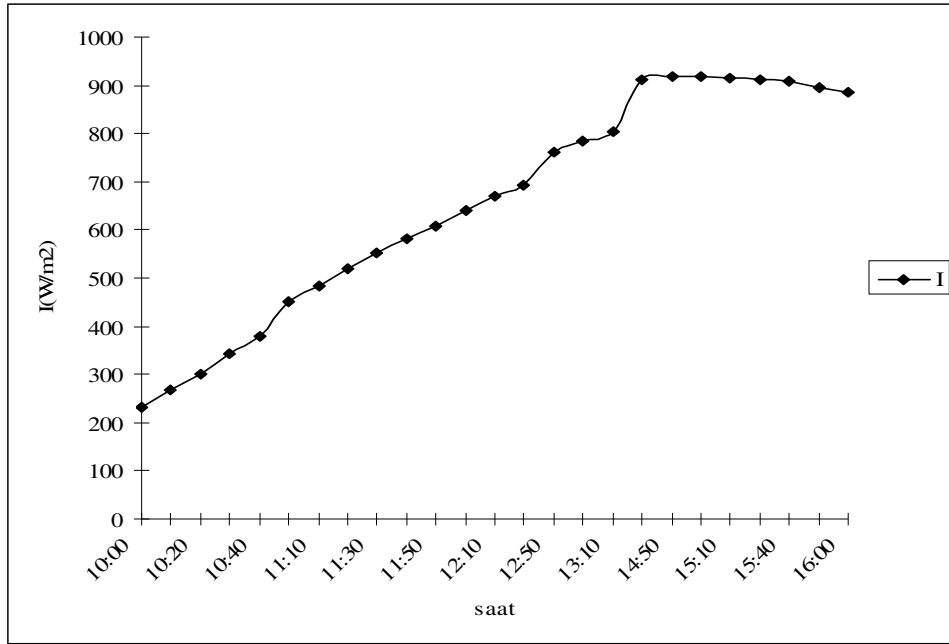
Panel sıcaklıklarının zamana göre değişimi Şekil 4.2’de görülmektedir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi PV/T kojenerasyon güneş toplacının panel sıcaklığının, zaman ilerledikçe diğer panellerden düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Deney düzeneğindeki, yalıtılmış PV güneş toplacının panel sıcaklığı da, Türkevi üstündeki yalıtımsız Şahit PV güneş toplacının panel sıcaklığından düşük kalmaktadır.

Tablo 4.2’ de Türkevi üzerinde bulunan ve sürekli ölçülerek deneylerimizdeki verilere şahitlik yapan PV sisteminde, zamana bağlı elektriksel güç değerleri, deney düzeneğindeki yalıtılmış PV güneş toplacından elde edilen değerlerden daha düşük görülmektedir. Buradaki sapmanın nedeni, şahit panelin kuruluş koşullarından kaynaklanan nedenlerle, güney yönünden sapması ve eğim açısının çatıya uygun yapılması sonucu optimum değerlerde olmamasındandır.



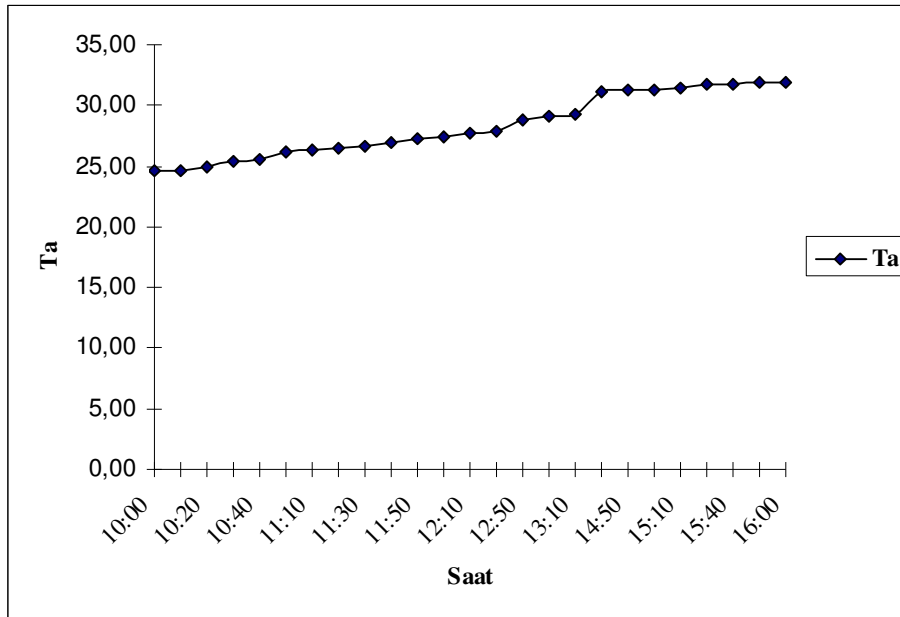
Şekil 4.2. Panel sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışınımının zamana göre değişimi Şekil 4.3.'de görülmektedir.



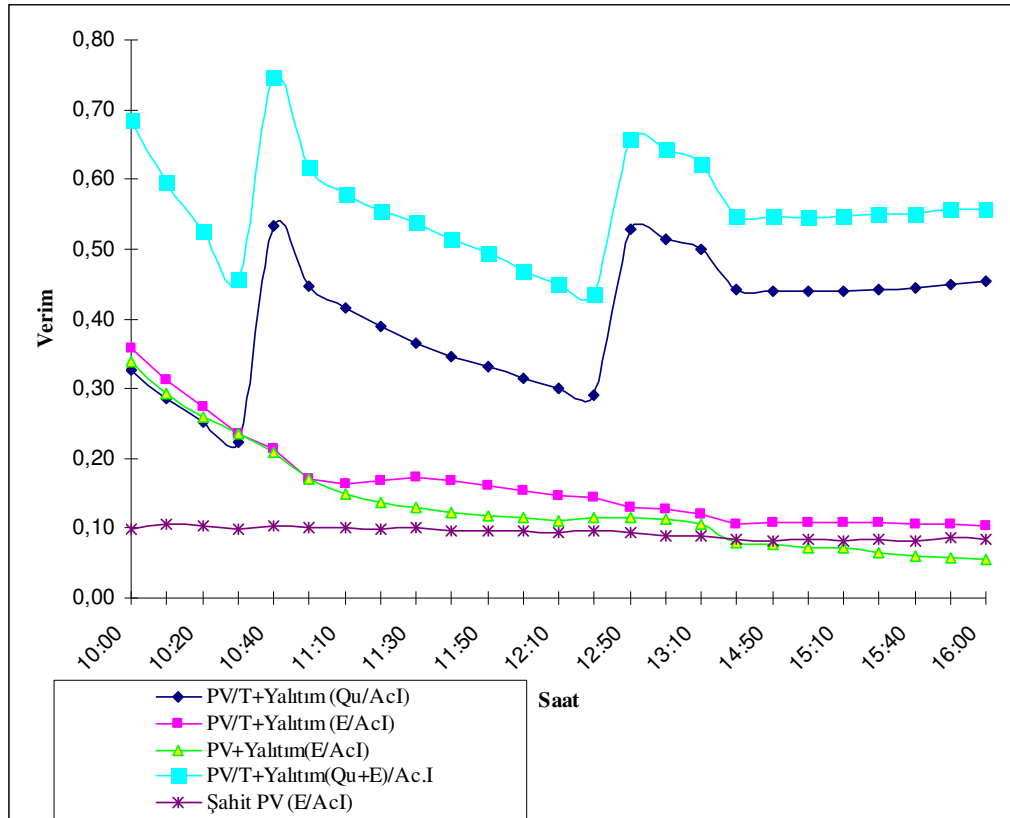
Şekil 4.3. Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışınımının zamana göre değişimi

Çevre sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 4.4' de görülmektedir.



Şekil 4.4. Çevre sıcaklığının zamana göre değişimi

Sistemlerin elektriksel ve ısıl verimleri Şekil 4.5' de görülebilir. Grafiklerde görüldüğü gibi PV/T güneş toplacının elektriksel ve ısıl verim toplamı diğer yalıtımlı PV güneş toplacı ve Türkevi üstündeki yalıtımsız şahit PV güneş toplacının elektriksel verimlerinden yüksek kalmaktadır. Aynı şekilde saat 10:30'daki dalgalanmanın sebebi, sistemin debisinin ilk başta düşük kaldığı için panelin soğutulamamasındandır. Sistemin debisi artırılınca Tablo 4.1' den görüleceği gibi panel sıcaklığı düşmüş, bu da sistemin elektriksel verimini hızla arttırmıştır. Saat 13:10'daki dalgalanmanın sebebi de, 13:10-14:30 arasında sistem verilerinin ölçümüne ara verildiğinden dolayı, grafikte de bir atlama meydana gelmiştir. Grafiklerden anlaşılıyor ki, yalıtımlı PV güneş toplacının elektriksel verimi, Muğla Üniversitesi yerleşkesindeki Türkevi üstündeki yalıtımsız şahit PV güneş toplacının elektriksel veriminden yüksek olmaktadır. Gene aynı grafiklerden yalıtımlı PV/T güneş toplacımızın elektriksel verimi her iki toplaktan da yüksek olmaktadır.



Şekil 4.5. Verimin zamana göre değişimi

4.2. Elektriksel Deneyler

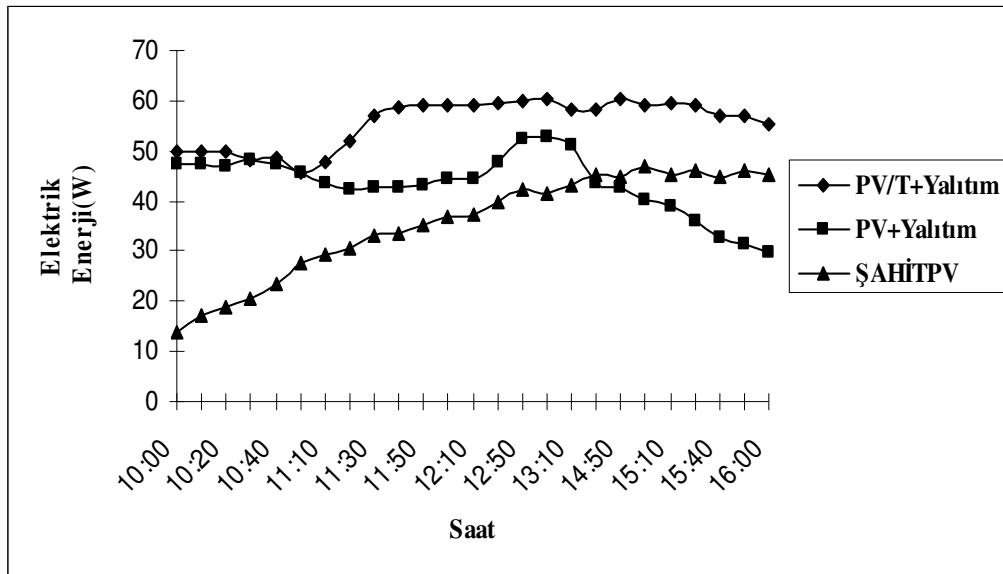
Yapılan deneylerde PV güneş toplacı sıcaklıklarındaki değişimlerin voltaj üzerindeki etkileri ve sistemin elektriksel verimleri Tablo 4.2' de görülmektedir. Bu tabloda yalıtımlı PV/T kojenerasyon sistemimiz ile şahit panel arasındaki gerilim değişikliği karşılaştırılmıştır. Elektrik enerjisinin zamana göre değişimi şekil 4.6.'da görülebilir.

Sistemimizin elektriksel verimi;

$$\eta_{el} = \frac{E}{A_c I} \quad (4.6)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Toplaçlardan elde edilen elektrik enerjilerinin zamana göre değişimi Şekil 4.6' da görülebilir. Grafiklerden anlaşılıyor ki, yalıtımlı PV güneş toplaçten elde edilen elektrikenerjisi, Muğla Üniversitesi yerleşkesindeki Türkevi üstündeki yalıtımsız şahit PV güneş toplaçından elde edilen elektrik enerjisinden yüksek olmaktadır. Gene aynı grafiklerden yalıtımlı PV/T güneş toplaçımızın elektriksel verimi her iki toplaçdan da yüksek olmaktadır. Bu da düşük panel sıcaklığının sistemin elektriksel verimi üzerindeki pozitif etkisidir.



Şekil 4.6. Elektrik enerjisinin zamana göre değişimi

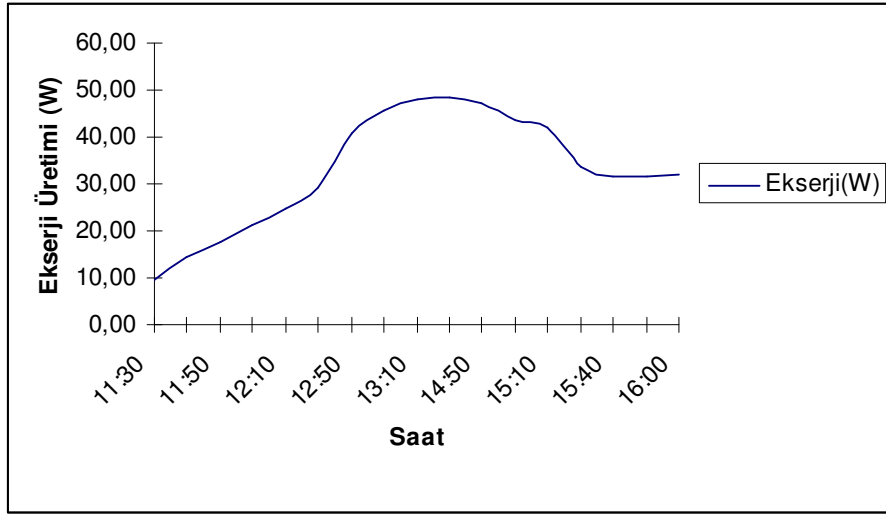
4.3. Ekserji Analizi

Sistemimizin ekserji analizi ve entropi değişimleri Tablo 4.3.'de görülebilir.

Tablo 4.3. Ekserji analiz değerleri

Saat	Tp1	Tp1 (K)	Tp3	Tp3 (K)	Ta[°C]	Ta (K)	I [W/m ²]	Q	(1/Tp1)-(1/Tp3)	Sgen	Ekserji(W)
10:00	26	299	21,06	294,06	24,64	297,64	233	140	-	-	-
10:10	52	325	23,32	296,32	24,69	297,69	268	161	-	-	-
10:20	58	331	25,65	298,65	24,91	297,91	302	181	-	-	-
10:30	60	333	28,18	301,18	25,33	298,33	343	206	-	-	-
10:40	62	335	31,01	304,01	25,55	298,55	378	227	-	-	-
11:00	66	339	35,32	308,32	26,18	299,18	451	271	-	-	-
11:10	64	337	37,22	310,22	26,36	299,36	485	291	-	-	-
11:20	52	325	43,51	316,51	26,51	299,51	519	311	-	-	-
11:30	42	315	51,74	324,74	26,65	299,65	551	331	0,000095	0,0315	9,43
11:40	40	313	53,91	326,91	26,93	299,93	582	349	0,000136	0,0475	14,24
11:50	39	312	55,67	328,67	27,21	300,21	607	364	0,000163	0,0592	17,77
12:00	39	312	57,88	330,88	27,43	300,43	639	383	0,000183	0,0701	21,07
12:10	39	312	60,29	333,29	27,68	300,68	669	401	0,000205	0,0822	24,71
12:20	38	311	62,35	335,35	27,81	300,81	693	416	0,000233	0,0971	29,20
12:50	36	309	67,09	340,09	28,74	301,74	763	458	0,000296	0,1354	40,87
13:00	35	308	68,76	341,76	29,06	302,06	783	470	0,000321	0,1507	45,51
13:10	35	308	69,83	342,83	29,29	302,29	805	483	0,000330	0,1593	48,16
14:30	36	309	66,53	339,53	31,12	304,12	912	547	0,000291	0,1592	48,43
14:50	36	309	65,53	338,53	31,22	304,22	919	551	0,000282	0,1557	47,35
15:00	36	309	63,07	336,07	31,36	304,36	918	551	0,000261	0,1436	43,70
15:10	36	309	61,90	334,9	31,47	304,47	916	550	0,000250	0,1376	41,88
15:30	36	309	56,64	329,64	31,7	304,7	912	547	0,000203	0,1109	33,79
15:40	36	309	55,36	328,36	31,79	304,79	907	544	0,000191	0,1038	31,65
15:50	36	309	55,49	328,49	31,85	304,85	896	538	0,000192	0,1032	31,47
16:00	36	309	56,06	329,06	31,89	304,89	887	532	0,000197	0,1050	32,01
											561,24

Şekil 4.7' de ise ekserji üretiminin zamana göre değişimi görülebilir.



Şekil 4.7. Ekserji üretiminin zamana göre değişimi

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Atık ısının, gün ışığının ve elektrik üretiminin bir arada kullanımına olanak tanıyan PV/T kojenerasyon sistemlerinin avantajlarının ortaya konulması amacı ile bu deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Dünyada çeşitli çalışmalar olmasına rağmen henüz seri üretimi yoktur. Çalışma sonuçları, PV/T güneş toplaçlarından elde edilen önemli miktardaki atık ısının, evlerin ısıtılması, soğutulması, sıcak su ve elektrik enerjisi gereksinimlerinde kullanılabileceğini göstermektedir.

PV/T güneş toplacı panelleri, yapıların duvar ve çatılarına entegre edildiğinde elde edilecek kazanımlar;

- PV güneş toplacı panellerin elektriksel verimlilik artışları,
- PV güneş toplacı silisyum-kristal sistemlerindeki gerginliklerin azaltılarak, ömürlerinin uzatılması,
- PV/T sistemi toplam veriminin artırılması ile ilk yatırım giderinin ve geri ödeme sürelerinin azaltılması

olacaktır.

Deneyleerde iki adet 1170 x 510 mm. tek kristalli silisyum PV güneş toplacı kullanılmıştır. Muğla Üniversitesi kütüphane binası ve Türkevi üzerindeki iklim istasyonunun güneş enerjisi, çevre sıcaklıkları gibi ölçüm değerlerinden, ayrıca Türkevi üzerindeki, çıplak PV güneş toplacının (Şahit Panel) verilerinden yararlanılmıştır. Sistemin tasarlanmasında, aynı koşullarda yalnızca akışkan ile taşınan enerjinin etkilerinin değerlendirilmesi için her iki deney paneline de yalıtım yapılmıştır. Tüm sonuçlar çıplak panel verileri ile karşılaştırılmıştır.

Isı transfer akışkanı olarak sıvıların kullanıldığı güneş toplaçlı ısıtma sistemlerinde bu modelimizin uygulanabilmesi için gerekli toplam ısı kayıp katsayısı değişim aralığı; $2.1 \leq U_L \leq 8.3 W / m^2 \cdot ^\circ C$ olmalıdır (Tırıs vd., 1997). Sistemimizde, toplam ısı kayıp katsayısı U_L 'nin istenilen ideal aralıktan büyük çıkmasının nedeni, Şekil 2.1' de şematik olarak gösterilen PV/T güneş toplacı sistemimizdeki, PV güneş toplacı üzerine, ayrıca cam örtü konulmamasındandır. Bu da sistemin ısı kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. Fakat üzeri cam kaplı olmayan PV/T güneş toplaçlarının elektriksel performansları, daha yüksek olduğu da unutulmamalıdır.

Tablo 4.1' de ve Şekil 4.2' de görüldüğü gibi, yalıtımlı PV/T güneş toplacının panel sıcaklığı, şahit panel ve yalıtımlı PV güneş toplacı panel sıcaklıklarına göre oldukça düşük kalmaktadır. Düşük panel sıcaklığının, PV güneş toplacının elektriksel verimine pozitif katkısından dolayı, Şekil 4.5' den görülebileceği gibi yalıtımlı PV/T güneş toplacımızın elektriksel verimi her iki toplaktan da yüksek olmaktadır.

Yapılan ısı hesaplarında, elde edilen verimlik denklemi ve çizilen grafikler ile hesaplanan değerler, sistem performansının, literatürde incelenen değerlere yakın olduğunu göstermektedir. Deney yapılan saatlerde elde edilen ısı verim (η), (22-53 %) değerlerine eklenen elektriksel verim(η_{el}) (10-36 %), ile sonuçlar, toplam verimliliğin (η_T), (% 43-75)' lere çıkacağını göstermektedir.

PV/T güneş toplacı sistemlerinde panel sıcaklıklarının düşürülmesi sonucu, elde edilen ekserji kazançları Tablo 4.3 de Şekil 4.7' de gösterilmiştir. Tablo 4.3' de, deneylerin bir bölümünün soğuk şebeke suyunun sisteme direk verilerek gerçekleştirilmesi sonucunda, panel sıcaklıklarının dış hava sıcaklığından düşük çıkması sonucu, negatif entropi hesaplanmış olup, tanımsızlık nedeniyle ilgili satırlar boş bırakılmıştır.

Sistem verilerinin değerlendirilmesi ile Muğla Üniversitesi yerleşke alanı içindeki Türk evi çatısında bulunan PV sisteminden elde edilecek ve bina içi yemekhanede kullanılan sıcak su ihtiyacının giderilmesinde kullanılan enerjinin boyutlandırılması yapılacaktır.

Bu çalışmayla, inşaat sektörünün halen motor güç olduğu ülke ekonomisinde, 'güneş kiremitleri', ile bileşik ısı ve güneş enerjili CHAPS (Combined heat and power solar) kojenerasyon sistemlerinin önü açılacak; böylelikle bu sektörlere yeni boyutlar eklenmiş olacaktır. Bu çok fonksiyonlu PV-kojenerasyon sistemlerin kullanıldığı, bina ile bütünleşik güneş enerjisi üretim sistemlerinin (BIPV-Building Integrated Photovoltaic Systems) ekonomik analizleri de olumlu yönde etkilenmektedir.

KAYNAKLAR

KİTAP

Çengel, Y.A., Boles, M.A., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 2. Basım, 349p.

Duffie, J.A., Beckman W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Process, second ed. John Willey and Sons Inc., NY, 269p.

Oktik, Ş., 2001. Güneş-Elektrik Dönüşümleri, Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Temiz Enerji Vakfı, Ankara, 1p.

Tırıs M., Tırıs Ç., Erdal Y., 1997 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, TÜBİTAK MAM, ISBN 975-403-082-0, 107p.

Vries, D., 1998. Design a photovoltaic/thermal combi panel. Eindhoven University Press, Eindhoven, 116p.

MAKALE

Bazilian M.D., Kamalanathan H., Prasad D.K. 2002. Thermographic Analysis of a Building Integrated Photovoltaic System, Renewable Energy, (26): 449-461.

Bazilian M.D., Prasad D. 2002. Modelling of a Photovoltaic Heat Recovery System and its Role in a Design Decision Support Tool for Building Professionals, Renewable Energy, (27): 57-68.

Bergene, L., Lovvik, O.M., 1995. Model calculations on a flat plate solar heat collector with integrated solar cells, Solar energy 55 (6): 453-462.

Charalambous P.G., Maidment, G.G., Kalogirou, S.A., Yiakoumetti, K. 2006. Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, (27): 275-286.

Convetry, J.S. 2005. Performace of concentrating photovoltaic/thermal solar collector, Solar Energy, (78):211-222.

Etemoğlu, A.B., İşman, M.K. 2004. Enerji Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizi, Mühendis ve Makine, (529): 1-7.

Florschuetz, L.W., 1979. Extension of the Hottel-Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors, Solar Energy 22 (4): 361-366.

Fujisawa, T., Tani, T., 1997. Annual exergy evaluation on photovoltaic-thermal hybrid collector. Solar Energy Materials and Solar cells. (47): 135-148.

Garg, H.P., Adhikari, R.S., 1997. Conventional hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) air heating collectors: steady state simulation, Renewable Energy 11 (3): 363-385.

- Hegazy, A.A., 2000. Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors. *Energy Conversion and Management*, (41): 861-881.
- Hollick, J. C., 1998. Solar Cogeneration Panels, *Renewable Energy*, (15): 195-200.
- Hottel, H.C., Willier, A., 1958. Evolution of flat-plate solar collector performance *Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy*, vol 2, University of Arizona Press, Tuscon, Arizona.
- Huang, B.J., Lin, T.H., Hung, W.C., Sun, F.S., 2001. Performance evolution of solar photovoltaic/thermal systems. *Solar Energy*. (70): 443-448.
- Kalogirou, S.A., 2001. Use of TRNSYS for modelling and simulation of a hybrid PV-thermal solar system for Cyprus. *Renewable Energy*, (23): 247-260.
- Kaya, D., 2004. Renewable energy policies in Turkey. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, (xx): 1-12.
- Keedwell, S., 2002. Introducing the Hydrographer to Offshore Wind Farms, *The Hydrographic Journal*, (105): 1-30.
- Ocak, M., Ocak, Z., Bilgen, S., Keleş, S., Kaygusuz, K. 2003. Energy utilization enviromental pollution and renewable energy sources in Turkey. *Energy Conversion & Management*, (45): 845-864.
- Sandnes, B., Rekstad, J., 2002. A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model. *Solar Energy*, (72): 63-73.
- Sopian, K., Yiğit, K.S., Liu, H.T., Kaka, S., Veziroğlu, T.N., 1996. Performance Analysis of Photovoltaic Thermal Air Heaters. *Energy Conversion and Management*, (37): 1657-1670.
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T.H., Souliotis, M., Yanoulis, P., 2002. Hybrid photovoltaic/thermal systems. *Solar Energy*. (72): 217-234
- Vokas G., Christandonis N., Skittides F. 2006. Hybrid Photovoltaic Thermal Systems for Domestic Heating and Cooling- A Theoretical Approach, *Solar Energy*, (80): 607-615.
- Wenham S., Green M., Watt, M. 1998. *Applied Photovoltaics*, University of NSW Publications, Sydney.

BİLDİRİ

Brogren, M., Carlsson, B. 2001 Low concentrating water-cooled PV-thermal hybrid systems for high latitudes, 17th. EUPVSEC, 2001.

Eltez, M., Eltez, A., Dişçigil, M., 2006. Güneş Gözelerinde Isı Geri Kazanımın Modellenmesi ve Muğla Uygulamaları, III. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 24-26 Mayıs 2006, Muğla, 607-613.

Hammer D., 2006. Solar Power from SUNSET Energy Group, III. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 24-26 Mayıs 2006, Muğla.

Zondag H.A., Vries, D.W., Steenhoven A.A.,1999, Thermal and Electrical yield of a combi-panel, Proceedings of ISES Bi-annual Conference on CD-ROM, Jerusalem, 1999.

TEZLER

Eke, Rüştü,2000. Fotovoltaik (pv) Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi, Yüksek Lisans, Muğla Üniversitesi, 2000.

ANONİM

Anonim a, Kojenerasyon., İstanbul Teknik Üniversitesi, <http://www.itusozluk.com>, 2004.

Anonim b, Güneş Enerjisi ve Teknolojileri,Türkiye Elektrik İşleri Etüd İdaresi Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/>, 2007.

Anonim c, Rüzgar Enerjisi, <http://bilimselkonular.com/ozel-dosyalar/4.-ruzgar-enerjisi.html>, 2007.

Anonim d, Muğla Üniversitesi Fotovoltaik Güç Sistemi Uygulamaları, Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma ve Geliştirme Merkezi, MUTEK, <http://mutek.mu.edu.tr>, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet DİŞCİGİL 26.07.1974 tarihinde Muğla'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Muğla'da, lise öğrenimini İzmir Atatürk Lise'sinde tamamladı. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Bölümünde Yüksek Lisansını tamamladı.

2000-2002 yılları arasında İstanbul'da Ericsson Telekomünikasyon A.Ş. de Sistem Destek Mühendisi olarak çalıştı.

2002 yılından günümüze kadar Muğla'da, kendisinin de kurucuları arasında bulunduğu, özel bir şirkette yönetici olarak çalışan Mehmet Dişçigil evlidir ve bir çocuk babasıdır.