



11-12 Şubat-February, 2010
İstanbul

BİLDİRİLER KİTABI **PROCEEDINGS BOOK**

*Sun as main energy,
from vision to reality*

Destekleyen Kurumlar / Supporting Organizations





Bu kitapta yayınlanan yazı ve grafiklerin her hakkı mahfuzdur. Sektörel Fuarcılık Ltd. Şti'nin yazılı izni alınmadan, kaynak gösterilerek de olsa iktibas edilemez. Bildirilerin bütün sorumluluğu yazarlarına aittir.

All rights reserved. No parts of this publication may be reproduces in any form or by any means,whether as a source without the consent of the Sektörel Fuarcılık Ltd. Şti. The responsibility of all presentations and ads belong to their authors and owners.

Sektörel Fuarcılık Ltd. Şti.

Balmumcu Bahar Sok. No: 2/13

Beşiktaş/İstanbul

Tel : (0212) 275 83 59

Faks : (0212) 211 38 50

web sitesi : www.sektorelfuarcilik.com

Baskı ve Cilt

Özgün Ofset

4. Levent

Tel: (0212) 280 00 09

ÖNSÖZ



Bilindiği üzere enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Ancak, artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünya enerji talebindeki artış, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmeler, ülkeleri yeni arayışlara götürmektedir. Dünya'nın enerji geleceği ile ilgili raporlara bakıldığında; 2000-2100 yılları arasında enerji ihtiyaçları ve kaynaklarındaki dağılımda, 2100 yılında petrolün iyice azalacağı, kömürün neredeyse hiç kalmayacağı, güneş enerjisi kullanımının ise çok artacağı görülmektedir.

2009 yılında başlatılan, 2050 yılına kadar 554 Milyar USD bütçesi olan DESERTEC projesi ile birlikte, Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları koridoru-hub'ı üzerinde olması önemini daha da arttırmıştır. Türkiye; ekonomik güneş enerjisi potansiyeli bakımından; Orta Doğu ve Kuzey Avrupa ülkeleri hariç, AB ülkeleri içerisinde İtalya ve Yunanistan'ı geçmekte ve Portekiz ile eşdeğer durumda değerlendirilmektedir. Dünya Enerji senaryolarında enerji talebi 2006-2030 yılları arasında her yıl %1,6 büyümekte ve sonuçta bu güne göre %45 artışa ulaşmaktadır. Bu talep enerji arzı yatırımlarını da 2030 da 26.3 Trilyon USD' a ulaştıracağını göstermektedir. Dünya elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinin kullanımı 2007 yılına göre 80 kat artarak 5 TWh den 402 TWh a çıkmaktadır.

Güneş enerjisi uygulamalarının, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Almanya gibi gelişmiş ülkelerde hızla artmasının sebeplerinin başında destekleyici mekanizmalar gelmektedir. Bu mekanizmalar içerisinde sadece Feed-in Tariff bulunmamakta, vergi indirimleri, yatırım garantileri v.b ilave destekler de yer almaktadır. 2009 yılı itibarıyla 73 ülke yenilenebilir enerji politika hedeflerini belirlemiş, 64 ülke yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi konusunda politikalar üretmiş, 45 ülke ve 18 eyalet-bölge ise Feed-in Tariff denilen destekleme mekanizmaları oluşturmuştur.

Solar Future 2010 konferansı için ilgili sektörün önde gelen temsilcileri ile birlikte hazırladığımız Yol Haritası raporunda; 2020 yılı için elektrik üretiminde kurulu güç hedefi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi güç sistemleri (CSP) teknolojisi ile 200 MWp ve fotovoltaik (PV) teknolojisi ile 4800 MWp olarak belirlenmiştir. 2020 yılında Yol Haritası'nda hedeflenen güneş enerjisi elektrik üretim santralleri için ayrılacak 13-20 Milyar USD lik yatırım ile, yaklaşık 200.000-500.000 kişiye direkt olarak üretim, satış, proje, kurulum, servis alanlarında istihdam olanağı sağlanmış olacaktır.

Güneş enerjisinin geleceğini tartıştığımız SOLAR FUTURE 2010 Konferansında dört ana konuşmacımız (Keynote Speaker) Dr. Frederick Morse, Prof. Dr. Yogi Goswami, Mr. Jerry Stokes ve Mr. David Johnston, panel ve oturumlarda yer alan diğer yerli ve yabancı davetli konuşmacılar, akademi ve sektörden araştırmacılar, uygulamacılar, bildirileri ile değerli katkılarda bulunmuşlardır. Her birine ayrı ayrı teşekkür ediyorum.

Kongre öncesi hazırlanan ve panel sırasında sunulan ve tartışılan "Solar Future Road Map" önerisinin faydalı olacağını umuyorum.

Toplantının düzenlenmesi Yeditepe Üniversitesi bünyesinde yer alan International Centre for applied Thermodynamics (ICAT) tarafından Sektörel Fuarcılık ile işbirliği içinde gerçekleştirilmiştir. Yeditepe Üniversitesi Mütevelli Heyeti Başkanı Sn.Ülker Turgut'a, Rektör Prof.Dr.Ahmet Serpil'e, Sektörel Fuarcılık adına Sn.Süleyman Bulak'a ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç biliyorum. Şüphesiz, onların yardımları olmadan böyle bir toplantı gerçekleştirilemezdi.

SOLAR FUTURE 2010 Konferansında sunulan tüm çalışmaların ülkemizde güneş enerjisi strateji ve politikalarının oluşturulmasında yararlı olmasını temenni ediyorum.

Saygılarımla,

A. N. Eğriçan

Prof. Dr. Nilüfer EĞRİCAN

President, International Center For Applied Thermodynamics (ICAT)

Conference Chair, Solar Future 2010

11-12 Şubat 2010 - İstanbul

İÇİNDEKİLER / INDEX

Solar Cooling With Parabolic Trough Collector Systems Ahmet Lokurlu	1-3
Modelling Of Fuzzy Logic Controller For Photovoltaic Maximum Power Point Tracker Ali Eltamaly	4-9
Analysis Of Parabolic Trough Solar Collector With Single And Double Glazing Covers Abdulmajeed Mohamad	10-14
Akdeniz Bölgesi İçin Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş Işınımının Tespiti Bekir Yelmen	15-23
The Overseas Private Investment Corporation (Opic) Finansman Alternatifleri Berat Pehlivanoğlu	24-26
<i>Solar Trigeneneration Module For Heating Cooling And Power</i> Birol Kılış	27-30
Sürdürülebilir Taşımacılıkta Güneş Enerjili Arabalar Bünyamin Yağcıtekin	31-36
<i>Developing Solar Power Generation Technology Transfer Strategy For Turkish Electricity Generation Market</i> Burak Ömer Saraçoğlu	37-42
Solar Cells And Solar Textiles Technology Burcu Reisli	43-49
PV Üretim Teknikleri - Temel Bileşenler Cem Kaypmaz	50-54
<i>Innovative Design for Bioclimatic Housing</i> David Johnston	55

Güneş Elektrik Sistemi Sitemlerinde Türkiye İçin Öncelikler Deniz Selkan Polatkan	56-59
Güneş Panelleri Yaygınlaştırma Önerileri Emine Yetişkul Şenbil	60-64
Yoğunlaştırılmalı Güneş Enerjisi Teknolojileri Emir Aydar	65-70
Güneşkent Antalya'ya Doğru Engin Erarslan	71-74
Güneş İzleyen Sistemler ve Bileşenleri Erkan Elcik	75-80
<i>Sharing experiences gained while installing and operating a "Home Solar Heater"</i> Erol İnelmen	81-84
<i>Concentrating Solar Power</i> Dr. Frederick Morse	85
<i>Optical Constants of Optical Titanium Oxide Thin Films Derived from Sol - Gel Process</i> Güven Çankaya	86-87
İçerisinde Faz Değiştiren Madde Bulunan Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Tasarımı ve Isıl Performansının İncelenmesi Hakan Öztop	88-92
Pv Destekli Hibrid Bir Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Araştırılması <i>Thermal Performance Of PV Assisted Hybrid Solar Collector</i> Hakan Öztop	93-96
<i>Thermal Energy Storage Technologies for Solar Applications</i> Halime Paksoy	97-102
Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu'nun Eğitim, Standart ve Türkiye Fotovoltaik Yol Haritası Belirleme Çalışmaları İlker Ongun	103-107

Verimi Artırılmış Fotovoltaik Paneller: Hibrid Panel (PV/T) Teknolojisi İle Elektrik ve Isı Enerjisi Üretimi İsmail Hakkı Karaca	108-111
<i>Solar PV: The Route to Grid Parity and Key Requirements for the Journey</i> Jerry Stokes	112
Yenilenebilir Enerji İçin Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri Muhsin Mazman	113-118
Güneş Enerjisi: Ekonomiye ve İstihdama Katkıları Müjgan Çetin	119-121
<i>Solar Energy in Turkey</i> Nikolai Dobrott	122-125
Hydepark A Standalone Renewable Hydrogen Demonstration Park In Turkey Nilüfer İlhan	126-132
Solar As A Source For Shallow Geothermal Applications Olof Andersson	133-136
<i>Transitioning to an Ecological and Technological Campus</i> Özge Yalçın Ercoşkun	137-144
<i>Adoption Model for Solar Technologies</i> Pelin Karaçar Ercoşkun	145-149
<i>Experimental Performance of Single Pass Solar Air Heater With Fins And Steel Wire Mesh As An Absorber</i> Peter Omojaro	150-153

Enerji Sektörünün Stratejik Pazarlama Yöntemlerinin Eksiklikleri Recep Soyalp	154-155
Güneş Havuzunda Güneş Işığının Teorik Olarak Depolanmasının İncelenmesi Sevinç Mantar	156-158
A Study On Global Solar Radiation And Sunshine Duration Measured Data: A Case Study For Istanbul Şaban Pusat	159-163
Comparison Of Measured And Estimated Solar Radiation Data: A Case Study For Istanbul Şaban Pusat	164-167
Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Elektrik Depolamak Şevki Dükkancılar	168-172
<i>Ruthenium(II) Polypyridyl Complexes As Sensitizers In Dye Sensitized Solar Cells</i> Şölen Kınayyigit	173-178
Güneş Enerjisi İçin Bir Politika tasarımı Süleyman Boşça	179-180
Güneş Enerjisi Potansiyeli Belirleme Ölçümleri Taner Yıldırım	181-183
Uluslararası Ticaret Çerçevesinde Güneş Enerjisi Teknolojileri, Önemli Ülkeler ve Türkiye'nin Durumu Tuğrul Görgün	184-188
A Numerical Investigation Of The Obstacle Geometry Effect On Thermal Stratification In Hot Water Storage Tanks Yusuf Tekin	189-193

New and Emerging Developments in Solar Energy
Yogi Goswami

194

Adsorpsiyonlu Isı Pompaları İçin Uygun Akışkan Çifti Seçimi
A Review On Proper Working Pairs For Solar Adsorption Heat Pumps
Zeynep Elvan Yıldırım

195-202

Planlamada ve Yapılaşmada Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Güneş Enerjisi:
Mevcut Yasal Düzenlemeler, ilave Tedbirler
Zümrüt Kaynak

203-208

KONFERANS PROGRAMI
CONFERENCE PROGRAM

APOLLON SALONU

08:30 - 10:00

KAYIT

10:00 - 11:00

AÇILIŞ KONUŞMALARİ

Prof. Dr. Nilüfer Eğriçan - Organizasyon ve Danışma Kurulu Başkanı / İCAT Başkanı

Prof. Dr. Ahmet Serpil - Yeditepe Üniversitesi Rektörü

Doç. Dr. Hasan Ali Çelik - TBMM Sanayi Enerji Tabi Kay. ve Bilgi Teknolojileri Kom. Başk.

Mahmut Küçük - Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Müsteşar Yrd.

Mustafa Demir - Bayındırlık ve İskan Bakanı

Prof. Dr. VeySEL Eroğlu - Çevre ve Orman Bakanı

ÖZEL OTURUM : Davetli Konuşmacılar

OTURUM BAŞKANI : Prof. Dr. Sadık Kakaç

KEYNOTE: Dr. Frederick Morse Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri

KEYNOTE: Prof. Dr. Yoğİ Goswami Güneş Enerjisi Teknolojilerinde Yenilikler ve Gelişmeler

Öğle Yemeği

11:00 - 13:00

OTURUM 1 : Uygulamalar I

OTURUM BAŞKANI : Doç. Dr. Mustafa Tıns

Ahmet Lokurlu Parabolik Oluk Tipi Kolektör Sistemleri ile Soğutma

Olof Andersson Şişİ Kotlardaki Jeotermal Uygulamalarda Güneşin Bir Kaynak Olarak Değerlendirilmesi

Pinar M. Mengüç Yakın-Alan Işınımı İli Transferi Kavramlarının Termo/Fotovoltaik Güç

Jeneratörleri Gelişimine Katkısı

İsmail Hakkı Karaca Verimi Arttırılmış Fotovoltaik Paneller: Hibrid Panel (PV/TT) Teknolojisi ile

Elektrik ve Isı Enerjisi Üretimi

Birol Kılıkş Isıtma, Soğutma ve Enerji Üretimi için Güneş Trijenerasyon Modülü

Siddik İçdi Yeni Gelişen PV Teknolojileri

15:30 - 16:00

SORU - CEVAP

16:00 - 16:30

Çay - Kahve Arası

16:30 - 18:30

PANEL: "Güneş Enerjisi Sektörünün Mevcut Durumu, Potansiyeli, Gelecekteki

Fırsatlar ve Beklentiler"

Moderatör: Prof. Dr. Necdet Altıntop (Erciyes Üniversitesi)

Panelistler:

Rıza Durdu (İstek Solar Güneş Enerjisi Sistemleri A.Ş.) Güneş enerjisi sektörünün sorunları

nelerdir; mevcut sıkıntılara sebep olan engellerin örneklerle ortaya konulması

Hakan Çelik (Fenış-Fentek A.Ş.) Türkiye'de Güneş Enerjisinin Isı Uygulamalarının

Yaygınlaştırılmasına Yönelik Öneriler

Hakan Alaş (Eziç A.Ş.) Sektörümüz ve Dünyadaki Yerimiz

Halil İbrahim Dağ (Solimpeks) Türkiye'de güneş enerjisi sektörünün gelişimindeki bir takım

engeller ve bunların aşılmasında kullanılabilecek bazı metotlar

Seencer Erten (Valliant Grup) Güneş Enerjisi Sektörünün Mevcut Durumu, Potansiyeli,

Gelecekteki Fırsatlar ve Beklentiler

ZEUS (BC) SALONU

Öğle Yemeği

13:00 - 14:00

OTURUM 2 : Elektrik Eldesi ve Elemanları

OTURUM BAŞKANI : Dr. Baha Kuban

Cem Kaymaz Pv Üretim Teknikleri - Temel Bileşenler

Deniz Selkan Polatkan Güneş Elektrikçi Sistemlerinde Türkiye için Öncelikler

Erkan Elcik Güneş İzleyen Sistemler ve Bileşenleri

Enir Aydar "Yoğunlaştırılmalı Güneş Enerjisi Teknolojileri

Ateş Uğurel 10 Adımda Güneş Santrali

Şölen Knayyğit Boya Esaslı Güneş Gözlemlerde Rutinyum (II) Polipiridil Komplekslerinin

Duyarlılaştırıcı Olarak Kullanımı

13:00 - 14:00

Öğle Yemeği

14:00 - 15:30

OTURUM 3 : Uygulamalar II

OTURUM BAŞKANI : Prof. Dr. A. Yakın Göğüş

Zeynep Elvan Yıldırım Güneş Enerjisi Destekli Adsorpsiyonlu

Isı Pompaları için Uygun Akışkan Çifti Seçimi

Nikolai Dobrott Türkiye'de Güneş Enerjisi

Pelin Karacaç Eroçkun Güneş Enerjisi Teknolojileri için

Benimsenme Modeli

Hakan Öztöç İçerisinde Faz Değİştiren Madde Bulunan Güneş

Enerjili Su Isıtma Sisteminin Tasarımı ve Isı Performansının

İncelenmesi

Burcu Reisli Solar Hücreler ve Solar Tekstil Teknolojileri

Çelik Erengezeçin Enerji Mimarlığı

APOLLON HALL

08:30 - 10:00	REGISTRATION
10:00 - 11:00	OPENING CEREMONY AND OPENING SPEECHES Prof. Dr. Niiüfer Eğritcan - President of Organisation and Consultation / President of ICAT Prof. Dr. Ahmet Serpil - President Yeditepe University Assoc. Prof. Hasan Ali Çelik - President of Turkish Grand National Assambly (TGNA) Industry, Commerce, Energy, Natural Resources, Information and Technology Commission Mahmut Küçük - Undersecretary of Ministry of Public Works and Settlement Mustafa Demir - Ministry of Public Works and Settlement Prof. Dr. VeySEL Eroğlu - Minister of Environment and Forestry KEYNOTE SPEECH : Keynote Speakers CHAIRMAN : Prof. Dr. Sadık Kakaç KEYNOTE: Dr. Frederick Morse Concentrating Solar Power KEYNOTE: Prof. Dr. Yogi Goswami New and Emerging Developments in Solar Energy Lunch SESSION 1 : Implementation I SESSION CHAIRMAN : Doç. Dr. Mustafa Tims Ahmet Lokurtu Advanced Solar Cooling System Based on a Novel Technological Development - "Solitem Parabolic Through Collector PTC" Olof Andersson Solar As A Source For Shallow Geothermal Applications Pinar M. Mengüç Effect Of Near - Field Radiative Transfer on Development of Thermophotovoltaic Power İsmail Hakkı Karaca Enhanced Efficiency Photovoltaic Panels: Electricity & Heat Production By Hybrid Panel Technology (PV/T) Biröl Kılıkş Solar Trigeneration Module For Heating Cooling And Power Siddik İçi New Developing PV Technologies Question - Answer Coffee Break PANEL : "Solar Energy Industry, Its Potential, Opportunities and Expectations For The Future" CHAIRMAN: Prof. Dr. Necdet Altıntop (Erciyes University) Panelists: Rıza Durdu (İstek Solar Güneş Enerjisi Sistemleri A.Ş.) What are the problems of the Thermal Solar Energy Sector in Turkey and the presentation of obstructions that caused to the problems axisted by axamples. Hakan Çelik (Feniş-Fentek A.Ş.) Recommendations concerning to deployment of solar thermal applications in Turkey Hakan Alasç (Eziç A.Ş.) Turkish Solar Industry And It's Position In The World. Halil İbrahim Dağ (Solimpex) Numerous frustrations in the development of solar business in turkey and some methods to exceed such barriers Sencer Ertan (Vaillant Grup) Current potential of solar thermal energy sector, future opportunities and expectations
11:00 - 13:00	
11:00 - 12:00	
12:00 - 13:00	
13:00 - 14:00	
14:00 - 15:30	

ZEUS (BC) HALL

13:00 - 14:00	Lunch
14:00 - 15:30	SESSION 2 : Electricity Generation and Equipment SESSION CHAIRMAN : Dr. Baha Kuban Cem Kaypmaz PV Production Techniques - Main Components Deniz Selkan Polatkan Priorities For Turkey On Sun Electricity Systems Erkan Eldik Sun Tracking Systems and Subcomponents Emir Aydar Concentrated Solar Thermal Power Technologies Ateş Uğurel Establishing Solar Plant In 10 Steps Şölen Kinayyigit Ruthenium(II) Polypyridyl Complexes As Sensitizers In Dye Sensitized Solar Cells
13:00 - 14:00	Lunch
14:00 - 15:30	SESSION 3 : Implementation II SESSION CHAIRMAN : Prof. Dr. A. Yalçın Gögüş Zeynep Elvan Yıldırım A Review On Proper Working Pairs For Solar Adsorption Heat Pumps Nikolai Dobrott Solar Energy in Turkey Pelin Karacaç Ercoskun Adoption Model for Solar Technologies Hakan Öztop Design and Thermal Performance of Solar Water Heating System Which Contains Phase Changing Material Burcu Reisli Solar Cells and Solar Textiles Technologies Çelik Erengeçgin Energy Architecture

ZEUS (A) HALL

APOLLON SALONU

08:30 - 09:00 09:00 - 10:00	Çay - Kahve Arası OTURUM 4: Toplayıcılar Ve Kontrol OTURUM BAŞKANI : Deniz Selkan Polatkan Hakan Öztop PV Destekli Hibrid Bir Güneş Kolektörünün Isıl Performansının Araştırılması Peter Omojaro Kanatlı ve Çelik Hasırlı, Absorberli, Tek Geçişli, Güneş Enerjili Hava İsticilerinin Deneysel Performansı Abdulmajeed Mohamad Parabolik Oluk Tipi Kolektörlerin Termal Performans Analizi Ali Elkamaly Fotovoltaik Maksimum Güç Noktası İzleyicisi İçin Bulanık Mantık Kontrol Ünitesi Modellenmesi Çay - Kahve Arası ÖZEL OTURUM : Davetli Konuşmacılar OTURUM BAŞKANI : Prof. Dr. Abdulmajeed Mohamad KEYNOTE: David Johnston Biyoklimatik Konutlarda Yaratıcı ve Yenilikçi Tasarım KEYNOTE: Jerry Stokes Şebeke Paritesi İçin Belirlenen Rota ve Ulaşmada Temel Gereksinimler 12:30 - 13:30 13:30 - 15:30	08:30 - 09:00 09:00 - 10:00
10:00 - 10:30 10:30 - 12:30	Çay - Kahve Arası ÖZEL OTURUM : Davetli Konuşmacılar OTURUM BAŞKANI : Prof. Dr. Abdulmajeed Mohamad KEYNOTE: David Johnston Biyoklimatik Konutlarda Yaratıcı ve Yenilikçi Tasarım KEYNOTE: Jerry Stokes Şebeke Paritesi İçin Belirlenen Rota ve Ulaşmada Temel Gereksinimler 12:30 - 13:30 13:30 - 15:30	08:30 - 09:00 09:00 - 10:00
15:30 - 16:00 16:00 - 16:30 16:30 - 18:15	Levent Gülbahar - GENSED, İCAT – Yol Haritası Hazırlık Grubu Adına Çay - Kahve Arası OTURUM 7 : Politikalar ve Stratejiler - Finans OTURUM BAŞKANI : Prof. Dr. Çiğdem Erçelebi Berat Pehlivanoglu Türkiye'de Overseas Private Investment Corporation (OPIC) Mevcudiyeti Burak Ömer Saraçoğlu Güneş Enerjisi Elektrik Üretim Sistemlerinde Türkiye İçin Teknoloji Transfer Stratejisinin Geliştirilmesi Süleyman Boşça Güneş Enerjisi İçin bir Politika Tasarımı Recep Soyaltıp Enerji Sektörünün Stratejik Pazarlama Yöntemlerinin Etkisizlikleri Müjgan Çetin Güneş Enerjisi: Ekonomiye ve İstihdam Katkıları Tuğrul Görgün Uluslararası Ticaret Çerçevesinde Güneş Enerjisi Teknolojileri, Önemli Ülkeler ve Türkiye'nin Durumu	08:30 - 09:00 09:00 - 10:00

ZEUS (BC) SALONU

08:30 - 09:00 09:00 - 10:00	Çay - Kahve Arası OTURUM 5 : Güneş İşınımlı OTURUM BAŞKANI: Prof. Dr. Pınar Mengüç Şaban Pusuat Öçülmüş Toplam Güneş İşınımlı Ve Güneşlenme Süresi Verileri Üzerine Bir Çalışma: İstanbul İçin Örnek Bir Çalışma Şaban Pusuat Öçülen Ve Hesaplanan Güneş Radyasyonu Verilerinin Karşılaştırılması: İstanbul İçin Örnek Bir Çalışma Taner Yıldırım Güneş Enerjisi Potansiyeli Belirleme Ölçümleri Bekir Yelmen Akdeniz Bölgesi İçin Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş İşınımlının Tespiti	08:30 - 09:00 09:00 - 10:00
--------------------------------	---	--------------------------------

ZEUS (A) SALONU

08:30 - 09:00 09:00 - 10:00	Çay - Kahve Arası OTURUM 6 : Sürdürülebilir Yapılar OTURUM BAŞKANI : Prof. Dr. Birol Kılıç Erol İnelmen Bir Ev Isıtıcı Uygulama Ve Bakımı İle İlgili Tecrübelerin Paylaşımı Emine Yetişkul Şenbil Güneş Panelleri Yaygınlaştırma Önemleri Engin Eraslan Güneşli Kent Antalya'ya Doğru Zümrüt Kaynak Planlamada ve Yapılaşmada Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Güneş Enerjisi: Mevcut Yasal Düzenlemeler, İlave Tedbirler	08:30 - 09:00 09:00 - 10:00
--------------------------------	--	--------------------------------

APOLLON HALL

08:30 - 09:00	Coffee Break		08:30 - 09:00	Coffee Break	
09:00 - 10:00	SESSION 4 : Collectors And Control SESSION CHAIRMAN : Deniz Selkan Polatkan Hakan Öztop Thermal Performance Of PV Assisted Hybrid Solar Collector Peter Omojaro Experimental Performance of Single Pass Solar Air Heater With Fins And Steel Wire Mesh As An Absorber Abdulmajeed Mohamad Thermal Performance Analysis of Parabolic Trough Solar Collector Ali Eltamaly Modelling Of Fuzzy Logic Controller For Photovoltaic Maximum Power Point Tracker		09:00 - 10:00	SESSION 5 : Solar Radiation SESSION CHAIRMAN : Prof. Dr. Pinar Mengüç Şaban Pusat A study on Global Solar Radiation and Sunshine Duration Measured Data: A case study for İstanbul Şaban Pusat Comparison of Measured and Estimated Solar Radiation Data: A case study for İstanbul Taner Yıldırım Measurements for Determining Solar Energy Potential Bekir Yelmen Determining Average Monthly Total Solar Radiation Striking Onto Horizontal Plane For Mediterranean Region	
10:00 - 10:30					
10:30 - 12:30	KEYNOTE SPEECH : Keynote Speakers CHAIRMAN : Prof. Dr. Abdulmajeed Mohamad KEYNOTE: David Johnston Innovative Design for Bioclimatic Housing KEYNOTE: Jerry Stokes Solar PV: The Route to Grid Parity and Key Requirements for the Journey				
12:30 - 13:30	Lunch				
13:30 - 15:30	PANEL : Global Photovoltaic Road-maps and Opportunities for Turkish Industries in the PV Sector Moderatör : Prof. Dr. Şener Oktik (President Muğla University) Panelist : Dr. Jinsoo Song (Korea Institute Of Energy Research) SUNUM: SOLAR FUTURE ROAD MAP FOR TURKEY Levent Gülbahar - GENSED(Solar Energy Industry Association of Turkey), On Behalf of ICAT - Roadmap Preparatory Group ”				
15:30 - 16:00			16:00 - 16:30	Coffee Break	
			16:30 - 18:15	SESSION 7 : Policies and Strategies - Finance SESSION CHAIRMAN : Prof. Dr. Çiğdem Erçelebi Berat Pehlivanoglu Local Presence For OPIC in Turkey Burak Ömer Saraçoğlu Developing Solar Power Generation Technology Transfer Strategy For Turkish Electricity Generation Market Süleyman Boşça Political Design For Solar Energy Recep Soyaltıp Lack Of Strategic Marketing Methods In Energy Sector Müjgan Çetin Contribution of Solar Energy to Economy and Employment Tuğrul Görgün Solar Energy Technologies, Leading Countries and Turkey's Position In Terms Of International Trade	

ZEUS (BC) HALL

08:30 - 09:00	Coffee Break		08:30 - 09:00	Coffee Break	
09:00 - 10:00	SESSION 4 : Collectors And Control SESSION CHAIRMAN : Deniz Selkan Polatkan Hakan Öztop Thermal Performance Of PV Assisted Hybrid Solar Collector Peter Omojaro Experimental Performance of Single Pass Solar Air Heater With Fins And Steel Wire Mesh As An Absorber Abdulmajeed Mohamad Thermal Performance Analysis of Parabolic Trough Solar Collector Ali Eltamaly Modelling Of Fuzzy Logic Controller For Photovoltaic Maximum Power Point Tracker		09:00 - 10:00	SESSION 5 : Solar Radiation SESSION CHAIRMAN : Prof. Dr. Pinar Mengüç Şaban Pusat A study on Global Solar Radiation and Sunshine Duration Measured Data: A case study for İstanbul Şaban Pusat Comparison of Measured and Estimated Solar Radiation Data: A case study for İstanbul Taner Yıldırım Measurements for Determining Solar Energy Potential Bekir Yelmen Determining Average Monthly Total Solar Radiation Striking Onto Horizontal Plane For Mediterranean Region	
10:00 - 10:30					
10:30 - 12:30	KEYNOTE SPEECH : Keynote Speakers CHAIRMAN : Prof. Dr. Abdulmajeed Mohamad KEYNOTE: David Johnston Innovative Design for Bioclimatic Housing KEYNOTE: Jerry Stokes Solar PV: The Route to Grid Parity and Key Requirements for the Journey				
12:30 - 13:30	Lunch				
13:30 - 15:30	PANEL : Global Photovoltaic Road-maps and Opportunities for Turkish Industries in the PV Sector Moderatör : Prof. Dr. Şener Oktik (President Muğla University) Panelist : Dr. Jinsoo Song (Korea Institute Of Energy Research) SUNUM: SOLAR FUTURE ROAD MAP FOR TURKEY Levent Gülbahar - GENSED(Solar Energy Industry Association of Turkey), On Behalf of ICAT - Roadmap Preparatory Group ”				
15:30 - 16:00			16:00 - 16:30	Coffee Break	
			16:30 - 18:15	SESSION 8 : Various Concepts and Implementation SESSION CHAIRMAN : Assoc. Prof. Hussain Noor al-Madani İlker Ongun Studies of National Photovoltaic Technology Platform (NPTP) on Education, Standard and Determining Photovoltaic Roadmap for Turkey Niülfir İlhan Hydepark A Standalone Renewable Hydrogen Demonstration Park in Turkey Pinar Mengüç Radiative Transfer and Global Climate Change Özge Yağcıner Ercoşkun Transitioning to an Ecological and Technological Campus Menderes Üstüner Using Renewable Energy Resources In Agriculture Güven Çankaya Optical Constants of Optical Titanium Oxide Thin Films Derived from Sol- Gel Process	

ZEUS (A) HALL

08:30 - 09:00	Coffee Break		08:30 - 09:00	Coffee Break	
09:00 - 10:00	SESSION 6 : Sustainable Buildings SESSION CHAIRMAN : Prof.Dr. Birol Kilkış Erol İnelmen Sharing experiences gained while installing and operating a “Home Solar Heater” Emine Yetişkul Şenbil Solar Panel Project Proposals Engin Erarslan Vision of Güneşkent Antalya Zümrüt Kaynak Usage of Renewable Energy and Solar Energy in Planning and Constructing:Existing Legal arrangements, Additional Actions		09:00 - 10:00	SESSION 9 : Storage SESSION CHAIRMAN : Prof. Dr. Halime Paksoy Halime Paksoy Thermal Energy Storage Technologies for Solar Applications Yusuf Tekin A numerical investigation of the obstacle geometry effect on thermal stratification in hot water storage tanks Muhsin Mazman Electrical Energy Storage Techniques for Solar Energy Şevki Dulkandılar Electricity Storage and Wellknown Conceptions Sevinc Mantar Theoretical Investigation Storing of Solar Light In A Solar Pond Büyüamin Yağcıtekin Solar Cars In Sustainable Transportation	
10:00 - 10:30					
10:30 - 12:30	KEYNOTE SPEECH : Keynote Speakers CHAIRMAN : Prof. Dr. Abdulmajeed Mohamad KEYNOTE: David Johnston Innovative Design for Bioclimatic Housing KEYNOTE: Jerry Stokes Solar PV: The Route to Grid Parity and Key Requirements for the Journey				
12:30 - 13:30	Lunch				
13:30 - 15:30	PANEL : Global Photovoltaic Road-maps and Opportunities for Turkish Industries in the PV Sector Moderatör : Prof. Dr. Şener Oktik (President Muğla University) Panelist : Dr. Jinsoo Song (Korea Institute Of Energy Research) SUNUM: SOLAR FUTURE ROAD MAP FOR TURKEY Levent Gülbahar - GENSED(Solar Energy Industry Association of Turkey), On Behalf of ICAT - Roadmap Preparatory Group ”				
15:30 - 16:00			16:00 - 16:30	Coffee Break	
			16:30 - 18:15	SESSION 9 : Storage SESSION CHAIRMAN : Prof. Dr. Halime Paksoy Halime Paksoy Thermal Energy Storage Technologies for Solar Applications Yusuf Tekin A numerical investigation of the obstacle geometry effect on thermal stratification in hot water storage tanks Muhsin Mazman Electrical Energy Storage Techniques for Solar Energy Şevki Dulkandılar Electricity Storage and Wellknown Conceptions Sevinc Mantar Theoretical Investigation Storing of Solar Light In A Solar Pond Büyüamin Yağcıtekin Solar Cars In Sustainable Transportation	

SOLAR COOLING WITH PARABOLIC TROUGH COLLECTOR SYSTEMS

Ahmet LOKURLU
CEO SOLITEM Group

By designing, developing and installing solar energy supply systems, the SOLITEM Group aim to contribute to a worldwide increased use of solar energy, mainly for cooling but also for process steam and warm water generation. The SOLITEM Parabolic Trough Collector Systems allow an enormously efficient and thus economically attractive and competitive use of solar energy and a decrease in the use of valuable fossil fuels or nuclear powered electricity.



Today's society wastes as much energy on a single day as nature was able to create in 1,500 years. Finally it is not a luxury but an urgent necessity to look for alternatives. It is only a matter of time until increasing energy prices and advanced technical development will make renewable energy substantially cheaper than all other kind of energy. The worldwide unique SOLITEM Solar Cooling System is already competitive in countries with high solar irradiation and energy costs such as Mediterranean and MENA and can be used in all countries of the world's Sunbelt.

The technology offers an outstanding possibility to overcome worldwide problems due to increasing energy prices, energy supply irregularities and climate change by using the solar power provided free of charge in many parts of the globe.

The core element of the SOLITEM energy supply system consists of the SOLITEM- designed and manufactured rooftop-mountable, high-performance Parabolic Trough Collectors (PTC). The design allows installing these PTCs in a customizable matrix, optimizing the output capacity at the customer location. These collectors are the first worldwide suitable for roof mounting.

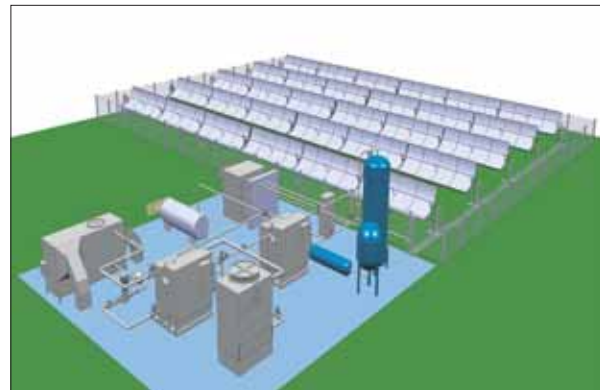
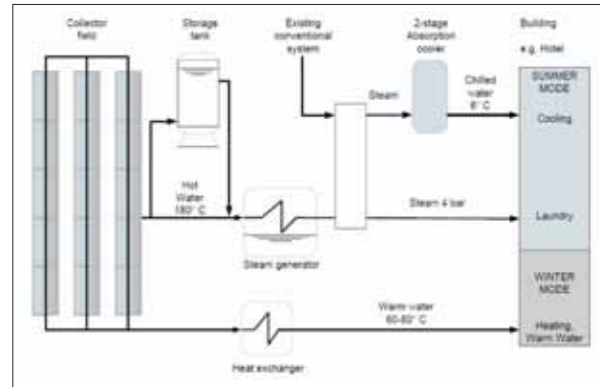
The PTC captures the highest possible solar direct irradiation through the in-house developed and automated tracking

system. The collectors focus the solar irradiation onto absorber tubes, heating up the transfer fluid (e.g. water or thermo oil) to temperatures of around 250 °C.

During daytime, when solar irradiation is sufficient, the system is capable to cover almost all of the cooling demand for the building/premises. After sunset or when solar irradiation is low, the system will use up available excess heat from the buffer storage tank or alternatively switch to the conventional cooling system. This combination ensures a continuous energy supply for the building/premises by providing as much solar energy as possible.

The Online Monitoring System which is part of each solar plant gives effective values of operation and energy savings. This system is a SOLITEM development as well.

The designs below show one possible application mode for SOLITEM systems:



The most innovative characteristics of the SOLITEM technology are

- ▶ An up to three times higher performance compared to conventional systems
- ▶ Rooftop-mountable, in-house developed collectors with pre-cleaning and self-protective mode
- ▶ In-house invented, computerized tracking system to capture the highest solar yield at any time
- ▶ Online Monitoring System
- ▶ Full compatibility with existing conventional systems
- ▶ Bivalent operation modes (alternative supply with cooling or steam)

The SOLITEM R&D Department works constantly on improvements to further increase system overall performance and efficiency. SOLITEM has recently launched the 3rd generation of its PTC 1800 followed by a 2nd generation tracking system.

SOLITEM has also developed solar cooling and heating applications for domestic use in order to make its proven technology available for private users and small businesses. The 1st generation of these SOLITEM PTC 1100 collectors (2m x 1.1m) is in the phase of testing and improvement. Together with the PTC 1800 collector (5.09m x 1.8m) for medium scaled collector plants and the PTC 3000 collector (7.5m x 3m) for bigger scaled ones, the SOLITEM systems fulfil the whole spectrum of consumer needs.

Tomorrow's Applications

- ▶ One of the many high-level research projects currently being developed by SOLITEM focuses on generating electricity, cooling and heating from one single platform. It is called SOLTRIGEN and stands for Solar-Tri-Generation.
- ▶ SOLITEM will also be concentrating on a next milestone development for solar-powered Sea Water Desalination. A solution that helps to bring potable water to regions limited to or suffering from such life-essential supply.

All these parameters make this technology absolutely unique in the world. For the first time ever, this ingenious technical development allows the reliable, efficient and economical use of solar energy supply systems in regions with sufficient solar irradiation.

In addition to the remarkable technology, that was developed and tested with support of scientific partners such as DLR (German Aerospace Center) and Alanod (leading company for Aluminium Coatings), also the strong partner MAN Ferrostaal has invested in the company and also supports SOLITEM with additional strengths. Starting from a small engineering office, the headquarters is now situated in Aachen, Germany and a completely automated production facility is located in Ankara, Turkey. Currently subsidiaries and joint ventures are built up in the US, Latin America, Italy and Spain. With this strategy on a strong basis SOLITEM will launch its products successfully in the solar market and will get the leading position in the market for cooling, heating and steam production worldwide.

On daily basis we get the news about global warming, rising energy prices and our responsibility for the planet. With the SOLITEM system which has almost zero CO₂ emissions, almost no need of any fossil fuel and an efficiency of more than 60% we have all arguments to convince the customer to implement the system. As long as the customer has the required installation space available, the decision will be taken very quickly.

To realize such technology advanced projects, SOLITEM relies on well-known local partners who know the market and the local standards.

The SOLITEM technology can be used for almost unlimited applications in many regions of the world; thus its replication potential is remarkable. At locations with medium to high solar irradiation, nearly all hotels, public buildings, hospitals or large office buildings require air conditioning/cooling during summer time or even all year round. Factories and industrial facilities use process steam and hot water for their production processes as well as for air-conditioning. During winter time, space heating and hot water supply may also be required.

Until now, our technology has been implemented at several different clients.

Example of two realized systems:

TUI Hotel Iberotel (Dalaman, Turkey)		Pepsi Steam Production (Site, Turkey)	
Number of Collectors	40	Number of Collectors	125
Total Aperture Area	360 m ²	Total Aperture Area	1125 m ²
Total Cooling Capacity	250 kW	Total Steam Prod. Capacity	600Kg/h



Exemplary CO₂ reduction with SOLITEM solar energy supply systems

While the Solar Steam Generation plant at Pepsi Tarsus, Turkey, saves 400 tons of CO₂ yearly, i.e. 3.2 tons for each collector, the specific energy and carbon dioxide savings are depending on certain parameters, which are explained by an up-scaled system of 1 MW cooling capacity.

192 PTC 1800 collectors, installed at a site with 2,132 kWh annual DNI per square meter, lead to annual solar thermal energy of approx. 2.21 million kWh. Split into cooling in the summer mode and heating in the winter mode, totally 724 tons (about 3.8 tons per collector) CO₂ are saved. In conclusion, the savings are depending on the solar irradiation values and the economical and environmental benefits are depending on the local structure, e.g. energy mix for electricity generation for substituted compression cooling.

Freely available solar energy offers the most promising solution when used in high-efficient solar-powered energy sourcing systems, like those from SOLITEM. Cooling demand for conventional systems using electricity and available solar energy normally increase proportionally the higher the temperature is; hence SOLITEM system applications offer the most savings during those times of the day.

This technology marks an essential step for a sustainable and ecological energy supply to be used for cooling and heating applications, further reducing greenhouse gas emissions and further diminishing valuable fossil fuel reserves that should be saved for future generations.

Naturally, the significant reduction of greenhouse gases gained from the increased use of solar energy instead of fossil fuels makes a contribution to the protection of environment and health for the benefit of all societies on earth and helps to take the responsibility we have for next generations.

MODELING OF FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR PHOTOVOLTAIC MAXIMUM POWER POINT TRACKER

Ali. M. ELTAMALY

Electrical Engineering Dept., King Saud University,
Riyadh, Saudi Arabia

Abstract—In this paper a fuzzy logic controller for maximum power point tracker of photovoltaic energy system is introduced. This controller uses boost converter to control the terminal voltage of PV system to work at the maximum power point. The load side is consists of battery and control switches to control the power flow from the PV system to the battery and the load. The system is modeled using Matlab/Simulink program. The output power from PV system in case of using fuzzy controller is compared with the theoretical maximum power from the same system and the power output in case of using best constant output voltage. The fuzzy controller shows stable operation for different data introduced to the system. It also restrains any overshooting in input or output systems and increases a considerable amount of the energy captured.

1. Introduction

The production of electric energy from PV has a lot of applications. PV is environmental friendly and has no emission of harmful gasses as the emission associated with conventional electricity generation.

The power generated from PV is variable with its terminal voltage for each value of radiation and temperature as shown in **Fig.1**. There is one Maximum Power Point, MPP associated with each radiation and temperature. Tracking this point to force the PV system to work around it will substantially increase the energy produced. That shows the importance of MPP Tracker, MPPT. MPPT needs

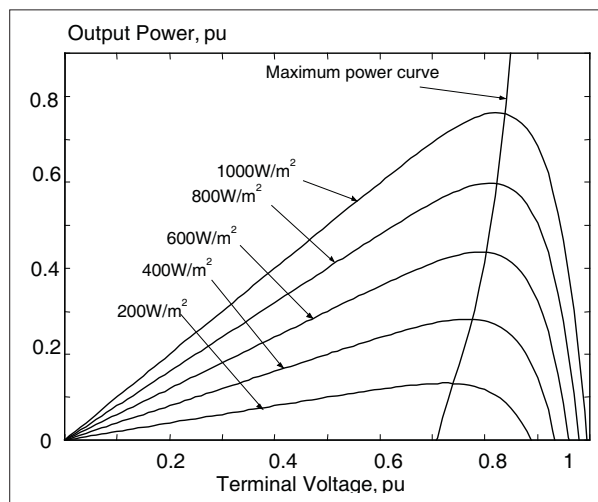


Fig 1. P-V characteristics of PV module.

fast and smart controller to counteract the fast change in weather data or load changes. MPPT consists of two basic components, dc-dc converter and its controller which is shown in **Fig.2**. Many techniques have been introduced to catch the MPP. A survey showing comparison of PV MPPT techniques is shown in [1,2].

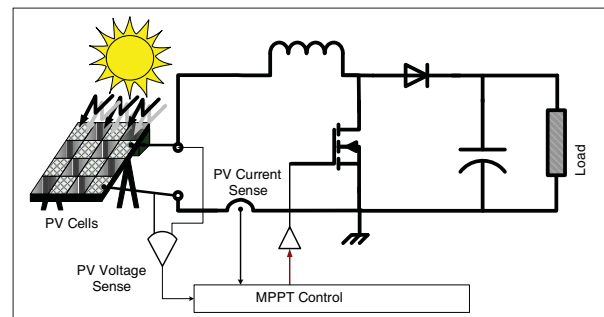


Fig 2. PV energy system with MPPT

In the direct coupled method [3,4], PV array is connected directly to the loads without power modifier. To match the MPPs of the solar array as closely as possible, it is important to choose the solar array characteristics according to the characteristics of the load. The direct-coupled method cannot automatically track the MPPs of the solar array when the insulation, temperature, or, load changed.

It is clear from the P-V curve of **Fig.1** that, the ratio of the array's maximum power voltage, V_{mp} , to its open-circuit voltage, V_{oc} , is approximately constant. So, PV array can be forced to work as a ratio of its open circuit voltage. The literature reports success with 73 to 80% from V_{oc} [5-8]. It is also observed that the relation between the short circuit current and the current associated with the maximum power is approximately constant. So it is possible to use a constant current MPPT algorithm that approximates the MPP current as a constant ratio of the short-circuit current [9,10]. The momentary interruption in the constant voltage or current can be avoided by using a pilot cell [11].

Another technique called perturb-and-observe (P&O), this process works by perturbing the system by incrementing the array operating voltage and observing its impact on the array output power. Due to constant step-width the system will face high oscillation especially under unstable environmental conditions. This technique suffers from wrong operation especially in case of multiple local maxima. A lot of modifications for this technique have been presented in literature [12-20].

The incremental conductance (IncCond) method [21-25] is based on comparing the instantaneous panel conductance with the incremental panel conductance. The input impedance of the dc-dc converter is matched with optimum impedance of PV panel. As noted in literatures, this method has a good performance under rapidly changing conditions. But this technique requires sophisticated control system. The parasitic capacitance algorithm [23] is similar to IncCond technique except that the effect of the solar cells' parasitic junction capacitance C_p , which models charge storage in the p-n junctions of the solar cells, is included.

Ripple correlation control (RCC) [26] makes use of ripple to perform MPPT. RCC correlates the time derivative of the time-varying PV power with the time derivative of the time-varying PV array current or voltage to drive the power gradient to zero, thus reaching the MPP. Simple and inexpensive analog circuits can be used to implement RCC. An example is given in [30]. RCC quickly tracks the MPP, even under varying irradiance levels. Another advantage of RCC is that it does not require any prior information about the PV array characteristics, making its adaptation to different PV systems straightforward.

The hill climbing technique [26-29] uses a perturbation in the duty ratio of the dc chopper and determine the change in power until the change of power reach its almost zero value which is the MPP. Hill climbing technique can be implemented by using PID controller or by fuzzy logic controller, FLC.

FLC has been introduced in many researches as in [31]–[36] to force the PV to work around MPP. FLCs have the advantages of working with imprecise inputs, not needing an accurate mathematical model, and handling nonlinearity.

II. Model Of The Proposed System

In the proposed system, the simulation has been carried out using three different techniques for comparison. In the first technique, a Matlab file has been used to calculate the theoretical MPP. In the second technique a constant terminal voltage of the PV is adjusted. In the last technique, a fuzzy controller has been used as a MPPT. The simulation of the proposed system has been implemented using Matlab/Simulink program as shown in Fig 3. The simulation of the proposed system contains sub-models that explained in the following:

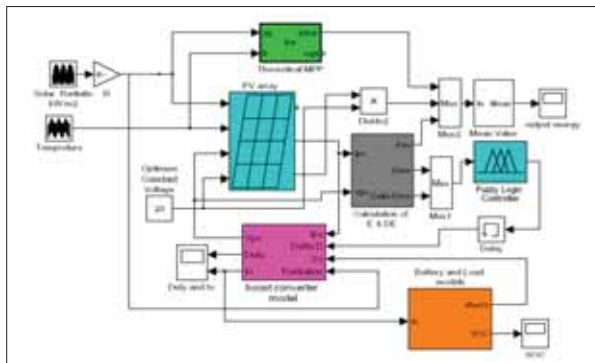


Fig 3. Simulink simulation model of the proposed system.

A. Photovoltaic Cell Model

The PV cell model is based on the single-diode representation of a silicon photovoltaic cell as illustrated in Fig 4. [37]. The governing equations, which describes the I-V characteristics of a crystalline silicon photovoltaic cell as described in [37] which solved conveniently using SIMULINK as shown in Fig 5.

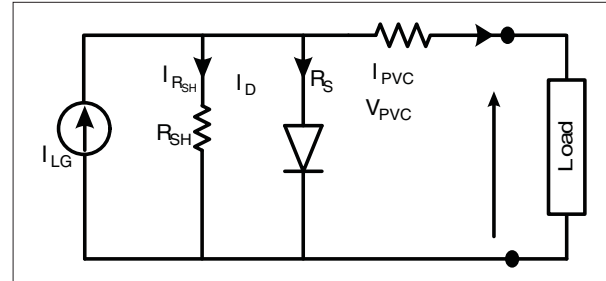


Fig 4. Equivalent circuit of photovoltaic cell.

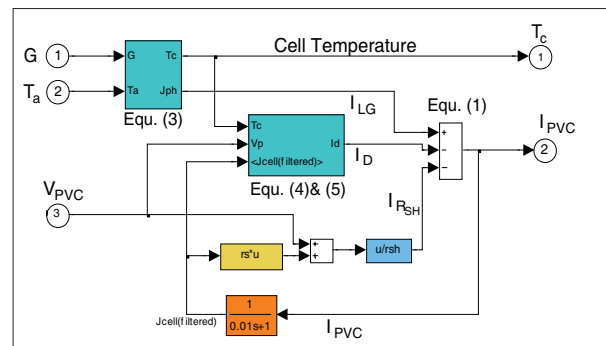


Fig 5. Simulink model of PV cell.

B. Battery and Load Model

The battery model is shown in many literatures and explained in details in [38]. The accuracy of this model data is very important in the whole system. The battery model has the following input parameters,

1. Initial state of charge (SOC_i), indicating available charge,
2. Highest and lowest state of charge, SOC_H , SOC_L (Wh).
3. Number of 2V cells in series.
4. Charge and discharge battery efficiency; K .
5. Battery self-discharge rate.

A control switches are necessary to control the charging and discharging the battery. These switches are necessary to keep the battery from being overcharged or undercharged which significantly reduce the battery's life. The control switches are shown in Fig 6.

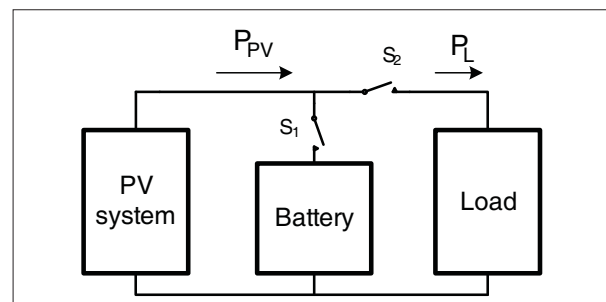


Fig 6. Block diagram of charging control.

The operating logic used in the control switches is shown in **Table (1)** Switch S_1 will stay ON unless SOC reaches its maximum value, SOC_H . Switch S_2 will stay ON unless SOC its minimum value, SOC_L .

Table 1. The operating logic used in the control switches.

Mode	S_1	S_2	SOC
1	OFF	ON	$SOC = SOC_H$
2	ON	OFF	$SOC = SOC_L$
3	ON	ON	$SOC_L < SOC < SOC_H$

C. Boost converter Model

Boost converter model has been designed as shown in **Fig 7**. The inputs of this model are the change required in duty ratio, ΔD , Radiation, and PV current, I_{PV} . The outputs of this model are the PV output voltage, V_{PV} , duty ratio, D and output current. The value of ΔD is subtracted from D to get the new value of D depending on the following equation

$$D(k+1) = D(k) + \Delta D(k) \quad (1)$$

The value of D is used to determine V_{PV} as shown in (2).

$$V_{PV} = V_o (1-D) \quad (2)$$

where, V_o is the boost converter output voltage

PV voltage, V_{PV} obtained from (2) and I_{PV} used to obtain V_o . The output current that feeds the battery and load can be obtained from dividing the output power on V_o .

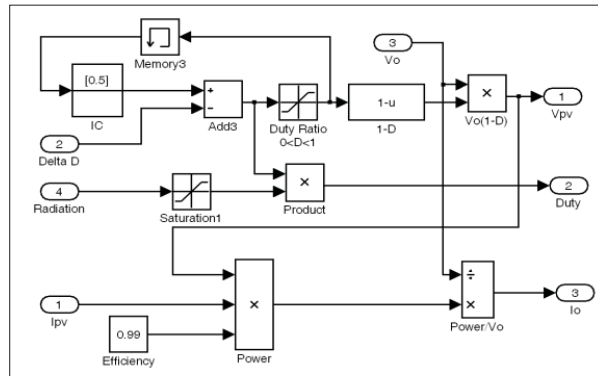


Fig 7. Simulink model of the boost converter used in the simulation.

D. Model of calculating Error and its variation, E and ΔE

The Simulink model of calculating E and ΔE is shown in **Fig 8**. The input values of this module are I_{PV} and V_{PV} . These values are used to calculate the power from PV array. Then the error signal can be calculated depending on (3). The value of ΔE is calculated as shown in (4).

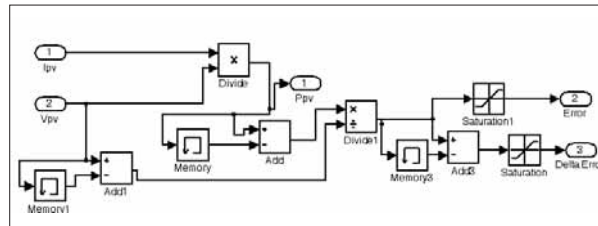


Fig 8. Simulink model of calculating E and ΔE .

$$E(n) = \frac{P(n) - p(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (3)$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1) \quad (4)$$

E. Fuzzy Logic Controller Model

The FIS editor is an effective Graphical User Interface (GUI) tool provided with the fuzzy logic toolbox in Matlab to simplify the design of the FLC which are used in this system. The output power from the PV system and the voltage are used to determine the E and ΔE based on (3) and (4). Predicting the range of E and ΔE depends on the experience of the system designer. These variables are expressed in terms of linguistic variables or labels such as PB (Positive Big), PM (Positive Medium), PS (Positive Small), ZE (Zero), NS (Negative Small), NM (Negative Medium), NB (Negative Big) using basic fuzzy subset. Each of these acronyms is described by a given mathematical membership functions, MF as shown in **Fig 9**. MF is sometimes made less symmetric to give more importance to specific fuzzy levels as in [35] or it can be symmetric as shown in [39] and used here in this paper. The inputs to a FLC are usually E and ΔE . Once E and ΔE are calculated and converted to the linguistic variables based on MF, the FLC output, which is typically a change in duty ratio, ΔD of the power converter, can be looked up in a rule base **Table 2**. FLC membership functions for both inputs and output variables can be used as triangle-shaped function which is easiest way to be implemented on the digital control system. The linguistic variables assigned to ΔD for the different combinations of E and ΔE are based on the power converter being used and also on the knowledge of the user.

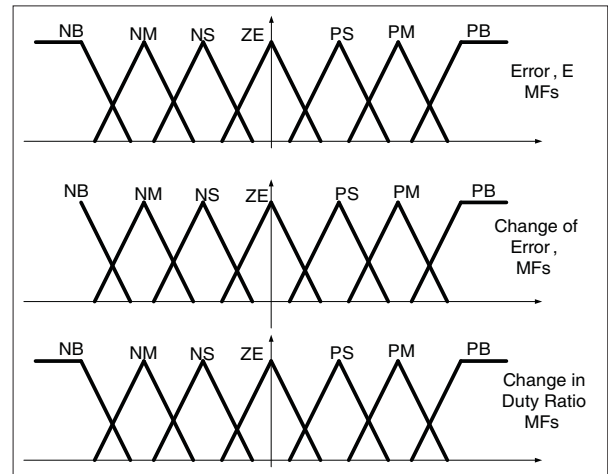


Fig.9 A fuzzy system with two inputs, 1 output and 7 MFs each.

Table (2) Rules for a fuzzy system with 2-inputs and 1 output with 7-membership functions.

ΔE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
E							
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

These linguistic variables of input and output MFs are then compared to a set of pre-designed values during aggregation stage. The accurate choose the relation between input and output function determine the appropriate response of the FLC system. The relation between them depends on the experience of the system designer. These relations can be tabulated as shown in **Table 2** [40,41]. Some researches proportionate these variables to only five fuzzy subset functions as in [33]. **Table 2** can be translated into 49 fuzzy rules IF-THEN rules to describe the knowledge of control as follows;

R_{25} : If E is NM and ΔE is PS then ΔD is NS
 R_{63} : If E is PM and ΔE is NS then ΔD is PS

 R_{51} : If E is PS and ΔE is NB then ΔD is NM

In the defuzzification stage, FLC output is converted from a linguistic variable to a numerical variable by using MF. This provides an analog signal which is ΔD of the boost converter. This value is subtracted from previous value of D to get its new value as shown in (1).

Defuzzification is for converting the fuzzy subset of control form inference back to values. As the plant usually required a nonfuzzy value of control, a defuzzification stage is needed. Defuzzification for this system is the height method. The height method is both very simple and very fast method. The height defuzzification method in a system of rules by formally given by (5):

$$\Delta D = \left(\sum_{k=1}^m c(k) * W_k \right) / \sum_{k=1}^n W_k \quad (5)$$

where ΔD = change of control output
 $c(k)$ = peak value of each output
 W_k = height of rule k.

The relation between the inputs and the output of the fuzzy controller can be represented as a 3-D drawing which called surface function, is shown in **Fig 10**. It is clear that the surface function is approximately smooth which enhance the stability of the fuzzy system.

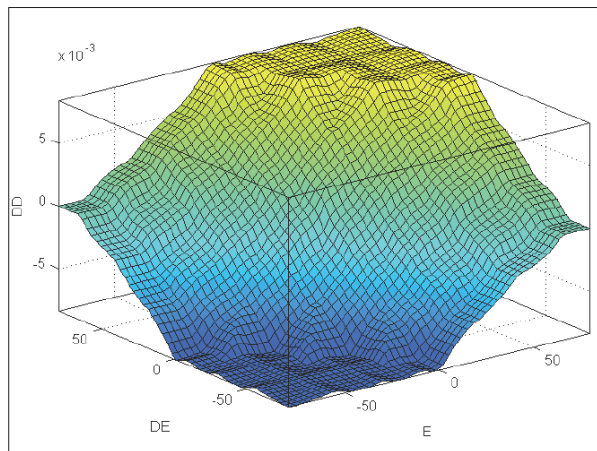


Fig 10. Surface function of the proposed FLC

III. Simulation Results

The radiation and temperature data which used in simulation are from realistic hourly data of the Riyadh city of Saudi Arabia. These data is concentrated in narrow range of time (4sec.) which approves the robustness of the FLC. 500 Watts PV array is used in simulation. The simulation is carried out with FLC and constant voltage technique for the purpose of comparisons.

These two MPPT techniques have been compared with theoretical MPP from PV module which can be calculated using a Matlab file. The load is connected with a PV array through a battery. **Fig 11** shows in the first trace the solar radiation used in the simulation. In the second trace of **Fig 11**, the output power for FLC and constant voltage MPPT technique compared with the theoretical value of MPPT. It is clear from second trace that, the power output with FLC is following the theoretical MPP exactly but the output power with constant voltage control is considerably lower than that associated with FLC. Moreover FLC can restrain any overshooting in the input or output variables. Third trace of **Fig 11** shows the value of ΔD which is the output from FLC. This value can be used to modulate the value of the duty ratio. Fourth trace of **Fig 11**, shows the duty ratio of the boost converter. Fifth and sixth trace of **Fig 11**, show the error function, E and the change of error, ΔE .

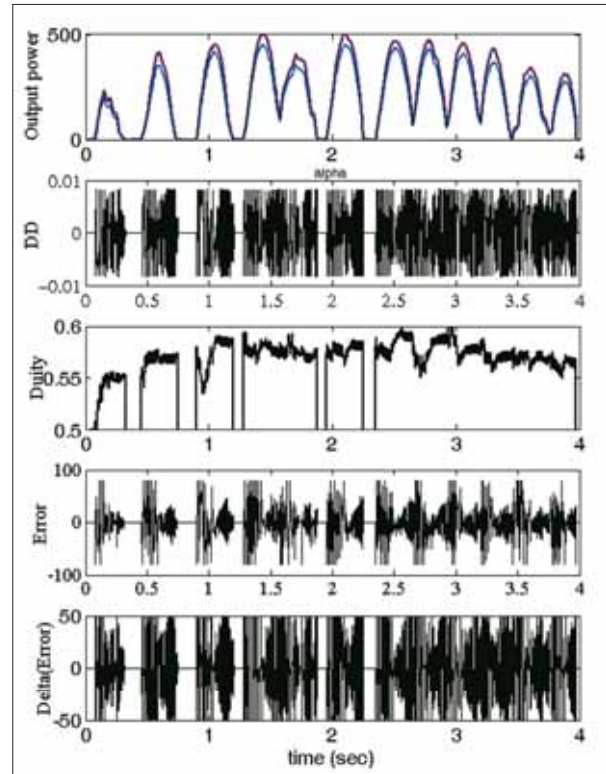


Fig.11 Simulation results of the propose FLC system.

Output power from PV system using FLC and constant voltage along with the theoretical MPPT are shown in **Fig 12** for the purpose of comparison. It is clear from **Fig 12** that the output power associated with FLC system follows exactly the theoretical MPPT which proves the superiority of the system.

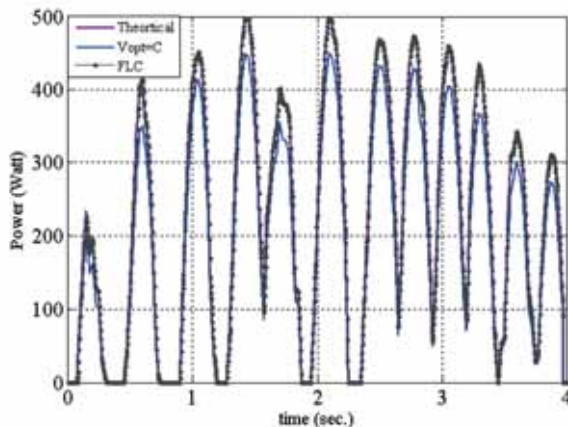


Fig.12 The output power from PV system using FLC and constant voltage along with the theoretical MPPT.

References

- [1] T. Esmar, and P. L. Chapman " Comparison of Photovoltaic Array Maximum PowerPoint Tracking Techniques" IEEE Trans. on EC, Vol. 22, # 2, June 2007, pp. 439-449.
- [2] V. Salas, E. Olías, A. Barrado, A. Lázaro" Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems" Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 90, Issue 11, 6 July 2006, PP. 1555-1578.
- [3] A. Balouktsis, T. D. Karapantsios, K. Anastasiou, A. Antoniadis, and I. Balouktsis "Load Matching in a Direct-Coupled Photovoltaic System-Application to Thevenin's Equivalent Loads" International Journal of Photoenergy, Hindawi Publishing, Vol. 2006, # 27274, Pages 1–7.
- [4] W. R. Anis, and H. M. B. Metwally, 1994, "Dynamic Performance of a Directly Coupled PV Pumping System," Solar Energy, Vol. 53, No. 4, pp. 369-377.
- [5] M. A. S. Masoum, H. Dehbonei, and E. F. Fuchs, "Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage and current-based maximum power-point tracking," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 17, no. 4, pp. 514–522, Dec. 2002.
- [6] H.-J. Noh, D.-Y. Lee, and D.-S. Hyun, "An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications," in Proc. 28th Annu. Conf. Ind. Electron. Soc., 2002, pp. 1113–1118.
- [7] K. Kobayashi, H. Matsuo, and Y. Sekine, "A novel optimum operating point tracker of the solar cell power supply system," in Proc. 35th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2004, pp. 2147–2151.
- [8] B. Bekker and H. J. Beukes, "Finding an optimal PV panel maximum power point tracking method" 7th AFRICON Conference in Africa, 2004, Vol., pp. 1125- 1129.
- [9] N. Mutoh, T. Matuo, K. Okada, and M. Sakai, "Prediction-data-based maximum – power - point-tracking method for photovoltaic power generation systems," in Proc. 33rd Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2002, pp. 1489–1494.
- [10] S. Yuvarajan and S. Xu, "Photo-voltaic power converter with a simple maximum-power-point-tracker," in Proc. 2003 Int. Symp. Circuits Syst., 2003, pp. III-399–III-402.
- [11] M. Veerachary, T. Senjyu, K. Uezato " Voltage-Based Maximum Power Point Tracking Control of PV System" IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems Vol. 38, No. 1, pp.262-270, Jan. 2002.
- [12] Femia, N. Granozio, D. Petrone, G. Vitelli, M. "Predictive & Adaptive MPPT Perturb and Observe Method", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.43, No.3, July 2007, PP. 934-950,
- [13] M.-L. Chiang, C.-C. Hua, and J.-R. Lin, "Direct power control for distributed PV power system," in Proc. Power Convers. Conf., 2002, pp. 311– 315.
- [14] W. Wu, N. Pongratananukul, W. Qiu, K. Rustom, T. Kasparis, and I. Batarseh, "DSP-based multiple peak power tracking for expandable power system," Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003.
- [15] Y.-T. Hsiao and C.-H. Chen, "Maximum power tracking for photovoltaic power system," in Conf. Record 37th IAS Annu. Meeting Ind. Appl. Conf., 2002, pp. 1035–1040.
- [16] Y. Jung, G. Yu, J. Choi, and J. Choi, "High-frequency DC link inverter for grid-connected photovoltaic system," in Conf. Record Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Spec. Conf., 2002, pp. 1410–1413.
- [17] S. Jain and V. Agarwal, "A new algorithm for rapid tracking of approximate maximum power point in photovoltaic systems," IEEE Power Electron. Lett., vol. 2, no. 1, pp. 16–19, Mar. 2004.
- [18] T. Tafticht and K. Agbossou, "Development of a MPPT method for photovoltaic systems," in Canadian Conf. Elect. Comput. Eng., 2004, pp. 1123– 1126.
- [19] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 4, pp. 963–973, Jul. 2005.
- [20] P. J. Wolfs and L. Tang, "A single cell maximum power point tracking converter without a current sensor for high performance vehicle solar arrays," in Proc. 36th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2005, pp. 165–171.
- [21] K. Kobayashi, I. Takano, and Y. Sawada, "A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions," in IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet., 2003, pp. 2612–2617.
- [22] W. Wu, N. Pongratananukul, W. Qiu, K. Rustom, T. Kasparis, and I. Batarseh, "DSP-based multiple peak power tracking for expandable power system," in Eighteenth Annu. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., 2003, pp. 525–530.
- [23] Jae Ho Lee, HyunSu Bae and Bo Hyung Cho "Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size", Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International at Portoroz, Aug. 2006, pp. 603-607
- [24] J. Kouta, A. El-Ali, N. Moubayed and R. Outbib "Improving the incremental conductance control method of a solar energy conversion system"
- [25] Ali M. Eltamaly, H. H. El-Tamaly and P. Enjeti, "An Improved Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Energy Systems" 2nd Minia International Conference for Advanced

- Trends in Engineering, (MICATE'2002) Elminia, Egypt, 16-18, March 2002.
- [26] Kimball, J.W. Krein, P.T. "Digital Ripple Correlation Control for Photovoltaic Applications", Power Electronics Specialists Conference, 2007. PESC 2007. IEEE, June 2007, Orlando, FL, pp. 1690-1694.
- [27] M.Veerachary, T. Senjyu, and K.Uezato, "Maximum power point tracking control of IDB converter supplied PV system," in IEE Proc. Elect. Power Applicat., 2001, pp. 494-502.
- [28] W. Xiao and W. G. Dunford, "A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems," in Proc. 35th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2004, pp. 1957-1963.
- [29] Fangrui Liu Yong Kang Yu Zhang Shanxu Duan "Comparison of P&O and hill climbing MPPT methods for grid-connected PV converter", 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008, Singapore, ICIEA 2008, pp. 804-807
- [30] S. Lalounia, D. Rekiouaa*, T. Rekiouaa, E. Matagneb "Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage" Journal of Power Sources, Vol. 193 (2009), pp. 899-907.
- [31] N. Ammasai Gounden, Sabitha Ann Peter, Himaja Nallandula, S. Krithiga "Fuzzy logic controller with MPPT using line-commutated inverter for three-phase grid-connected photovoltaic systems", Renewable Energy Journal, Vol. 34, 2009, pp. 909-915.
- [32] Chokri Ben Salah, Maher Chaabene, Mohsen Ben Ammara "Multi-criteria fuzzy algorithm for energy management of a domestic photovoltaic panel", Renewable Energy, Vol. 33, 2008, pp. 993-1001.
- [33] I.H. Altas, A.M. Sharaf "A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems" Renewable Energy, Vol. 33, 2008, pp. 388-399.
- [34] N. Khaehintung, K. Pramotung, B. Tuvirat, and P. Sirisuk, "RISCmicrocontroller built-in fuzzy logic controller of maximum power point tracking for solar-powered light-flasher applications," in Proc. 30th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., 2004, pp. 2673-2678.
- [35] A.D. Karlis, T.L. Kottas, and Y.S. Boutalis, "A novel maximum power point tracking method for PV systems using fuzzy cognitive networks (FCN)" Electric Power Systems Research, Vol., No. 3-4, March 2007, pp. 315-327.
- [36] M. Veerachary, T. Senjyu, and K. Uezato, "Neural-network-based maximum-power-point tracking of coupled-inductor interleaved-boost-converter-supplied PV system using fuzzy controller," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 50, no. 4, pp. 749-758, Aug. 2003.
- [37] Tom Markvart and Luis Castañer "Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation", book, Elsevier publishing co., ISBN-13:978-1-85617-457-1, 2005.
- [38] Luis Castañer and Santiago Silvestre "Modelling Photovoltaic Systems using PSpice", book, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, UK, ISBN 0-470-845279, 2002.
- [39] C. Larbes, S.M. Al't Cheikh*, T. Obeidi, A. Zerguerras "Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system" Renewable Energy, Vol.34, 2009, pp. 2093-2100.
- [40] Manoj Datta, Tomonobu Senjyu, Atsushi Yona, Toshihisa Funabashi, and Chul-Hwan Kim "A Fuzzy Based Control Method for Isolated Power Utility Connected PV-diesel Hybrid System to Reduce Frequency Deviation" 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia
- [41] Yiwang Wang, Fengwen Cao "Implementation of a Novel Fuzzy Controller for Grid-Connected Photovoltaic System", Power and Energy Engineering Conf., 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific, Wuhan, pp. 1-4.

IV. Summary

The generated power from the photovoltaic cell is changing with the operating voltage of the PV cell for each value of radiation and temperature. There is a maximum power point, MPP at certain voltage of the PV cells. Maximum power point tracker, MPPT is used to track this point. Simulation results reveals that, tracking the MPP by using the fuzzy logic control, FLC proves an exact tracking for the maximum power point even in highly changing weather conditions. Also, FLC has a very fast and accurate response for any fast change in the weather or load variations. FLC system restrains any overshooting in input or output systems and increases a considerable amount of the energy captured.

ANALYSIS OF PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR WITH SINGLE AND DOUBLE GLAZING COVERS

A. A. MOHAMAD

College of Engineering, Alfaisal University

M. ALODAN

College of Engineering, Alfaisal University

Abstract

Parabolic trough solar collector usually consist a parabolic solar energy concentrator, which reflects solar energy to absorber. The absorber is a pipe painted with solar radiation absorbing material located inside a vacuumed glass tube to minimize the heat losses. Typical concentration ratio ranges from 30 to 80, depending on the radius of the collector. The working fluid can reach temperature up to 400 °C, depending on the concentration ratio, solar intensity and other parameters. Hence, it is an idea device for power generation and/or water desalination applications. However, as the length of the collector increases and/or the fluid flow rate decreases the rate of heat losses increases. The current work introduces an analysis for the mentioned collector for single and double glass tubes. The main objectives of this work are to understanding the thermal performance of the collector and identify the heat losses from the collector. Hence, the working fluid, tube and glass temperatures variation along the collector are given with variation of the heat losses along the heated pipe. It should mention that the working fluid may experience a phase change as it flows through the tube. Hence, the heat transfer correlation for each phase is different and depends on the void fraction. However, as a first approximation the effect of phase change is neglected.

1. Introduction

In general, the solar collectors can be classified into three categories, Point collector (high temperature, order of 1000 or more), line collector (intermediate temperature, order of 200 °C or more) and plane collector (low temperature, order of 100 °C and less). Point collectors usually consist a parabolic mirror concentrate the solar radiation into a small area (point), or it consists many mirrors directs solar energy into a small area. This type of collectors need solar tracking mechanisms and usually applied for power generation, metal melting, hydrogen production, etc. The second type is line collector, which is usually consist a parabolic cylinder directs solar radiation into a pipe (line). The pipe coated with solar absorbing material and covered with glass tube. The gap between the glass tube and pipe is usually fully or partially evacuated from air for better performance. Also, for better performance, the absorber may be painted with selective material and anti-reflective glass is usually utilized. This type of collector can reach 300 °C or more depending on the concentration ratio, flow rate and solar intensity. The tracking mechanism for this type of collector is simpler than the tracking mechanism for the point collector. It has been applied for power generation in many locations around the world (Dudley et al,

1994; Lippke, 1995; Kalogirou, 1997; Hermann et al., 2004; Rolim et al, 2009). State of art review of trough solar collector applications for power generation is given by Price et. al. (2002). Application of trough solar collector for water disinfection is given by Malato et al., (2007). Also, it is an ideal device for water desalinations, where the salted water can be flashed after passing through the collector. The evaporated water can be condensed and used as fresh water after processing. Flat plate type of solar collector usually consist a flat plate to absorb solar radiation with glass cover. In general the flat plate collector does not need solar tracing mechanism. This type of collector usually operates at temperature order of 100 °C. However, for vacuumed glass tubes and if the solar intensity is high, the temperature may reach above 150 °C. The more attracting feature of this type of collector is that it does not need solar tracking mechanism. The main application of this type of collector is for domestic water and space heating. Different types of solar collectors and their applications were reviewed by Kalogirou (2004).

In this paper, the second type of the collector (line) is considered. However, the model developed can be applied even for flat plate, vacuumed tube, collector, by setting the concentration ratio to unity. Hence, the model developed in this research is targeted both types of collectors.

Espana and Rodriguez (1987) developed a mathematical model for simulating the performance of trough collector. They assumed that absorber is a bare tube exposed to ambient conditions.

Grald and Kuehn (1989) studied the thermal performance of a cylindrical trough solar collector with innovative porous absorber receiver. They solved fluid dynamic and energy equations using finite difference method. The system is designed to reduce heat losses as much as possible by allowing cold water pass through outer layer of the absorber and hot fluid extracted from the core of the absorber. The thermal efficiency of the system is about 60% for a low temperature difference between the fluid outlet temperature and ambient temperature. However, the efficiency of the system drops to about 30% for high temperature differences.

Kalogirou et al (1997) published an analysis for hot water flow through a trough solar collector with water flashing system. The results of analysis indicated that about 49% of the solar energy can be used for steam generation.

Odeh et al. (1998) presented an analysis for water flow inside the absorber tube as an application for direct steam generation. The analysis considered phase change of the liquid water to steam. Therefore the convection heat transfer coefficient is a function of steam quality and Shah's equation was used (Gunger and Winterton, 1986; Stephan 1992). The model predictions were evaluated against Sandia Laboratory tests of LS2 collector (Dudley et al., 1994). Performance of a combo system (photovoltaic and thermal) was reported by Coventry (2005) by using a trough collector covered with photovoltaic materials with concentration ratio of 37. It is found that the thermal efficiency of the system can reach 58% and electric efficiency is around 11%.

The current work analyzes heat transfer from trough solar collector with single and double glass covers. The gaps between glass covers and between glass cover and absorber are evacuated from air. The main objective of the work to identify the losses associated with trough solar collector, especially at high temperature application. As a fact, the rate of heat losses increases as the temperature difference between a system and ambient increases. Hence, using double glass cover may be beneficial at a certain temperature difference.

Analysis

Solar radiation is mainly absorbed at the outer surface of the absorber tube as a heat. Part of the absorbed heat transfers to the working fluid by conduction through tube wall and convection from inner surface of the tube to the fluid. Other part of the heat transfers as losses by radiation to the inner surface of the glass through the vacuum and then by conduction from inner surface of the glass to the outer surface of the glass. The heat dissipated to ambient from the outer surface of the glass by two mechanisms, convection to the surrounding air and by radiation to the surrounding surfaces (buildings and sky). Figure 2 shows the thermal resistance diagram for the heat transfer process, for single glass cover. Extra resistance need to be added to model double glass covers, after R_4 in the diagram.

By assuming that surrounding surface temperature is equal to the ambient air temperature, The model equation for a single glass cover can be expressed as:

$$I \alpha \tau 2 \pi r_{to} = \frac{T_{to} - T_{fb}}{R_1 + R_2} + \frac{T_{to} - T_s}{R_2 + R_4 + [R_5^{-1} + R_6^{-1}]^{-1}} \quad (1)$$

$$\dot{m} c \frac{dT_{fb}}{dx} = \frac{T_{to} - T_{fb}}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

The left hand side of the equation (1) represents the total solar energy absorbed by the outer surface of the tube. The first term on the right hand side of the equation represents the rate of heat transfer to the fluid inside the tube. The second term on the right hand side of the equation (1) represented heat losses to the ambient. The left hand side of the equation (2) represents useful rate of heat transferred to rise the fluid temperature as it passes through the tube.

The above equations are coupled and nonlinear because the rate of heat transfer from the tube to glass takes places by radiation. Also, the rate of heat to the surrounding surfaces and sky takes place by

radiation. However, the above equation can be combined into one equation by replacing the right hand side of equation (2) into the first equations, yields

$$\dot{m} c \frac{dT_{fb}}{dx} = I \alpha \tau D - \frac{T_{to} - T_s}{R_2 + R_4 + [R_5^{-1} + R_6^{-1}]^{-1}} \quad (3)$$

Equation (3) contains two unknowns, T_{fb} and T_{bo} hence there is need to solve equation (3) coupled with equation (1).

The explicit forms for thermal resistances are as follow:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{2\pi r_{ti} h}, \quad R_2 = \frac{1}{2\pi k_t \ln r_{to}} \\ R_3 &= \frac{1}{2\pi \sigma r_{to} \left[\frac{1}{\epsilon_t} + \frac{1-\epsilon_g}{\epsilon_g} \left(\frac{r_{to}}{r_{gi}} \right) \right] [(T_t^2 + T_g^2)(T_t + T_g)]^{-1}} \\ R_4 &= \frac{1}{2\pi k_g \ln r_{go}}, \quad R_5 = \frac{1}{2\pi r_{go} h_a} \\ R_6 &= \frac{1}{\epsilon \sigma 2\pi r_{go} (T_{go} + T_s)(T_{go}^2 + T_s^2)} \text{ and} \end{aligned} \quad (4)$$

It is fair to assume that R_2 and R_4 are negligible compared with other thermal resistances. Then inner surface temperature of the tube (T_g) is equal to the outer surface of the tube (T_o). Also, the outer surface temperature of the glass tube (T_{go}) is equal to the inner surface temperature of the glass cover (T_g). Hence, the equation (1) and (2) simplifies to,

$$\begin{aligned} I \alpha \tau D &= \frac{T_{to} - T_{fb}}{R_1} + \frac{T_{to} - T_s}{R_2 + [R_5^{-1} + R_6^{-1}]^{-1}} \quad \text{and} \\ \dot{m} c \frac{dT_{fb}}{dx} &= \frac{T_{bo} - T_{fb}}{R_1} \end{aligned} \quad (5)$$

respectively. Yet, the above equations are not easy to solve because nonlinearity introduced by radiative heat transfer (see R_3 and R_6). Hence, equations (5) and (6) are needed to be solved iteratively, using finite difference method. However, to close the solution, there is a need for another equation to find glass temperature (T_g), which is,

$$\frac{T_{bo} - T_g}{R_2} = \frac{T_{bo} - T_s}{R_2 + [R_5^{-1} + R_6^{-1}]^{-1}} \quad (6)$$

Calculating Heat Transfer coefficient

The rate of heat transfer for turbulent forced flow in a pipe is given by Dittus-Boelter correlation as (Kreith and Kreider, 1981),

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}}$$

Where $Nu = h d_p / k_f$, $Re = (4 m) / (\mu d \pi)$.

Convective heat transfer coefficient from the outer surface of the glass tube to ambient air is calculated from the following correlation, $h_o = 0.0191 + 0.006608 V_{wind}$, where V_{wind} is wind velocity in m/s and h_o is in $W/m^2.K$.

For double glass cover, the resistance R_3 can be replaced by two resistances, hence R_3 in equation (5) and (7) replaced by,

$$R_a = \frac{1}{2\pi\sigma\tau_{10}} \left[\frac{1}{\varepsilon_t} + \frac{1 - \varepsilon_{g1}}{\varepsilon_{g1}} \left(\frac{\tau_{10}}{\tau_{g1}} \right) \right] \left[(T_t^2 + T_{g1}^2)(T_t + T_{g1}) \right]^{-1} \\ + \frac{1}{2\pi\sigma\tau_{g1}} \left[\frac{1}{\varepsilon_{g1}} + \frac{1 - \varepsilon_{g2}}{\varepsilon_{g2}} \left(\frac{\tau_{g1}}{\tau_{g2}} \right) \right] \left[(T_{g1}^2 + T_{g2}^2)(T_{g1} + T_{g2}) \right]^{-1}$$

Where subscript g_1 and g_2 stand for first and second glass covers, respectively. Also, for double glass cover, τ in equation (1) should be replaced by τ^2 .

Results And Discussions

The results are presented for aperture diameter of one and three meters. The range of flow rate investigated from 0.005 to 0.05 kg/s. All the simulations were done for a constant solar intensity of 500 W/m^2 . Due to space limitations only representative results will be presented and discuss.

Figure 3a shows the fluid, absorber and glass cover temperature change along the collector for the flow rate of 0.005 kg/s. For such a low flow rate it is possible for the fluid to reach temperature of about 230 °C for collector with aperture of one meter. However, the heat losses increase as the length of the collector increases, Fig. 3b. For a collector of 10 m long, the thermal efficiency of the collector is about 60%. As the length of collector increase the heat losses increase because the temperature difference between the absorber and ambient increase, Fig. 3.

The outlet temperature of the fluid from the collector decreases as the flow rate increase to 0.01 kg/s, Fig. 4a. The outlet fluid temperature for the specified collector reaches about 170 °C for the flow rate of 0.01 kg/s compared with 230 °C for the flow rate of 0.005. However, the losses decreases as the flow rate increase. Figure 4b illustrates the heat losses and efficiency of the collector as a function of collector length for the flow rate of 0.01 kg/s. The thermal efficiency of the collector of length 20 m is about 60%. Further increasing the flow rate to 0.05 kg/s decreases the fluid outlet temperature and increases the efficiency of the collector, Fig. 5a and 5b, respectively. However, for such high flow rate the outlet fluid temperature is about 70 oC, only. Such a low temperature is difficult to be utilized for power generation or water desalination processes.

Results for aperture of three meter are shown in Fig. 6 for flow rate of 0.01 kg/s. The outlet temperature of the fluid can reach 370 °C. However, the losses also are high, where the efficiency drops to about 45%.

Hence, for high temperature application, the losses increases drastically as the length of the collector increases due to the fact the temperature difference between the absorber and ambient increases. Hence, it is suggest that increasing the thermal resistance is necessary at least for collector length greater than 10 m, as the results of losses analysis suggest. Hence, it is suggested to use double glass covers with vacuumed gaps.

Due to the limited space only results for double glaze covers solar collector will be discussed. It is possible to reach fluid outlet temperature of 190 °C for flow rate of 0.01 kg/s, compared with 170 °C for single glass cover collector, i.e., 20 °C gain in the temperature. However, the gain in efficiency is only a few percent. But, the efficiency for aperture of 3.0 m is about 50% and outlet fluid temperature of about 400 °C compared with 45% and 370 °C for single glass cover system.

The results show that using double glass covers for solar collectors of length of 10 or less is not economical. However, it is beneficial to use double glass covers for collector length larger than 10 m. Hence, it is good idea to use single glass cover for the first 10 m and double glass cover for any length beyond 10 m.

References

- Coventry J. S., Performance of a Concentrating Photovoltaic/Thermal Solar Collector, Solar Energy, Vol. 78, 2, pp. 211-222, 2005.
- Espana, M. D and Luis Rodriguez, V., Approximate Steady-State Modeling of Solar Trough Collectors, Solar Energy, Vol. 38, No. 6, pp. 447-454, 1987.
- Kalogirou S. A., Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 30, 3, pp. 231-295, 2004.
- Kreith, F. and Kreider, J. F, Principles of Thermodynamics and Heat Transfer Applied to Solar Energy, Solar Energy Handbook, McGraw-Hill, New York, 1981.
- Grald, E. W. and Kuehn, T. H., Performance Analysis of a Parabolic Trough Solar Collector with a Porous Absorber Receiver, Solar Energy, Vol. 42, 4, pp. 281-292, 1989.
- Hermann U., Kelly B. and Price H., Two-Tank Molten Salt Storage for Parabolic Trough Solar Power Plants, Energy, Vol. 29, 5-6, pp. 883-893, 2004.
- Kalogirou, S., Lloyd S. and Ward J., Modelling, Optimization and Performance Evaluation of a Parabolic Trough Solar Collector Steam Generation System, Solar Energy, Vol. 60, 1, pp. 49-59, 1997.
- Odel, S. D., Morrison, G. L. and Behnia M., Modelling of Parabolic Trough Direct Steam Generation Solar Collectors, Solar Energy, Vol. 62, 6, pp. 395-406, 1998.
- Price, H., Lufert, E. and Kearney, D., 2002, Advances in Parabolic Trough Solar Power, J. Solar Engineering, Vol. 124, 2, pp. 109-126.
- Gunger K. E. and Winterton, R. H., A General Correlation for Flow Boiling in Tubes and Annuli, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 29, pp. 351-358, 1989.
- Stephan K, Heat Transfer in Condensation and Boiling, Springer-Verlag, New York, pp. 174-230, 1992.
- Dudley V, Kolb G., Sloan M. and Kearney D., SEG2 LS2 solar

Collector-Test Results, SANDIA94-1884, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA, 1994.

Lippke, F., Simulation of the Part-Load Behavior SEGS Plant, SAND95-1293, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA, 1995.

Malato S., Blanco J., Alarcon D.C., Maldonado M.I., Fernandez-Ibanez P. and Gernjak W., Photocatalytic decontamination and disinfection of water with solar collectors, Catalysis Today, Vol. 122, 1-2, pp. 137-149, 2007.

Rolim, M. M., Fraidenraich, N. and Tiba C., Analytic Modeling of Solar Power Plant with Parabolic Linear Collectors, Solar Energy, vol. 83, pp. 126-133, 2009.

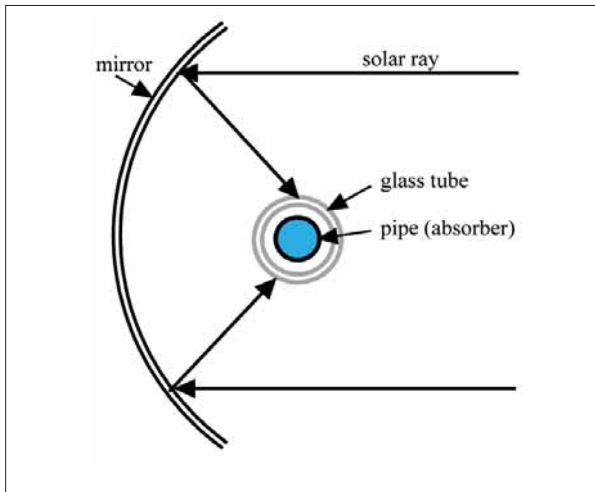


Figure 1. Schematic diagram of the collector

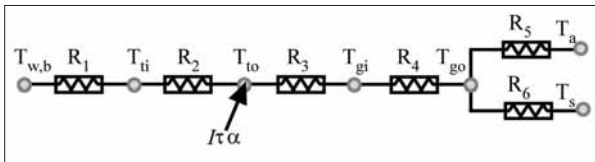


Figure 2. Thermal resistances diagram

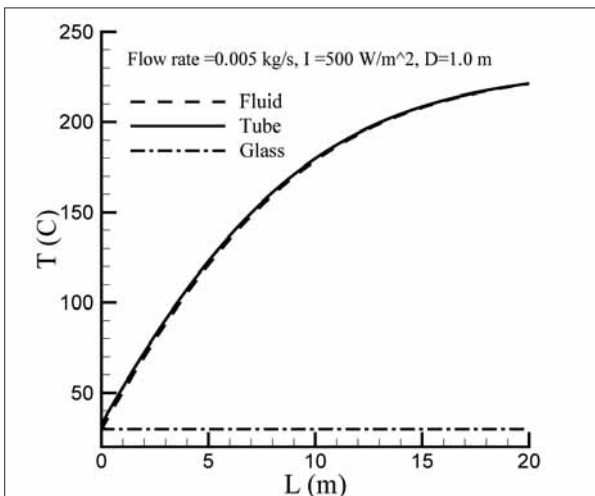


Figure 3a Fluid, absorber and glass cover temperature variation along the collector.

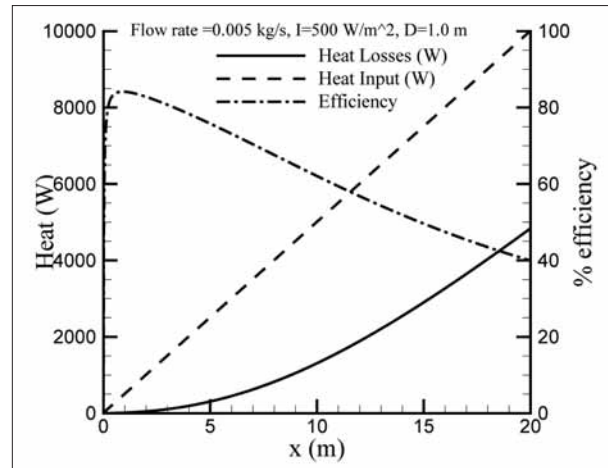


Figure 3b Heat input, Heat losses and efficiency of the collector as a function of collector length.

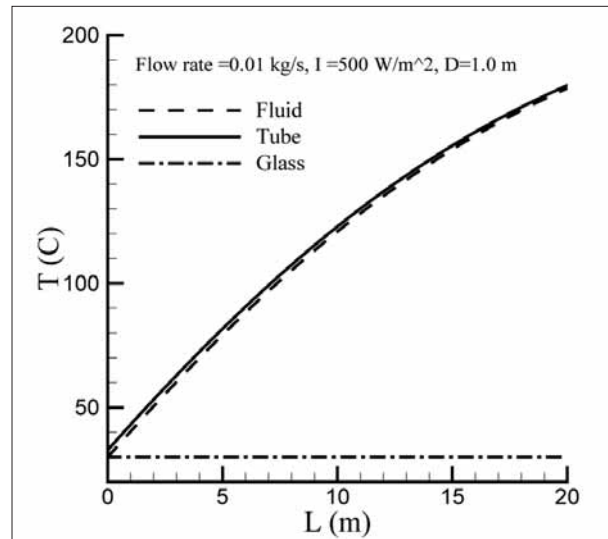


Figure 4a Fluid, absorber and glass cover temperature variation along the collector.

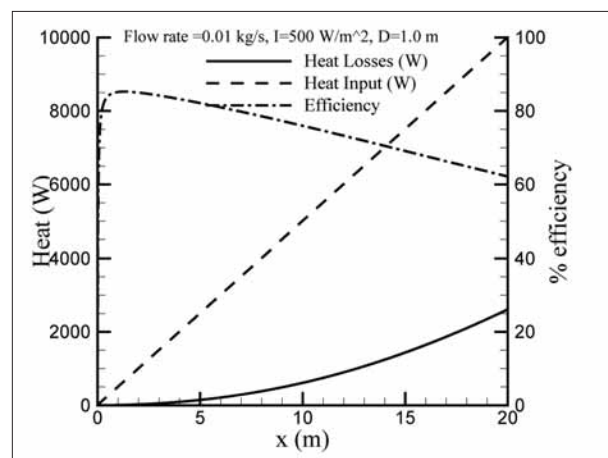


Figure 4b Heat input, Heat losses and efficiency of the collector as a function of collector length.

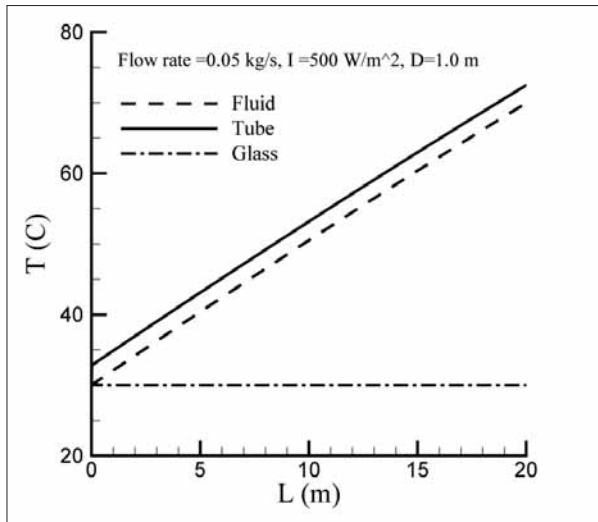


Figure 5a Fluid, absorber and glass cover temperature variation along the collector.

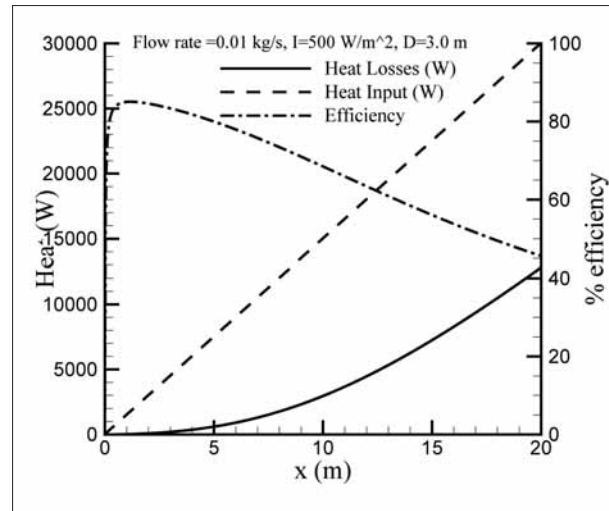


Figure 5b Heat input, Heat losses and efficiency of the collector as a function of collector length.

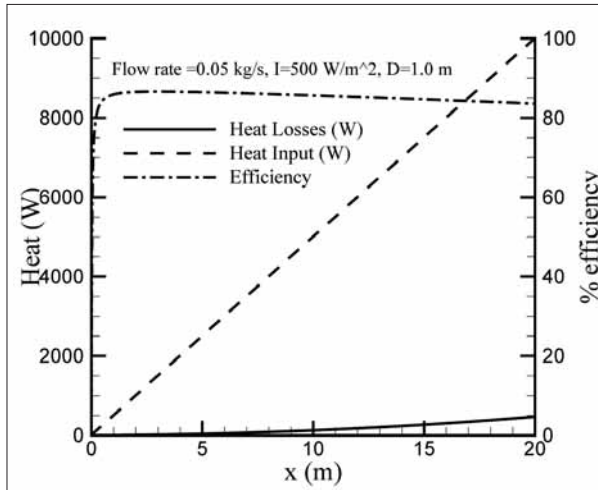


Figure 5b Heat input, Heat losses and efficiency of the collector as a function of collector length.

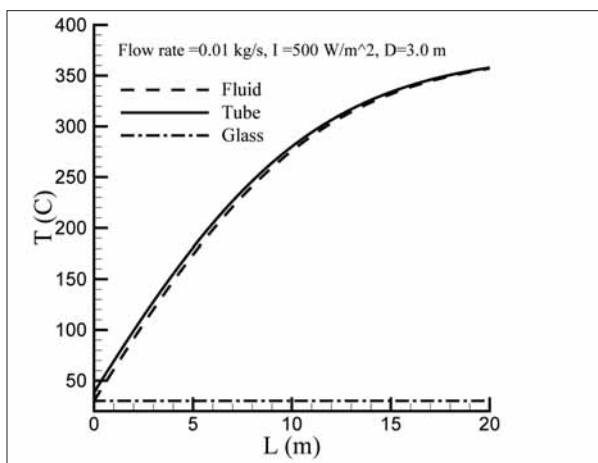


Figure 6a Fluid, absorber and glass cover temperature variation along the collector.

AKDENİZ BÖLGESİ İÇİN YATAY DÜZLEME GELEN AYLIK ORTALAMA TÜM GÜNEŞ IŞINIMININ TESPİTİ

Bekir YELMEN

Aksaray Üniversitesi Ortaköy MYO

Osman Gürkan YELMEN

Aksaray Üniversitesi

Özet

Güneş enerjili sistemlerin tasarımında, güneş ışınımı verilerinin doğruluğu son derece önemlidir. Literatürdeki mevcut çalışmalara bakıldığında güneş ışınımı ve güneşlenme süresini ölçen sistemlerin kurulmasının pahalı olmasından dolayı, seçilen bölgeye en yakın bölgede ölçülen değerler kullanılarak çalışma yapılacaktır. Bölge için bağıntıların geliştirildiği görülmektedir. Bu formüllerden en çok bilineni ve yaygın olarak kullanılanı Angström formülüdür. Yeryüzüne gelen anlık, saatlik ve günlük güneş ışınımı değerleri, bazı meteoroloji istasyonlarında yapılmaktadır. Bunun yanı sıra bazı bölgelerimizde ise bu ölçümler hala yapılamamaktadır. Bu bölgelerdeki güneş enerjisi uygulamaları için geliştirilen bağıntılar yardımıyla yeryüzüne gelen anlık, saatlik ve günlük güneş ışınımı değerleri hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada; Akdeniz Bölgesindeki iller için yatay düzleme gelen ortalama tüm güneş ışınım hesabı vb. ifadeler türetilmiş ve Akdeniz Bölgesinin tamamında kullanılabilecek lineer ve ikinci dereceden bağıntılar alternatif olarak sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş ışınımı, Güneşlenme süresi, Kurutma.

Giriş

Enerji talebinin ve fosil yakıt fiyatlarının artması ülkelerin enerji tüketimlerini azaltmalarına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmiştir. Fosil yakıtların kullanımı endişe verici boyutta küresel ısınma gibi çevresel problemlerin oluşmasının sebepleri arasındadır. Genel olarak, güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin çalışmaları esnasında düşük emisyonları olması, güvenli olmaları ve çevreye karşı duyarlı olmaları son yıllarda bu enerji kaynaklarının kullanımının artmasına neden olmuştur [1].

Güneş enerjili sistemlerin dizaynı ve optimizasyonu için tüm güneş ışınımı değerleri gereklidir [2, 3]. Başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi; güneş enerjili su ısıtıcılarında, tarım ürünlerinin kurutulmasında, güneş fırınlarında ve ocaklarında, odun kurutulmasında, binaların soğutma ve ısıtma sistemleri ile fotovoltaik pillerde kullanılmaktadır[4,5]. Güneş enerjisi günümüzde sıcak su temin edilmesi ve yüzme havuzu ısıtılmasında; tarımsal teknolojide, sera ısıtması, sanayide, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş havuzları, ısı borusu uygulamalarında, ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde kullanılmaktadır [6].

Türkiye; 36-420 kuzey enlemleri ve 26-450 doğu boylamları arasında kuzey yarımkürenin güneş kuşağında bulunduğundan dolayı yeterli miktarda güneş enerjisi potansiyeline sahip bulunmaktadır [7,8]. Türkiye’de yıllık ortalama toplam güneşlenme

süresi 2640 saat/yıl (7.2 saat/gün) ve ortalama yıllık toplam güneş ışınımı 1311 kWh/m²-yıl olarak gerçekleşmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanabilmek için o bölgedeki güneş enerjisi potansiyelinin doğru olarak bilinmesi; güneş enerjisi ve güneş enerjili sistemler alanında çalışma yapan mühendisler, mimarlar, ziraatçılar, meteorolojistler ve hidrolojistler için önemli bir girdi oluşturmaktadır.

Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, güneş enerjisi uygulamaları ve sistemleri için sağlıklı, güvenilir ve kolay ulaşılabilir güneş verilerine ihtiyaç vardır. Ölçme aletlerinin pahalı olması, ölçüm teknikleri ile ilgili problemler ve ölçümün belirli kuruluşlar tarafından yapılması, ışınım ve güneşlenme süreleri gibi güneş verilerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır.

Türkiye’de güneş ile ilgili ölçümler, başta Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve araştırma amaçlı olarak sınırlı sayıda bazı üniversiteler tarafından yapılmaktadır. Güneş enerjisi uygulamalarında ve sistemlerinin analiz ve tasarımında güneş ışınımı ile ilgili modeller sıklıkla kullanılmaktadır. Güneş ışınımı tahmini için geliştirilen modellerin çoğu güneşlenme süresi, bulutluluk, bağıl nem, minimum ve maksimum sıcaklıklar gibi mevcut iklim parametrelerine dayanmaktadır [9-11]. Wong ve Chow [12] mevcut modellerle ilgili detaylı bir çalışma yapmışlardır. Türkiye’de farklı yerleşim alanları için güneş enerjisi verileri ile bağlantılı bağımsız bir çok çalışma [13-15] olmasına rağmen, bu çalışmalar henüz tamamlanmamıştır ve yeterli düzeyde değildir.

Kullanılan Modeller

Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş Işınımı Hesap Yöntemleri

Bu çalışmanın amacı, Akdeniz Bölgesi için yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük tüm güneş ışınımının tahminlenmesinde birkaç modelin geçerliliklerinin denetlenmesi ve en doğru modelin seçilmesidir. Güneş ışınımı tahminlenmesinde ;

Angström-PreScott-Page Modeli

Angström-PreScott-Page modeli en yaygın olarak kullanılan modeldir ve aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\frac{H}{H_o} = a + b \left(\frac{S}{S_o} \right) \quad (1)$$

Burada H aylık ortalama günlük tüm güneş ışınım, H_o aylık ortalama günlük atmosfer dışı ışınım, S_o aylık ortalama gün uzunluğu, S aylık ortalama güneşlenme süresi a ve b ise deneysel katsayılarıdır.

Yatay düzlemdeki aylık ortalama günlük atmosfer dışı ışınım aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır[16].

$$H_o = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left(\cos \lambda \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin \lambda \cdot \sin \delta \right) \quad (2)$$

I_{gs} = Güneş sabiti (1367 W/ m²)

f = Eksenden kaçıklık faktörü

λ = Bölgenin enlemi (°)

δ = Deklinasyon açısı (°)

ω_s = Verilen ay için ortalama güneşin doğuş-batış saat açısı (°)

Eksenden kaçıklık faktörü, deklinasyon açısı ve güneşin doğuş-batış saat açısı

$$f = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \quad (3)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} (284 + n) \right) \quad (4)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \lambda \tan \delta) \quad (5)$$

formülleri ile hesaplanabilir. Burada n ayı temsil eden günün göstermektedir. Verilen bir ay için, ortalama gün uzunluğu (S_o) aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$S_o = \frac{2}{15} \omega_s \quad (6)$$

Eşitlik (1)'de yer alan a ve b regresyon katsayıları, çeşitli bölgeler için ölçülen güneş ışınım değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Aşağıda Türkiye'de bazı iller için elde edilen güneşlenme süresine bağlı lineer ve ikinci dereceden eşitlikler verilmiştir:

Model-1: Page Modeli

Page dünyanın her yerinde uygulanabilir olacağına inanılan Agström-Prescott-Page modelindeki katsayıları aşağıdaki şekilde vermiştir[17].

$$\frac{H}{H_o} = 0.23 + 0.48 \left(\frac{S}{S_o} \right) \quad (7)$$

Model-2: Specific Monthly Rietveld Modeli

Soler, Rietveld modelini Avrupadaki 100 istasyona uygulayarak Tablo 1'de verilen bağıntıları bulmuştur[18].

Tablo 1. Specific Monthly Rietveld Modeli Bağıntıları			
Aylar	Formül	Aylar	Formül
Ocak	$\frac{H}{H_o} = 0.18 + 0.66 \left(\frac{S}{S_o} \right)$	Temmuz	$\frac{H}{H_o} = 0.23 + 0.53 \left(\frac{S}{S_o} \right)$
Şubat	$\frac{H}{H_o} = 0.20 + 0.60 \left(\frac{S}{S_o} \right)$	Ağustos	$\frac{H}{H_o} = 0.22 + 0.55 \left(\frac{S}{S_o} \right)$
Mart	$\frac{H}{H_o} = 0.22 + 0.58 \left(\frac{S}{S_o} \right)$	Eylül	$\frac{H}{H_o} = 0.20 + 0.59 \left(\frac{S}{S_o} \right)$
Nisan	$\frac{H}{H_o} = 0.20 + 0.62 \left(\frac{S}{S_o} \right)$	Ekim	$\frac{H}{H_o} = 0.19 + 0.60 \left(\frac{S}{S_o} \right)$
Mayıs	$\frac{H}{H_o} = 0.24 + 0.52 \left(\frac{S}{S_o} \right)$	Kasım	$\frac{H}{H_o} = 0.17 + 0.66 \left(\frac{S}{S_o} \right)$
Haziran	$\frac{H}{H_o} = 0.24 + 0.53 \left(\frac{S}{S_o} \right)$	Aralık	$\frac{H}{H_o} = 0.18 + 0.65 \left(\frac{S}{S_o} \right)$

Model-3: Kılıç ve Öztürk Modeli

Kılıç ve Öztürk Agström-Prescott-Page modelindeki a ve b deneysel katsayılarını Türkiye için hesaplamışlardır[19].

$$a = 0.103 + 0.000017Z + 0.198 \cos(\lambda - \delta) \quad (8)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos(\lambda - \delta)$$

Z, bölgenin yükseklik değeridir.

Model-4: Akınoğlu ve Ecevit Modeli

Akınoğlu ve Ecevit H/H_o ile S/S_o arasında Türkiye için polinom denklemini elde etmişlerdir[20].

$$\frac{H}{H_o} = 0.145 + 0.845 \left(\frac{S}{S_o} \right) - 0.280 \left(\frac{S}{S_o} \right)^2 \quad (9)$$

Model-5: Bahel Modeli

Bahel aşağıdaki bağıntıyı önermiştir[21].

$$\frac{H}{H_o} = 0.175 + 0.552 \left(\frac{S}{S_o} \right) \quad (10)$$

Model-6: Louche Modeli

Louche güneş ışınımı için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir[22].

$$\frac{H}{H_o} = 0.206 + 0.546 \left(\frac{S}{S_o} \right) \quad (11)$$

Modellerin Analizi ve Karşılaştırma

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesindeki iller için yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı, literatürde mevcut bazı modellerden geliştirilen eşitliklerden yararlanarak hesaplanmış ve sonuçlar çeşitli mukayese metotları ile karşılaştırılmıştır.

Bunun için yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı ölçüm değerleri DMİ'den temin edilmiştir. Ölçülen değerler referans alınarak, aylık ortalama tüm güneş ışınımı ve güneşlenme süresi tahmininde kullanılan hesaplama yöntemlerinin istatistiksel analizi yapılmıştır.

Tablo 2'de meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen ve farklı modeller yardımıyla hesaplanan Akdeniz Bölgesindeki iller için yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük tüm güneş ışınımı değerleri ile R^2 (belirlilik katsayısı) değerleri verilmiştir.

Belirlilik katsayısını bulmak için; standart sapma ve hesaplanan değerlerin ölçüm değerlerinden sapması ile ölçüm değerlerinin ortalaması bulunur.

Korelasyon katsayısı (r):

$$r = \sqrt{\frac{S_t - S_r}{S_t}}$$

Eşitlikte, S_t standart sapmayı ve S_r hesaplanan değerlerin ölçüm değerlerinden sapmasını göstermektedir. S_t ve S_r aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir :

$$S_t = \sum_{i=1}^n (\bar{H}_o - H_{o,i})^2$$

$$S_r = \sum_{i=1}^n (H_{o,i} - H_{h,i})^2$$

Burada; $\bar{H}_o$, ölçüm değerlerinin ortalamasıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir :

$$\bar{H}_o = \frac{\sum_{i=1}^n H_{o,i}}{n}$$

Modellemenin ölçüm değerlerini iyi temsil ettiğinin göstergesi olarak S_i ve S_r değerlerinin küçük, korelasyon katsayısının mümkün

olduğunca bire yakın olması gerekir. R^2 (belirlilik katsayısı) değerlerine bakılacak olursa uygulanan birkaç model haricinde tüm modellerin kullanılabilirliği görülmektedir.

Kullanılan yöntemlerden hesaplanan güneş ışınlımı miktarları tahminlemesinin meteoroloji istasyonunun ölçümleri ile birlikte karşılaştırmalı olarak aylara göre grafikleri **şekil 1**'de verilmiştir.

Tablo 2. Aylara Göre Modellerden Elde Edilen Tüm Güneş Işınımı Sonuçları ve Ölçüm Değerleri

Z=20m Adana							
Aylar	$\bar{H}_o$ (MJ/m ² -gün)	$H_{Tahminlenen}$ (MJ /m ² - gün)					
		Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
Ocak	6,75	7,78	8,37	7,13	8,20	7,42	7,90
Şubat	10,12	10,31	10,95	9,75	10,90	9,87	10,49
Mart	13,69	13,43	14,56	13,13	14,21	12,87	13,68
Nisan	17,96	17,05	18,59	17,05	18,10	16,45	17,43
Mayıs	21,13	21,50	22,93	21,29	22,85	21,16	22,24
Haziran	23,32	23,93	25,84	23,46	25,29	23,79	24,90
Temmuz	22,96	23,74	25,24	23,17	25,04	23,66	24,74
Ağustos	21,2	22,08	23,69	21,34	23,21	22,07	23,05
Eylül	18,01	17,66	19,14	16,98	18,70	17,53	18,36
Ekim	12,11	13,00	13,90	12,29	13,82	12,79	13,45
Kasım	8,9	9,18	9,96	8,49	9,77	8,93	9,43
Aralık	6,55	6,98	7,40	6,34	7,34	6,63	7,07
R^2		0,988	0,927	0,993	0,947	0,987	0,967

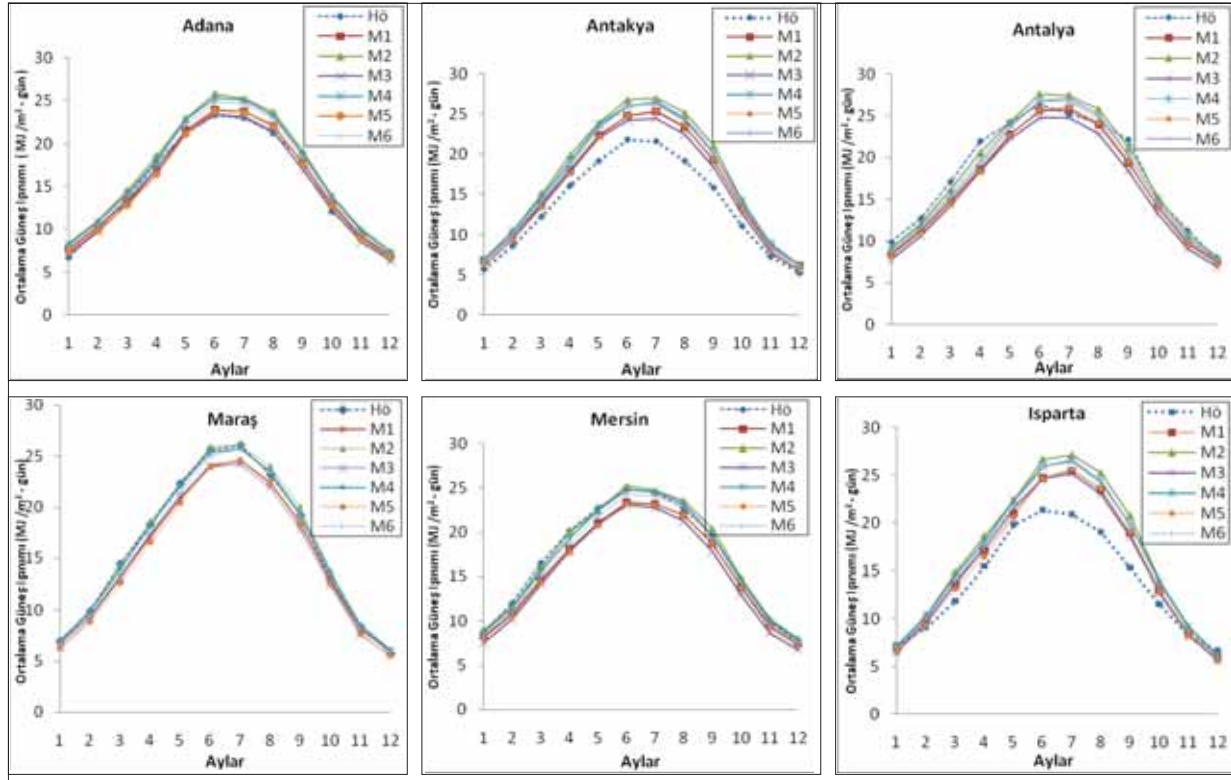
Z=549m Maraş							
Aylar	$\bar{H}_o$ (MJ/m ² -gün)	$H_{Tahminlenen}$ (MJ /m ² - gün)					
		Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
Ocak	6,98	6,72	6,97	6,28	6,89	6,24	6,72
Şubat	9,89	9,38	9,81	9,09	9,78	8,83	9,45
Mart	14,42	13,20	14,29	13,15	13,94	12,62	13,42
Nisan	18,27	17,10	18,67	17,37	18,15	16,51	17,49
Mayıs	22,28	20,76	22,13	21,05	22,09	20,31	21,40
Haziran	25,62	24,02	25,94	23,90	25,38	23,90	25,01
Temmuz	26,01	24,51	26,09	24,13	25,72	24,54	25,62
Ağustos	23,13	22,39	24,04	21,89	23,46	22,44	23,41
Eylül	19,19	18,39	20,04	17,82	19,33	18,38	19,19
Ekim	13	12,85	13,74	12,34	13,65	12,64	13,29
Kasım	8,36	8,08	8,49	7,61	8,50	7,69	8,19
Aralık	5,73	5,98	6,10	5,53	6,08	5,52	5,96
R^2		0,9803	0,996	0,973	0,998	0,968	0,994

Z=42m Antalya							
Aylar	$\bar{H}_o$ (MJ/m ² -gün)	$H_{Tahminlenen}$ (MJ /m ² - gün)					
		Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
Ocak	9,86	8,39	9,21	7,71	8,92	8,12	8,60
Şubat	12,75	11,24	12,10	10,59	11,96	10,93	11,55
Mart	17,14	14,75	16,15	14,26	15,69	14,38	15,17
Nisan	21,96	18,65	20,65	18,35	19,84	18,27	19,24
Mayıs	24,21	22,75	24,28	22,28	24,06	22,59	23,65
Haziran	26,42	25,59	27,68	24,76	26,75	25,70	26,79
Temmuz	25,18	25,81	27,52	24,80	26,78	26,04	27,09
Ağustos	24,17	23,96	25,84	22,85	24,74	24,23	25,19
Eylül	22,14	19,40	21,27	18,43	20,22	19,52	20,34
Ekim	14,93	14,08	15,25	13,25	14,86	14,03	14,67
Kasım	11,26	9,74	10,72	9,01	10,36	9,57	10,06
Aralık	7,66	7,48	8,07	6,82	7,93	7,20	7,64
R^2		0,928	0,970	0,875	0,968	0,914	0,950

Z=100m Antakya							
Aylar	$\bar{H}_o$ (MJ/m ² -gün)	$H_{Tahminlenen}$ (MJ /m ² - gün)					
		Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
Ocak	5,7	6,82	7,00	6,28	6,92	6,28	6,78
Şubat	8,63	9,95	10,46	9,49	10,43	9,42	10,06
Mart	12,23	13,90	15,12	13,61	14,75	13,39	14,20
Nisan	16,09	18,06	19,88	17,94	19,21	17,59	18,57
Mayıs	19,13	22,38	23,88	22,05	23,72	22,16	23,24
Haziran	21,79	24,80	26,80	24,19	26,07	24,79	25,89
Temmuz	21,59	25,30	26,97	24,45	26,38	25,46	26,52
Ağustos	19,13	23,37	25,16	22,43	24,29	23,55	24,51
Eylül	15,83	19,27	21,09	18,37	20,13	19,35	20,17
Ekim	11,04	13,36	14,32	12,67	14,19	13,18	13,84
Kasım	7,24	8,45	8,90	7,86	8,91	8,06	8,58
Aralık	5,23	6,16	6,25	5,61	6,23	5,66	6,12
R^2		0,803	0,553	0,879	0,653	0,817	0,684

Z=5m Mersin							
Aylar	$\bar{H}_o$ (MJ/m ² -gün)	$H_{Tahminlenen}$ (MJ /m ² - gün)					
		Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
Ocak	8,82	8,25	9,00	7,57	8,75	7,95	8,43
Şubat	12,02	10,86	11,62	10,25	11,53	10,49	11,11
Mart	16,53	14,65	16,03	14,16	15,59	14,26	15,06
Nisan	20,16	18,13	19,98	17,92	19,29	17,68	18,66
Mayıs	22,74	21,11	22,50	20,97	22,45	20,70	21,79
Haziran	24,85	23,39	25,24	23,03	24,79	23,17	24,29
Temmuz	24,49	23,21	24,65	22,75	24,56	23,05	24,14
Ağustos	22,69	21,98	23,56	21,25	23,12	21,95	22,93
Eylül	19,58	18,69	20,39	17,82	19,62	18,70	19,52
Ekim	14,64	13,79	14,87	12,98	14,59	13,69	14,34
Kasım	9,84	9,41	10,26	8,70	10,02	9,18	9,69
Aralık	7,65	7,43	7,99	6,76	7,86	7,13	7,57
R^2		0,959	0,994	0,920	0,995	0,940	0,984

Z=997m Isparta							
Aylar	$\bar{H}_o$ (MJ/m ² -gün)	$H_{Tahminlenen}$ (MJ /m ² - gün)					
		Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
Ocak	7,21	6,93	7,27	6,60	7,18	6,49	6,97
Şubat	9,11	9,84	10,39	9,66	10,36	9,37	9,98
Mart	11,89	13,63	14,82	13,73	14,46	13,13	13,92
Nisan	15,45	17,08	18,64	17,61	18,13	16,49	17,47
Mayıs	19,86	21,02	22,41	21,55	22,36	20,61	21,69
Haziran	21,35	24,70	26,69	24,74	25,99	24,67	25,78
Temmuz	20,93	25,45	27,13	25,17	26,50	25,63	26,69
Ağustos	19,03	23,42	25,23	22,99	24,30	23,63	24,59
Eylül	15,24	18,96	20,75	18,52	19,81	19,04	19,85
Ekim	11,52	13,01	13,96	12,66	13,82	12,84	13,48
Kasım	8,2	8,56	9,16	8,18	9,08	8,25	8,74
Aralık	6,68	6,03	6,17	5,68	6,16	5,58	6,01
R^2		0,774	0,526	0,805	0,639	0,789	0,660



Şekil 1. Modeller Göre Akdeniz Bölgesi İçin Ölçüm ve Hesap Değerlerinin Karşılaştırılması

Sonuç ve Öneriler

Yatay düzleme gelen aylık ortalama tüm güneş ışınımı Akdeniz Bölgesinde bulunan 6 il için trigonometrik eşitliklerle modellenmiştir.

Tüm güneş ışınımı değerlerinin tahminlenmesinde kullanılan altı ayrı hesap yöntemi sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlardan, bütün hesap yöntemlerinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu, ideale yakın sonuçlar verdiği ve ölçüm değerleri yerine kullanılabilecek modeller olduğu saptanmıştır. Ancak **Tablo 2**'deki olasılık değerleri incelenerek en yüksek olasılığın Kılıç ve Öztürk modeline (model 3) ait olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla Akınoğlu ve Ecevit modeli (model 4), Specific Monthly Rietveld modelleri izlemektedir. Bu sonuçlara göre Akdeniz Bölgesi için güneş ışınımının tahminlenmesinde kullanılabilecek en uygun tüm güneş ışınımı hesap yönteminin Kılıç ve Öztürk modeli olduğu söylenebilir.

Modellerin ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil ettiği belirlenmiştir. Bu modellerin güneş enerjisi ile ilgili uygulamalarda ve sistemlerde ortaya çıkacak veri eksikliği ihtiyacını ortadan kaldıracığı ve ilgili mühendisler ve uygulamacılar için faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu modeller diğer yerleşim birimleri için geliştirilebilir. Literatürdeki güneş ışınımı ile ilgili değerlerin tüm iller için mevcut olmadığı ve değerler arasında önemli farkların olduğu görülmüştür. Dolayısıyla güneş verileri ile ilgili sağlıklı, eksiksiz ve güvenilir bir veri tabanının oluşturulması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Jacovides C. P., Tymvios F. S., Assimakopoulous V. D. ve Kaltsounides N. A., Comparative Study of Various Correlations in Estimating Hourly Diffuse Fraction of Global Solar Radiation, Renewable Energy, 31, 2492-2504, 2006.

- [2]. Amoto U., V. Cuomo, F. Fontana, C. Serio ve P. Silverstrini. 1988. Behavior of hourly solar irradiance in the Italian climate. Solar Energy 40(1):65-79.
- [3]. Wenxian. L.1988. A general correlation for estimating the monthly average daily direct radiation on a horizontal surface in Yunnan province. Chine. Solar Energy 41(1):1-3.
- [4]. Chen A.A., W. Forrest, P.N. Chin, P. McLean ve C. Grey. 1994. Solar radiation in Jamaica. Solar Energy 53(5):455-460.
- [5]. Jain P.C., 1990. A model for diffuse and global irradiation on horizontal surfaces. Solar Energy 45:301-308.
- [6]. Varınca K. B. ve Gönüllü M. T., Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK'2006, Osman Gazi Üniversitesi, 21-23 Haziran, 270-275, 2006.
- [7]. Sozen A., ve E. Arcaklıoğlu, 2005. Solar potential in Turkey. Applied Energy 80(1):35-45.
- [8]. Ulgen K., ve A. Hepbasli, 2004a. Solar radiation models. Part 1: A Review. Energy Sources 26:507-520.
- [9]. Singh, O.P., Srivastava S.K, Gaur, A., "Empirical relationship to estimate global radiation from hours of sunshine", Energy Conversion and Management, 37(4), 501-504, 1996.
- [10]. Badescu, V., "Correlations to estimate monthly mean daily solar global irradiation: application to Romania", Energy, 24(10), 883-893, 1999.
- [11]. Trabeca, A.A., Shaltout, M.A., "Correlation of global solar radiation with meteorological parameters over Egypt", Renewable Energy, 21(2), 297-308, 2000.
- [12]. Wong, L.T., Chow, W.K., "Solar radiation model", Applied Energy, 59(3), 191-224, 2001.
- [13]. Ünal, A., Tanes, Y., Onur, H.S., "Günlük ortalama güneş ışınımı değerlerinin sürekli fonksiyonlarla ifadesi, parametrelerinin

- Türkiyedeki dağılımı", İşı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 8(4), 37-45, 1986.
- [14]. Bulut, H. & Büyükalaca, O. 2007. Simple model for the generation of daily global solar radiation data in Turkey. Applied Energy 84: 477-491.
- [15]. DincerJ., Dilmac.S., TureJ.E., Edin.M., "A simple technique for estimating solar radiation parameters and its application for Gebze", Energy Conversion and Management, 37(2), 183-198, 1995
- [16]. Duffie, J. A. and Beckman W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, Inc., NewYork, 1991.
- [17]. Angstrom A.K., 1924. Solar and atmospheric radiation. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 20:121-126.
- [18]. Rietveld, M. R., A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine, Agricultural Meteorology 19,243-252, 1978.
- [19]. Kılıç, A. ve Öztürk, A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.
- [20]. Akinoğlu, B. G. and Ecevit, A., Construction of aquadratic model using modified Angström coefficients to estimate global solar radiation, Solar Energy 45, 85-92, 1990.
- [21]. Bahel, V., Bakhsh, H., R., A correlation for estimation of global solar radiation, Energy 12, 131-135, 1987.
- [22]. Louche, A.,Muselli, M. and Notton, G. 1999. Design Of Hybrid-Photovoltaic Power Generator, with Optimization of Energy Management. Solar Energy,65, 143-157.

Determining Average Monthly Total Solar Radiation Striking Onto Horizontal Plane For Mediterranean Region

Abstract

The solar energy is a energy resource which can be found in abundant quantities, and it is both continuous and renewable, and free of charge one. In addition to aforespecified features, the lack of majority of environmental troubles to be resulted from using conventional fuels in the production of solar energy makes this type of energy a clean and environment-friendly kind of energy.

Today, the solar energy is used in a controlled way for air conditioning (heating or cooling) of buildings and work places; cooking; providing hot water and heating swimming pools; agricultural technologies; heating greenhouses and drying agricultural products; in industrial areas for solar furnaces; solar ovens and cookers; producing salt and fresh water from sea water; solar pumps; solar cells; solar pools; heating tube applications; transportation and communication means; signalization and automation systems; producing electricity, etc.

The correctness of available data about solar radiation are so much important for designing the systems with solar energy. Since the cost of establishing and installing the measurement systems for solar radiation and duration of insolation is expensive, when available studies in the literature are taken into consideration, it is observed that some relationships are developed using the values measured on the closest area to any selected area. The best known and most widely used one among these formulas is the formula Angstrom. Some meteorology stations reads and measures in

instantaneous, hourly and daily terms the values of solar radiation reaching onto the ground. Therefore, aforesated measurement can't be carried out on some regions of Türkiye yet. The solar radiation reaching, in instantaneous, hourly and daily terms, onto the ground is calculated using the correlations improved for the applications of solar energy on these regions.

In this study, the intensity of solar radiation total reaching onto the horizontal plane was expressed in trigonometrical figures using the findings of long terms of measurements on the Mediterranean region. The statistical parameters for the values derived from these figures versus measured values were calculated accordingly. Although the values of solar radiation measured have shown some increases or decreases within any year and per years, it has been observed that the improved equation best represents the values of long terms. The values resulted from some models were compared to the values presented in the literature for the Mediterranean region. Therefore, it has been observed for the applications of solar energy that these improved models could easily be used for calculating the average monthly sum of solar radiation reaching onto the horizontal planes of cities on the Mediterranean region, and they best represent statistically the values of measurement. In addition, this model could be expanded for other regions of Turkey.

Key Words: Solar energy, Solar radiation, Duration of insolation.

TARIMDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KULLANIMI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Bekir YELMEN

Aksaray Üniversitesi Ortaköy MYO

Menderes ÜSTÜNER

Çağ Üniversitesi MERSİN

Özet

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Bu enerji kaynaklarının maliyetleri oldukça azdır, yenilenebilir olduklarından dolayı tükenmezler ve konvansiyonel yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmazlar. Tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerjisidir. Bu çalışmada; tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek yenilenebilir enerji kaynak teknolojileri; üstünlük ve olumsuzlukları tartışılmıştır. Sonuçta tüm bu bilgiler ışığında, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik ve enerji etkinliğine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Fosil yakıtlar, Temiz enerji, Çevresel etki.

1. Giriş

Artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi dünyanın kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık hızla büyümektedir. Diğer taraftan, geleneksel enerji üretim yöntemleri bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir. Ayrıca, fosil yakıtların bir süre sonra tükeneceği de yadsınamayacak bir gerçektir [1].

1998 yılı değerleri ile dünyadaki toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık % 90 'ı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı ve bunların yakın bir gelecekte tükenecek olması, yenilenebilir enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır [2].

Enerji üretimi ve kullanımı sırasında yaşanan çevre sorunları, eski teknolojilerin terk edilmesinin temel nedenlerinden biridir. Kömür, petrol ve doğalgaz santrallerinin kuruldukları bölgede yerel olarak tahribatları yanında; küresel olarak tüm dünyayı tehdit eden etkileri de bulunmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında atmosfere yayılan karbon dioksit, kükürt dioksit, azot oksit, toz ve kurum yakın çevreyi kirlitip ölümlere yol açarken, karbon dioksit ve benzeri sera gazları küresel iklim değişikliğine yol açmakta ve tüm dünya ülkelerinde yaşamı tehdit etmektedir [3]. Türkiye 'de enerji profili gözden geçirildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve önemi açıkça görülmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça düşük düzeydedir ve bu enerji türleri ile yeterince ilgilenilmemektedir. Özellikle, güneş ve rüzgar

enerjisinin kullanımı, Türkiye 'nin enerji bütçesine ciddi katkılar sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından doğru ve sağlıklı bir biçimde yararlanılması için gereken strateji, plan ve politikaların önemi giderek artmakta ve önemli boyutlara ulaşmaktadır [4].

Endüstri, ulaştırma, ticaret, konut ve tarım sektörlerinde enerji kullanımını azaltmanın en etkin yöntemlerinden birisi de, enerji kullanma etkinliğini artırmaktır. Enerji etkinliğinin artırılması, enerji kaynaklarının çevresel etki değerlendirmesi açısından önemlidir. Daha az enerji kullanmak ve çevreye en düşük düzeyde zarar vermek için, sistem etkinliğinin artırılması gerekir. Enerji kaynaklarının kıtlığı ve dikkatsiz kullanılması sonucunda oluşan istenilmeyen yan etkiler, enerji tüketimini doğru bir şekilde planlama ve dikkatli bir şekilde değerlendirmeyi gerektirmektedir [5].

Tarım Sektörünün de diğer sektörler gibi enerjiye bağımlılığı gittikçe artmaktadır. Bu artış kapital ve teknoloji kullanımına bağlı olarak tüm dünyada artış göstermektedir [6]. Ayrıca tarımsal üretim fonksiyonunda enerji girdisi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

Bazı çalışmalar göstermiştir ki; tarımsal verimlilik ve etkinlikte, enerji faktörü öne çıkmaktadır [8].

Enerji sosyal ve ekonomik gelişmede önemli bir role sahiptir. Ancak, kırsal kesimde enerji kullanımı konusunda geliştirilen politikalar yetersiz kalmıştır. Bu durum gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme ön plana çıktığı için tarıma verilen önemin düşüklüğünden kaynaklanabilir. Diğer taraftan bu durum kırsal kesimde eğitim seviyesi ve organizasyon yeteneğinin düşük olmasının sonucu olabilir [9].

Türkiye tarım sektöründe; bölgesel ve ülke genelinde, üretim sistemleri ile ürün bazında ve toplam enerji kullanımına ilişkin ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır [10-16].

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımda kullanımı incelenmiştir. Tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojilerinin üstünlük ve olumsuzlukları tartışılmıştır. Tarım sektöründe enerji kullanımı etkinliği ve enerji korunumu önlemlerine ilişkin öneriler verilmiştir.

2. Tarımda Enerji Kullanımı

Tarım sektöründe bitkisel ve hayvansal üretim işlemleri belirli miktarda enerji kullanımını gerektirmektedir. Tarımda enerji

kullanımı, sulama- pompa işlemlerinde, seralarda ısı kontrol işlemlerinde, çiftlik binalarında ve bitkisel üretimde, tarım ürünlerinin taşınmasında, tarımsal ürünlerin işleme ve değerlendirilmesinde kullanılan tarımsal mekanizasyon araç ve makinelerinde, kimyasal gübreler, tarım ilaçlarının üretim, paketlenme ve taşınmasında kullanılan enerjileri kapsar[17]. Türkiye'de genel enerji tüketimi içerisinde, tarım sektöründe tüketilen enerji miktarının 1990-2003 yılları arasındaki dönemde değişimi **Çizelge 1**'de verilmiştir. Tarım sektöründe tüketilen enerji miktarı 1990 yılında 575 GWh düzeyinde iken, 1995 yılında 1513 GWh ve 2000 yılında da 3070 GWh , 2005 yılında ise 4100 GWh düzeyine yükselmiştir. Tarım sektöründe tüketilen enerji miktarı düzenli olarak artmakla birlikte, toplam enerji tüketimi içerisinde tarım sektörünün payı düzenli bir değişim göstermemektedir. Toplam enerji tüketiminde tarımın payı, 1990 yılında % 1.23, 1995 yılında % 2.30 ve 2000 yılında ise % 3.19, 2005 yılında ise % 3.13 olarak gerçekleşmiştir. Toplam enerji tüketiminde tarımın payı, 1990-2005 yılları arasındaki dönemde ortalama % 2.90 olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, 2002 yılından sonra toplam enerji tüketiminde tarımın payı azalmaya başlamıştır.

Çizelge 1. Türkiye Tarım Sektöründe Enerji Tüketimi [18].			
Yıllar	Enerji Tüketimi GWh		Toplam Enerji Tüketiminde Tarımın Payı (%)
	Tarım	Toplam Tüketim	
1990	575	46820	1.23
1995	1513	65724	2.30
2000	3070	96140	3.19
2001	3203	95445	3.36
2002	3490	101298	3.45
2003	3657	110748	3.30
2004	3895	120305	3.24
2005	4100	130854	3.13

Tarım sektöründe 1990–2005 yılları arasındaki dönemde, tarım alanı başına enerji tüketimi değerlerinin yıllara bağlı olarak değişimi **Çizelge 2**'de verilmiştir. Tarım sektöründe birim işlenen ha başına kullanılan enerji miktarı, 1990 yılında 26.50 kWh iken, 1995 yılında 71.37 kWh ve 2000 yılında 146.19 kWh , 2005 yılında 200.98 kWh /ha değerine ulaşmıştır. Tarım sektöründe mekanizasyon ve ileri teknoloji uygulamalarının sonucunda, enerji kullanımı giderek artacaktır. Bu nedenle tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji kullanım etkinliğinin artırılması gereklidir.

Çizelge 2. Tarım Alanı Başına Enerji Tüketimi [19].		
Yıllar	Ekilen Alan (Milyon ha)	Tarım Alanı Başına Enerji Tüketimi (kWh/ha)
1990	21,7	26.50
1995	21,2	71.37
2000	21,0	146.19
2001	20,8	153.99
2002	20,8	167.79
2003	20,6	177.52
2004	20,3	191.87
2005	20,4	200.98

3. Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli **Çizelge 3**'de verilmiştir. Günümüz Türkiye'sinde yenilenebilir kaynaklardan en çok klasik biyokütle enerji ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Jeotermal enerjiden yararlanma üçüncü sırada yer almakla birlikte, kullanımı sınırlıdır. Güneş enerjisi kullanımı düşük düzeyde iken, rüzgar enerjisi kullanımı giderek artış göstermektedir.

Çizelge3.Türkiye yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP: Mega Ton Eşdeğeri Petrol) [20].					
Yenilenebilir Enerji Türü		Kullanım Enerji Türü	Doğal Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Güneş Enerjisi		Elek.Enj. (milyar kWh)	977000	6105	305
		Isı (MTEP)	80000	500	25
Hidrolik Enerji		Elek.Enj. (milyar kWh)	430	215	124,5
Rüzgar Enerjisi	Direkt Rüzgar Enj. Karasal	Elek.Enj. (milyar kWh)	400	110	50
	Direkt Rüzgar Enj. Denizsel	Elek.Enj. (milyar kWh)	-	180	-
	Deniz Dalga Enj.	(milyar kWh)	150	18	-
Jeotermal Enerji	Elek.Enj.(milyar kWh)		-	-	1,4
	Isı (MTEP)		31500	7500	2843
Biyokütle Enerjisi	Yakıt (klasik MTEP)		30	10	7
	Yakıt (modern MTEP)		90	40	25

Teknoloji ve uygulama alanlarına bağlı olarak tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı **Çizelge 4**'de verilmiştir. Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda: İşletme giderleri azalır, dış alım yapılan fosil enerjilere olan gereksinim azalır, elektriksel güç için aşırı talep ve çevre kirliliği azalır. Böylece ekonomik gelişme sağlanır. Tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojisinin seçimi; gerekli enerjinin çeşidi, yenilenebilir enerji kaynağı ve tarımsal yapı ve işlemlerin tasarımına bağlıdır. Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen başlıca işlemler ise sulama, ürün kurutma, sera ve hayvan barınaklarının ısıtılma ve soğutulmasıdır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak; motorin, doğal gaz, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı veya propan gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Tarımda güneş enerjisi kullanımının planlı biçimde artırılması gereklidir. Tarımsal yapıların ısıtılmasında güneş enerjisiyle pasif veya aktif olarak ısıtma uygulamalarından yararlanılmalıdır.

Güneş enerjisi ile yüksek sıcaklıktaki uygulamalar, soğutma uygulamaları ve fotovoltaik teknoloji ile üretilen elektrikten tarımsal üretimde yararlanılabilir. Tarımsal sulama işlemlerinde güneş pillerinden yararlanılması durumunda: gerekli su miktarı, sulama gereken zaman, su kaynağının durumu, gerekli su miktarı, kuyu derinliği, suyun kimyasal yapısı ve su depolama tanklarının kapasitesi gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

Yenilenebilir enerji ve üretim sistemlerinde yaşanan yavaş gelişmenin nedeni genellikle yerleşik çıkar ilişkileri, mevcut altyapının yetersizliği, ekonomik koşullar, finans bulmaktaki

Çizelge 4. Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı [21].

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Teknoloji	Uygulama Alanı	Yararları
Güneş Enerjisi	Aydınlatma	Doğal aydınlatma	Aydınlatma giderleri azalır. Üretim artışı sağlanır.
	Fotovoltaik	Elektrik üretimi	Elektrik gereksinimi karşılanır. Bina tasarımına veya çatıya yerleştirilebilir.
	Ortam ısıtma	Ortam ısıtma	Yaşam koşulları iyileşir.
	Ortam ısıtma/toplaç	Ön ısıtma ve ısıtma	Hava kalitesi iyileşir.
	Su ısıtma	Sıcak su	Sıcak su gereksinimi karşılanır.
Hidrolik Enerji	Hidroelektrik	Elektrik üretimi	Yapılan yatırım sadece enerji için değil sulama ve taşkın amaçlı kullanılabilir.
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar türbini	Elektrik üretimi Mekanik güç	Gelişen teknoloji ile birlikte enerji birim maliyetleri düşmektedir. Dışa bağımlı değildir. Çevre dostudur.
Biyokütle Enerjisi	Biyoenerji yakıtları	Elektrik üretimi Ortam ısıtma ve soğutma Su ısıtma ve soğutma Biyodizel yakıtı	Atık kontrolü sağlanır. Çevreye olan olumsuz etkiler önlenir. İşletme giderleri azalır. Yedek güç sağlanır.
Jeotermal Enerji	Jeotermal ısı pompası	Sera ısıtma Hayvan barınakları Balık çiftlikleri Toprak ısıtma Ürün kurutma Mantar üretimi Toprak ıslahı	Isı değiştiriciler ile yapılan ısıtma ve soğutma uygulamalarında yaşam koşulları iyileşir.

zorluklar, bilimsel ve teknik yetersizlikler, yenilenebilir enerji teknolojileri ve kaynakları ile ilgili bilgi eksikliğine bağlanmaktadır. Tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve rüzgar enerjisidir. İşletme ölçeğinde yapılacak olan etkin bir mekanizasyon planlaması ile işletme için uygun mekanizasyon alt yapısı sağlanmalıdır.

- Yenilenebilir enerji teknolojileri konusunda ilerlemeler dünya genelinde takip edilmeli, ülke genelinde çalışmalar teşvik edilmeli ve desteklenmelidir,
- Avrupa'da olduğu gibi yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması için, yatırımcılara cazip bir pazar oluşturulmalıdır. Yatırımcılar hatta kullanıcılar devlet tarafından (vergi indirimi, kredi vb. ile) teşvik edilmelidir,
- Ülkesel ve yöresel gerçeklere uygun olarak, sivil toplum kuruluşları ve diğer aktörlerle birlikte yenilenebilir enerji yasası geliştirilmelidir,
- Sürdürülebilir enerjilerin toplumsal ve çevresel yararları nedeniyle ödüllendirildiği, kirlenici enerjilerin ise toplumsal maliyetlerinin fiyatlarına eklendiği bir sistem kurulmalı, yatırım kararlarında uzun vadede toplumsal maliyeti en düşük projelere öncelik verilmelidir,

- Tarım sektöründe yenilenebilir enerjilerin payını artıracak, öncelikli ulusal hedefler ile takvim, uygulama planı, destek ve yatırımlar belirlenmelidir,
- Tarımsal üretim işlemlerinde de enerji kullanım etkinliğine önem verilmelidir. İşletme ölçeğinde yapılacak olan etkin bir mekanizasyon planlaması ile işletme için uygun mekanizasyon alt yapısı sağlanmalıdır,
- İşletmelerin mekanizasyon alt yapısı için enerji verimliliği yüksek olan teknolojilerden yararlanılmalıdır,
- Tarım alet ve makineleri tam yükte ve verimli olarak çalıştırılmalıdır,
- Tarım sektöründe fosil kökenli enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerjilerin kullanılmasına ilişkin tarımsal destek politikaları, girdi kullanımı ve üretim optimizasyonu ile tarımda teknoloji transferi desteklenmesi gibi önlemler alınmalıdır.

5. Kaynaklar

- [1]. Kadioğlu S., Tellioglu Z., "Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri", TMMOB Türkiye Enerji Sempozyumu, s. 55-67, 1996.
- [2]. Bayram, A. Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Pirina: Üretimi, Özellikleri, Değerlendirilmesi. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 106-112, İzmir, 2001 .
- [3]. T.S. Uyar, Enerji Sorunu Nedir? Alternatif Enerji Çözüm müdür? NEU-CEE 2001 Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium, 23-26, Lefkoşa TRNC, 2001.
- [4]. N. Öztürel, R. Zılan ve A. Ecevit, Türkiye 'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin İzlenmesi Gereken Strateji, Planlama Politikaları ve Bunların Sosyal ve Siyasi Etkileri. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 28-32, İzmir, 2001.
- [5]. Öztürk, H.H. Türkiye Tarım Sektöründe Enerji ve Ekserji Kullanımı. Tarımsal Mekanizasyon 22. Ulusal Kongresi, Aydın, 08-10 Eylül 2004.
- [6]. Gowdy, J.M., Miller, J.L., Kherbach, H., 1987. Energy use in US agriculture. Southern Journal of Agricultural Economics 19 (2), 33-41.
- [7]. Pachauri, R.K., 1998. Economics of energy use in agriculture. Indian Journal of Agricultural Economics 53 (3), 213-222.
- [8]. Felloni, F., Thomas, I.W., Wandschneider, P., 1999. Evidence of the effect of infrastructure on agricultural production and productivity: implications for China. In: Wahl, T.I., Fuller, F. (Eds.), Chinese Agriculture and the WTO. IMPACT Center, Washington State University, Pullman December 1999.
- [9]. Karkacığer, O., Göktolga, Z.G., 2004. Input-Output Analysis of Energy Use in Agriculture. Energy Conversion and Management 46(9-10): 1513-1521, 2005.
- [10]. Barut, Z.B. ve Öztürk, H.H. Evaluation of Energy Inputs in Maize Production in Çukurova Region of Turkey. International Conference Science and Research –Tools of Global Development Strategy, Czech University of Agriculture Prague, Technical Faculty , Prague, Czech Republic, 24 September, 2004.
- [11]. Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I. ve Özmerzi, A. Energy Use Pattern of Some Field Crops and Vegetable Production: Case Study Antalya Region. Turkey. Energy Conversion and Management, 46(4): 655-666, 2005.

- [12]. Ören, M.N. ve Öztürk, H.H. Energy Input–Output Analysis in Field Crop Production in Southeastern Anatolia Region of Turkey. International Conference Science and Research –Tools of Global Development Strategy, Czech University of Agriculture Prague, Technical Faculty , Prague, 24 September, 2004.
- [13]. Özkan, B., Akcaoz, H. ve Karadeniz, F. Energy Requirement and Economic Analysis of Citrus Production in Turkey. Energy Conversion and Management 45(11-12): 1821–1830, 2003.
- [14]. Ültanır, M.Ö. 21. Yüzyıla Giderken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD- Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği, Yayın No. TÜSİAD-T/98-12/239, 1998.
- [15]. Yıldız, O., Öztürk, H.H. ve Başçetinçelik, A. The Determination of Energy Outputs/Inputs Rates at Some Products of the Çukurova Region. International Conference on Agricultural Engineering, Technical Papers and Posters: 391–392, 24-26 October 1990.
- [16]. Yılmaz, İ., Akcaöz, H. ve Özkan, B. An Analysis of Energy Use and Input Costs for Cotton Production in Turkey. Renewable Energy. 30(2): 145-155, 2004.
- [17]. Hatırlı, S.A., Özkan, B. ve Fert, C. 2004. An Econometric Analysis of Energy Input-Output in Turkish Agriculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9(6): 608-623, 2005.
- [18]. Enerji sektöründe sera gazı azaltımı çalışma grubu raporu sayfa 15 Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı Enerji işleri genel müdürlüğü Ankara 2006
- [19]. Öztürk, H.H ve Barut, Z.B. Türkiye Tarımında Enerji Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı: 1253-1264, 3-7 Ocak 2005.
- [20]. M.T. Gençoğlu ve M. Cebeci, Büyük Hidroelektrik Santraller ile Küçük Hidroelektrik Santrallerin Karşılaştırılması. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 265-271, İzmir, 2001.
- [21]. Öztürk, H.H. Türkiye Tarım Sektöründe Enerji ve Ekserji Kullanımı. Tarımsal Mekanizasyon 22. Ulusal Kongresi, Aydın, 08-10 Eylül 2004.

some suggestions for using renewable energy resources and for effectivity of energy were claimed under the light of data herein.

Taking into consideration the potential of renewable energy resource of Turkey: the most widely used ones among the renewable energy resource in today's Turkey are classical biomass energy and hydraulical energy. Although utilization of geothermal energy occupies the third place, its areas of usage is limited. While the utilization of solar energy is in low levels, usage of wind energy increases gradually.

When renewable energy resources are used in agriculture: some expenditures of operation decrease, the need for fossil energies to be exported go in low levels, the demands for electrical power in excessive levels decrease, environmental pollution decreases, and economical development is obtained somewhat. Selecting renewable energy resources to be utilized in agricultural production procedures depends upon the diversity of energy and renewable energy resources required, and the design of agricultural structures and operations. Fundamental operations of agriculture during which excessive amounts of energy are consumed are irrigation, drying products, greenhouse applications, and heating or cooling the shelters of animals. Some fuels such as diesel oil, natural gas, electricity, liquidified petroleum gas, propan, etc. are widely used during these operations. Utilization of the solar energy for agriculture must be increased in a scheduled way. Also, some passive or active applications of heating by means of solar energy must be used for heating the agricultural structures. The applications in high temperatures and cooling applications by means of the solar energy, and the electricity to be produced by photovoltaic technology can be utilized for agricultural production. If solar cells are used for agricultural irrigation purposes: Some characteristics such as the quantity of water required, desired duration of irrigation, the condition of water supply, depth of wells, chemical structure of water supply, capacity of water storage tanks, etc. should be taken into consideration.

Key Words: Renewable energy resources, fossil fuels, clean energy, environmental effect.

Using Renewable Energy Resources In Agriculture: Turkey's Example

Abstract

Turkey is a wealthy country for diversity and potential of renewable energy resources. The cost of these energy resources is too low, and therefore, they are never run out since they are renewable ones, and they don't constitute of any considerable threat for environment and human health when they are compared to conventional fuels. Economical applicability and application methods of renewable energy resources in the sector of agriculture constitute of some changes per regional conditions. Major renewable energy resources to be used effectively in agriculture are solar energy, wind energy, biomass energy and geothermal energy. In this study, the technologies of renewable energy resources those can be used for producing agricultural products, and their superiority and negativeness have been discussed in detail. As a result,

THE OVERSEAS PRIVATE INVESTMENT CORPORATION (OPIC) FİNANSMAN ALTERNATİFLERİ

Berat PEHLİVANOĞLU

PFS Finance

The Overseas Private Investment Corporation (OPIC) is an agency of the U.S. government that helps U.S. businesses invest overseas, fosters economic development in new and emerging markets, complements the private sector in managing risks associated with foreign direct investment, and supports U.S. foreign policy. In 2008, OPIC's Small and Medium Finance Department implemented an outreach program that resulted in the agency's consideration of more than 100 proposals for support of projects totalling \$2 billion in every conceivable sub-sector of renewable energy and sustainable development, including biomass, waste to energy, solar, hydro, geothermal, wind, reforestation, water purification, green housing, clean fuels and more.



Pehlivanoglu Finansal Danismanlik Hizmetleri ve Ticaret Limited Sirketi, ("PFS Finance") is a family owned Turkish limited company, established in November 2000.

PFS Finance comprises a team of specialists experienced in ECA-covered export financing; sub-agent structure with Banking and industry expertise.



The Overseas Private Investment Corporation (OPIC) is an agency of the U.S. government that helps U.S. businesses invest overseas, fosters economic development in new and emerging markets, complements the private sector in managing risks associated with foreign direct investment, and supports U.S. foreign policy. Established with the assistance of the Overseas Private Investment Corporation (OPIC), the Enterprise Development Network (EDN) is a set of strategic alliances among public and private sector organizations that utilizes a systematic approach to connect emerging market entrepreneurs and SMEs with debt and equity providers. OPIC and PFS Finance have signed an EDN Loan Originator agreement on May 27th, 2008.

At September 30, 2008, OPIC's largest finance and insurance exposure was in the following countries and sectors:

Country	US\$'000	Sector	US\$'000
Russia	\$972,192	Financial Services	\$4,786,506
Mexico	\$732,892	Power Generation	\$1,654,652
Nigeria	\$581,303	Oil and Gas Services	\$1,573,760
Turkey	\$523,628	Transportation	\$707,184
Colombia	\$419,896	Manufacturing	\$650,124

Requirements for OPIC Support

OPIC supports, insures and finances investment projects with substantial U.S. participation that are financially sound, promise significant benefits to the social and economic development of the host country, and foster private initiative and competition. OPIC will not support projects that could result in the loss of U.S. jobs, adversely affect the U.S. economy or the host country's development or environment, or contribute to violations of internationally recognized worker rights.

OPIC requires significant U.S. involvement in the projects it supports. OPIC expects a U.S. equity or debt investor to assume a meaningful share of the risk, generally through ownership of at least 25 percent of the equity of a project. Exceptions to the amount of U.S. investment requirement may be made in cases where a U.S. bank risk shares 25 percent or more with OPIC in the financing, or where U.S. brand-name franchisors, operators or contractors are significantly involved in the project on a long-term basis.

Normally, more than 50 percent of the voting shares of the overseas venture will be held by firms or persons from the private sector. However, financing may be offered to an entity in which government ownership of voting shares represents the majority, if it is contractually agreed that management will remain in private hands, and there is a strong showing of direct U.S. involvement in other respects.

OPIC support is available for new investments, privatizations, and expansions and modernizations of existing plants. Acquisitions of existing operations are eligible for financing if the investor contributes additional capital for modernization and/or expansion. OPIC generally can insure an acquisition of an industrial, commercial or other self-sustaining enterprise, subject to a finding of positive developmental benefits. Investments in certain sectors may be excluded from consideration based on statutory or policy guidelines. Financing is not available for projects that can secure adequate financing from commercial sources. Investors are required to confirm that they have considered private sector political risk insurance before OPIC will issue coverage.

Financing

OPIC financing provides medium- to long-term funding through direct loans and loan guaranties to eligible ventures. OPIC can provide financing on a project finance or a corporate finance basis. OPIC generally looks for repayment from the cash flows generated by projects rather than relying solely on sponsor guaranties.

OPIC carefully analyzes the economic, technical, marketing and financial soundness of each project. There must be adequate cash flow to pay all operational costs, service all debt, and provide the owners or sponsors with an adequate return on their investments. Sponsors may not need to pledge their own general credit beyond the required completion undertakings if the project is sufficiently self-sustaining as a project finance transaction. In a corporate finance loan structure, OPIC looks to the credit standing and cash flow of an existing corporate entity, as well as the project company to support debt repayment.

OPIC can provide medium- and long-term financing in countries where conventional financial institutions often are reluctant or unable to lend on such a basis. Since its services support private sector investments in financially viable projects, OPIC does not offer concessionary terms usually associated with government-to-government lending or grant-type financing, nor does it typically offer financing of export sales unrelated to long-term investments in overseas businesses. OPIC will not lend to projects that can secure adequate financing from commercial sources.

▶ **Loan Amount:**

- ▶ OPIC can provide direct loans from \$100,000 to \$250 million
- ▶ Determine "Total Project Costs"
 - Hard costs: buildings, land, equipment
 - Soft costs: legal costs, design and architectural costs, financing costs
- ▶ Determine an appropriate leverage for the deal (OPIC max is 75% of TPC)

Loan Terms

The repayment schedule of a direct or guaranteed loan will be designed taking into consideration the purpose of the loan and the projected level of cash flows to be generated in the transaction. The cash flows must be sufficient to meet interest and principal payments, and to provide for an adequate return to equity investors. The terms of such loans will typically provide for a final maturity of at least three years, including a suitable grace period during which only interest is payable.

▶ **Repayment Terms:**

- ▶ Loan terms 3-20 years depending on:
 - Purpose of the loan
 - Projected cash flows
- ▶ Quarterly or semi-annual payments
- ▶ Grace period on principal during start-up

Interest rates on OPIC loans will vary with OPIC's assessment of the commercial and political risks involved. They will also reflect interest rates in long-term capital markets in the United States. Base rates of interest on guaranteed loans are comparable to those of other U.S. government-guaranteed issues of similar maturity. To that base rate, OPIC adds its guaranty fee or risk spread, calculated as a percentage of the outstanding principal amount, depending upon commercial and political risk. Both fixed and floating interest rates are available, although direct loans are financed on a fixed rate basis only.

In general, OPIC expects that its creditor participation will be on a senior basis, *pari passu* with the holders of other senior debt, and that it will share in a first lien on fixed assets and any other appropriate collateral. A host government guaranty normally is not required by OPIC. Other structures will be considered on a case-by-case basis.

Consistent with commercial lending practices, upfront fees range from 1 percent to 2 percent, commitment fees, maintenance fees and cancellation fees may be charged, and reimbursement is required for related out-of-pocket expenses, including fees for outside counsel and the services of experts or consultants.

▶ **Cost of Financing:**

- ▶ Based on an assessment of the risks. For OPIC, rate is:
 - U.S. Treasury rate (cost of funds)
 - Risk spread
- ▶ Other costs include an upfront facility fee, commitment fees, and an annual maintenance fee
- ▶ Outside legal counsel and/or the services of experts or consultants

Application Procedures

The sponsor of a potential project interested in obtaining financing from OPIC should submit an Application for Financing (Form 115) as well as a Sponsor Disclosure Report (Form 129). The application lists all required attachments including a business plan. These documents should establish general eligibility, and give OPIC the basis on which it can respond to the amount and basic terms of the requested financing.

The application should include:

- a description of the project
- the identity, background and audited financial statements of the project's proposed principal owners and management
- planned sources of supply, anticipated output and markets, distribution channels, competition, and the basis for projecting market share
- a summary of project costs and anticipated suppliers of capital goods and services
- a financial plan, including the sources and uses of funds for the project, and the proposed collateral package and sponsors guaranties available for the financing
- pro forma financial statements of the proposed project or corporate borrower and accompanying assumptions, which include the requested loan term, interest-only grace period and debt service coverage ratios; and
- a description of the contribution the business is expected to make to local economic and social development.

The data prepared and submitted by sponsors to substantiate sources of equity, raw materials, technical feasibility and market demand are carefully analyzed together with the financial forecasts.

Following OPIC's preliminary review and approval, the sponsors may be asked to provide additional economic, financial and technical information.

In some instances, OPIC will issue a retainer letter which may indicate that OPIC will need to retain independent consultants to assist in its analysis and review. Such information is essentially that which any board of directors would need before committing its company to an investment. Guidelines for formal applications will be provided, though the type of information to be supplied will vary with the nature of the proposed business. The time required to review and approve an application depends on the scope and detail of the data presented, as well as on the complexity of the transaction, and typically varies from two to six months.

- ◆ For OPIC loans up to \$10 MM Credit Policy and Director/Vice President approval
- ◆ For OPIC loans over \$10 MM and up to \$30 MM Credit Committee and Investment Committee approvals (these are internal loan approving committees that review critical credit and OPIC policy issues)
- ◆ For OPIC loans over \$30 MM Credit Committee, Investment Committee, and Board of Director approvals (meets four times per year)

Priority is given to those projects which best meet OPIC's developmental and foreign policy mandate. In addition, the thoroughness and timeliness with which all the information required by OPIC is developed and submitted is a key determinant of the timeliness of the review process. Approval time may be reduced in corporate financing transactions since there are fewer project issues to be researched and, generally, collateral is located in the United States.

OPIC and Renewable Energy

While OPIC has financed hydro, geothermal, clean water, and other sustainable development projects, recent commitments include a loan for a 2 MW photovoltaic power project in India, a loan for a project in Liberia to remove fallow rubber trees and utilize the wood chips for biomass power plants, a loan to a nonprofit to expand its capital base to lend to small clean energy projects in emerging markets worldwide, a loan for the development of a compact fluorescent lighting manufacturing plant, and a loan for the construction of 50 "green" residential homes. A number of other renewable energy and sustainable finance projects are in the due diligence phase including a biomass power project, a geothermal project, a biofuel production project and solar panel installations.

In September 2008 OPIC's Board of Directors approved \$505 million in financing for six new private equity funds designed to invest in clean and renewable energy projects in emerging markets worldwide. The funds will mobilize a total of \$1.6 billion in capital for the sector, representing an historic commitment by OPIC to renewable energy. The summary below provides detail on four of the approved funds.

FE Global Clean Energy Services Fund IV. OPIC is providing up to \$55 million in financing to the fund, which will invest in renewable energy and energyefficient emission reduction projects in Asia, Central and Eastern Europe, and Latin America. OPIC selected as fund manager GEM Management IV Corp., an affiliate of FE Clean Energy Group, Inc., a leading private equity fund management firm focused on renewable energy and energy efficiency investments in emerging markets. These investments are expected to generate tradable carbon credits for Greenhouse Gas emission reductions. The fund has a target capitalization of \$250 million.

Middle East & Asia Capital Partners Clean Energy Fund II.

OPIC is providing up to \$50 million in financing to the fund, which will invest in a wide spectrum of renewable energy projects throughout Asia, with an emphasis on India, Indonesia, Malaysia, Pakistan, Philippines, Thailand and Vietnam. It will invest in equity, convertible debt and mezzanine debt in projects wind farms and geothermal production, for example as well as in manufacturing and service companies that serve the renewable and biofuels sectors. OPIC selected as fund manager Middle East & Asia Capital Partners Pte., Ltd (MEACP), a private equity platform connecting the Middle East and Asia. The fund has a target capitalization of \$150 million. The fund will be raised in parallel with the targeted \$250 million MEACP Clean Energy Fund, which will invest in parallel with the fund in investments eligible for OPIC support.

GEF South Asia Clean Energy Fund. OPIC is providing up to \$100 million in financing to the fund, which will invest in companies and projects that support the need for cleaner forms of energy in the region including those utilizing solar, wind, hydropower, biofuel and natural gas. The fund will also invest in technologies that promote: energy efficiency; improved batteries and storage, clean transportation, clean water systems, and environmental and energy efficient buildings. OPIC selected as fund manager GEF Management Corporation, which has previously managed two successful OPIC Funds, Global Environment Emerging Markets Fund, L.P. and Global Environment Emerging Markets Fund II, L.P. The fund has a target capitalization of \$300 million.

US Renewables Group. OPIC is providing up to \$100 million of capital to be coinvested in renewable power generation, clean fuels and renewable energy value chain investments in emerging markets worldwide. US Renewables Group is the fund manager, and OPIC capital will be managed in connection with the USRG Power and Biofuels Fund III. The fund will target investments in asset focused, renewable energy projects, or platform companies that are projected to have strong cash flows within two years and have low technology risk. The fund has a target capitalization of \$300 million.

OPIC looks forward to continuing to expand its debt portfolio of renewable energy and partnering with investors to support long term sustainable development in emerging markets.

SOLAR TRI-GENERATION MODULE FOR HEATING, COOLING, AND POWER

Birol KILKIS

Baskent University, Sustainable Energy Systems
Research Center (SERSRC)
Ankara

Abstract

A synectic approach was employed to conceptualize and then to develop a solar cell-based, integrated module to utilize the waste heat portion of the incident radiation and to provide electric power to the sandwiched, thermo-electric module for cooling. Heat recovered is customized for a so-called bottoming-cycle metal-hydride unit to increase the electric power output of the solar tri-generator system. This paper introduces the concept, design, and parametric efficiency and other performance characteristics of a prototype design and discusses its environmental benefits with respect to satisfaction of the HVAC and domestic power demands in buildings.

Introduction

Solar photo-voltaic technology is becoming more and more important for utilizing non-depleting, alternative energy sources and harvesting the solar energy in the quest of reducing harmful carbon emissions. Current technology however is sensitive to the temperature of the solar photovoltaic module in such a sense that the already relatively low thermo-electric conversion efficiency further decreases with the temperature. This means that while the solar energy is the maximum in hot summer days, the PV efficiency is the lowest, unless the system is cooled, which by itself may mean additional power loss. Even if the heat is removed by an efficient and feasible system, in summer months the dominant load is cooling, not heating. Therefore the heat reclaimed during the cooling process may exceed the domestic hot water and other similar loads. This means that excess heat should be converted to cooling effect by an absorption system. Although this is technically feasible, the system mechanics becomes complicated and operating, installation costs may prove to be uneconomical. In this study an electronic version of the concept has been invented, in which the system comprises an integrated, sandwiched unit that employs the electro-thermal effect both for heating and cooling.

CONCEPT

In this research, the solar photovoltaic module concept was integrated with thermo-electric modules through a one-dimensional

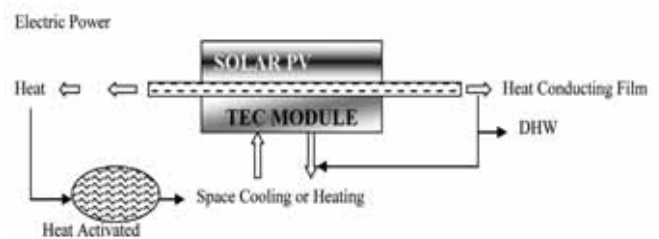


Figure 1. Basic concept [1].

The experimental phase of this study is supported by Baskent University

heat conducting sheet. The basic concept is shown in Figure 1.

According to Figure 1, the solar PV module and the TEC module set are interfaced, sandwiched, and paneled through a thermal conductive sheet of very high thermal conductance in lateral direction. The same sheet insulated both modules thermally, because this commercially-available sheet does not conduct heat across its thickness. This sheet performs in such a manner that while the heat is transferred to a proper heat sink at the demand point, it cools the PV module and maintains the proper temperature difference across the TEC module. During a typical operation, the solar PV module generates electric power at its optimum performance level, because it is cooled. With a simple control, this solar power may be split between the power need of the building and the power need of the TEC module. When the TEC module is exposed directly or indirectly by a second thermally conducting sheet layer to the indoor space to be heated or cooled, it electronically heats or cools the indoor space primarily by thermal radiation and secondarily by natural convection on its exposed surface, depending upon the polarity of the dc power generated by the PV module. In the cooling mode, TEC module absorbs heat from the indoor space and transmits it to the same heat conducting sheet between the TEC module and the PV module. Thus this system multiplies the heat gain that may be usefully utilized in the same indoor space or other building zones. If the cooling load is the dominant load, part of this heat may be further utilized in a heat activated cooling system like a metal-hydride cooling system. During the space heating season in win-

ter, a simple switch of the polarity makes the same TEC module a radiant space heating module. In this case, the heat conducting film brings in the PV heat into the indoor space to be heated. The fundamental advantage of this concept is the fact that power, heat and cold generation takes place in the same square footage of the solar PV surface area. This is especially important in buildings because solar exposure area is at premium and quite limited. In other words three functions in one unit solar incident area are accomplished. Additionally excess heat may be used for other purposes like domestic hot water (DHW) preparation.

Design

The concept was designed and a prototype was manufactured with an emphasis of the possibility of using this concept as a building element on the solar exposed walls with an optimized inclination. This block may replace non-load bearing building elements like bricks, while it also acts like a perfect insulating material due to its heat conducting film, which does not transmit heat across its thickness direction. This in fact introduces a fourth useful function to the concept, namely thermal insulation of the building envelope. Figure 2 shows the wall application schematics. According to this figure, the heat exchanging me-

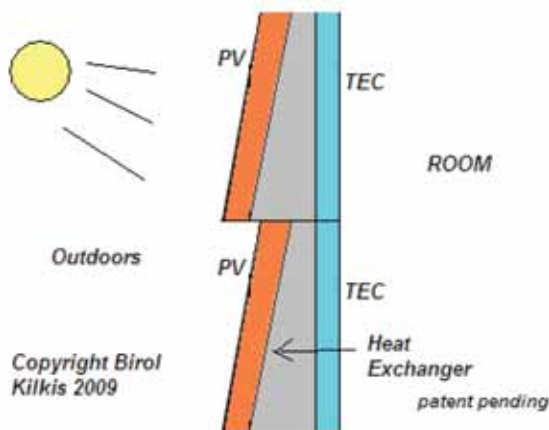


Figure 2. Exposed wall application [1].

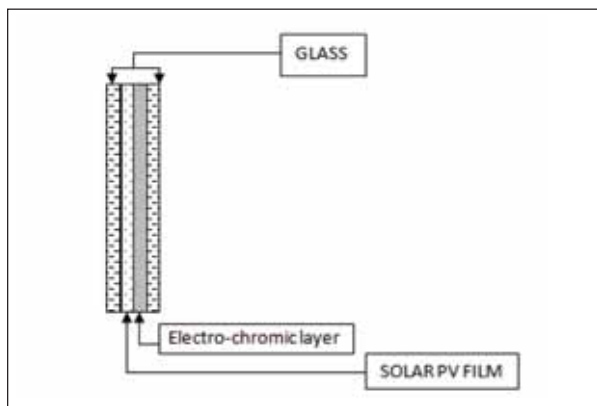


Figure 3. Solar PV and shading system on fenestration exposure of the building [2].

dium is the heat conducting sheet that may be connected to a hydronic circuit at the end of the walls; one supply and one return circuit that transfers the heat to demand points or additional heat activated cooling systems indoors. The inclination for optimum performance with minimum shading of adjacent modules is accomplished by conventional insulating material. The latter application also satisfies sound and vibration insulation needs against outdoor agents. This system may be complemented by a similar application on solar facing fenestration that is depicted in Figure 3. In this system there are two transparent layers, namely a transparent PV film and a solar shading sheet of electro chromic nature. The solar shading sheet may be automatically controlled by diverting part of the solar-trigeneration power to actuate the electro chromic layer.

Application

A prototype was developed and manufactured [3] for testing the performance of a unit panel. The basic design, which shows the application module is shown in Figure 4.

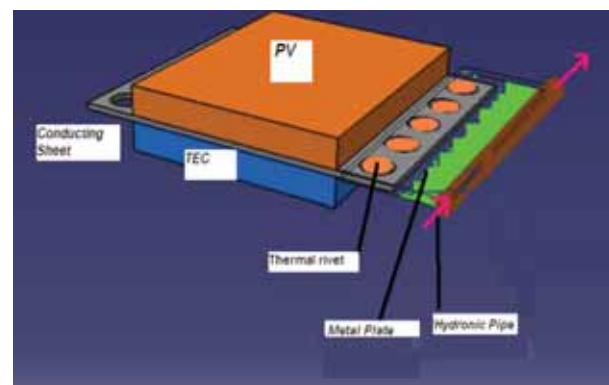


Figure 4. Single tri-generation module [2, 3].

In this unit tri-generation panel, the conducting sheet is thermally riveted to a sheet metal at one end. The metal sheet is connected to a hydronic copper pipe, in which water circulates to transfer the heat from the module to points of use, thus accomplishes the thermal sink function both for the PV module and the TEC module. The calculated performance of the system under ideal with properly sized and selected PV and TEC modules is summarized in Figure 5. In this calculation the cooling COP of TEC is 0.70, PV efficiency is 0.2. The solar power generated is equally split between power supply and TEC activation. Depending upon the incident total solar insolation on the module, for example at 160 W, the breakdown of the useful outputs are:

- Total solar electric power capacity = 32 W.
 - 16 W to electric demand
 - 16 W to TEC
- TEC cooling capacity = 11.2 W at and indoor DB air temperature of $T_a = 295 \text{ K}$ (22°C)
- Solar heat capacity = 115.2 W at $T_{\text{heat}} = 343 \text{ K}$ (70°C)

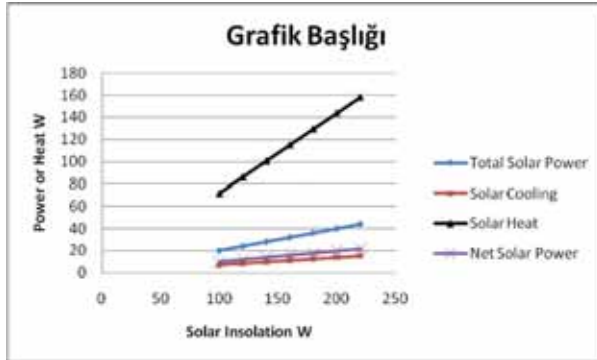


Figure 5. Tri-generation system performance under ideal conditions.

The first-law efficiency of the module under ideal conditions is 142.4 W/160 W, which is 89 %.

Exergy Evaluation

The first-law efficiency does not distinguish the exergy of the tri-generation module supplies that are electric power, heat, and cold and their balance with the indoor space demands. In order to make a better analysis of the module, Rational Exergy Management Model (REMM) was used for the exergy analysis [4]. In REMM model all systems may be analyzed in terms of an ideal Carnot cycle and the associated temperatures. In employing this model, it is possible to map solar, wind, mechanical and other energy sources that may not be directly represented by a temperature field, into an equivalent temperature domain. For solar energy, it is [4]:

$$\frac{P_{si}}{1367 \text{ W/m}^2} = \frac{\left(1 - \frac{283 \text{ K}}{T_{solar}}\right)}{\left(1 - \frac{T_g}{T_{sun}}\right)} \quad (1)$$

Here P_{si} is the peak solar insolation on-site (800 W/m^2), T_{solar} is the mapped solar energy supply temperature for ideal Carnot cycle. T_{sun} is 5800 K. T_g is the reference environment temperature (283K) based on average ground temperature at the given site. Above equation yields T_{sun} to be 683 K. Then the supply exergy to the tri-generation module at the given conditions given above (160W), according to the REMM module is:

$$\varepsilon_{sup(i)} = \varepsilon_{solar} = \left(1 - \frac{T_g}{T_{solar}}\right) \times P_i = \left(1 - \frac{283}{683}\right) \times 160 \text{ W} = 93.7 \text{ W}. \quad (2)$$

On the demand side of the solar tri-generation system:

$$\varepsilon_{heat} = \left(1 - \frac{T_g}{T_{heat}}\right) \times P_{heat} = \left(1 - \frac{283}{343}\right) \times 115.2 \text{ W} = 20.1 \text{ W} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{electric} = 16 \text{ W}$$

$$\varepsilon_{cooling} = \left(1 - \frac{T_g}{T_s}\right) \times P_{cold} = \left(1 - \frac{T_g}{T_s}\right) \times 11.2 \text{ W} = 0.37 \text{ W} \quad (4)$$

Here T_s is the TEC cooling side surface and is taken 291 K (18°C). The exergy supply on the demand side of the solar tri-generation module is the sum of the above three exergy values, namely 36.47 W. The overall rational exergy management efficiency, Ψ_R of the module is:

$$\Psi_R = 36.47 \text{ W} / 93.7 \text{ W} = 0.389. \quad (5)$$

Compare this with only electric power generating PV case, which delivers 32 W electric power only. In this case;

$$\Psi_R = 32 \text{ W} / 93.7 \text{ W} = 0.34, \quad (6)$$

and its first-law efficiency of 0.20.

Conclusions

Solar tri-generation module increases both the first-law efficiency and the rational exergy management efficiency. The first-law efficiency increases from 0.20 to 0.89 and the Ψ_R value increases from 0.34 to 0.389. The relatively small increase in Ψ_R is due to the fact that COP of the TEC element in this case study is 0.7. In further research, use of better TEC modules with higher COP values will help to increase the Ψ_R value even higher. Yet the solar tri-generation module has important implications in replacing carbon emissions. The carbon emissions mitigation potential of a simple PV module and a solar tri-generation module per unit load, when REMM model is incorporated may be deduced from the following equation [4, 5]:

According to this equation a solar tri-generation module may

$$\frac{CO_{2PV}}{CO_{2trigen}} = \frac{\frac{1}{\eta_{PV}}(1 - \Psi_{RPV})}{\frac{1}{\eta_{trigen}}(1 - \Psi_{Rtrigen})} = \frac{\frac{1}{0.2}(1 - 0.34)}{\frac{1}{0.89}(1 - 0.389)} = 4.8 \quad (7)$$

replace 4.8 times more carbon emissions from the stock when compared to a simple solar PV unit occupying the same solar exposed surface area, like on the roof of a house. This study reveals that it is quite important to consider both first and second-law thermodynamics, especially in the REMM format in order to direct and guide future solar PV and TEC applications in hybrid format for reducing carbon emissions effectively

References

- 1- Kılış, B. "Solar Trigeneration Module" US provisional Patent Application, 2008.
- 2- Kılış, B. and Kılış, Ş. "The New Example of High Performance Building in Turkey: Natural Lighting of the Building" ASHRAE Winter Meeting Seminar Presentation, Orlando, January 2010.
- 3- Kazancı, O. ve Sueri S. "50 W Gücünde, Güneş ve Rüzgar

Enerjisi Kullanan Melez Bir Tri-jenerasyon Modülünün Matematiksel Modelinin Oluşturulması ve Prototip Üretimi, Bitirme Projesi ara raporu, Başkent Üniversitesi, Ocak 2010.

- 4- Kılış, Ş. "Development of a Rational Exergy Management Model to Reduce CO₂ Emissions with Global Exergy Matches", Honors Thesis, Georgetown University, 2007.
- 5- Kılış, Ş. "A Rational Exergy Management Model for sustainable buildings to reduce compound CO₂ emissions, Proceedings of the 40th Congress on HVAC&R – KGH, pp. 391-412.

SÜRDÜRÜLEBİLİR TAŞIMACILIKTA GÜNEŞ ENERJİLİ ARABALAR

Bünyamin YAĞCITEKİN

İstanbul Ulaşım A.Ş.
Ferhatpaşa Metro Tesisleri
Elektrik-Elektronik Tesisler Müdürlüğü

Selçuk TUNA

İstanbul Ulaşım A.Ş.
Ferhatpaşa Metro Tesisleri
Elektrik-Elektronik Tesisler Müdürlüğü

Dr. Beyhan KILIÇ

İstanbul Ulaşım A.Ş.
Ferhatpaşa Metro Tesisleri
Elektrik-Elektronik Tesisler Müdürlüğü

Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları sahip oldukları çeşitlilikleri, kullanılabilirlikleri, çevre dostu olmaları vb. gibi birçok olumlu yönlerinden dolayı gelecekte sürdürülebilir enerji kaynakları temelini oluşturmaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, su gücü enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi, gelgit vs. gibi birçok formda kullanılmaktadır. Birincil enerji kaynağı olan güneş; kömür, petrol, biyokütle ve rüzgâr vb. gibi birçok enerji kaynağının temelini oluşturur. Yeryüzüne gelen güneş ışığı, güneş enerji teknolojileri sayesinde birçok şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi en genel olarak ısı dönüşümü ve elektrik enerjisine dönüşüm şeklinde kullanılır. Güneş enerjisi modüler olabilen, kullanım kolaylığına sahip, işletme giderleri düşük ve çok küçük güçlerden(W), çok büyük güçlere(MW) kadar tesis edilebilen temiz enerji kaynağıdır.

Bu çalışmada çok geniş uygulama alanlarına sahip olan güneş enerjisinin, fotovoltaik(PV) uygulama alanlarından biri olan güneş arabalarında kullanımı, fotovoltaik tasarım kriterleri, elektrik enerjisi depolama sistemleri analiz edilmiş, güneş arabalarının günümüzde ve gelecekte kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistemler, ulaşım, güneş enerjisi, yenilenebilir enerji, güneş pili, elektrik enerji depolama sistemleri.

1.Giriş

Enerji tüketiminde dünya genelinde fosil enerji kaynakları önemli bir pay oluşturmaktadır. Küresel ısınmanın ve iklim değişikliklerinin önlenmesi, CO₂ salımının azaltılması için fosil kaynaklı enerji kullanımının azaltılması gerekmektedir. Bu bağlamda birçok ülke ulusal ve uluslararası antlaşmalar imzalamaktadırlar.

Dünya enerji kaynakları kullanımı sektörel olarak incelendiğinde birincil enerji kaynaklarının beşte biri yalnızca ulaşım sektörü tarafından kullanılmaktadır.[1]. Dünya petrol tüketiminin %60'ı aynı şekilde ulaşım sektöründe gerçekleşmektedir. Tüm bunlarla birlikte dünya CO₂ salımının %25,5'i ulaşım sektörü tarafından, ulaştırma

sektörünün içinde karayolu taşımacılığı ise tüm CO₂ salımının %16'sını tek başına üretmektedir [2].

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının ulaşım sektöründe kullanımını arttırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan bazıları hidrojen enerjisiyle çalışan yakıt pilli araçlar, benzin ve hidrojen ortak kullanımı ortak olan hibrid araçlar, güneş enerjisini doğrudan elektrige çeviren güneş pilli araçlar diye sıralanabilir. Özellikle otomobil kullanımının arttığı metropollerde bu sebeplerden dolayı temiz araç tasarımlarının önemi daha da artmaktadır.

Tüm bunların yanında yakın gelecekte fosil kaynaklı enerjilerde arz sıkıntısının ortaya çıkacak olması, kaynak azalmasına bağlı olarak fiyat artışı da yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmaktadır.

Güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılabilmesinden, modüler olarak kurulabilmesinden ve istenilen güç değerinde tasarım kolaylığından dolayı otomobillerde kullanımı uygun görülmektedir. Bu amaçla bir çok devlet güneş enerjisini ulaşım araçlarında kullanımını teşvik etmek için destek sunmakta ve yarışlar düzenlemektedir. Bunlardan en önemlisi dünyada (bizim ülkemizde dahil olmak üzere) birçok ülkede güneş enerjili araba yarışlarının düzenlenmesidir. Bu amaçla güneşe ilginin yönelmesi, uygulanabilir ve kullanılabilir tasarımların ortaya çıkmasının teşvik edilmesidir. Bu bildiride güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin güneş arabalarında kullanımı ile ilgili analizler yapılacaktır. Konsept olarak hazırlanacak olan arabaların isteğe bağlı olarak fotovoltaik tasarım kriterleri ve depolama sistemleri değişiklik göstermektedir.

2. Güneş Enerjisi

İnsanlık enerjiye bağımlıdır. Yaşam standartlarının sürdürülebilir olması için çok miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Yeryüzündeki birincil enerji kaynağı güneştir. Güneşteki füzyon sürecinden oluşan enerji değeri 1370 W/m²'dir. Ancak dünya yüzeyinin bir bölümünün sürekli bulutlu olması, yansımalar ve güneş geliş açısının

değişimi gibi sebeplerden dolayı yeryüzüne 0–1100 W/m² arasında enerji düşmektedir. Metrekareye düşen bu enerji miktarı bile dünya enerji ihtiyacının çok üstündedir. Dünyada güneş enerjisinden binaların ısıtılmasında, su damıtılmasında (distilasyon) ve kurutmada, güneş fırınlarında, kaynak yapımında, havalandırma sistemlerinde, doğrudan elektriğe dönüştürülerek enerji elde edilmesinde ve hidrojen üretiminde kullanılmaktadır [3]. Fotovoltaik pillerin (PV) yaygın kullanımı ile elektrik üretiminin maliyeti, sabit fiyatlarla 8 kat düşmüş ve pillerin enerji verimi % 30'a çıkmıştır[4]. Ülkemizin güneş enerjisi bir yılda 36 milyon ton kömüre eşdeğerdir. Ülkemizde bu enerjiden geçtiğimiz yıllara kadar sadece konutlarda sıcak su temininde yararlanılmaktaydı ancak son yıllarda birçok işletme ve devlet kurumu güneş enerjisinden elektrik üretimi için çalışmalar başlatmışlardır. Şüphesiz 2005 yılında çıkarılan yenilenebilir Enerji kanunun etkisi bu ilerlemelerde en önemli faktördür. Türkiye'de toplam endüstrinin % 40'i güneş enerjisinin yüksek olduğu Ege, İç Anadolu, Akdeniz ve Güney Anadolu bölgelerindedir. Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle güneş enerji potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır.[5]

2.1 Güneş-Elektrik Dönüşüm Sistemleri

Güneş enerjisinden elektrik üretimi doğrudan dönüşüm ve dolaylı dönüşüm olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Dolaylı dönüşümde, güneş ışınımı ısıya çevrilir ve bu ısı termodinamik bir işlem sonucunda mekanik güç ve buradan elektrik üretilir. Doğrudan dönüşümün günümüzde en yaygın yöntem ise fotovoltaiik dönüşümdür.

2.1.1 Fotovoltaiik Dönüşüm

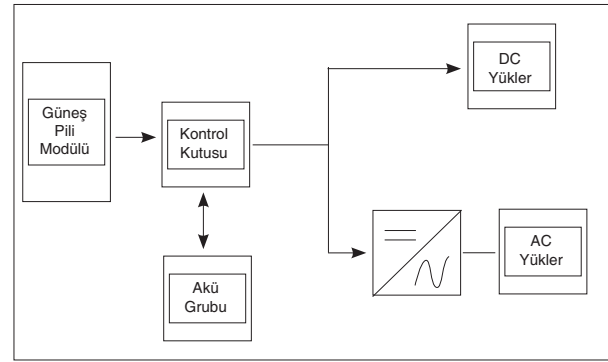
Fotovoltaiik(PV) sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüşüm yapan yarı iletken yapılardır. fotovoltaiik sistemler hücre şeklinde dirler ve güneş pili olarak adlandırılırlar. Güneş pilleri, güneş enerjisindeki fotonları termodinamik bir işleme veya bir akışkana gerek duymadan doğrudan elektriğe çevirirler. Güneş pilleri yalnız başlarına düşük gerilim ürettikleri için birbirleriyle seri bağlanarak modüller oluşturulurlar ve istenilen gerilim seviyesine bu sayede ulaştırılırlar. Sistemde akım düzeyinin ayarlanması istenirse modüller paralel bağlanarak akım değeri yükseltilebilir. Güneş pilleri fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman güneş pillerinin uçlarında gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaiik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur. Güneş pillerinin yapımında pek çok farklı maddeler kullanılır. Bunlar arasında kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum vb. sayılabilir.

2.1.2 Güneş Pili Sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisi ihtiyacı olan bütün uygulamarda kullanılabilir. Genellikle güneş pili sistemleri; güneş pili modülleri, aküler, invertörler, akü şarj-deşarj kontrol cihazları, çeşitli elektronik haber-

leşme ve kontrol aygıtlarından oluşurlar. Bu sistemlerde ihtiyaca bağlı olarak güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda, enerji ihtiyacının arttığı pik değerlerde ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde aküler bulundurulur. Güneş pili modülleri elektrik enerjisi üretir ve bu enerji ihtiyaç olan yerde kullanılır, eğer enerji fazlalığı varsa üretilen enerjinin bir kısmı akülerde depolanır. Ve enerji yetersiz olduğunda yüke gerekli olan enerji akülerden alınır. Akünün aşırı şarj vedeşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur. Aşağıda bir güneş pili enerji sisteminin genel şeması verilmektedir.



Şekil 1. Genel güneş pili enerji sistemi şeması

3. Güneş Arabaları

Bir noktadan diğer bir noktaya hareket edilirken içten yanmalı motorlar kullanıldığında, motorda üretilen mekanik enerjisinin ancak %10'u yer değiştirme için yapılan işte kullanılır. Geriye kalan %90 kısmılık enerji ise çeşitli sebeplerden dolayı(sürtünme kuvveti vb. gibi) zayı olur [6]. Ayrıca içten yanmalı motorlu araçlardan çevreye ve insana çok büyük zararları olan hidrokarbon, azot oksitleri, kurşun, çinko ve kadmiyum gibi ağır metaller verilmektedir. Motorlu araç kullanımının sürekli arttığı günümüzde birçok nedenle birlikte fosil yakıt kullanan araçların hava kirliliğine etkisi çok büyüktür. Öyle ki Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl yaklaşık olarak 60000 insan hava kirliliğine bağlı sebeplerden dolayı ölmektedir. Bu hava kirliliğinin yaklaşık olarak dörtte biri arabaların egzostlarından çıkan zehirli gazlardan dolayı oluşmaktadır [7]. Yukarıda sadece bir kısmına değinilen problemlerden dolayı araç teknolojilerinde birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bunlardan birkaçı; yakma teknolojilerinin geliştirilmesi ve artık yakıt miktarının azaltılması, hibrit araçların piyasaya çıkarılması (içten yanmalı motorların, hidrojen ile beraber kullanılması), büyük otomobil üreticilerinin yakıt pilli üzerine çok büyük yatırımlar yapılarak araştırma ve geliştirme çalışmalarına devam etmeleri şeklinde sıralanabilir. Temiz ulaşım arayışlarındaki bir diğer çalışma ise elektrikli ulaşım araçlarıdır. Elektrikli ulaşım araçlarında kullanılan elektrikli motorları yüksek verimlerde çalışan ve çalışırken atmosfere kirlitici gaz yaymamaktadırlar. Buna karşılık, yüksek güç taleplerine yanıt vermekte zorlandıklarından, kısa sürelerde hızlanamadıklarından manevra yetenekleri sınırlı kalmaktadır. Öte yandan, güneş pili sisteminin ihtiyaç fazlası elektrik üretebilmesi halinde akü doldurulacak, üretimin ye-

tersiz kaldığı sırada da, aküde depolanmış olan enerji kullanılacaktır. Eğer araçta gerilim düzenleyici konverterler yoksa araçlar kullanacakları elektriği önceden depolanmış olmaları gerekmektedir. Hâlbuki yüksek güce sahip akülerin halen, boşalma süreleri kısa, yeniden doldurma süreleri uzun. Tüm bu durumlar elektrikli araçların kullanımının önünde engel olarak durmaktadır ancak gelişen teknolojiyle birlikte bu sorunların yakın zamanda ortadan kalkabileceği gözden kaçırılmamalıdır. Aşağıdaki şekilde İstanbul trafiğinde seyir halinde olan, güneş enerjisi ve teknolojilerine dikkat çekmek amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Güneş Enerji Sistemler Kulübü(YTÜ-GESK) öğrencilerinin yaptığı örnek bir güneş arabası gösterilmektedir.



Şekil 2 Trafikte Bir Güneş Arabası

Güneş arabası hafif ağırlıkta, orta güçte çalışan, enerjisini güneşten alan elektrikli arabalardır. Aracın üst yüzeyindeki güneş panellerinden elde edilen güneş enerjisi elektrik enerjisine çevrilir. Güneş arabaları mevcut durumda günlük taşımacılık için kullanılamamaktadır. Genellikle mühendislik uygulamalarında, demonstratif amaçlı olarak ve sponsor destekleri ile yarışlarda kullanılmaktadır. [8]. Kısıtlı sayıda (genelde bir bazen iki kişilik) oturma yeri, çok az taşıma kapasiteleri vardır ve genellikle gündüz kullanılabilirler. Güneş ışığı, bir elektrik akımı üreten güneş panellerinin her bir hücreleri tarafından emilir. Enerji depolanmak üzere pillere, araca güç vermek için direkt olarak motor kontrolörüne veya ikisine birden gidebilir. Genel olarak eğer araç hareket halindeyse elektrik enerjisi motor kontrolörleri tarafından motora iletilir. Bu durumda artan enerji sonraki kullanımlar için pillerde depolanır. Güneş panelleri motoru istenilen hızda çalıştırmaya yetecek enerjiyi üretmediğinde panelin enerjisi pillerde depolanan enerjiyle desteklenir. Araba hareket halinde değilken güneş panelinden gelen bütün enerji pillerde depolanır. Güneş arabasını hareket ettirmek için kullanılan bir kısmını yerine koymak için şöyle bir metot vardır. Araba normal mekanik frenleri kullanmak yerine, motor frenlemesi yapıldığında motor jeneratör halini alır ve enerji motor kontrolörü vasıtasıyla pillere geri yollar. Bu metoda rejeneratif frenleme denir (enerji kazanımlı frenleme).

4. Güneş Arabaları Tasarım Kriterleri

Güneş arabası tasarımı oldukça karmaşık mühendislik sorunları içerir. Hareket halindeki bir otomobil, üç çeşit kuvvete karşı iş

yapabilmek zorunda kalır Birincisi, havanın ve lastiklerin sürtünme kuvvetine, ikincisi, ivmelenme sırasında maruz kalınan eylemsizlik kuvvetine, üçüncüsüyse, bir yokuş tırmanılıyorsa eğer, aracın ağırlığına etki eden yerçekimi kuvvetinin yokuş yüzeyi üzerindeki izdüşümüne karşı yapılan iş. Yokuş aşağı hareket halinde, bu üçüncü kuvvete karşı yapılan iş negatif olur. Yani otomobil, yerçekiminden kaynaklanan potansiyel enerjisinden kaybederken, kinetik enerji kazanır. Otomobilin tasarımını yapabilmek için, aracın maruz kalacağı bu kuvvetlerin tavan düzeylerinin önceden bilinmesi gerekir. Bu durum, aracın geometrisinin ve kabaca ağırlığının önceden bilinmesini gerektirir. Dolayısıyla, tüm otomobillerin olduğu gibi, güneş panelli bir aracın tasarımı da, bir bakıma sondan başlar: Hangi amaca hizmet edeceğinin kararlaştırılmasından sonra, bu amaç için yeterli olacak bir ağırlık belirlenir. Güneş arabası tasarımında boyutlar, güvenlik ihtiyaçları ve performans ihtiyaçları öncelikle belirlenmelidir. Uygun öncelikler, hedefler, aracın ağırlığı, hızı belirlenmelidir. Aracın mümkün olduğu kadar hafif tasarlanması iyi bir yaklaşımdır. Hafif araçlar daha enerji etkin olmakla birlikte dikkatli bir mühendislik ve yoğun testler gerektirmektedir. Bu testler bilgisayar simülasyonları veya gerçek modelin küçültülmüş şekli ile çeşitli simülasyonlara maruz bırakılarak(rüzgâr tüneline sokmak gibi) nihai karara varılır. Tasarım kriterleri:

1. Güneşten maksimum enerji çekmek,
2. Kayıpları minimuma indirmek,
3. Güvenliği sağlamak,
4. Fiyat düşürmek,
5. Performansı arttırmak şeklinde sıralanabilir.

Daha sonra aracın mekaniksel ve elektrik-elektroniksel tasarımına başlanır.

4.1 Elektrik-Elektronik Tasarım

Güneş arabası sadece PV' nin ürettiği enerji ve bataryada depolanmış enerji ile tahrik edilebildiği için, bunların toplamından elde edilebilen güç , aracın ne kadar hızlı ve ne kadar uzağa gidebileceği konusunda kısıtlayıcı bir faktördür. Güneş arabaları gücü ancak bir evsel saç kurutma makinası gücündedir. Güneşli bir günde aracın güneş hücrelerinden alınan enerji 0.75 ile 2 kW arasında değişmektedir bu değerler aracın üzerindeki kurulu güce bağlı olarak değişmektedirler. Pek çok yarışta 5 kWh enerji depolanması limiti vardır. Bu limit Tübitağın düzenlediği güneş enerjili araba yarışlarında ise maksimum depolama limiti 2kWh olarak koyulmaktadır. Güneş araba yarışları konvansiyonel arabalardan tamamen farklı güç tüketim seviyesi ve verim ile çalışırlar. Kısıtlı enerjiyi en iyi yönetebilmek için aerodinamik sürtünme ve mekanik yuvarlanma direnci gibi iki büyük kuvveti en aza indirmek gerekir. Elektrik sistemlerinde ve motorlarda güç kaybı da söz konusudur. Sürtünme alanının %10 oranında azaltılması ile hız %3,1 oranında artmaktadır. Sürtünme direncinin %10 oranında azaltılması ile hız % 1.4 oranında artmaktadır [9]. Bunun dışındaki güç tüketimleri, oldukça parazitik, sabit ve verimsizdir. Hub motorda, solar dizi güç takipçisinde, dc-dc dönüştürücülerde harcanmaktadır. Batarya verimi de %100 değildir. Bu bileşenlerden sürekli elektrik akmakta ve ısı olarak bir kısmı kaybolmaktadır. Pek çok elektrikli bileşen için bu kaçınılmaz gerçeklik ile en yüksek verime sahip bileşenler seçilerek baş edilebilir. Elektriksel bileşenlerin kablolanmasında daha büyük çaplı

kablo seçilirse, ısı kayıpları azalacak ancak, malzeme ağırlığı artacaktır. Aracın ağırlığının artması ise yuvarlanma direncini arttıracak ve aracı ivmелendirmek için daha çok güç gerekecektir. Minimum güç kaybına sebep olacak kablo boyutunu bulmak için artan ağırlık ile direnç azalımı dengelenmesi yapılmalıdır[10].

5. Güneş Arabası Teknik Bileşenleri

Güneş arabaları elektrik sistemleri genel olarak yüksek ve alçak gerilimli olmak üzere iki gruba ayrılır. Yüksek gerilim bileşenleri, 36 V' un üstündedir. Bunlar motor, bataryalar, güneş paneli ve kontrolör, röle, sigortalar ve kablolar gibi malzemelerdir. Bunların dışındaki bileşenler alçak gerilim ile çalışır; ivme pedalı, fanlar, ışıklar, korna, veri izleme, veri elde etme ve kontrol sistemleridir[10]. Güneş arabaları yüksek gerilimli elektriksel bileşenlerinden bataryalar ve pv ler aracı tahrik etmek için kullanılır. Bu güç sistemleri en karmaşık ve ayrıntılı bileşenlerdir. Pv'ler ve bataryalar motor paralel olarak bağlanır. PV grubu araç tahriği için gerekenden fazla üretim yaparsa, bu bataryalara gönderilir. Yetersiz ışınım olduğunda da tahrik, bataryalardan sağlanır. Güneş arabalarında kullanılan elektrik tahrik sisteminde rejeneratif frenleme yeteneği vardır. Motor bu sırada jeneratör olarak işlev yapar, üretilen güç bataryalarda depolanabilir. Elektrik-Elektronik bileşenler kısaca: Güneş hücreleri, depolama sistemi, elektrik motoru, motor sürücüsü, azami güç sağlayıcı(mppt), haberleşme birimleri, kontrol kartları ve gösterge paneli şeklinde sıralama yapılabilir[11].

5.1 Fotovoltaik Tasarım

Güneş enerjili araçlar yapılırken öncelikle belirlenen ihtiyaca göre güneş panelleri yapılır. Güneş (Fotovoltaik) pilleri güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Yarı iletken bir yapıya sahip olan güneş pilleri Güneş ışığındaki fotonlar, elektronları yarı iletken metalik bir yonga plakasının bir katmanından bir diğer katmanına hareket ettiren enerjiyi sağlar. Elektronların bu hareketi bir akım yaratır. . Aracın yüzeyine yerleştirilecek olan güneş hücreleri kimyasal yapılarına bağlı olarak daha iyi elektrik akışını sağlamaları için zorunlu haller dışında dikey montajlama yapılması daha uygun olacaktır Güneş panelleri bazı çalışmalarda birleştirilmiş hazır halde paneller kullanılarak uygulama yapıldığı gibi her bir güneş hücresi tek tek birleştirilerek aracın yüzeyine uygun ve istenilen gerilim değerinde paneller oluşturulabilir(yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle bu çalışmalardan profesyonel olmayan öğrenci takımlarının kaçındığı gözlemlenmiştir, ancak YTÜ-GESK takımı

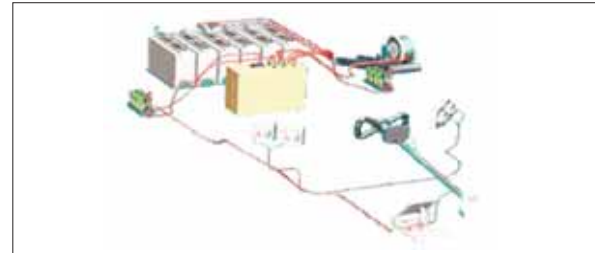


Şekil 3. Güneş Hücrelerinin Birleştirilmesi ve Koruyucu Kimyasal ile Kaplanması

tüm birleştirme, lehim, hücre koruma ve yansıtma önleme kimyasal kaplamalarını kendileri yapmışlardır. **Şekil 3).** Gerilim değeri ise kullanılan motor, azami güç sağlayıcı (mppt) ve akülerin katalog değerlerine bağlı olarak değişeceğinin hesaba katılarak tasarım yapılması gerekmektedir. Güneş arabalarında tüm sistemler birbirine bağlı olduklarından dolayı, tüm seçimler ve ayarlar ince hesaplar sonrasında yapılmalıdır. Paneller yapılırken ihtiyaca bağlı olarak bazı kriterler oluşturulabilir. Bunlar: Yapı (hücre, panel), verimlilik, boyut, esneklik, kullanım ömrü, sıcaklık-verim arasındaki değişim ve fiyattır.

5.2 Depolama Sistemi

Güneş arabalarının kalbi bataryalardır. Batarya ağırlığını depolanan enerjiye karşı dengelemek için 2.-11 kWh arasındaki bataryalar kullanılır. Deneyimler daha büyük batarya kapasitesinin bir esneklik kazandırdığını göstermektedir. 1997'den beri pek çok yarışta 5 kWh limiti kullanılmıştır. Türkiye'deki güneş enerjili araba yarışlarında ise 2kWh akü grubuna müsaade edilmektedir. Batarya kapasitesini doğru olarak ölçmenin zorluğuna rağmen, her tür batarya için ağırlık, kullanılan kimyasalın ortalama enerji yoğunluğuna göre belirlendi. Bataryalar için doğru spesifikasyonları bulmak zordur. Fiziksel boyutlar, terminal tipi ve ağırlık oldukça belirgindir ancak, elektriksel karakteristikler belli değildir. Üreticiler nominal gerilim ve kapasite ifade ederler. Bir bataryayı uygun bir şekilde nitelemek için şarj-deşarj sayısı verilmeli, değişkenler çizilmelidir. Batarya çıkış gerilimi şarj durumu ve yüke bağlı olarak değişir. Enerji kapasitesi şarj hızına bağlıdır. Tüm bu faktörler ise, sıcaklığa bağlıdır ve terminal rezistansı ve şarj verimi gibi ek karakteristikler de vardır. Şarj verimi şarj sırasında dolan enerjinin deşarj sırasında alınan enerjiye oranıdır. Güneş arabalarında en yaygın olarak kullanılan bataryalar Kurşun-asit tipidir[10]. North Amerikan Solar Challenge (Kuzey Amerika Güneş Arabası Yarışmaları) takımları şu pil tiplerini kullanmaktadırlar.



Şekil 4. Güneş arabalarındaki pil sistemi yapısı

Nikel - Kadmiyum Piller: Nikel-Kadmiyum piller yüksek güç yoğunluğu ve ortalama uzun ömürlüdürler. Ancak bu iyi özellikler, geri dönüşümleri doğru yapılmadığı zaman barındırdıkları yüksek toksin ve çevreye verdikleri zararlar sebebiyle tercih edilmezler. Şarj etme işi son derece önemlidir, zira aşırı ısınmaya ve genelde patlamaya eğilimlidirler.

Gümüş - Çinko Piller: Bu piller şarj edilebilir piller içinde en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Bunların tek dezavantajı çok kısa ömürlü olmalarıdır.

Nikel - Çinko Piller: Bu piller gümüş - çinko pillere göre yaklaşık on şarj etme kapasitesiyle daha uzun ömürlü ve daha az pahalıdır.

Ayrıca enerji yoğunluğu gümüş -çinko pillerin aralığını aşmaz ancak kurşun-asit pillerinkinden de daha fazladır.

Kurşun - Asit Piller: Bu pillerin iyi bir enerji etkinliği ve görece ucuzluk gibi bir çok avantajı vardır. Bunların güneş arabası yarışmalarında kullanılması için bir kaç kez sonuna kadar şarj etme-boşaltma kapasitesi olmalıdır.

Lityum - İyon Piller: Bu piller dizüstü bilgisayarlardaki yüksek performanslarıyla bilinirler. Pillerin enerji yoğunluğu sadece bunların gümüş - çinko tipleriyle daha iyi hale getirilir, yüzlerce kez şarj edilebilirler ve çok daha ucuzdurlar. Bunlar gerekli voltajı üretirler. Genelde arabaların elektrik sistemine bağlı olarak 84 ve 108 volt arasında sistem voltajı kullanılır. Kimi arabalar daha düşük voltajda da çalışır.

5.3 Elektrik Motoru ve Sürücüsü

Güneş arabasının sürüş takımı normal bir arabaninkinden oldukça farklıdır. Konumuz açısından belirtmek gerekirse sürüş takımı elektrik motoru ve motor gücünün tekerleklerle iletilmesini sağlayan ve dolayısıyla arabayı hareket ettiren araçlardan oluşmaktadır. Motor ve motor kontrol devresi: Otomobilin hareket etmesini sağlayan elektrikli DC motorlar, dayanıklı malzemeden yapılmış olmalı ve imalatçının adını, motor numarasını, tasarlanmış güç çıktı düzeyini, motorun tipini, seçilen voltajı ve IP koruma kodunu içermeli, bu bilgiler aracın kimlik kartında belirtilmelidir. Motora ne kadar elektrik gideceğini ise kontrol devresi ayarlar ve sağlıklı bir enerji akışını düzenler. Üretilen düşük enerji miktarı (2-5 beygir gücü arası) sebebiyle güneş arabaları kullanılan motorun tipi açısından bir sınırlama yoktur.

En yaygın motor tipi çift sargılı fırçasız DC motorlardır. Bu motor oldukça hafiftir ve devir gücünde %98 verim sağlar. Çok vitesli transmisyonlar güneş arabalarında nadiren kullanılır. Bunun gibi AC motor kullanımı da çok azdır çünkü elektrik dönüşümü gereksiniminden dolayı kayıplar çok fazla olmaktadır. Çift sargılı motorlar elektronik transmisyon olarak kullanılabilirler. Sargılar arasındaki geçişler motorun hız oranında değişiklikler yapar. Düşük hızdaki sargılar kalkış ve geçiş için yüksek tork sağlarlarken yüksek hız sargıları daha yüksek verimliğe sahiptir ve normal sürüş için en uygundur. Güneş arabalarında 3 çeşit temel transmisyon tipinin farklı varyasyonları kullanılır.

1. Tek indirgemeli doğrudan tahrikli sürüş
2. Değişken oranlı kayışlı sürüş (Variable ratio belt drive)
3. Hub Motor.

Geçmişte en yaygın motor tipi doğrudan tahrikli transmisyon idi. Bu tipte motor bir zincir ya da volan kayışı vasıtasıyla tekerleğe bağlıdır. Tabi ki hizalama sırasında özel bir önem gösterilirse. Verimlilikleri düzgün tasarlandığında %75 i bulur. Çok az arabada güç tekerleklerle iletmek için değişken oranlı kayışlı sürüş kullanılmıştır. Vites aralığı motorun hızı arttıkça değişkenlik gösterir. Bu da düşük hızlarda motora daha fazla kalkış torku kazandırır. Ancak yine de araba yüksek hızda daha etkin bir sürüş kazandırır. Değişken oranlı kayışlı sürüş tam bir hizalama ve dikkatli bir kurulum sağlandığında etkin bir şekilde çalışır. 1995 yılından itibaren vites kutusuz sürüş

şün yaygınlığı artmıştır. Hub veya tekerlek motor. Konvansiyonel motorların açısız akısının yerine eksenel magnetic akı avantajının kullanarak magnetler ince diskler halinde şekillendirilir. Bu da motorun doğrudan tekere bağlanmasını sağlar, hatta tamamen içine yerleştirilir[12]. Mekanik problemler de vardır; süspansiyon ek tekerlek ağırlığı ile başa çıkmalıdır. Motor tekerlek ile aynı hızda dönmelidir; bu daha az verimlidir. Pekçok güneş araba takımı hub-motor kullanılır [13].

6. Sonuçlar

Yukarıdaki incelemelerden de görüleceği gibi şu an için güneş pillerinin ulaşım sektöründe alternatif bir enerji olarak düşünmek sınırlı sayıdaki bölge için geçerlidir. Çünkü verimleri az, yatırımları diğer enerji kaynaklarına göre yüksektir. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte maliyetler sürekli düşmekte, çok farklı tip ve verimde güneş hücreleri üretilmeye başlanmıştır.

Fosil enerji kaynaklarına bağlı taşımacılık günümüz koşulları irdelendiğinde gelecek açısından ümit vaat etmemektedir. Fiyat artışları, hava kirliliğinin önlenemez boyutlara ulaşması, kaynak sıkıntısı, birçok ülkenin petrol ithalatçısı konumunda olması (enerji güveni arz sorunu) gibi sebeplerden dolayı ülkelerin yenilenebilir enerjilere yönelmesi, kendilerine ait emre amade enerji talepleri olması doğal ve kaçınılmazdır. Güneş enerjili arabalar günümüzde bireysel çalışmalar, üniversite ve devlet destekli kampanyalar ile gelişmeye devam etmektedir. Tüm yapılan çalışmalar göstermektedir ki güneş ışınımı yeterli olan ülkelerde güneş enerjili arabaları yollarda görmek çok uzak görünmemektedir.

Dünyadaki güneş enerji çalışmaları tüm hızıyla sürerken Ülkemizin de bu konuda yapacağı çok işler vardır. TÜBİTAK öncülüğünde farklı bir boyut kazanan ve genç beyinlerin yoğun ilgi gösterdiği Güneş Enerjili Araba yarışları, bu alanlarda çalışmak isteyen akademisyenler ve öğrenciler için değerlendirilmesi ve desteklenmesi gereken çalışmalardır. Üniversitelerde bu alanlarda çalışma yapmak isteyenler için merkezler kurulmalı ve ar-ge çalışmaları yapılması gerekmektedir. Güneş enerji sistemlerinin gelişmesi adına yapılan veya yapılmaya başlanan tüm projeler gelecek için yurdumuz adına ümit vericidir.

Kaynaklar

1. DEK-TMK, (2006) Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Enerji İstatistikleri. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.
2. <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/consump.html>
3. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı. (1991). Sürdürülebilir Kalkınma El Kitabı, Ankara, Ocak 1991. (TÇSV, 1991, s.210)
4. www.solarcar.stanford.edu.
5. <http://www.enerji.gov.tr/yenilenebilirenerji.htm>
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_car
7. <http://www.lpghaber.com/html/phpbb2/Gunes-Pilleri-ile-Calisani-Motorlu-Araclar-topic2-63.html>
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_car ; allery.purduesolar.org/joomla/PSR_solar_basics.pdf
9. Carroll, D.R., (2003), The Winning Solar Car, SAE International, USA.

10. www.eng.yale.edu
11. Thacher, E.F. (2005), A Solar Car Primer, Nova Science Publishers, New York.
12. www.australian-universities.net/Northern
13. [www.alumni.gwu.edu/NGr\(new generation motors\)](http://www.alumni.gwu.edu/NGr(new%20generation%20motors))

Abstract

Industrialization and the needs of individuals for better life standard significantly increase the energy consumption. Coal, petrol and natural gas are the primary sources for energy needed. But two problems that can occur in close future with these sources. One is the probability that one of these sources to run out and the other is the immense increase in pollution because of the usage of these sources industry.

Renewable energy technologies are essential contributors to sustainable energy as they generally contribute to world energy security, reducing dependence on fossil fuel resources, and providing opportunities for mitigating greenhouse gases.

The aim of this study is to find out the solar energy technologies in transportation and to give an opinion for future transportation system. In this study, solar energy which are using a wide range applications of photovoltaic area with solar car, are given about generally in transportation specifically energy usage in transportation, photovoltaic design criteria, electrical energy storage systems have been analyzed, solar car availability is discussed for today and tomorrow. Solar cars have been developed a long time; they will be used in traffic but not now. In the future these cars must be not giving up for nature friend posterity.

DEVELOPING SOLAR POWER GENERATION TECHNOLOGY TRANSFER STRATEGY FOR TURKISH ELECTRICITY GENERATION MARKET

Burak Omer SARAÇOĞLU

Üçzait Elektrik Üretim Dağıtım Proje ve Sanayi Anonim Şirketi

Canan ÇELEBİ

Üçzait Elektrik Üretim Dağıtım Proje ve Sanayi Anonim Şirketi

Abstract

The electric energy generation systems are investigated in detail in all over the world, it is observed that electric energy generation firms have strived to implement technologies such as solar power electric generation in an incrementally increasing trend. However, this electric generation technology is not even in the end of introduction stage in Turkish Electricity Generation Market. The objective of this paper is to focus on developing off grid and on grid solar energy generation systems technology transfer strategy roadmap for Turkish Electricity Generation Market.

Introduction

Nowadays, there is great tendency in demand of electricity in all over the world. The main driver of the energy demand is the economic growth. The data of world economy growth in the real GDP (gross domestic product) shows that the world economy expended until the economic crises in 2009 as such 2,2% in 2001, 2,8% in 2002, 3,6% in 2003, 4,9% in 2004, 4,5% in 2005, 5,1% in 2006, 5,2% in 2007, 3,2% in 2008, -1,3% in 2009 (International Monetary Fund, 2009). In this report, the risks to world growth is presented as below (see Figure 1).

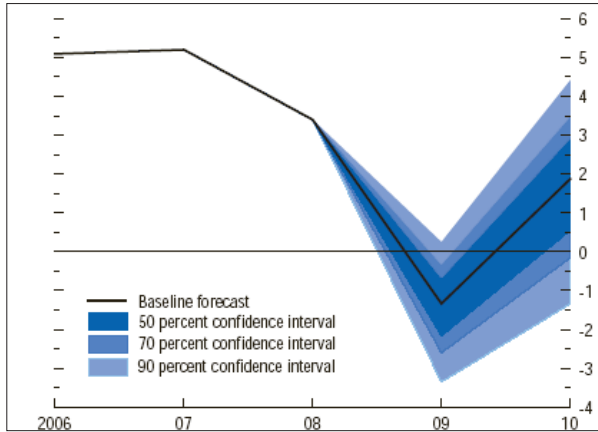


Figure 1. Risks to World GDP Growth (Percent change), (Source: International Monetary Fund, 2009).

The International Energy Agency investigate and study the demand of the energy by adopting the data of world GDP Growth into its own forecasting model. In the Reference Scenario of The International Energy Agency, an average annual rate of 1.8% increase between 2005 and 2030 is projected (International Energy Agency, 2007).

The energy demand is presented by The International Energy Agency as below (see Figure 2).

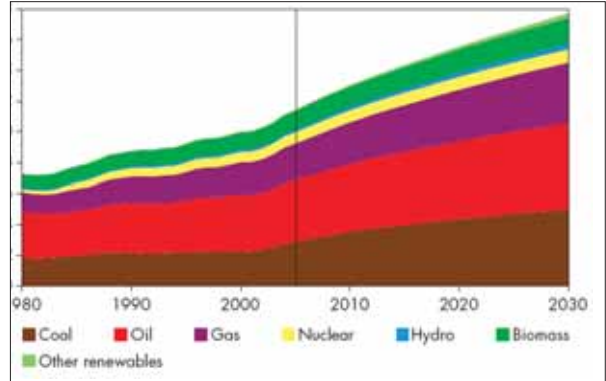


Figure 2. World Primary Energy Demand in the Reference Scenario, (Source: International Energy Agency, 2007).

Moreover, it is estimated that the developing countries impart 74% of the increase in demand of the global energy use (Source: International Energy Agency, 2007). In addition to that, the report focus on the primary energy demand by region and the regional energy demand forecast is presented as below (see Figure 3).

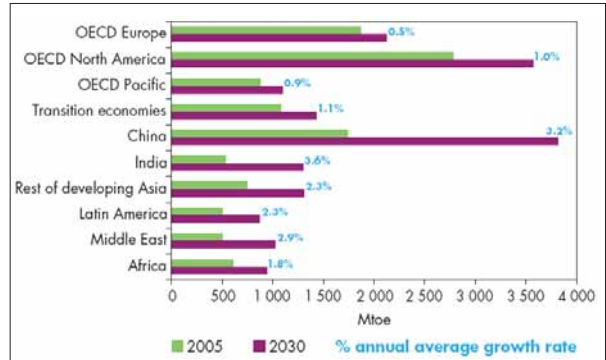


Figure 3. Primary Energy Demand by Region in the Reference Scenario, (Source: International Energy Agency, 2007).

The world has been really struggling with climate change for several years, that caused the Secretary of United Nations General Ban Ki-Moon urged richer nations to contribute the fund for global warming in 15th United Nations Climate Change Conference (COP15) at Bella Center in Copenhagen from the 7th to the 18th of December, 2009.

The environmental, social and economic status of the world has been threatened greatly by the climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change declared that the warming of the temprature of the world is unequivocal. The global annual average temperature deviations is presented as below (see Figure 4).

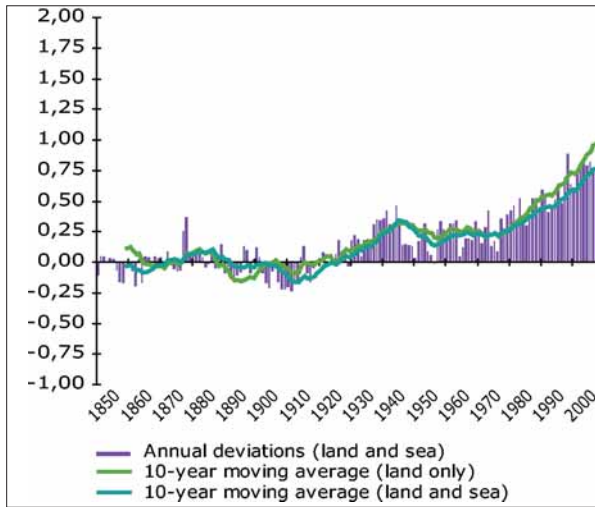


Figure 4. Global annual average temperature deviations, 1850-2008, relative to the 1850-1899 average (in °C). "The lines refer to 10-year moving average, the bars refer to the annual 'land and ocean' global average. (Ver. 3.00) Data source: EEA, based on CRU HadCRU3 and CRUTEM3 datasets, (Source: Url-1, 2010).

The observations support that most of the warming is due to the emissions of greenhouse gases by human activities. The statistics present that the mean temperature has increased drastically by almost 0.8 °C globally and by about 1 °C in Europe in the past 150 years. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) predicts that the global temperatures may highly increase by 1.8 to 4.0 °C by 2100 (Source: Url-1, 2010).

In this respect, International Energy Agency projected the energy-related CO₂ emissions conditions in its report. According the increase of the energy demand, the supply of energy will increase in noticeable values which effects the rising global fossil fuel use. This increase of usage in the fossil fuels will drive up the energy-related CO₂ emissions. The estimation of the reference scenario is the increase of 57% between 2005 and 2030, from 26.6 to 41.9 Gt. The most of the increase in emissions from power stations comes from developing countries (Source: International Energy Agency, 2007). The energy-related CO₂ emissions is presented as below (see Figure 5).

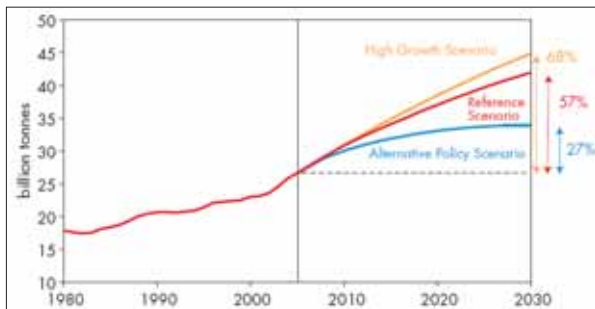


Figure 5. Energy-Related CO₂ Emissions by Scenario, (Source: International Energy Agency, 2007).

Turkey is one of the developing countries that all of the assumptions and predictions above are almost suited to the general status of the country market conditions. The Electricity Market Regulatory Authority (EPDK) was commissioned to regulate and supervise the market conditions (Source: Url-2, 2010). The other government

parties are the Ministry of Energy and Natural Resources (ETKB) (Source: Url-3, 2010), the Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ) (Source: Url-4, 2010), the Turkish Electricity Distribution A.Ş. (TEDAŞ) (Source: Url-5, 2010), the Electricity Generation Corporation (EÜAŞ) (Source: Url-6, 2010), the Turkish Electricity Trade and Contracting Corporation (TETAŞ) (Source: Url-7, 2010) and the General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) (Source: Url-8, 2010). TEİAŞ prepared a report named as Turkish Electrical Energy 10-Year Generation Capacity Projection (2006-2015). In this report 10-year Demand-Generation Capacity Projection and Demand Projection Scenarios and Sensitivity Analysis results is presented as below (see Figure 6 & Figure 7).

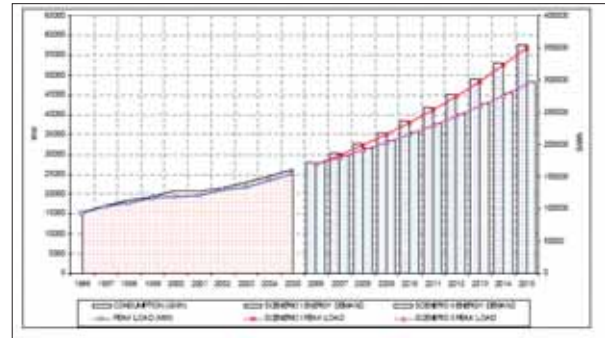


Figure 6. Peak Load and Electricity Consumption of Turkish Electricity System Between 1996 – 2005, (Source: International Energy Agency, 2007).

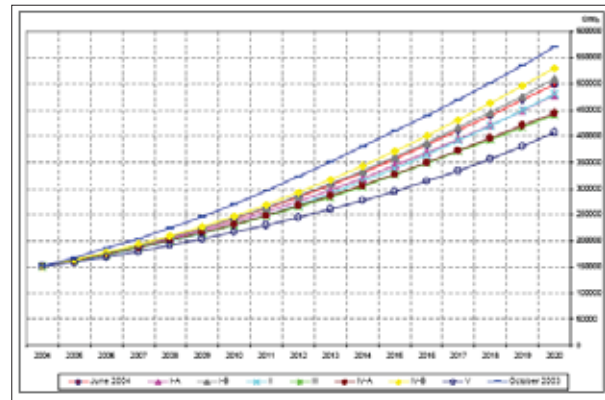


Figure 7. Demand Projection Scenarios and Sensitivity Analysis results, (Source: International Energy Agency, 2007).

Under this condition, the electricity energy suppliers should be flexible (for ex. availability percentage in total requested duration), responsive to customer needs (for ex. carbon reduction capability), capable to adapt to rapidly changing conditions (for ex. recreation the land after decommissioning or dismantling); at the same time maintaining low investment and operation & maintenance costs, high quality, customer satisfaction and environmental friendliness. One way to achieve so many different and conflicting objectives, may be handled with effectively adopting technological advances that can be improved in mid to long term. Henceforth understanding new technology issues and prospects, learning to adapt and manage new technology, above all forecasting future technology tools and instruments has become an extremely important issue. In most situations, entities in almost any industry as performed by energy industry, have been searching for ways to acquire the new technology in order to protect their competitiveness.

Nowadays almost all energy suppliers in all over the world study and investigate for selecting business strategies that will help them to find out new and appropriate tactics to beat the competition. The entities should first focus on the company objectives, second defining tactics, which help to accomplish the company objectives, third forecasting the resource requirements, fourth defining the milestones to step forward along the route, fifth empowering the responsible people for fulfilling each step, during preparing the full statement of business strategy. Each step should be performed in a proper way that all the business risks and external factors need to be reviewed in short, mid and long terms. For instance nowadays, in the business strategy selection the type of energy production source is the most important and crucial issue. Due to the reasons of protecting the next generations, renewable energy generation systems should be selected and funded.

These energy types are biofuel, biomass, geothermal, hydroelectricity, solar energy, tidal power, wave power and wind power. Almost in none of the sectors, the scientific methods have not been executed in developing business strategy until approximately five years ago. However, today scientifically preparation of developing business strategy is very important for energy industry. Furthermore, the technology strategy takes the leading role after the business strategy. The link between the business strategy and the technology strategy affects the success of the entities. Technology strategy is defined as the ways used to deliver the product to their customers (Calavaro G., and Kontio J., 1997). In addition to that, formally there is a great dependence between the technology strategy and the competitive strategy of firms. In the technology strategy development, some of the main tasks are building and maintaining technological assets, technology forecasting, technology assessment, and product building strategy.

The objective of this paper is the technology strategy development in electric energy generation industry. Solar power electric energy generation technology is specifically selected because of the opportunity in investments of solar farms and solar energy technology in Turkey in long term. In form of electric energy generation, it is expected that the solar energy will be vital with its on the edge technology. In this field of study, there are two important terms. The first term is the road map. The road map is defined as "a layout of paths or routes that exists (or could exist) in some particular geographical space" (Bruijn E. J., and Steenhuis H. J., 2004). The second term is the foresight. The foresight is defined as "regard or provision for the future. Most people would regard desirable, but in complex organizations such as companies and government departments, foresight on issues concerning technology does not often come easily" (Anderson J., 1997).

In brief, in this paper the solar power generation technology transfer strategy development road map has been studied in detail for Turkish electricity generation market, which is supported by the finalized of the first stage of a long term case study.

2. Theoretical Background

This study was started with literature review of previous research in this field. An enlarged point of view for the literature review was preferred. The selection process of reference studies was based on the special technique for execution of the literature review that was developed by Saracoglu (2009). During the execution of the

special technique, the reviewed database are ABI Inform Global, ACM Digital Library, ALPSP-Science & Technology, Applied Science & Technology, ASCE: American Society of Civil Engineers, ASME : American Society of Mechanical Engineers, Blackwell – Synergy, Cambridge Journals online, CRC ENVIROnetBASE, CRC ITKnowledgeBASE, CRC MATERIALSnetBASE, Digital Dissertations, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Ebrary Electronic Books, Econlit, Emerald Insight, Engineering Village 2, ENGnetBASE, Expanded Academic ASAP International, Global Books in Print, Iconda, IEEE/IEE Electronic Library, Referex E-Book, Safari E-Book, Science Direct (Elsevier), Science Online, Springer Lecture Notes in Computer Science, Springer Link, SwetsWise, Taylor & Francis Journals, Transportation Research Records, University of California Press Scholarship Editions, Web of Science, Wiley InterScience. During the literature review forty four studies were directly matched with the aim of the subject. Five studies out of forty four was presented in this paper.

The first study, that was selected to be presented in our study, was by Calavaro and Kontio (1997). Calavaro and Kontio presented a framework for identifying the competitive strategies and technology strategies. The Corporate strategy identification process model by Calavaro and Kontio (1997), is presented as below (see **Figure 8**).

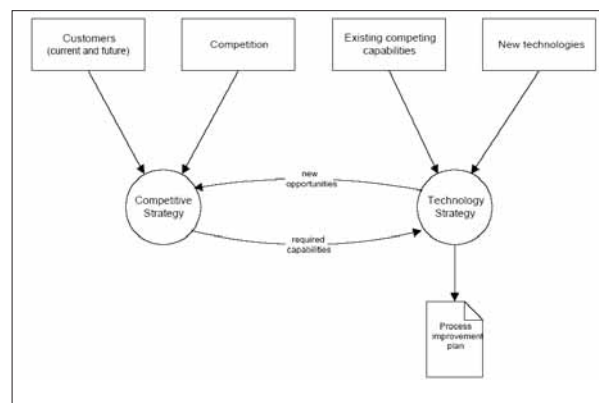


Figure 8. Corporate Strategy Identification Process Model (Source: Calavaro and Kontio, 1997).

The second study, that was selected to be presented in our study, was by Carrie et al. (2000). Their model was based on Hill's model. The first stage of their model was the corporate objectives. The three generic business strategic term were suggested in their paper as "product leadership," "customer intimacy," "operational excellence".

The second stage was the strategic advantage. The important strategic advantages were defined as "price advantage," "cost-quality advantage," "know-how advantage," "timing advantage," "deep-pocket advantage," and "stronghold advantage." The third stage was technology advantage criteria. The important technology advantage criteria were defined as "Rivalry stance," "value chain stance," "scope," and "depth".

The third study, that was selected to be presented in our study, was by Farrukh et al. (2001). They clearly defined the technology roadmapping. They described a "fast-start" technology road mapping process. The Fast-start technology road mapping process by Farrukh et al. (2001), is presented as below (see **Figure 9**).

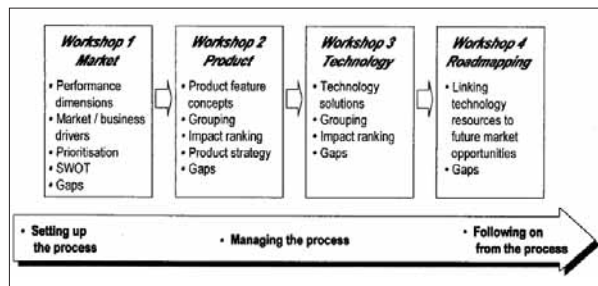


Figure 9. Fast-Start Technology Road Mapping Process (Source: Farrukh et al., 2001).

The fourth study, that was selected to be presented in our study, was by Davenport et. al. (2003). They explained that technology strategy consisted of policies, plan centers, the firm's knowledge and abilities. They also distinguished the technology strategy and knowledge strategy. Three major active drivers were pointed as "acquisition," "management," "exploitation". Technology strategy framework by Davenport et. al. (2003), is presented as below (see Figure 10).

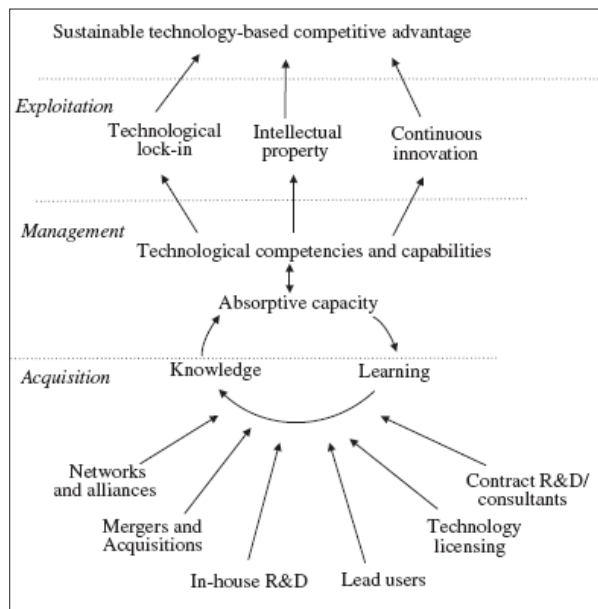


Figure 10. Technology strategy framework (Source: Davenport et. al., 2003).

The fourth study, that was selected to be presented in our study, was by Kostoff and Schaller (2001). They grouped the applications of roadmaps as "a-) science/research roadmaps", "b-) cross-industry roadmaps", "c-) industry roadmaps", "d-) technology roadmaps", "e-) product roadmaps", "f-) product-technology roadmaps", "g-) project/issue roadmaps". They provided an example as shown below (see Figure 11).

In the literature review, it has been understood that this subject is in a wide range point of view in interest of researchers.

Many researchers have been studying and investigating and proposing models in this subject, however as far as the investigation of the literature review, it has been understood that this paper is probably one of the first studies in developing solar power generation technology transfer strategy.

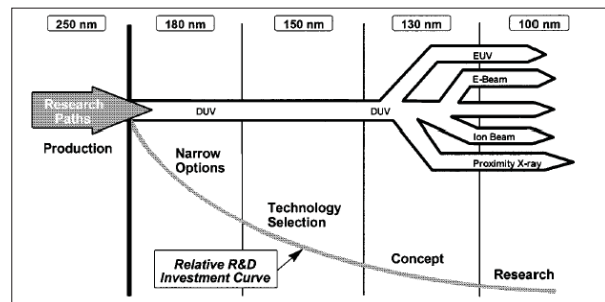


Figure. 11. Future lithography technology alternatives. (Source: Semiconductor Industry Association, The National Technology Roadmap for Semiconductors: Technology Needs, 1997; Kostoff and Schaller, 2001).

3. Methodology

Electrical energy generation may be characterized by huge investments (for ex. depending on the scope of the investment), medium risk (for ex. depending of the location and the country status), political context (for ex. depending on the type of energy source). Henceforth, to gather information from entities, parties and so forth is very difficult not only because of confidentiality, but also the ambiguity. The research method in current study should be very easy and understandable.

At first stage of the web sites of the organisations have been visited such as The Department of Energy (Source: Url-9, 2010), The European Photovoltaic Industry Association (EPPIA) (Source: Url-10, 2010), The European Association for Renewable Energy (Source: Url-11, 2010), The Solar Energy Industries Association (Source: Url-8, 2010). Afterwards conferences that has been held on online and life systems have been attended. The interviews have been performed. In addition to that brainstorming sessions have been executed. After having all data collected and analyzed, the suggested technology strategy roadmap was drawn and a report was written for future studies.

4. Findings Of The Study And Discussion

In energy industry such as most of the manufacturing industries, the strategies may be group in three major folds. These can be named as business strategy, technology strategy and electricity generation strategy. In the business strategy axes, the past and the present status of the entity should be presented. In addition to that future plans should be provided within different color shames.

Diversification, organic growth, joint venturing, acquisition and other matters should be covered and given. In the technology strategy, the technology level and type should be presented. In electricity generation strategy, the capabilities of the facilities, the grid-connection properties and so forth issues should be provided. This axis can be drawn according to the technology investigated. The case study results is presented by Figure. 12.

The Solar power generation technology transfer strategy for Turkish electricity generation market roadmap in the current study is developed based on the study of Saracoglu and Gozlu (2006). The main key points of developing solar power generation technology transfer strategy can be given as sufficiently understanding energy, business, electricity generation, solar power and its technology, electricity market, competitors and customers.

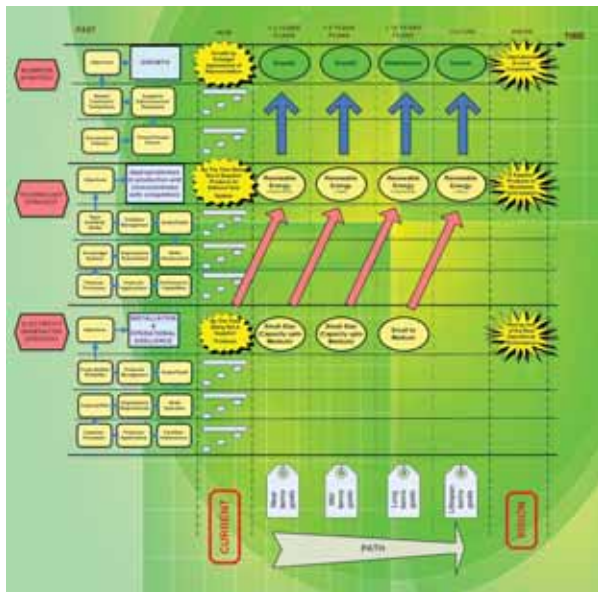


Figure 12. Solar Power Generation Technology Transfer Strategy for Turkish Electricity Generation Market Roadmap, adapted from and developed based on Saracoglu and Gozlu (2006).

5. Conclusion

Nowadays, there is great tendency in demand of electricity in all over the world. The main driver of the energy demand is the economic growth. The main purpose of current study was to understand, to achieve and to solve the technology transfer strategy development problems in energy industry. In this paper, the solar power generation technology transfer strategy development road map has been studied in detail for Turkish electricity generation market, which is supported by the finalized of the first stage of a long term case study.

6. Limitations And Future Research

Some improvements that can be enhanced in the current study are as the following:

The case study has not been finalized yet. The duration of the case study under this subject is long term, so that the finalization of the case study will take at least 8 years. The study should be reorganized to support the roadmap with questionnaires and interviews. A questionnaire survey should be conducted. Interviews on international bases should be performed. The countries in this interviews should be at least the given names of the countries as the United States of America, the United Kingdom, China, France, Brazil, Russia, Spain, India, Switzerland, Belgium, Sweden, Norway. Henceforth, the roadmap does not represent the entire applications in Turkey and cannot be regarded as a global or generic roadmap.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank sincerely for their contribution to the introduction of the research issue and as well as sponsoring and supporting the research to Üçzait Elektrik Üretim Dağıtım Proje ve Sanayi Anonim Şirketi Web: www.3zait.com).

References

- ▶ Anderson J., "Technology Foresight for Competitive Advantage, Long Range Planning", Vol. 30, No. 5, pp. 665-677, 1997.
- ▶ Bruijn E. J., and Steenhuis H. J., "Freedom of Choice in Technology Strategy? An Analysis of Technology Strategy in the Large Commercial Aircraft Industry", Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 16, No. 3, pp. 381-393, 2004.
- ▶ Calavaro G., and Kontio J., "Towards Integrating Software Technology and Competitive Strategies", PICMET '97 Conference in Portland, 1997.
- ▶ Carrie A S, Durrani T S, Forbes S M, Martowidjojo A, "Adapting Manufacturing Strategy Models to Assist Technology Strategy Development", Proceedings of the IEMC '00, IEEE Engineering Management Society Conference, New Mexico, pp 99-104, 2000.
- ▶ Davenport S., Campbell-Hunt C., Solomon J., "The dynamics of technology strategy: an exploratory study", R&D Management 33, pp. 5, 2003.
- ▶ Farrukh Cl. J.P., Phaal R., Probert D. R., "Characterisation of Technology Roadmaps: Purpose and Format", Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), Portland, pp. 367-374, 2001.
- ▶ International Monetary Fund, "World Economic Outlook Crisis and Recovery", pp 17-189, International Monetary Fund, Publication Services, Washington, D.C., 2009.
- ▶ International Energy Agency, "World Energy Outlook 2007 China and India Insights", pp 2-222, International Energy Agency (IEA), Head of Communication and Information Office, Paris, France, 2009.
- ▶ Kostoff R. N, Schaller R. R., "Science and Technology Roadmaps", IEEE Transactions On Engineering Management, Vol. 48, No. 2, 2001.
- ▶ Saracoglu, B. O., "A New Generic Method For Large Investment Analysis In Industry and An Application In Shipyard - Port Investment", PhD Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2009.
- ▶ Saracoglu, B. O., and Gozlu, S., "Developing a Design and Manufacturing Technology Strategy for Shipyards", International Management Development Association, Advances in Global Management Development Volume XV, 15th World Business Congress, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2006
- ▶ Url-1 <<http://www.eea.europa.eu/themes/climate/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-2 <<http://www.epdk.gov.tr/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-3 <<http://www.enerji.gov.tr/index.php>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-4 <<http://www.teias.gov.tr/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-5 <<http://www.tedas.gov.tr/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-6 <<http://www.euas.gov.tr/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-7 <<http://www.tetas.gov.tr/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-8 <<http://www.dsi.gov.tr/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-9 <<http://www1.eere.energy.gov/solar/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-10 <<http://www.epia.org/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-11 <<http://www.eurosolar.de/>>, accessed at 10.01.2010.
- ▶ Url-12 <<http://www.seia.org/>>, accessed at 10.01.2010.

Summary

Nowadays, there is a growing tendency to force the electric energy generation firms to be more environmental friendly, more flexible to the national grid system, more responsive to the electric energy market needs, more capable to adapt new systems to rapidly changing market conditions, while maintaining low cost of electric energy generation systems in life cycle cost manner, providing high quality of electric energy supply and increasing customer satisfaction of all customers until the final end-customer in very competitive electric energy markets. Any type of electricity customer in any segment in the electricity energy market demands high quality supply of electricity at reasonable prices, that has to be generated in environmental friendly manner. One of the competition capability factors of one industry or one country is the cost of energy input, which directly affects the cost of products. The importance of health, hence the importance of environment and environmental friendly systems in any industry is very clear and mutually agreed upon by communities. In these conditions, it is obvious that technological advances or breakthroughs should be effectively adopted to fulfill and to achieve so many different objectives, which almost all of them conflict with each other. When the electric energy generation systems are investigated in detail in all over the world, it is observed that electric energy generation firms have strived to implement technologies such as solar power electric generation in an incrementally increasing trend over the last 15 years. However, this electric generation technology is not even in the end of introduction stage in Turkish Electricity Generation Market. The objective of this paper is to focus on developing off grid and on grid solar energy generation systems technology transfer strategy roadmap for Turkish Electricity Generation Market. This roadmap could be either applied for the government institutions, which are focused on this subject or the private firms that considers to invest in solar energy systems. The first fold of off grid and on grid solar energy generation systems technology transfer strategy roadmap for Turkish Electricity Generation Market is the business strategy development. This is followed by technology transfer strategy development. The whole model is finalized by the operation strategy development. A case study is conducted to gather information and support the model by help of a selected firm in this sector. Finally, the study is finalized with a proposal of detailed solar power technology transfer strategy roadmap in Turkish Electricity Generation Market.

SOLAR CELLS AND SOLAR TEXTILES TECHNOLOGY

Burcu REİSLİ

İTÜ Textile Engineering Department

Fatma KALOĞLU

İTÜ Textile Engineering Department

Sema SOLMAZ

İTÜ Textile Engineering Department

Abstract

This study presents a review on solar textiles, solar cells and photovoltaics. Solar cells produce direct current electricity from light, which can be used to power equipment or to recharge a battery. Solar cells, the fundamental materials of the solar textiles are generally based on polymer materials and can in principle offer production in high volume at low process cost. The textiles are preferred to use in this area because of their some properties such as comfortable, functional, flexible; also they are mechanical rugged, lightweight materials. Solar cells application in constructions includes complex shading systems and facade esthetics together with providing energy and new experiences of urban spaces. Moreover, solar cells application in industrial design introduces disruptive technologies into transport sector and design new generation of consumer goods.

Recently, photovoltaics are used for solar textiles. Photovoltaics are best known as a method for generating electric power by using solar cells to convert energy from the sun into electricity. The photovoltaic effect refers to photons of light knocking electrons into a higher state of energy to create electricity. The term photovoltaic denotes the unbiased operating mode of a photodiode in which current through the device is entirely due to the transduced light energy. Virtually all photovoltaic devices are some type of photodiode. The first practical application of photovoltaics was to power orbiting satellites and other spacecraft, but today the majority of photovoltaic modules are used for grid connected power generation. There is a market for off-grid power for remote dwellings, boats, recreational vehicles, electric cars, roadside emergency telephones, remote sensing, and cathodic protection of pipelines. There are many researches on developing photovoltaic cells in order to get flexible photovoltaic textiles based on novel fibers that are developed with conductive properties and they are used as substrate for the flexible photovoltaic cells, which will allow converting solar radiation into energy.

1. Introduction

A **solar cell** is a device that converts the energy of sunlight di-

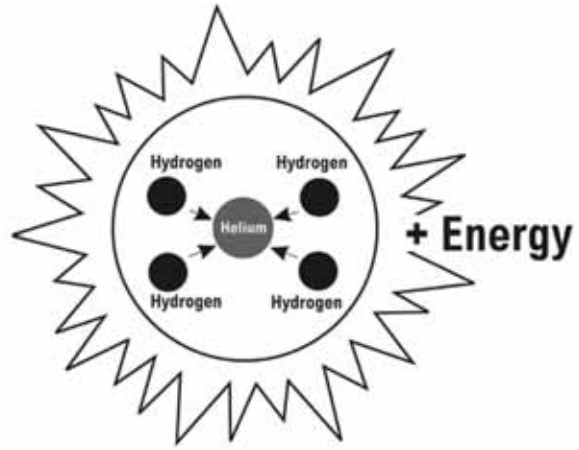


Figure 1 [2]

rectly into electricity by the **photovoltaic effect**. Sometimes the term solar cell is reserved for devices intended specifically to capture energy from sunlight, while the term photovoltaic cell is used when the light source is unspecified. Assemblies of cells are used to make solar panels, solar modules, or photovoltaic arrays. [1]

Solar energy is an enormous amount of energy that is produced by the sun. The energy comes from within the sun itself and the sun radiates every day. It is a free and widely available energy source. This star looks like a big ball included of hydrogen and helium atoms. With the process of 'nuclear fusion', the hydrogen atoms combine to form helium and generate energy. All this energy does not go to the earth. About 15 percent of the sun energy that hits the earth is reflected back into space. Another 30 percent is used to evaporate water, which lifted into the atmosphere, produces rainfall. Solar energy is also absorbed by plants, the land, and the oceans. The rest could be used to supply our energy needs. [2]

Current solar power technology has little chance to compete with fossil fuels or large electric grids. Today's solar cells are simply not efficient enough and are currently too expensive to manufacture

for large-scale electricity generation. However, potential advancements in nanotechnology may open the door to the production of cheaper and slightly more efficient solar cells. [2]

Conventional solar cells can only achieve efficiencies around ten percent and they are expensive to manufacture. Inefficiency is almost unavoidable with silicon cells. This is because the incoming photons, or light, must have the right energy, called the band gap energy, to knock out an electron. If the photon has less energy than the band gap energy then it will pass through. If it has more energy than the band gap, then that extra energy will be wasted as heat. [2]

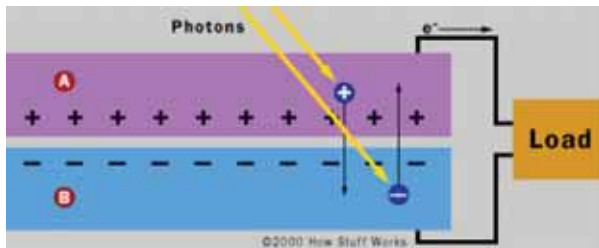


Figure 2 Diagram of a photovoltaic cell [3]

First of all, basic process that a normal solar cell uses should be explained. Conventional solar cells are called photovoltaic cells. These cells are made out of semiconducting material, usually silicon. When light hits the cells, they absorb energy through photons. This absorbed energy knocks out electrons in the silicon, allowing them to flow. By adding different impurities to the silicon such as phosphorus or boron, an electric field can be established. This electric field acts as a diode, because it only allows electrons to flow in one direction. Consequently, the end result is a current of electrons, better known to us as electricity. [3]

Photovoltaics (PV) is the field of technology and research related to the application of solar cells in producing electricity for practical use. The energy generated this way is an example of solar energy which is also called solar power. [1]

Photovoltaic devices can be divided into three main classes: (1)

- 1) Bulk silicon,
- 2) Thin film inorganic materials,
- 3) Organic photovoltaics

Bulk silicon currently dominates the market but is the most expensive and the least flexible of the photovoltaic technologies. [4]

PV Family Tree:

General Application Areas Of Solar Energy [5]

1) **Applications In Constructions (contributing to building sustainability, complex shading system & facade esthetics)**

-Space Heating, Production of Hot Water and Cooling Systems

Heating the inside of the buildings, it is called space heating. Solar

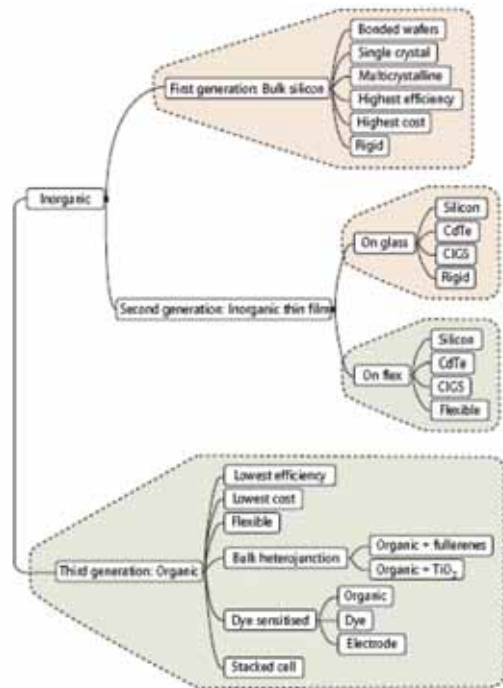


Figure 3. PV Family Tree [4]

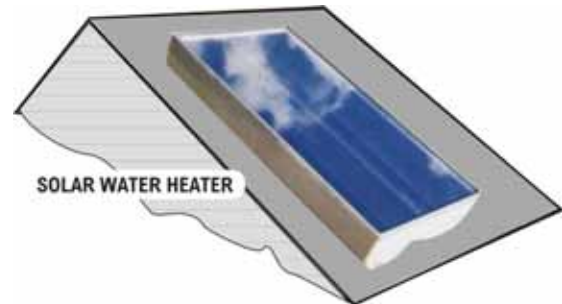


Figure 4 [5]

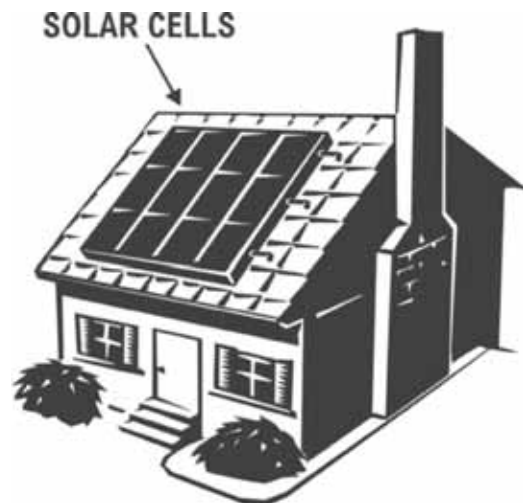


Figure 5 [5]

energy is used to heat water and air and using this becomes too economical for families, because water and air heating are usually the third leading home energy expense.

Through placing the collectors to the roofs, the heating effect of solar is utilized and with this, the water can be heated. This heated water can supply hot water need of the house.

Besides, hot water produced by solar energy can be cooled with addition contrivances.

-Greenhouse heating

Commercial greenhouses typically rely on the sun to supply their lighting needs, but they are not designed to use the sun for heating. Instead, they rely on gas or oil heaters to maintain the temperatures necessary to grow plants in the colder months. Solar greenhouses, however, are designed to utilize solar energy for both heating and lighting.



Figure 6 [5]

-Lighting of Gardens and Streets

Lighting of the vehicle roads, streets and gardens is composed very important cost. The lamps have solar battery on cast light throughout the night, so streets and gardens can be lightened with no cost.



Figure 7 [5]

2) Applications In Industrial Designs

-The Traffic Lamps

For supplying the energy need of the traffic lamps, solar energy is used. The traffic lamps which run with solar energy are used the areas far away from the network. The solar battery on the lamp gives light to the lamp. Besides, the energy is stored in the battery for using it at night.

-House Electricity

Solar panels or solar batteries placed on the house roofs produce electricity according to their sizes. Produced electricity is not deleterious for the environment and the panels can work without more care.

-Cooking

There is a condensing system which is named solar oven. With this system, sun rays are collected on the pot and cooked.



Figure 8 [5]

-Watches and Calculators

Calculators carry small solar batteries; so calculators can be used without changing the battery for years. Like calculators, some numeric watches work with solar energy.



Figure 9 [5]

-Charging the Mobile Phones

Small solar batteries are used for charging the mobile phones.



Figure 10 [5]



Figure 11 [5]

-Planes

Some models of spy planes which have to be on the air very long time, flights can be carried out with solar batteries without fuel.

-Solar Cars

Solar car is a type of an automobile which supplies most of the working energy from the solar energy. Because of that, exterior surface of the solar cars

is covered with the pores that change the solar energy to the electrical energy. Generally, they have accumulators for string the electrical energy, so the solar cars can be used for a while when sunless or cloudy weather conditions are occurred.

With high capacity solar pore modules, the power of 2, 25 kW can be supplied from the area of 10 m². Power is dependent to the efficiency and area of the modules and it can change for the different modules.

A very important sample of solar cars is produced in Istanbul Technical University which named **ARIBA**. ITU GAE is produced 4 different solar cars; ARIBA I, ARIBA II, ITURA (ARIBA III) AND ARIBA IV. ITU GAE participated the World Solar Challenge which is organized in October 25-31, 2009 and won “**World Solar Challenge Best New Comer**” prize in Australia.



Figure 12 [5]



-Unnatural Satellites

Satellites which are on space for years take the energy need from the solar batteries. There is solar panel produces electricity on every satellite.

- Clothes and Bags

Small solar batteries are attached

Figure 13 [5]

on the luggage such as clothes, bags etc. Thus, mobile devices like MP3 players can stay in working order consistently.

Application Areas Of Solar Energy In Textile Industry

The focus of development includes applications in portable electronics, smart fabrics, portable power textiles for medical health care, sports and recreation, transportation, entertainment and warning devices.

The main development objectives;

- 1) **Solar energy cloth technology** (including modulation technology, hybrid solar membrane, plastic solar membrane etc.)
- 2) **Energy storage textile technology** (including carbon fiber modification, flexible fabric electric capacity technology, fabric

capacitance evaluation technology, and integration technology for cloth and capacitor)

- 3) **Fabric cell technology** (including the application of solar cloth and fabric capacitor to bags and tents as portable power textile products.)

The development path is from dye sensitive solar cell, organic solar cell and energy storage fabric capacitor system optimization to hybrid, plastic solar cloth and fabric cell.

According to statistics, power plants are the main source of carbon dioxide emissions, and their proportional contribution to total emissions is continually growing, from 56.6% in 2000 to 61.85% in 2006. The rapid growth of carbon dioxide emissions from power stations is increasing the urgency of alternative energy development. Sony in Japan has developed “dye sensitive solar cell”, a major breakthrough that reduces production costs by almost 90% compared with traditional solar cell. G24 Innovations in the UK established a trial production line in 2007 for dye sensitive solar cell, expediting organic dye solar cell commercialization. The production value for this type of cell is forecast to reach US\$ 372.3 million by 2015. Power textile development begins with cell products and is based on high value added cloth. The Taiwanese textile industry will gradually develop solar energy photoelectric conversion and energy storage textiles with diverse applications and high added value. [6]

Fibers And Solar Cells For Textile-Based Electrical Energy Storage

Electrical device functionality is increasingly desirable in textile products, and electrical energy storage functionality in textiles would be enabling for such products. Capacitors are especially useful electrical energy storage devices in this regard. [6]

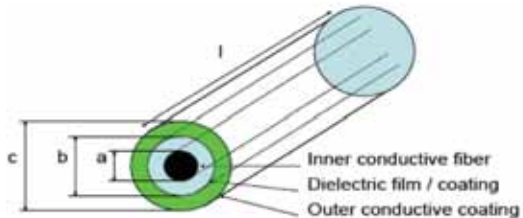


Figure 15. Illustration of a fiber-based capacitor. Bundles of these capacitors could be used to fabricate textile products that would also serve to store electrical energy. [7]

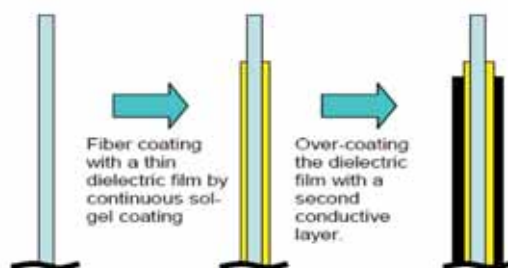


Figure 16. Illustration of the fabrication steps that will be used to create fiber-based solid-state capacitors. Fiber coating will be accomplished by standard methods which are fully amenable to continuous, roll-based high volume manufacturing. [7]

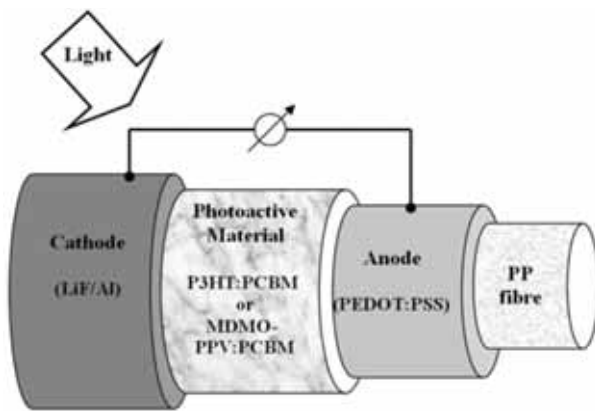


Figure 17. Schematic drawing of a photovoltaic fiber[8]

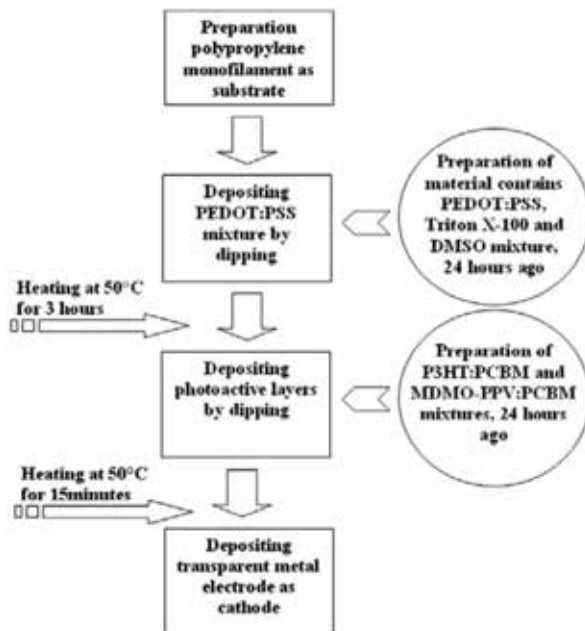


Figure 18. Schematic drawing of a photovoltaic fiber[8]

There are many researches on developing photovoltaic cells which use different fibers. For instance; Dephotex performs a project and the goal of this project is to research and develop photovoltaic cells in order to get flexible photovoltaic textiles based on novel fibers that are developed with conductive properties and they are used as substrate for the flexible photovoltaic cells, which will allow converting solar radiation into energy. The latest innovations on photovoltaic technology have allowed obtaining flexible solar cells, which offer a wide range of possibilities, mainly in wearable applications that need autonomous systems.. These offer a range of useful applications, e.g. in a variety of consumer application sectors, including home and architecture textiles, sports, leisure, clothing and the automotive industry. Some applications envisioned are solar tents and parasols with the capability of energy generation. The main technological innovation is based on the development of a wearable and flexible energy source directly on textile products. Fabrics

with the capability of generating clean, usable and wearable energy thanks to their sun exposure, offer a great added value. [9]

Energy-recovery systems can use, for example, body movement or body heat production. However, the efficiency of such systems is still too low. Flexible solar cells, textile coils (RFID tag), or external sources, as Bike's dynamo, are also solutions for supplying energy for smart clothes. [10]

Sheila Kennedy, who is now at MIT, creates designs for flexible photovoltaic materials that may change the way buildings receive and distribute energy. These new materials, known as solar textiles, work like the now-familiar photovoltaic cells in solar panels. Made of semiconductor materials, they absorb sunlight and convert it into electricity. Kennedy uses 3-D modeling software to design with solar textiles, generating membrane-like surfaces that can become energy-efficient cladding for roofs or walls. Solar textiles may also be draped like curtains. Sheila Kennedy works for a recent project "Soft House". For this project, Kennedy transformed curtains into the mobile, flexible energy-harvesting surfaces with integrated solid-state lighting. Soft House curtains move to follow the sun and can generate up to 16,000 watt-hours of electricity. [11]

Power Textiles Limited Company performs a project which is specifically concerned with identifying encapsulating systems for the textile solar cells that would improve their resistance to undesirable aging processes and atmospheric attack, whilst retaining a reasonable level of flexibility. Novel approaches are used to render a fabric electrically conducting, prior to deposition of thin nanocrystalline silicon films, a process which can be effected at especially low temperatures. A layer of transparent conducting oxide is finally laid down. External contacts have to be added, and the cells have to be encapsulated to render them resistant to atmospheric conditions. Numerous applications are envisaged, including electrical supply in remote areas, for disaster relief, in tents and on roofs, and in specialist military applications. The main findings were that certain polymeric resins provided excellent, transparent, seals around the printed textile samples and offered reasonable levels of flexibility once cured. The encapsulation materials appeared not to affect the textile substrate or the printed silicon and conducting oxide. The encapsulated products also demonstrated improved mechanical abrasion resistance and were largely unaffected by moisture after several days immersion in water at room temperature. [12]

Solar power is an exhaustible new energy that is widely used in various aspects, including TIPV (Textile Integrated Photovoltaics) and it also plays an important role in our life. Thus, it can be found everywhere easily. The demand for solar cells is getting more and more because it is convenient, practical, clean and environment-friendly. For these reasons, it is suggested to develop TIPV as soon as possible. This study focuses on membrane textiles, as well as textile-related products such as electronic garments, bags, cases and luggage and the reason for this is that they can easily be integrated with solar cells for immediate effects. Making solar cells become part of textiles is an excellent way to upgrade product functions and increase value-added. However, one must focus merely

on technology. To make products more attractive to consumers, the idea of maintaining the ultimate function of textile products must never be overlooked. The rise of solar power will benefit not just the solar energy industry. Its applicable potentials cover the electronics, telecommunications, lighting and textile industries as well. [13]

As emphasized in the article "Textiles as Substrate Electrodes for Electrodeposited ZnO- a New Pathway to Textile-Based Photovoltaics", textiles as substrate electrodes for electrodeposited ZnO are used for supplying independent energy. Metal- coated polyamide threads, filaments and knitted fabrics were used to electrodeposit thin porous films of ZnO as a first step towards textile- integrated photovoltaics. The textiles are preferred to use in this area because of their some properties such as comfortable, functional, flexible; also they are mechanical rugged, lightweight materials. The textiles should therefore be used as substrate for photovoltaic cells rather than just as a mechanical support as presently. To use them as a substrate therefore is also of interest for other niche applications and possibly even for large scale photovoltaics. Electrodeposition of semiconductor films from precursor solutions represents the most promising approach because of good compatibility of the processes to a low thermal stability of textiles and to the need of a three- dimensional coating process. In this contribution, it can be discussed the results of electrodeposition of porous ZnO films on metal- coated polyamide fibers. The interesting role of the fibers as microelectrodes and the relevance to control the hydrodynamic flow will be shown. [14]

Fabric Cell Technology

Sources of energy that are available to a garment are for instance, body heat, mechanical motion (elastic from deformation of the fabrics, kinetic from body motion), radiation, etc. Infineon (Lauterbach et al., 2002) had the idea to transform the temperature difference between the human body and environment into an electrical energy by means of thermo generators. The prototype is a rigid, and thin micro module that is discretely incorporated into the clothing. The module itself is not manufactured out of textile material. However, the line of thought is introduced. The use of solar energy for energy supply is also thought of. At the University of California, Berkley, a flexible solar cell is developed which can be applied to any surface (Chapman, 2002). [10]

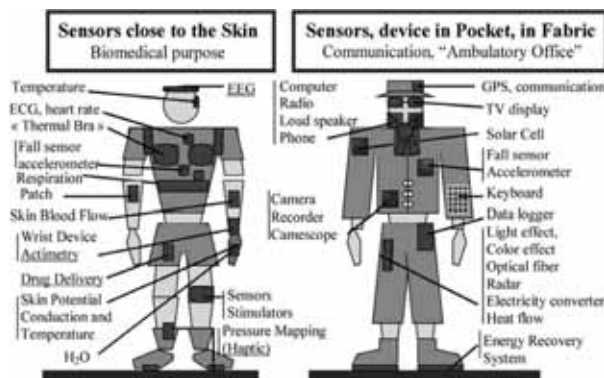


Figure 19. Two kinds of smart clothes [15]

Some plastic solar cells will be used for smart fabrics and interactive textiles applications. The properties of cells that enable them to be a great candidate for power generation in wearable form are flexibility, ability to be printed on a variety of surfaces, availability in multiple colors, customizable shapes and sizes, and environmental friendly profile - non-toxic, disposable and recyclable. Its applications are bags and backpacks, sails, tents, jackets and vests, suitcases, awnings, cases and sleeves. [16]



Figure 20 [16]

Recently CIGS thin film technology has been used in the development of a solar-powered jacket. The detachable solar panels consist of thin film PV CIGS placed onto a thin stainless steel substrate. They convert energy from sunlight into a hidden battery pack, which in turn can be used to charge electronic devices. Charging time is reported to be in two to three hours in direct sunlight. Silicon-based thin films are also under investigation for use in woven military uniforms and other materials. Solar cells have also been developed using textile materials as substrates. One method is to deposit silicon from a gaseous compound as a nanocrystalline thin film on a woven or nonwoven textile substrate. The technique has been used on polyester and glass textiles. Another method is to use PV polymer fibers directly to weave or knit textile fabrics. One approach for this technology involves nanotechnology, whereby a dye is injected into titanium dioxide. When applied to a flexible material, the dye absorbs energy from light; the energy travels through the titanium dioxide and a series of electrodes, and is converted into electrical energy. Using this approach, PV fibers can be produced, spun, woven, or knitted, or made into non-woven textiles. Titanium dioxide nanofibers produced by methods such as electrospinning have also been suggested to have potential for PV applications. Another approach involves adapting the multi-layer thin film technology for cylindrical materials such as fibers. PV fibers have been produced in this method by depositing a sandwich structure on the surface. As with thin film technology, the sandwich structure consists of amorphous silicon, sandwiched between a top electron-rich layer, and a bottom electron-poor layer. Photons hitting the surface layer displace the electrons in the top layer, which then flow through the middle and bottom layer and are converted to an electrical current. [17]

Konarka Technologies has announced that it is working with the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) to create a

photovoltaic fabric, which could transform textile products into novel power sources. Through this joint effort, the Photovoltaic Fibers and Textiles Based on Nanotechnology program is expected to yield the first fully integrated woven photovoltaic material. Such material will allow for tighter integration of power generation capabilities into devices, systems and structures beyond what is possible with plastic film. "Photovoltaic textiles could positively increase the number of applications available to solar technology by extending integration to objects made from fabrics, such as garments, tents or coverings," said Daniel Patrick McGahn. [18]

Clothing that generates solar power, fabrics that beep if you risk athletic injury and bed sheets that monitor your heartbeat and physiological health. Welcome to the world of "intelligent polymers," a chemical research frontier that could revolutionize textiles. The first prototype thus far has been the "knee sleeve," a training device tested last year on Australian professional athletes to reduce knee injuries. It fits over the knee like an open-ended sock. When the fabric is stretched, indicating a harmful movement of the knee, the altered electrical charge within the sleeve's polymers triggers a detachable buzzer. That tells the athlete he's got bad habits and risks anterior cruciate ligament (ACL) damage, according to Julie Steele, a biomechanics researcher at the University of Wollongong, where the device was designed. Other uses could include textiles such as bed sheets that constantly monitor a user's heartbeat, outdoor clothing that change insulation and waterproofing properties in response to temperature and humidity. [19]

Results

This study presents a review on solar cells, photovoltaics and application areas of solar cells in the industry. Usage of solar cells and photovoltaics will increase day by day and within 10 years, photovoltaic power will be competitive in price with traditional sources of electricity.

In the future, continued investments in solar R&D will lead to costs that are more competitive with fossil fuels. Smaller and cheaper solar panels will mean all buildings and homes could be equipped to not only produce, but also conserve, their own solar energy. Researchers are working to develop technologies that may allow solar energy to be used in an electrolysis process that separates the hydrogen and oxygen in water so the hydrogen can be used in fuel cells for transportation and in buildings. [20]

The Future of Photovoltaics to 2015' Katherine Derbyshire indicates that key bulk silicon shortage and it might provide opportunities for thin film photovoltaics and flexible PVs in the context of the larger PV market. The overall market for photovoltaics is dominated by power generation, which demands the highest possible efficiency and reliability. Power installations are permanent and gain little benefit from flexibility. Flexible PVs are not as efficient as their rigid counterparts. Consequently, bulk silicon and thin film on glass technologies are forecast to dominate the overall PV market to 2015.

PV growth is likely to come from the power generation sector as bulk-silicon-based materials offer the highest solar cell efficiencies. However, due to high processing costs and supply shortfalls, PV cell suppliers are racing to develop more efficient processing techniques that could lower overall cell costs, maintain ingot purity, and reduce the amount of silicon needed in power generation applications. Because of these trade-offs, manufacturers are investing in thin film and organic PV cells. As a result of this investment, it is expected by 2010 liquid phase deposition methods and organic PV will become commercially useful, and new applications will emerge as technologies mature and efficiencies improve. [4]

References

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
- [2] "Secondary Energy Infobook", 2008 The Need Project, PO BOX 10101, MANASSAS VA 20108, Page 40-43
- [3] Prialux M., "Solar Cells and Nanotechnology", Science and Technology Studies, Section 84405
- [4] Derbyshire K., "The Future of Photovoltaics to 2015", Pira International Ltd., page 3 – 15, 2006
- [5] <http://www.alternaturk.org/gunes-enerjisi-kullanlim-alanlari.php>
- [6] "Part II: Development of Industrial Technology in Taiwan", White Paper on Taiwan Industrial Technology, page 1 – 11, 2008
- [7] Creager S.E., Brown P., Gregory R., "Fibers for Textile-Based Electrical Energy Storage"
- [8] Bedeloglu A., Demir A., Bozkurt Y., Sariciftci N.S., "A Photovoltaic Fiber Design for Smart Textiles", Textile Research Journal OnlineFirst, Vol. 0(0), page 1–10, October 29, 2009
- [9] DEPHOTEX, "Development of Photovoltaic Textiles based on novel Fibers", <http://www.dephotex.com/>
- [10] Kiekens P., Van Lengenove L., Hertleer C., "Smart Clothing: A New Life"
- [11] MIT, "Getting Wrapped up in Solar Textiles", June 9, 2008
- [12] TTOM (University to SME Technology Transfer in Optoelectronics and Microelectronics), "The Encapsulation of Textiles for Solar Cell Applications"
- [13] Chen K.H., Cheng K.F., "The Development Trends of Textile Integrated Photovoltaics", Industrial Economics and Intelligence Center of Industrial Economics, Intelligence and Training, Taiwan Textile Research Institute
- [14] Loewenstein T., Mingeback M., Hastall A., Zimmermann Y., Neudeck A. and Schlettwein D., "Textiles as Substrate Electrodes for Electrodeposited ZnO- a New Pathway to Textile-Based Photovoltaics"
- [15] Axisa F., Schmitt P.M., Gehin C., Delhomme G., McAdams E., Dittmar A., "Flexible Technologies and Smart Clothing for Citizen Medicine, Home Healthcare, and Disease Prevention"
- [16] <http://www.solarmer.com/productsf.php>
- [17] Lam Po Tang S., Stylios G. K., "An overview of smart technologies for clothing design and engineering", July, 2005
- [18] <http://powerelectronics.com/news/photovoltaic-weave-fabrics/>
- [19] <http://www.solarfabric.com/>
- [20] OSA, "Powering the Future with Solar Energy"

“PV ÜRETİM TEKNİKLERİ – TEMEL BİLEŞENLER”

Cem KAYPMAS

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Taner YILDIRIM

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Özet

Dünyamızın enerji ihtiyacı teknolojik gelişmeler ve yaşam kalitesi üzerinde yükselen talebe bağlı olarak artma eğilimi göstermektedir. Sürdürülebilirlik için daha fazla güvenilir, temiz ve düşük/sıfır emisyonlu enerji kaynaklarına ihtiyacımız bulunmaktadır.

Son on yılda yenilenebilir enerji üreten sistemler konvansiyonel enerji sistemleri ile birleşmektedir. Fosil yakıt tüketimini azaltmaya ve oluşacak boşluğu yenilenebilir enerji kaynakları ile doldurmaya ilgi duyulmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının temel olanlarından birisi güneş enerjisidir, güneş enerjisinden elektrik üretimi ise Fotovoltaik (PV) sistemler ile gerçekleştirilmektedir.

Piyasada birkaç çeşit PV teknolojisi mevcuttur. Bunların en yaygın olanı Kristal Silisyum temelli güneş gözelerine sahip, birinci nesil PV lerdir. 2008 yılı pazar paylarına göre bu teknolojinin Pazar pay oranı yüzde 95'in üzerindedir. Bunu takip eden teknoloji olarak ikinci nesil PV ler, ince film teknolojisine sahip PV lerdir.

Uygulama ve üretim tekniklerine göre her ikisinin birbirlerine göre avantajları vardır. Yatırımcı ve karar vericilerin üretim teknolojilerine, kritik bileşenlere, üretim teçhizatına ve rakip firmalara dikkat ederek karar almaları gerekmektedir.

PV üretim teknikleri PV teknolojisi tipine göre farklılık gösterirler. Kristal PV modül üretimi büyük miktarlardaki üretimler için detaylı bir tam otomatik üretim hattıdır. Genellikle senelik birkaç MW kapasitesindeki üretimler için yarı-otomatik üretim hatları kurulmaktadır. Daha büyük üretimlerde Pazar fiyatları söz konusu olduğunda tam otomatik üretim hatlarının daha rekabetçi olduğu görülmektedir.

Bu makale PV üretim teknikleri ve PV üretiminde kullanılan temel bileşenler hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca, üretim hattı ölçeklerine ve uygulama alanlarına göre teknoloji ve sistem seçim parametreleri vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: PV Üretimi, Fotovoltaik, Yenilenebilir

Giriş

Bu gün piyasada bulunan güneş gözelerinin büyük bir çoğunluğu tek-kristalli silisyum ve çok kristalli silisyum yarı iletken malzemeler ile üretilmektedir. Uygun seçilmiş tabanlar üzerinde tekil ya da bileşik yarı iletken ince film malzemelerden üretilen güneş gözeleri de pazar payını hızla artırmaktadır. Günümüzde %95 civarı bir oranda kristal silisyum teknolojisi kullanılmaktadır [1]. Gelişen PV göze üretim teknolojilerinin izin verdiği en ince yongaların üretilmesi yönündeki çalışmalar başarı ile devam etmektedir. Yongaların üretim sürecinde değerli olan silisyum malzemenin bir bölümü dilimleme esnasında kaybedilmektedir. Dilimlemeyi

Mustafa TIRIS

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Levent GÜLBAHAR

ANEL Telekomünikasyon Elektronik Sistem Sanayi ve Ticaret A.Ş

gerekirmeyecek büyüme teknolojilerinde önemli gelişmeler devam etmektedir.

İnce Film PV Üretimi

İnce film modüller için göze üretimi, uygun seçilmiş tekil ya da bileşik yarıiletken malzemelerin cam, seramik, paslanmaz çelik, bakır veya plastik tabanlar üzerine oldukça ince tabakalar halinde büyütülmesi ile gerçekleştirilmektedir. İnce film göze üretimi, kristalli göze üretimi ile karşılaştırıldığında birim yüzey alan üretimi için daha az malzeme ve enerji girdisine gerek duyar. Dolayısı ile birim alan üretim maliyetleri çok daha düşüktür. Ancak daha düşük “garanti edilebilir verim düzeyi” ve pazarda denenmişlik süresinin çok kısa olması ince film teknolojilerine dayalı üretim ve buna bağlı teknoloji gelişimini yavaşlatmaktadır. Son yıllarda PV modüle olan talebin kristalli malzemeyle karşılanmasında ortaya çıkan darboğaz birçok yeni ve eski PV firmasını ince film üretimi alanında yatırımlar yapmaya zorlamaktadır. Artan üretim kapasitesinin üretim maliyetlerini hızla düşürmesi beklenmektedir [2,3].

Çeşitli gelişmeler ince film teknolojilerinin kristal silikon ile güçlü bir şekilde rekabet edeceğinin belirtilerini vermektedir. Burada üretim bakımından temelde üç noktaya dikkat çekilmelidir:

- ▶ İnce film PV göreceli olarak çok büyük alanlara kaplanarak elde edilir, büyük yüzeylerde üretilebilirlik maliyet düşüşlerinin birinci nedenidir,
- ▶ İnce film PV göreceli olarak çok düşük miktarda malzeme kullanır,
- ▶ İnce film PV kristal silikon teknolojilerinin aksine polisilikon hammaddesine bağımlı değildir.

Ticari olarak pazarda bulunan ince film teknolojileri pazar paylarını her geçen gün artırmaktadır. Üretim ve üretilebilirlik ile ilgili bu mülahazalara ek olarak ince film teknolojilerinin bazı ayırdedici özellikleri üstünlük sağlar, bunlar temelde aşağıdaki gibidir:

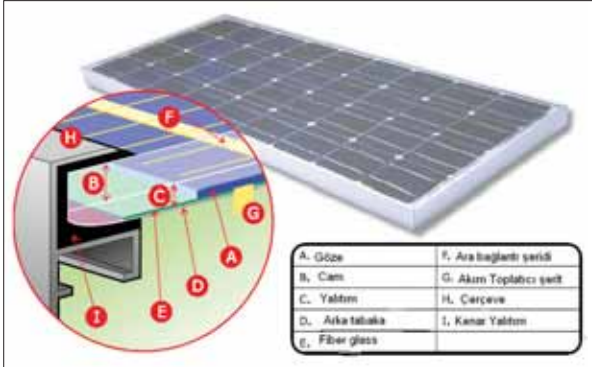
- ▶ Kristal silikon PV'nin ürün sunamayacağı niş alanlar ince filmlerin gelişme yerleridir, bunlardan en önemlisi esnek altlıklara kaplanma yeteneğidir, bu altlık polimer ya da metal folyo olabilir.
- ▶ Görünüm ve ışık geçirgenlikleri ve mimari eleman olarak kullanıma elverişlilik bakımından ince filmler büyük üstünlüklere sahiptir.

Günümüzde, ince film üretimindeki artışlar dünya üretiminin hızlı artışını dengeleyebilecek büyüklükte değildir. Dolayısıyla PV sektörünün hızlı büyümesinin önündeki en önemli engel gerekli hammadde tedarik kapasitesinin yeterince hızlı devreye giremeyecek oluşu olarak görülmektedir [4].

Kristal Silisyum PV Üretimi

Bir güneş gözesinin temeli yarıiletken diyet olup, tek bir diyottan alınabilecek açık devre voltajı ve yük akımı genel uygulamalar için, güç olarak yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı, istenilen güç değerlerine (gerilim, akım) ulaşabilmek için, yeterli sayıda güneş gözesi birbirine seri ve paralel bağlanarak modüller üretilmektedir. Modül üretimi sırasında, gözeleri çevresel etkilerden korumak için, ön yüzeye optiksel geçirgenliği yüksek bir malzeme (cam ya da plastik), arka yüzeye de genellikle EVA (Etilen Vinil Asetat) kullanılmaktadır. Bu işleme laminasyon denmektedir. Lamine edilmiş tabakalar genellikle alüminyumdan yapılan bir metal çerçeve ile mekanik olarak güçlendirilir. Böylece güneş gözeleri sağlam ve su geçirmez bir yapıya kavuşturulmuş olur. PV modüller için genellikle STC'de anma güç değerlerinin 20-25 yıl sonra başlangıç değerinin %80'inin altına düşmeyeceğini garantisi verilmektedir.

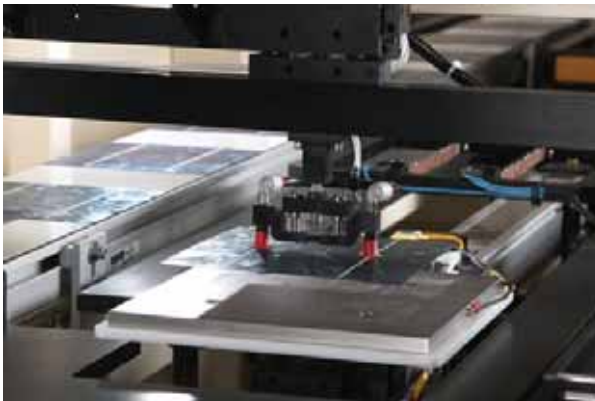
Kristal silisyum fotovoltaik modül üretimi, maddeler halinde açıklanmıştır. **Şekil 1'**de bir kristalli silisyum güneş modülünün yapısı görülmektedir. Şekil üzerinde açıklanan parçaların montajı için gereken ekipmanlar üretim hattını oluşturmaktadır [4,5].



Şekil 1. Kristalli silisyum güneş modülünün yapısı

Göze Verimliliklerinin Değerlendirilmesi ve Gruplanması

Modül üretiminde gözelerden en yüksek verimi elde edebilmek için aynı özellikte gözeler bir araya getirilmelidir. Fakat yapıları gereği güneş gözelerinin tümü aynı özellikte olmamaktadır. Bu nedenle modül üretimine başlanmadan önce kullanılacak gözeler test edilmeli ve aynı özellikteki gözeler gruplanmalıdır. Bu gruplama işlemi için bir güneş simülasyonu cihazı gerekmektedir. Güneş



Şekil 2. Otomatik göze tutma sistemi- her bir göze AM1.5 Güneş Simülasyonu altına elektriksel ölçüm için yerleştirilir.



Şekil 3. Performansa göre ayrılan gözeler sınıflandırılarak göze kasetlerine yerleştirilir.

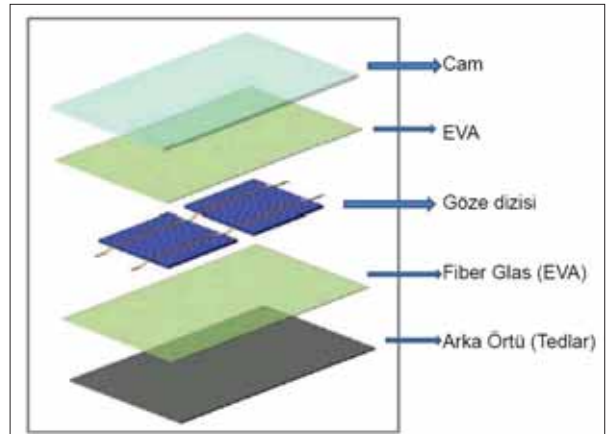
simülasyonu altında gözelerin akım-gerilim eğrisi belirlenerek, açık devre voltajı (Voc), kısa devre akımı (Isc), dolum faktörü, (FF), en yüksek güç noktası (MPP) ve verimi (η) tespit edilir. Gözelerin test sistemine yerleştirilmesi ve kaldırılması elle veya otomatik olarak yapılabilir. Elle çalışma çalışılan malzemenin hassasiyeti ve üretimi yavaşlatması sebebiyle önerilmemektedir. **Şekil 2'**de otomatik göze tutma sistemi, **Şekil 3'te** gruplandırma cihazı gösterilmiştir.

Camların Temizlenmesi ve Kurutulması

Modül için kullanılacak camların temizlenmesi, geçirgenlik en yüksek seviyede olması gerektiğinden çok önemlidir. Camın göze tarafı modül tamamlandıktan sonra temizlenemediğinden cam üzerinde kalacak kirler sürekli verim kaybına neden olacaktır. Cam yıkama elle yapılabileceği gibi otomatik makineler aracılığıyla da yapılabilir. Elle yıkama gerçek anlamda temizlik sağlayamadığı için tavsiye edilmemektedir. Modern yıkama makineleri, kapalı devre deterjanlı suda fırçalar yardımı ile cam yüzeyleri yağ gibi malzemelerden arındırır ardından lastik uçlu silicilerle temizler. Yıkama işleminden sonra iki aşamalı temiz su ile durulular. (fırçalar ve lastik uçlu siliciler kullanımı ile). Durulama da tamamlandıktan sonra yüksek basınçlı üfleyci ve hava bıçakları yardımı ile kurutur.

Thermoplastik Film, Eva Polimerinin Hazırlanması

Gözeler cam ve arka örtü arasına EVA adı verilen (ethylene vinyl acetate) bir malzeme ile kaplanarak yerleştirilir. Bu kaplama işlemi otomatik makineler aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu işlem için önce EVA cam üzerine uygun boyutta kesilir. EVA, cam, göze ve arka örtü yerleşimi **Şekil 4'te** görülmektedir.



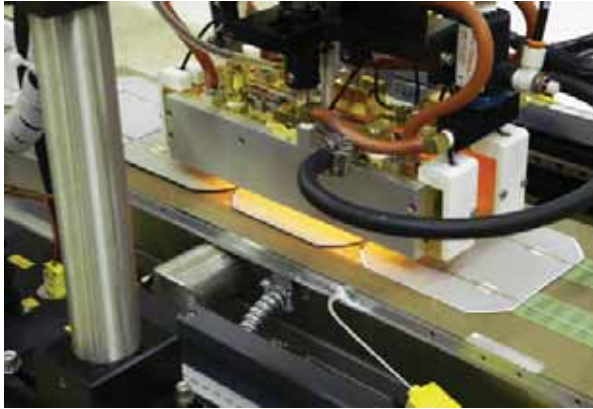
Şekil 4. EVA, cam, göze ve arka örtü yerleşimi

Göze Dizilerinin Oluşturulması

Gözeler dizi şeklinde birbirlerine ile metal şeritler aracılığıyla birleştirilirler. Metal şeritler gözelerle lehimlenerek göze dizilerini oluştururlar. Bu işlem elle de gerçekleştirilebilmektedir. Fakat göze yerleşimindeki düzensizlikler ve lehim hataları tüm modülün kalitesini ve verimini etkilediği için elle birleştirme tavsiye edilmemektedir. **Şekil 5'**te dizi oluşturma, **Şekil 6'** da şerit lehimleme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5. Gözelerin dizi oluşturmak üzere dizilimi

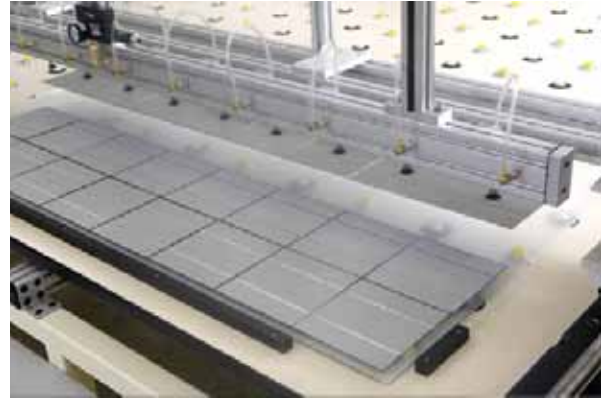


Şekil 6. Gözelerin metal şeritler lehimlenerek birleştirilmesi

Dizilerin Cam ve EVA Üzerine Yerleştirilmesi

Önceki aşamalarda hazırlanmış olan EVA kaplanmış cam üzerine göze dizileri yerleştirilir. Yerleştirme işlemi elle de yapılabilmektedir. Fakat yerleştirme sırasında gözelerin zarar görme ihtimali, yerleşimdeki düzensizliğin verimi etkilemesi, yerleşim sırasında diziler arasında kalan gereksiz boşluğun modül alanını büyütmesi gibi sebeplerden ötürü tavsiye edilmemektedir. **Şekil 7'** de göze dizisi yerleştirme cihazı gösterilmiştir.

Göze dizileri istenen güç ve gerilime göre seri ve/veya paralel olarak akım taşıyıcı şeritlerle birleştirilirler. Birleştirmeden sonra kullanıcı uçları modül dışına taşıyan uçlar eklenir. Bu işlem sonucunda modül tasarlanan elektriksel şemasının son adımına ulaşmıştır. Elektriksel olarak son haline gelen modül elektriksel bağlantıları görsel olarak kontrol edilir. Bağlantılarda görsel olarak bir hata tespit edilemezse karanlık I – V eğrisi ölçümleri yapılır. Görsel muayene ve karanlık I – V ölçümleri için aydınlatma, büyütmeye sağlayan özel test masaları üretilmektedir. EVA kaplanmış cam, göze dizisi, gözelerin arkasındaki EVA ve arkadaki kaplama tabakası (tedlar) bir araya getirilerek laminasyona hazır hale getirilir.



Şekil 7. Göze dizilerinin EVA kaplanmış cam üzerine yerleşimi

Laminasyon

Bu aşamada bir araya getirilmiş tabakaların ısı ile birbirine bağlanması işlemi yapılır. Üretilmek istenen modül boyutuna göre farklı büyüklüklerde laminasyon makineleri üretilmektedir. Büyük boy laminasyon makineleri tercih edilerek bir seferde birden fazla modül lamine edilebilmektedir. Laminasyon işlemi modül üretim bandının darboğazlarından biridir. Diğer aşamalara göre daha yavaş gerçekleşmektedir. **Şekil 8** ve **9** da 2 farklı laminasyon makinesi görülmektedir.



Şekil 8. Manuel laminasyon makinesi



Şekil 9. Otomatik laminasyon makinesi

Montajın Tamamlanması

Montajın tamamlanması için 3 aşamaya daha ihtiyaç vardır:

- Laminasyon kalıtlarının temizlenmesi: Laminasyondan sonra modülün kenarlarından taşan fazlalıkların kesilmesi işlemidir. Otomatik makinelerle veya elle yapılabilmektedir. **Şekil 10'**da örnek bir otomatik kenar kesme makinesi görülmektedir.



Şekil 10. Otomatik kenar kesme makinesi

- Kenar contasını ve modül çerçevesinin takılması: kenar fazlalıkları kesilen modülün kullanılabilmesi için conta ve çerçevesinin olması gerekmektedir. Conta ve çerçeve takma işlemi otomatik makinelerle veya elle yapılabilmektedir. Modül uzun süre dış ortamda kalacağı için conta ve çerçeve montajı büyük önem taşımaktadır. Şekil 11’de çerçeve ve conta montaj makinesi gösterilmektedir.



Şekil 11. Çerçeve ve conta montaj makinesi

- Bağlantı kutusunun takılması: conta ve çerçevesi takılan modüle bağlantı klemenslerinin ve diyotların bulunduğu kutu monte edilmelidir. Şekil 12’de otomatik bağlantı kutusu makinesi gösterilmektedir.



Şekil 12. Otomatik bağlantı kutusu takma makinesi

Testler

Modülün göze devresi ile çerçeve arasında yüksek gerilim izolasyon testinin yapılması, modüllerin dizi halinde bağlandığı zaman oluşabilecek yüksek gerilimden dolayı kullanıcının zarar görmesini önlemek açısından önemlidir. İzolasyon testine ek olarak çerçeve toprağı sürekliliği de kontrol edilir. Şekil 13’te izolasyon test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 13. Yüksek gerilim izolasyon test cihazı

Modül performansı ise “Güneş Simülatörü” cihazında, AM 1.5 standardında akım-gerilim eğrileri ölçülerek belirlenir. Güneş simülatörü cihazları genellikle puls Xenon lambalarla çalışırlar. Simülatör (Şekil 14) altında modülün açık devre voltajı, kısa devre akımı, tepe gücü, tepe gücündeki akım ve gerilim, göze ve modül verimi, dolum faktörü, seri direnç değeri ve modül sıcaklığı ölçülür. Test sonuçlarında hata çıkmayan modüller görsel test ve paketlenme sonrasında satışa hazır olacaktır.



Şekil 14. Güneş Simülatörü

Sonuç

Günümüzde yenilenebilir enerji ihtiyacı ve kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu eğilim ve teknolojinin gelişimi ile birlikte Fotovoltaik üretimine talepte artmaktadır. Rekabetçi şartlarda teknik ve ekonomik olarak tercih edilebilir ürünlerin ortaya çıkartılması temel hedeftir. Bu noktada üretim hatlarının kapasitelerinin belirlenmesi, teknolojinin seçilmesi ile birlikte tedarik yönetimi kritikliğini artırmaktadır. Bu çalışmada genel hatları ile bir üretim hattında olması gereken bileşenlere yer verilmiş ekipmanlar kısaca açıklanmıştır. Temel bileşenlere yer verildiği gibi, teknoloji ve kapasite farklılıkları, yatırım bütçesini ve cihaz altyapısını değiştirmektedir.

Kaynaklar

- [1]. International Energy Agency, “World Energy Outlook” 2008
[2]. “Global Market Outlook for Photovoltaics Untill 2013” EPIA ,

March 2009

- [3]. Arnulf Jager-Waldau "PV Status Report" EU JRC Institute for Energy, 2009
- [4]. Kaypmaz C., Yıldırım T., Tırıs M "Fotovoltaik Modül Üretim Hattı Oluşturulması", TÜBİTAK Dış Destekli Proje Ara Raporu, Aralık 2008.
- [5]. <http://www.spirecorp.com> Aralık 2009.

"PV Production Techniques - Main Components"

The energy need of our world shows positive trend to the technologic developments and increasing demand on quality of our lives. We need more clean, reliable and low/zero emission energy supplies for sustainability.

Over last decades renewable energy supply systems merged with the conventional energy systems. There is a great interest on reducing fossil fuel consumption and fill the lack by renewable energy sources. One of the main renewable energy sources is the solar energy, Photovoltaics (PV) as electrical energy production.

There are few types of PV technologies on the market. Most common one is the Crystalline Silicon Solar Cells, the first generation PVs. Market ratio of this technology is more than 95% according to 2008 market share values. Following one is the thin film technologies the second generation PV's. According to the application and production techniques, both have advantages to each other. The investors and the decision holders should pay great attention for production technologies, critical component or production equipments also other competitors.

PV production techniques show difference according to the PV technology type. Crystalline PV module production is a detailed robotic production line for large amount of productions. Generally Semi-automatic production lines are erected for few MWs of yearly production. Going larger, fully automated production lines are more competitive when we are talking about market prices.

This paper aims to give information about PV production techniques and main components used for PV production. It also highlights the technology and system selection parameters according to the production line scales and application areas.

Keywords: PV Production, Photovoltaics, Renewable

INNOVATIVE DESIGN FOR BIOCLIMATIC HOUSING

David Johnston

President
What's Working
Boulder, Colorado, USA

Abstract

Over the last decade green homes have become the dominant driving force in new American Housing. Today with the American economy in deep recession and housing starts at an all time low, energy price uncertainty is driving American homeowners to investigate zero energy homes as a way to hedge against rising fossil fuel costs. Over the last 2 years both the Canadian government and the US government have sponsored zero energy home research. David Johnston wrote a new book, Getting to Zero Energy Homes to be published in 4/10. The talk will describe findings in the research and construction of zero energy home construction in a variety of North American climates. Based on the Passiv Haus principles developed in Germany, many near zero energy homes have optimized envelope design strategies and incorporated a variety of renewable energy strategies to reach near zero energy performance. Case studies will be featured to exemplify the variety of strategies used. New international research and technology transfer programs will be identified to draw a roadmap into the future of bioclimatic housing. Lessons from these programs will be applied to housing in Turkey.

GÜNEŞ ELEKTRİĞİ SİSTEMLERİNDE TÜRKİYE İÇİN ÖNCELİKLER

Deniz Selkan POLATKAN

Motif Proje / Fotoelektron

Özet

Sınırsız enerji ve hayat kaynağımız güneş, geleceğimizi kurtarmak için yine işbaşında. Temiz, sessiz, sürdürülebilir, çağcıl ve teknolojik özelliği ile artık, güneş ışığını, elektrik enerjisine çevirmek ve kullanmak mümkün. Bu büyük potansiyel Türkiye için bambaşka fırsatlar ve tehditler oluşturmaktadır. Ülkemizde henüz başlamamış olan bu sektörü, doğru tanımlamak ve doğru biçimde, doğru yerden başlatmak temel hedefimiz ve önceliğimizdir.

Güneş enerjisi dışındaki tüm enerji kaynakları coğrafya'ya ve fiziksel mekan'a bağımlıdır. Hayatın ve varoluşun temel kaynağı niteliğindeki güneş ışığı ise, stratejik ve jeopolitik olarak bağımsız, temiz ve sürdürülebilir olan tek tür enerji kaynağıdır.

Bu açıdan ülkemizin enerji bağımlı mevcut yapısı düşünüldüğünde, üzerinde hassasiyetle durulması gereken, umut kaynaklarının başında gelmektedir.

1. İçinde Bulunduğumuz Düzen ve Değişimin Sinyalleri

Günümüzde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil ve nükleer yakıtlardan elde edilmektedir. Bu yakıtların gerek çevreye verdikleri zararlar ve gerekse birikimlerinin sınırlı oluşu, alternatif enerji kaynakları arayışına sebep olmuştur. Çevrenin korunması, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde oluşabilecek tehditlerin önlenmesi, ulusal kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılarak ülkelerin enerji kaynakları arz güvenliğinin sağlanması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Böylece, enerjinin karşılanma ihtiyacına bağlı olarak güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları üzerine araştırma geliştirme çalışmaları yoğunlaşmıştır.

Bu gerçeğin paralelinde günümüzde ortaya 'yeni enerji düzeni' adı altında bir söylem atılmıştır. Yeni enerji düzeni nedir ? Türkiye enerjide bir transit yol olarak mı kalacaktır, böyle bir konum hangi bedel ve kazanımlara sebep olacaktır ? Bu bağlamda, yeni enerji düzeninde fosil yakıtların, yenilenebilir kaynakların ve nükleer enerjinin rolünü, küresel enerji siyasetinde Türkiye'nin nasıl bir konjunktörde yer aldığını, hangi aktörlerin bölgesel ve küresel düzeylerde yükselerek alternatif güçler haline geleceğine ele almak gerekecektir.

Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi, sonsuz ve yaygın bir kaynak olması, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi avantajları sebebiyle hızla yaygınlaşmaktadır. Bu sebeple güneş elektrikliğin, Türkiye'nin enerji çeşitliliği, tedariki ve bağımsızlığı yolundaki önemi, yeri üzerinde önemle durulmalıdır.

Güneş enerji kaynağı, yerel yönetimlere, yerleşme girişimlerine ve enerji bağımsızlığı çabalarına fırsatlar sunmaktadır. Bu fırsatların arka planında ise, sürdürülebilirlik, çevre koruma, enerjide arz

güvenliği ve enerji bağımsızlığı gibi çok daha sağlam temeller üzerine oturmuştur.

Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinde en yaygın teknoloji olan fotovoltaik teknolojisi, dünya ölçeğinde büyük bir hızla büyüyen bir pazar hacmine sahiptir.

Farklı teknolojileri içeren fotovoltaikler, piyasada hakim fosil enerji teknolojileri ile rekabet edebilmeleri için devletler tarafından desteklenmektedirler. Bu destekler gelişmiş ülkelerde önce teknoloji geliştirme ve Arge destekleri şeklinde başlamış (1970'ler), küçük ölçekli sistemlere talebin uyarılması için çatı programları ile devam etmiş 1990'ların ortalarından itibaren Almanya'dan başlayarak talep esaslı şebeke beslemeye teşvik düzenlemeleri gelmiştir. Türkiye'de öncelikli olarak atılması gereken 2 adım atılmadan 2009'lara gelinmiş ve AB adaylığının da baskısı ile yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çeşitli destek düzenlemeleri gündeme gelmeye başlamıştır.

2. Başlangıç Noktamız

Modernizmin beraberinde getirdiği sanayi devrimi insanoğluna bağımsızlık, özgürleşme ve refah yolunda önemli vaatler içeriyordu. David Harvey'in postmodernliğin durumu eserinde değindiği gibi, bu vaatler, ancak ve ancak çevrenin fethedilmesi ile gerçekleşecekti. Buhar makinesi ve fosil yakıtlara dayalı sanayileşme ve enerji tedariki süreci, 1.ve 2. dünya savaşlarına sebep olmuş, 1970'lerdeki ilk petrol krizine kadar da etkinliğini ve vazgeçilmezliğini sürdürmüştü. 1970'lerde bu sürecin sağlıklı olmadığı ve sürdürülemeyeceği gerçeği anlaşılmaya başlandı.

Aslında ilk sinyaller, Sanayi devrimi paralelinde, Rachel Carson gibi ekologlar, Roma kulübü gibi sivil toplum örgütleri, Ciam hareketi benzeri meslek birlikleri tepkileri eşliğinde 1970'ler öncesinde tartışılmaya başlanmıştı ancak Stockholm gibi uluslararası toplantılar ve Ortak Geleceğimiz gibi raporlar paralelinde 1970'lerin başında çok ciddi silkelenmeler başladı. Enerji kaynaklarına bağımlılık tartışmaları ve sorunsuz, sınırsız ve güvenilir enerji kaynakları da işte tam bu dönemde sorgulanmaya başlandı ve bu doğrultuda ele alınan Güneş Enerjisi en büyük umut kaynağı olarak tanımlanıyordu.

Günümüze gelindiğinde ise, Enerji, çevre, ekonomi ve politika, iç içe girmiş önemli konulardan bazılarıdır. Bu yüzden her biri diğeri ile adeta özdeşleşmiştir.

Sürdürülebilir kalkınma kavramının yapıtaşlarını oluşturan bu konular, günbegün fosil yakıt bağımlılığı haline dönüşen bir Türkiye için, enerji arz güvenliği bağlamında çok önemli hale gelmektedir. Türkiye'nin enerjide, gitgide artan dışa bağımlılığından dolayı,

uzun vadede, özellikle gelecek nesiller için, ciddi enerji, çevre ve ekonomi krizlerine gebe bir ülke haline dönüşme potansiyeli hızla yükselmektedir. Bu durum beraberinde ekonomik krizleri, enerji darboğazlarını ve çevresel yıkımları getirebilecektir.

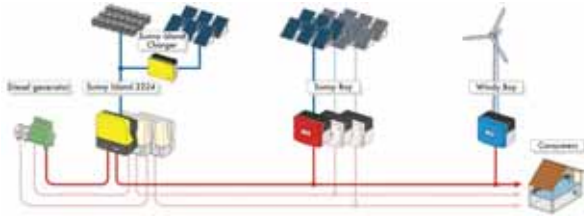
Güvenlik kavramı, ister geleneksel, ister çevresel, isterse enerji güvenliğini tanımlasın, genelde bir ülkenin varlığını sağlıklı bir şekilde devam ettirebilmesi için gerekli olan ve ulusal güç öğelerinin, ulusal politika ve stratejiler çerçevesinde kullanılmasını öngören bir kavramdır.

Ulusal güç öğesi önceleri yalnız savunma ve askeri anlamda algılansa da günümüzde ekonomik güç, sosyal güç, gelişme gücü, enerji gücü ve sahip olunan çevresel kaynaklar da ulusal güç öğeleri arasında anılmaya başlanmış ve birbirleri arasındaki etkileşim nedeniyle güvenlik kavramı, bütün bu öğeleri kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Ne var ki, güvenliğin yalnız ulusal sınırlar içinde sağlanamayacağı, alınacak önlemlerin ve yapılacak eylemlerin, o ülkenin jeopolitik konumu ve ekonomik gücü ile orantılı olarak bölgesel, kimi zaman da küresel ölçekte ele alınması gerektiği de bilinen bir gerçektir.

3. Önceliklerimiz

Enerjinin günlük yaşantımız içindeki yeri, üretim süreçlerine katkısı, tartışma götürmez bir gerekliliktir. bu gereklilikten dolayı, enerji güvenliği kavramı beraberinde bir dizi kriteri gerekli kılar.

- ▶ Enerji elde edilecek kaynakların ulaşılabilirliğinin kolay olması ve sürekliliğinin sağlanması,



- ▶ Yenilenemeyen kaynaklardan çok yenilenebilir kaynaklara yönelmesi,
- ▶ Tek tür kaynağa bağımlı kalınmaması ve kaynakların çeşitlendirilmesi,



- ▶ Dışa bağımlı kaynaklar yerine yerli kaynaklara ağırlık verilmesi,
- ▶ Yalnız kaynaklarda değil, yapılacak enerji yatırımlarında da dışa bağımlı olunmaması,
- ▶ Herhangi bir nedenden doğabilecek üretim ve iletim aksamasına karşı ivedi önlemlerin alınması ve yönetim stratejilerinin belirlenmesi,
- ▶ Enerji üretiminde ve iletiminde verimliliğin esas alınması,

- ▶ Enerji tüketiminde tasarruf modellerinin ve teknolojilerinin adapte edilmesi,
- ▶ Enerji üretiminde çevresel kaynaklar kullanılırken bu kaynakların kendilerini yenileme hızlarının da değerlendirmelere katılması,
- ▶ Gerek kaynak çeşidinin, gerek enerji üretim modelinin çevreye zarar vermeyecek biçimde seçilmesi,
- ▶ Enerjinin üretilmesi sırasında, sonrasında, depolanmasında ve iletiminde çevresel etkilerin dikkate alınması,
- ▶ Enerji elde edilmesini artırırken, belli bir bölgede yaşayan canlıların yaşamsal niteliklerini kalitelerini değiştirmemeye, bu bağlamda çevresel güvenliği tehdit etmemeye önem verilmesi,
- ▶ Sürdürülebilirlik kavramının gerekleri doğrultusunda politikalar oluşturulması,
- ▶ Küresel çevre sorunlarının ve politikalarının önemsenmesi

Yenilenebilir enerji kaynakları bu kriterlerin çoğunun içini doldurabilmektedir. Uluslar arası enerji Ajansı tanımına göre, yenilenebilir enerji, sürekli olarak tekrarlanan doğal süreçlerin ürünüdür. Bu enerji kaynakları, çok farklı şekillerde bulunabilir, doğrudan veya dolaylı bir şekilde, güneşten veya yer kabuğunun derinliklerinden çıkarılan ısıdan elde edilir. Güneş, rüzgar, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal, hidrolik güç, okyanus kaynakları ve hidrojen enerjisi olarak tanımlanabilir.

Çok eski çağlardan beri bu kaynaklardan su pompalanmasında, tahılların öğütülmesinde, kurutmada, ısıtmada ve yelkenli gemilerde faydalanılmaktadır.

Buharlı makinelerin keşfi ile başlayan sanayileşme, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını azaltmıştır. Petrol ve kömür egemenliğine dayanan enerji çağı son iki yüzyıl boyunca devam etmiş ve 1973'deki petrol krizi, ilk kez enerji kaynakları konusunda bir güvensizlik endişesini ortaya çıkarmıştır. Bu güvensizlik bütün dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı ilginin yeniden uyanmasına neden yeniden azalmış, ancak enerji güvenliği kavramı kalıcılığını korumuştur. 2.000'li yılların ardından ise kaçınılmaz olan problemli senaryo yeniden belirmiş ve bu sefer yenilenebilir enerjiler kalıcı şekilde gündeme gelmiştir.

Öte yandan, 1990'lı yıllarda daha da güçlenen çevre bilinci, fosil kaynaklara dayalı enerji üretim ve tüketiminin yerel, bölgesel ve küresel seviyede çevreyi tahrip ettiğinin ve doğal kaynakları olumsuz etkilediğinin daha da açık bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır.

1970'li yılların ve Stockholm konferansının ardından, 1980'li yılların sonlarından başlayarak insanın iklim sistemi üzerindeki olumsuz etki ve baskısını azaltabilmek amacıyla Birleşmiş Milletlerin öncülüğünde hazırlanan 'iklim değişikliği Çerçeve sözleşmesi' 1992 yılında Rio'da düzenlenen Çevre ve Kalkınma konferansında ülkelerin imzasına açılmış, bu sözleşme ile gelişmiş ülkelere, 2000'li yıllarda sera gazı emisyonlarını 1990 yılı düzeylerine indirme yükümlülüğü getirilmişti. 1997'de Kyoto'da yapılan taraflar konferansında hazırlanan Kyoto protokolü ile de, imza sahibi ülkelere 2008-2012 yılları arasında dönem içi sera gazı salınımlarını 1990 yılı seviyelerine göre en az %5 azaltma yükümlülüğü getirilmiştir.

Bütün bu gelişmeler, hemen hemen her ülkede olduğu gibi, Türkiye'de de, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. (16)

4. Sonuç

1. Enerji tedarikinde ve enerji kaynaklarında kullanılagelen sonlu ve çevresel olarak tehditkar yöntemler, başta fosil yakıtlar tüketiminde ve nükleer enerji örneğinde olduğu üzere, sonsuz ve sınırsız olmadıkları, üstüne üstlük çevre, ekoloji ve insan yaşamı üzerinde, geri dönüşmez değişimlere yol açtıkları anlaşıncı, alternatif olarak gündeme gelen yenilenebilir enerjiler içinde güneş enerjisinin sınırsız gücü, ekonomik, sosyal, toplumsal ve siyasi dengeleri değiştirebilecek güçtedir.
2. Enerji politikaları oluşturulurken bu politikaların sürdürülebilir olması, gelecek kuşakların enerji gereksinimlerini karşılamaları adına önem taşımaktadır. Enerji politikalarının sürdürülebilirliği için enerji arzının sürdürülebilirliği esastır. Fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen ya da yenilenmesi uzun süreler gerektiren kaynaklara öncelik veren bir enerji politikası sürdürülebilir olmaktan uzaktır. Buna karşın yenilenebilir, alternatif enerji kaynakları ve bu kaynaklara yapılan yatırımlar, son dönemde küresel enerji arzına cevap verebilecek projeler hale gelmektedir.
3. Varolan haliyle yalnız “arz güvenliği” biçiminde algılanan enerji güvenliği kavramı, çevresel güvenliği içerecek şekilde genişletilmediği sürece sürdürülebilirliği sağlamaktan uzak olacaktır. Türkiye enerji güvenliğini güvence altına alacak politikalar üretip uygulamadıkça, ulusal kalkınma politikalarında başarısız olacak, uluslararası ilişkilerinde de bağımlı ve güdümlü konumda kalacaktır.

Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS)’ne 2004’te taraf olan Türkiye’nin, Avrupa Birliği (AB)’ne uyum sürecinde Kyoto Protokolü’ne de taraf olmuştur. Emisyonlarına ilişkin kesin verileri olmayan, enerji, sanayi, ulaşım, tarım ve atık yönetiminde belirsiz politikaları ile Türkiye’nin nasıl bir taahhütte bulunacağı önem taşımaktadır.

Yönetimde bulunan hükümetin yapacağı her yanlış hamle yalnız kendini ve kendinden sonra gelecek hükümeti değil, ülkenin yazgısını bağlayacaktır. Enerji politikasını kömür ve doğalgaz başta olmak üzere fosil kaynaklı enerji çevrimlerine yönelten Türkiye, sera gazı salımlarını azaltmak bir yana hızla artıracaktır. Nitekim 2008 yılında sera gazı emisyon artışı hızında Türkiye üst sıralarda yer almıştır. Türkiye’nin Kyoto Protokolü’ne taraf olmasıyla, sattığı bedelin daha fazlasını karbon kotası uygulaması nedeniyle bu ülkelere geri ödeyecektir.

Türkiye’nin bütünsel uzun dönemli hedeflerini içeren enerji politikalarının olmadığı bilinmektedir. Var olan politikalar ise, hem ekonomik, hem enerji güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından tehdit oluşturmaktadır.

Ülke ekonomilerinin ve gelişmelerinin sürükleyici ögesi olan enerji, günümüzde giderek politika ile özdeşleşmektedir. Enerji politikaları oluşturulurken, enerji gereksinmesini karşılayabilmek için ortaya konulan çabaların, her şeyden önce bilinçli ve yöntemli olması gerekmektedir. Dolayısıyla, bugüne kadar izlenen ve izlenmekte olan yolların, bu kriterlere uyup uymadığı ve Türkiye’nin ulusal çıkarlarına ne ölçüde hizmet ettiği mutlaka değerlendirilmelidir.

Öte yandan, enerji politikaları, güvenliği ve sürdürülebilirliği arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. Enerji politikalarının oluşturulması ve uygulanması sırasında sürdürülebilir olmaları

kadar enerji güvenliğini sağlamaları da önemlidir.

Benzer şekilde enerjinin güvenliği sağlanırken de seçilen ve uygulanan yöntemlerin sürdürülebilir olması gerekmektedir. Ancak, enerji güvenliği kavramı, çevresel güvenliği içerecek şekilde genişletilmediği sürece enerji politikaları sürdürülebilirliği sağlamaktan uzak olacaktırlar. Bu sorunsalın giderimi, kavramların tek tek değil, bütünsel olarak ele alınmalarıyla sağlanabilir.

Çevre hakkı, küreselleşme, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma, gibi kavramlar enerji alanında Türkiye üzerinde her geçen gün daha fazla tehdit ve fırsat oluşturmaktadır. Bu gerçekten yola çıkılarak varolan ve hedeflenen enerji politikalarında çevresel güvenlik ve enerji güvenliğini çerçevesinde Türkiye için sürdürülebilir enerji politikalarının neler olabileceği ortaya konmalıdır.

Güneş enerji kaynağı, enerji kartellerine, mevcut ekonomik düzene, tehdit oluştururken, yerel yönetimlere, yerelleşme girişimlerine ve enerji bağımsızlığı çabalarına fırsatlar sunmaktadır. Bu fırsatların arka planında ise, sürdürülebilirlik, çevre koruma, enerjide arz güvenliği ve enerji bağımsızlığı gibi çok daha sağlam temeller üzerine oturmuştur.

Kaynakça

1. BRAWN, Lester, PLAN B 3.0, Safa Matbaacılık, İstanbul, 2008.
2. BRISK, Marion, Çevre Dostu 1001 Proje, Beyaz yayınları, İstanbul, 2000.
3. CARSON, Rachel, Sessiz Bahar, Palme Yayıncılık, Ankara, 2004.
4. DEMİRTAŞ, Mehmet, Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tez çalışması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 2008.
5. DEUDNEY, Daniel, Renewable Energy, New York, 1993.
6. Dünyanın Durumu 2005 “Küresel Güvenliği Yeniden Tanımlamak”, Worldwatch Enstitüsü, TEMA Vakfı Yayınları No:45, İstanbul, 2005.
7. GÜRSOY, Umur, Enerjide Toplumsal Maliyet ve Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türk Tabipler Birliği Yayınları, Ankara, 2004.
8. HARVEY, David, Postmodernliğin durumu, Metis yayınları, üçüncü baskı, İstanbul, 2003.
9. KABOĞLU, İbrahim, Çevre Hakkı, İmge Kitabevi, 3. Baskı, Ankara, 1996.
10. KAPLAN, Ayşegül, Küresel Çevre Sorunları ve Politikaları, Mülkiyeliler Birliği Yayınları Tezler Dizisi: 3, Ankara, 1999.
11. KELEŞ, Ruşen, ERTAN, Birol, Çevre Hukukuna Giriş, İmge Kitabevi, Ankara, 2002.
12. KELEŞ, Ruşen, HAMAMCI, Can, Çevre Politikası, İmge Kitabevi Yayınları, 5. Baskı, Ankara, 2005.
13. İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Kalkınma Ulusal Değerlendirme Raporu, Türkiye Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi Ulusal Hazırlıkları, Raportör Doç. Dr. Murat Türkeş, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı Yayınları, Ankara, 2002.
14. MITCHELL, Bruce, Resource and Environmental Management, Prentice Hall, Pearson Education, Second Edition, London 2002.
15. Ortak Geleceğimiz Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Raporu, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, 3. Baskı, Ankara, 1987.

16. UĞURLU, Örgen, Türkiye'de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları, Doktora tezi, ANKARA ÜNİVERSİTESİ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2006
17. Uluslar arası ilişkiler Akademik dergisi, Cilt 6, Sayı 21, 2009.
18. ROGER, A. Messenger, VENTRE, Jerry, Photovoltaic Systems, CRC Press, Washington, 2004
19. Sürdürülebilir Kalkınma Türkiye Ulusal Raporu 2002, T.C. Çevre Bakanlığı ve UNDP, Ankara, 2002.
20. The German Energy Society, Photovoltaic Systems, Earthscan, London, 2008.
21. TURNER, Kerry, PEARCE, David, BATEMAN, Ian, Environmental Economics, London, 1994.
22. UNDP Energy for Sustainable Development, A policy Agenda, Edited Thomas B. Johansson and Jose Golderberg, New York, 2002.
23. World Wildlife Fund (WWF), Living Planet Report, İsviçre, 1998.

Summary

Türkiye'nin güneş elektriği yolunda atması gereken temel adımları ve özetle bu adımlardan birkaçı aşağıda sıralanmıştır;

- ▶ Türkiye, yetkisel düzenlemeleri tamamlandığı takdirde, teknik olarak çatı programlarına hazırdır ve pv sektörünün doğru yerden başlaması için buna acil ihtiyaç duymaktadır.
- ▶ Lisanslı olarak pv'den, enerji üretim süreci için, aşırı başvurulara ve spekülasyonlara karşı değerli tarım, orman vb. sahalarının işgaline engel olabilmek için bir dizi önemli düzenleme gerekmektedir. Aksi bir durum kamuoyu ve çevre örgütleri tarafından tepkilere sebep olacaktır.
- ▶ Lisans başvuruları ve kuralları - kriterleri belli olmadan kabul edilmemeli, simsar ve gerçek yatırımcı birbirinden ayrılmalıdır.
- ▶ Pv sektörünün Türkiye'de ilk adımları için lisanslı ve lisanssız süreç birbirlerinden kesin çizgilerle ayrılmalıdır.
- ▶ Türkiye'de gerçekleşmiş olan doğal gaz yatırımları ve yatırımcıları, pv sektörünü kendileri için rakip görmemelidirler.
- ▶ Pv sektörü temsilcileri kendilerini en kötü senaryoya hazır tutabilmelidir. Bu durum teşviğin çıkmaması durumudur. Bu noktada hedef şebeke tarifelerini yakalamaktır.
- ▶ Teşvik çıkmasa dahi, çift sayaç sistemi mutlaka uygulanmalıdır. Güneş elektriği sistemlerinin şebeke dahili kullanımının yegane çözümü budur.

GÜNEŞ PANELLERİ YAYGINLAŞTIRMA ÖNERİLERİ

Dr. Emine YETİŞKUL ŞENBİL

Şehir Plancısı, Uzman, İmar Planlama Dairesi, TAU,
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı

Koray ÇAKAN

Şehir Plancısı, Şube Müdürü, İmar Planlama Dairesi, TAU,
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı

Hidayet UYSAL

Şehir Plancısı, Daire Başkanı, İmar Planlama Dairesi, TAU,
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı

Fosil yakıt kaynaklarının azalması ihtimali, daha da önemlisi fosil yakıtların tüketilmesi ile ortaya çıkan CO₂ gazı ile küresel ısınmaya sebebiyet vermesi hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Günümüzde en temel yenilenebilir enerji kaynağı güneştir. Güneş panel sistemleri ile elektrik enerjisi üretilerek kullanılabilir. Bu sistemler, ulusal elektrik şebekesine bağlı sistemler olabildikleri gibi bağımsız sistemler de olabilirler. Bu çalışmada özellikle hemen hemen bütün bir yıl boyunca güneş ışığı ile temas halinde olan ülkemizin kıyı bölgelerinde yer alan ikinci konut olarak değerlendirilen konut stoğunda güneş panellerinin kullanımı ve yaygınlaştırılması için gerekli yasal ve finansal çerçevenin hazırlanmasına yönelik önerilerimiz yurtdışındaki örneklerle beraber verilmektedir.

1. Giriş

Enerji hem ekonomik gelişimin hem de sosyal gelişimin önemli bir faktörüdür. Dünya enerjisinin bugünkü mevcut üretim miktarı ve biçimi, teknolojik gelişmelerin etkisi ile farklılaşmaz ise giderek artan dünya nüfusu (özellikle kentli nüfus) ve sanayileşme karşısında yetersiz kalacaktır. Dünyamızdaki enerjinin büyük bir miktarının tükenbilir fosil yakıt kaynaklarından elde edildiği düşünülürse enerji kaynaklarını çeşitlendirmenin ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin önemi açıkça ortadadır. Fosil yakıt kaynaklarının azalması ihtimalinden veya eninde sonunda tükeneceği gerçeği kadar önemli olan bir diğer gerçek ise bu yakıtların tüketilmesi ile ortaya çıkan sera gazlarının (CO₂, CH₄, N₂O, vs.) küresel ısınmaya sebebiyet vermesidir. Sera gazlarının atmosferik salımlarını kontrol etmek, gelişmiş veya gelişmekte olan ülke ayırımına gitmeden tüm ülkeler için önemli olmalıdır; mevcut enerji kaynaklarının üretiminde, dağıtımında ve kullanımında verimliliğin artırılması yanında yenilenebilir enerji kaynakları üretimini ve kullanımını yaygınlaştırmak esas alınmalıdır.

Günümüzde en temel yenilenebilir enerji kaynağı olarak karşımıza güneş çıkmaktadır. Güneşten ısıtma ve elektrik elde etme şeklinde iki farklı enerji üretimi mümkündür. Güneşten elde edilen ısı enerjisi ile su ısıtılmakta ve kullanılmaktadır. Ayrıca güneş panel sistemleri ile elektrik enerjisi üretilerek kullanılabilir. Bu sistemler, ulusal elektrik şebekesine bağlı sistemler olabildikleri gibi bağımsız sistemler de olabilirler. Yeni tasarlanan binalarda bina ile farklı şekillerde (building integrated systems_roof integrated, faced integrated ve shading) uygulanabildiği gibi mevcut bina stoğunda da uygulanabilirler.

2. Güneş Pilleri

Güneş enerjisi ile enerji üretimini arttırmak ve üretim maliyetlerini düşürerek konvansiyonel enerji ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile yarışabilmek için güneş pillerinde veya fotovoltalika pillerde (solar photovoltaic, PV) yeni teknolojiler, metotlar ve

uygulamalar geliştirmektedirler. Öyle ki; enerji sektöründe faal olmayan dünya şirketleri bile gelecekte dünyayı baskı altında alacak enerji ile ilgili sektörlerde yer almaya çalışmakta ve herkesin ulaşabileceği temiz, güvenilir ve bol kaynağı yaratmak için yollar aramaktadırlar. Örneğin Gross Şirketi, pahalı yüksek verimli olan güneş hücrelerine ışığı yansıtmak için ucuz aynalar üreterek Soliant Energy, SolFocus ve Solaria gibi enerji şirketleri ile güneş enerjisi teknolojisinde rekabet etmektedir (Pernick ve Wilder, 2008). Güneş enerjisindeki teknolojik gelişmeler ve buluşlar, güneş elektrikli en yaygın sunum olan silikon tabanlı güneş PV'lerindeki marjinal gelişmelerden nanoteknoloji tabanlı yeni gelişmeleri kapsayan silikon olmayan güneş elektrikli sunumlarını içermektedir. Güneş elektrik teknolojilerindeki ve uygulamalarındaki çeşitlilik sektördeki gelişme potansiyelini göstermektedir.

Mevcut şebekeye bağlı güneş PV sistemleri, Japonya, Almanya ve ABD'de yaygındır. Bu ülkelerde 2004 yılı itibarıyla 400,000 konut çatı üstü güneş PV sistemi ile mevcut kullanımı desteklemektedirler (Yüksel, 2007). 2000 yılında bütün güneş enerjisi firmalarının toplam yıllık üretimi 300 MW (106 W) iken 2005 yılında bu üretim miktarı 5 kat büyüyerek 1500 MW'a olmuş ve 2007 yılında 3000 MW'a ulaşmıştır (Pernick ve Wilder, 2008). Bu elektrik kapasitesi, Atlanta büyüklüğünde üç şehre yetecek kadar enerji miktarıdır.

Güneş panelleri 1950'lerde Bell Laboratuvarlarında icat edilmiş uzay uydularını destekleyen bir endüstri iken, 1970'lerde ise ticarileşmeye başlamış güneş enerjisine odaklı şirketlerin rekabet ettiği bir endüstri haline dönüşmüştür. 1990'ların ortalarından itibaren endüstrideki gelişme, tüketici elektroniği pazarında görülen gelişmelere benzer yıllık % 30 ve % 60 arasında seyreden artışlarla oldukça büyük bir gelişmedir. Güneş enerjisi sektörü, 2006'da 15 milyar ABD Doları, 2007'de 20 milyar ABD Doları gerçekleşmiş ve 2017 yılı için 70 milyar ABD Doları üzeri beklenen küresel satışı ile oldukça büyük bir sektör haline gelmiştir (Pernick ve Wilder, 2008). Ayrıca; toplam güneşten elde edilen küresel çıktı, 1979'da 5 MW'dan 2006'da 2000 MW'a yükselirken güneş PV modülünde toptan fiyat vat başına 32 ABD Doları seviyesinden 3 ABD Doları seviyesine kadar (ortalama her on yılda % 50 oranında) düşmüştür.

3. Güneş Pilleri Üretiminde Maliyetlerin İndirilmesi

Güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşmasındaki en önemli fırsat, güneş enerjisi maliyetinin kullanılagelen mevcut elektrikli perakende maliyeti seviyesine inmesidir. Günümüzde güneş fotovoltalika modülünün maliyeti 3 - 4 ABD \$ civarındadır; ancak ev veya işyerine tam güneş PV sisteminin kurulmuş veya kullanıma hazır fiyatı olarak bilinen perakende fiyatı toptan güneş modül fiyatının en az iki katıdır. Kullanıma hazır fiyatı, güneşin direkt akımından (İng.: Direct current, DC) kullanılabilir varyant akıma (İng.: Alternating current, AC) değişimi sağlayan dönüştürücü dahil

diğer bağlayıcı parçaları, modüllerin bağlantısını ve kurulmasını kapsayan servis giderlerini de içermektedir. Uygulamaya, finansmana ve diğer değişkenlere göre farklılaşmasına rağmen 1 Kilovat saatte 0,18 ile 0,36 ABD Doları arasında değişen maliyet ortaya çıkmaktadır (Pernick ve Wilder, 2008). Bu değer de 1 Kilovat saati 0,10 ABD Dolarından az olan konvansiyonel kaynaklardan üretilen elektrik fiyatı ile karşılaştırıldığında oldukça pahalıdır.

Güneş enerjisinin diğer enerji kaynakları ile doğrudan maliyet bazında karşılaştırılmasında; özellikle oldukça yüksek fayda maliyetleri olan Japonya gibi ülkeler ve San Diego gibi bölgeler veya New Jersey ve Kaliforniya gibi güneş ışığından uzun dönemli faydanın mümkün olduğu bölgeler veya aşırı sıcak yaz günlerinde klima kullanımı ile talebin maksimuma ulaştığı dönemler kullanılmaktadır. Bunaltıcı öğleden sonra saatleri en çok güneş ışığı sağlayan saatler olup güneş PV sistemlerini talebin en yoğun olduğu bu zamanlarda cazip kılmaktadır. Fotovoltaik sistem, ısıyı değil ışığı elektronlara dönüştürdüğü için, çok yüksek derecelerde sistem daha az verimlidir (örneğin ABD'de Seattle'da günlük 21.1 C bir sıcaklık ile çatı üstü sistemi Phoenix'deki 43.3 C bir sıcaklıktan daha çok enerji üretmektedir).

Güneş enerjisinin günümüzdeki mevcut elektrik enerjisi gücü ile rekabet edebilmesi için güneş PV sisteminin kurulmuş halinin watt başına 2,0 ABD Doları veya 2,5 ABD Doları düzeyine inmesi gerekmektedir. Bu da 1 kilowatt saatte 0,5 ile 0,12 ABD Doları arasında değişen güce tekabül etmektedir (Pernick ve Wilder, 2008). Her ne kadar doğal gazın ve kömürün gücü ile rekabet etmesi güneş enerjisi için zor görünse de fosil yakıt fiyatlarındaki değişimler dikkate alınmadan yapılan hesaplamalarda bile güneş PV'lerin fiyatlarının 1980'lerin ortalarından itibaren her on yılda ortalama %50 miktarında azalması ve teknolojinin gelişimi ile azalmaya devam edeceği beklentisi bu enerji sektörüne yatırımı artırmaktadır.

4. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye enerji ihtiyacının yüzde 80'ini ithal ederek karşılamaktadır ve toplam enerji tüketimindeki ana pay da petrolündür. Türkiye'de tüm gelişmekte olan ülkelerdeki gibi artan genç nüfusu, hızlı kentleşmesi ve ekonomik gelişmesi ile elektrik enerjisine ihtiyacı hızla artmaktadır. 2010 yılı için 300 milyar Kilovat saat (kWh) ve 2020 yılı için 580 kWh elektriğe ihtiyacı olacağı tahmin edilmektedir ve yıllık ortalama %6 ile 8 arasında değişen talep artışı gözlenmektedir (Yüksel, 2007). **Tablo 1** ve **2'**de görüleceği gibi 2005 yılı Türkiye enerji üretim ve tüketimi 34 ve 130 milyon ton eşdeğer petroldür (mtoe). Her ne kadar hidrotermal, jeotermal, güneş enerjisi ve kömür üretiminde belirgin bir artış görülse de enerji ihtiyacı doğalgazın artan payı ile karşılanmaktadır.

Tablo 1. Türkiye'deki Enerji Üretimi (Milyon ton petrol eşitliği, Mtoe)					
Enerji Kaynağı	1990	2000	2005	2010	2020
Kömür ve Linyit	12.41	13.29	20.69	26.15	32.36
Petrol	3.61	2.73	1.66	1.13	0.49
Gaz	0.18	0.53	0.16	0.17	0.14
Yenilenebilirler ve Atıklar	7.21	6.56	5.33	4.42	3.93
Nükleer	-	-	-	-	7.30
Hidroelektrik	1.99	2.66	4.16	5.34	10.00
Jeotermal	0.43	0.68	0.70	0.98	1.71
Güneş/Rüzgar/Diğer	0.03	0.27	0.22	1.05	2.27
Toplam Enerji Üretimi	25.86	26.71	34.12	39.22	58.20

Kaynak: Yüksel, 2007.

36. ve 42. paralellerde yer alan Türkiye, **Şekil 1'**de de görülebileceği gibi oldukça yüksek güneş potansiyeline sahiptir. Ortalama yıllık güneş radyasyonu günlük 3.6 kWh/m²'dir ve toplam yıllık radyasyon periyodu ortalama 2640 saattir. Bu yüksek güneş potansiyeline rağmen kıyı bölgelerinde sıcak su için kullanılan düz levha güneş toplayıcıları hariç yenilenebilir kaynak olan güneşten enerji üretimi oldukça sınırlıdır. 2005 yılında 8.5 milyon m² güneş toplayıcısı üretilerek toplam enerji üretimi 0.310 milyon ton eşdeğer petroldür (mtoe) (Yüksel, 2007).



Şekil 1. Türkiye Isı Haritası

Türkiye'de toplam enerji tüketiminin üçte birinden daha fazlası (% 36) binaların ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması için harcanmakta iken hanehalkları da toplam enerji tüketiminin % 60'ını ısıtma için harcamaktadırlar. Ülkemizde 28,3 milyon ton eşdeğeri petrol tüketen binaların yıllık enerji maliyeti 14 milyar USD'yi aşmaktadır (TTMD, 2009). Dünyada da bu oran aşağı yukarı aynıdır. Bütün toplam enerjinin ortalama %40'ı binalar tarafından tüketilmektedir. Bu oranlar, tükettiği enerjinin % 80'ini ithal eden ülkemiz için oldukça önemlidir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek zorunda olmasına rağmen güneş PV sistemleri dahil diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili herhangi bir geniş kapsamlı planı veya uygulaması yoktur. 30,000'den fazla konutun mevcut şebeke yerine güneş elektriği kullanması daha ekonomik olarak görülmektedir (Yüksel, 2007).

5. Güneş Pillerinin Yaygınlaştırılması

Gelişmekte olan bölgelerde veya ülkelerde kırsal alanda güneş enerjisi teknolojileri, en basit ve en ucuz aydınlatma veya enerji üretim sistemi olmakla beraber yeni merkezi üretim sistemi inşa etmeyi, büyük izgara altyapı ağını kurmayı ve bu ağdan kabloların çekilmesini kapsayan yatırım ile karşılaştırıldığında oldukça maliyet azaltıcıdır. Kenya'daki kırsal yerleşmelerin %2'lik bir bölümü, güneş enerjisini kullanmaktadır (Pernick ve Wilder, 2008). Kenya, kişi başına düşen güneş panelleri sayısı ile dünya lideridir (vat büyüklüğü değil). Her biri 12-30 vat arasında değişen 30,000'den fazla küçük güneş panelleri vardır.

Tablo 2. Türkiye'deki Enerji Tüketimi (Milyon ton petrol eşitliği, Mtoe)					
Enerji Kaynağı	1990	2000	2005	2010	2020
Kömür ve Linyit	16.94	23.32	35.46	39.70	107.57
Petrol	23.61	31.08	40.01	51.17	71.89
Gaz	2.86	12.63	42.58	49.58	74.51
Yenilenebilirler ve Atıklar	7.21	6.56	5.33	4.42	3.93
Nükleer	-	-	-	-	7.30
Hidroelektrik	1.99	2.66	4.16	5.34	10.00
Jeotermal	0.43	0.68	1.89	0.97	1.71
Güneş/Rüzgar/Diğer	0.03	0.27	0.22	1.05	2.27
Toplam Enerji Tüketimi	53.1	77.49	129.63	152.22	279.18

Kaynak: Yüksel, 2007.

Türkiye'de de sıcak kıyı bölgelerinde birbirinden dağınık olarak konumlanan kırsal alanlarda ve ikinci konut alanlarında güneş PV sistemleri, mevcut şebekenin genişletilmesinden daha az maliyetli olacağı açıktır. Güneş paneli yaygınlaştırma modeli ortalama 8 ay kadar atıl olan yazlık konutlara takılabilecek güneş panel sistemleri önemli ölçüde elektrik üretiminin sağlanması mümkündür.

1. Merkezi ve/veya yerel yönetimler tarafından belirlenen yenilenebilir güneş enerjisi kaynağının kullanımına özgü yasal düzenlemeler gereklidir.

Malzeme ve teçhizat standartları

Güneş enerjisi sisteminde kullanılan araç, malzeme ve teçhizatlar minimum verimlilik standartları belirleyerek bu standartlara uymayan perakende satışlara izin vermemek.

Yapı Enerji Yasası

Ticari ve/veya konut yapılarında belirli enerji standartlarına uyumu zorunlu kılmak gerekmektedir. ABD'de ki pek çok eyalet veya belediyede Uluslararası Yasa Komitesi (International Code Council, ICC) tarafından geliştirilen Uluslararası Enerji Koruma Yasası (International Energy Conservation Code, IECC) geçerlidir. Aynı şekilde kamu binalarında da enerji standartları geliştirilerek enerjinin tüketimi azaltılabilir ve/veya yenilenebilir enerji kullanımı artırılabilir. Enerji verimliliğini artıran Enerji ve Çevre Tasarım Programına veya Uygulamalarına uyumlu malzemelerle tasarlanmış kamu binaları üretmek.

Yüklenici Lisansı

Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin sistemlerin yüklenicilerinde lisans şartı aramak ve bu lisans uygulaması ile yüklenicilerin sistemi kurabilmeleri için yeterli bilgiye ve deneyime sahip olmalarını sağlamak. Güneş panellerine ilişkin lisanslar sadece güneş panellerine ait lisanslar olabileceği gibi genel olarak elektrik ve su tesisatçılarına özel bir lisans da olabilir.

Net-ölçüm (Net-metering):

Elektriğini kendisi üreten tüketiciler için net-ölçüm, iki taraflı hem tüketiciden giden hem de tüketicieye gelen elektrik akımının ölçümüdür. Tüketicinin üretimi, kullanımını aşarsa elektrik akımı şebekeye gider ve başka bir zamanda tüketicinin kullanımını karşılanır. Tüketici, elektriği perakende şebeke fiyatı ile almak yerine ürettiği fazla elektriği ihtiyacı olduğu zaman kullanabilir (<http://www.dsireusa.org>). Ayrıca, bu net-ölçüm sistemi bir çeşit kredili sistem olduğu için kartlı sisteme dönüştürülerek ikinci konutlarda üretilen elektrik enerjinin görece daha az güneş enerjisi alan birincil konutlarda veya işyerlerinde kullanımını sağlanabilir.

Yeşil Enerji Kullanımını Özendirme

Kamu binaları, konutları, okulları ve sivil toplum örgüt binaları yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği kullanmak için satın alabilirler. Elektrik tüketiminin belirli bir oranını yenilenebilir enerji gücünden oluşturabilirler ve yeşil enerji alımları sözleşmelerle iki tarafı bağlayabilir.

Mevcut Şebekeye İlavde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Analizi

Mevcut şebekeden uzak bir noktaya ilave gereken durumlarda yerinde yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarına (on-site renewable energy system) ilişkin analiz bir rapor istenilerek maliyet fayda analizi yapıldıktan sonra mevcut şebekenin geliştirilmesi uygulamasıdır (<http://www.dsireusa.org>).

2. Ekonomik olarak ilave kaynak ihtiyacının karşılanması için sübvansiyon veya kredi programları gibi finansal destekler gereklidir.

Güneş PV'lerinin en önemli ekonomik parametreleri, PV sisteminin toplam maliyeti, elektrik fiyatı ve tarife garantisi ile enerji geri dönüş zamanı (energy payback time, EPBT). PV Sisteminin maliyeti pik vat başına fiyat olarak ölçülür ((€/Wp veya US\$/Wp).

Tarife garantisi (Feed-in-tariff, FIT), yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşviki için geliştirilen politikaları veya uygulamaları içerir. Şebekeye erişim garantisi, elektrik üretiminde uzun dönemli sözleşme ve yenilenebilir enerji kaynağının maliyetine dayanan tarife fiyatı bileşenlerinden oluşmaktadır. Tarife garantisi ile bölgesel veya ulusal elektrik şirketlerine bütün yeterli olan üreticiler veya katılımcılar tarafından yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgar gücü, dalga ve gel-git, biokütle, gibi) üretilen elektriği alma zorunluluğu getirir. Projenin çeşidine göre geliştirilen maliyet tabanlı fiyat ve yatırımcılar açısından yatırımın karşılığı olan tarife kuralı ilk olarak Almanya'da 2000 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kanununda (Renewable Energy Sources Act) açıklanmıştır. Almanya'dan sonra pek çok ülkede benzer politikalar ve uygulamalar başlamıştır. Genel olarak tarife garantisinde kaynağına göre farklılaşan %5 ile 10 arasında değişen bir kar oranı hedeflenmiştir (http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in_tariff).

Almanya'da tarife garantisi program bedeli olarak konut elektrik faturasına aylık 1.01 Avro eklenmektedir. Sistemin büyüklüğüne ve konumuna göre oranlar belirlenmektedir. 30 Kilovatlık çatı üstü sistemi için 43.01 avro sent, 30 ve 110 Kilovat arası 40.92 avro sent, 100 Kilovat ile 1 megavat arası 39.58 avro senttir. Toprak üstü uygulamaları için Kilovat saat başına 31.94 avro senttir (http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in_tariff).

Türkiye'de de yenilenebilir enerji yatırımlarını cazip hale getirmek için tüm yenilenebilir kaynaklarda bu zamana kadar 5.5 avrosent / kilovatsaat alım garantisi verilirken, önümüzdeki günlerde yasalasması beklenen yeni düzenleme ile hidrolikte alım garantisini 7 avrosent / kilovatsaate çıkarmayı öngörüyor. Teklife göre rüzgar enerjisi yatırımlarında bu rakam 8 avrosent / kilovatsaat iken jeotermalde 9 avrosent / kilovatsaat, biokütlede 14 avrosent / kilovatsaat, deniz, dalga ve gel-gitten elde edilen enerjide 16 avrosent / kilovatsaat olacak. Güneş ve fotovoltaikte ise 20-28 avrosent / kilovatsaat alım garantisi verileceği tartışılmaktadır. Ayrıca, rüzgar, jeotermal, hidrolik ve biomasda alım garantileri 10 yıllığına verilirken, güneş ve fotovoltaikte bu sürenin 20 yıl (10 artı 10 yıl) olması öngörülmüyor. Yatırımlarda yerli parça kullanılması halinde rüzgar ve hidrolik enerji yatırımlarında 2.5 avrosent / kilovatsaat ek alım fiyatı verilmesini öngören düzenleme, güneş enerjisi yatırımlarında yerli imalat teşviğini 10 avrosent / kilovatsaate kadar çıkaracağı görülmektedir (<http://www.solar-santral.com>).

İpotek sistemi

Konut alıcıları yeni bir ev alırken çatı sisteminde veya dış duvar cephelerinde güneş panelleri hazır olan evleri tercih edecekleri ipotek sisteminin gelişmesi ve uygulanmaya başlaması ile güneş gücü sadece eve değil ayrıca evin ipotekine de dahil edilmiş olacaktır. Böylece elektrik faturası, harici olarak ödenen bir gider yerine evin fiyatına ve dolayısıyla ipoteğin bir parçası olacaktır. Güneş enerjisi öncüsü ve Endişeli Bilim Adamları Birliği'nden (Union of Concerned Scientists) Dr. Donald Aitken, 'Neden evinize

sahip olurken elektriğinizi kiralyorsunuz?’ diyerek güneş enerjisi kullanımındaki fikrini belirtmektedir (Pernick ve Wilder, 2008).

Finans Modeli

Güneş panelleri sistemini değil, elektronları satma modeli, %100 güneş gücünden elde edilen enerjiyi satın alma modelidir. Elektrik, üretim hakkı firmada kalarak 10-20 yıllık gibi uzun dönemli sözleşmeler karşılığında enerji kullanım hakkı satın alınan evin, deponun veya işyerinin çatısında üretilmektedir. Enerji firması, her projenin yatırım finansmanını garanti ederek ve geri ödeme risklerinin tahmin ederek güneş panelleri sistemini kuruyor ve üretilen enerjiyi müşteriye sabit bir fiyata satıyor; ayrıca bu fiyat mevcut enerji fiyatından aşağı veya aynı oluyor. Bu finansman modelini geliştiren SunEdison Enerji Şirketi, 2004 ve 2005 yıllarında Harvard Business School iş planı yarışmasında ödüllendirilmiştir.. SunEdison Enerji Şirketi dünyanın en büyük güneş paneli projelerinden birini, ABD ordusu için Las Vegas’ın dışında Nevada Çölünde 18 MW’lık güneş çiftliğini kurmaktadır (Pernick ve Wilder, 2008).

Aydınlatma

45\$ maliyeti ve 30 yıl ömrü olan güneş güçlü ışıdaklar, kirlenici, tehlikeli ve yenilenemez yakıt gazlı lambaların yerini dünyanın her tarafında maliyetler daha da düşürüldüğü takdirde alacaktır. Hem doğrudan satışlarla hem de fonlarla desteklenen dağıtımlarla herkesi hedef kitle olarak belirlemektedir (Pernick ve Wilder, 2008).

Yenilenebilir ve Güneş Teknolojisi için Finans Teşviki

Mülk sahiplerinin güneş PV sistemleri kurmak için 20 yıl boyunca emlak vergisine ilave edilen özel bir vergi ile geri ödemesini yapabildikleri yerel yönetimlerden borç aldıkları bir sistemdir (ABD, Kaliforniya’da Berkeley’s Financing Initiative for Renewable and Solar Technology, FIRST gibi). Program ilk olarak 40 uygulama için hazırlanmıştır ve 37,500 ABD dolara kadar uygulamalar için başvuruları kabul etmiştir. Eğer mülk sahibi 20 yıl içinde taşınırsa ilave vergi bedeli ve güneş PV sistemi mülk ile kalıyor.

6. Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği

Bina Enerji Kimlik Belgesi ve Merkezi Isıtma Sistemine ilişkin bazı zorunluluklar getiren 5 Aralık 2008 tarih ve 27075 sayılı “Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği” Enerji Verimliliği Kanunu (18/4/2007 tarih ve 5627 sayı) çerçevesinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından hazırlanarak, 5 Aralık 2009 günü yürürlüğe girmiştir. Bu Yönetmelik ile, mevcut ve yeni yapılacak konutların yanı sıra ticari ve hizmet amaçlı binalarda uygulanmak üzere ısıtma, soğutma, elektrik, sıhhi sıcak su, aydınlatma konularında enerjiyi verimli kullanmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak hedeflenmiştir. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Yönetim Kurulu Başkanı, Sn. Cafer Ünlü 7 Aralık 2009 tarihinde düzenlenen toplantıda ‘Yönetmeliğin tam anlamıyla uygulandığı takdirde binalarda enerji tüketiminin en az yüzde 50 azalacağı, bunun parasal değeri ise yıllık 7 milyar dolar tasarruf demek olduğunu’ vurgulamıştır.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği,

► Isıtma Sistemlerinde

Kullanım alanı 1000 m²’den büyük yeni yapılacak binalarda merkezi ısıtma sistemi zorunlu hale gelmesine; 250 m²’den büyük yapılarda ısıtma sistemi ‘yoğuşmalı’ olması; Merkezi sistemlerde Isı Pay Ölçer cihazları ile “ısındığın kadar öde”

sistemi getirilmesine; Merkezi sistem cihaz ve ekipmanları olarak, dış hava sıcaklık kontrollü otomatik sistem kullanılması;

► Bina Yalıtımında

100 m²’den küçük bireysel yapılar dışında kalan yapıların tamamı için yalıtımın zorunlu hale gelmesine;

► Soğutma Sistemlerinde

2000 m²’den büyük ticari ve hizmet amaçlı (otel, hastane, AVM) yapılarda Merkezi Soğutma Sistemi uygulanmasına;

► Sıcak su (Kullanım amaçlı) Hazırlama ve Dağıtımında

Kullanım alanı 1000 m²’den büyük Hastane, Otel, Yurt, Spor merkezi gibi tesislerde Merkezi Sıcak Su uygulamasının zorunlu olmasına;

► 1000m²’nin üzerindeki binalarda “Enerji Kimlik Belgesi”nin zorunlu hale gelmesine;

► Yeni binaların inşaat izninde Enerji Kimlik Belgesi şartı aranmasına; ilişkin hükümleri içermektedir. Bu hükümlerin uygulanması halinde enerji verimliliğinin artacağı ve karbondioksit salımının (sera gazı emisyonunun) da azalması ile çevreye olumlu katkısı olacağı beklenmektedir.

Ayrıca, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin aşağıdaki maddeleri içermektedir.

MADDE 22 – (1) Yeni yapılacak olan ve 1.000 m²’nin üzerinde kullanım alanına sahip binalardaki ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gelgit gibi fosil olmayan enerji kaynaklı sistem çözümleri tasarımcılar tarafından rapor halinde ilgili idarelere sunulur. İlgili idare yapı kullanma izni verilmesi safhasında bu raporda sunulan sistem çözümlerinin uygulamasını dikkate alır.

- (2) Yeni yapılacak binalarda yenilenebilir enerji sistemleri için birinci fıkrada belirtilen raporda tespit edilen ilk yatırım maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m²’ye kadar olan binalarda 10 yıl, inşaat alanı 20.000 m² ve daha büyük binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda bu sistemlerin yapılması zorunludur.
- (3) Yeni yapılacak binalarda hava, toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemleri için birinci fıkrada belirtilen raporda tesbit edilen ilk yatırım maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m² ve üstündeki binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda, bu sistemlerin yapılması zorunludur.
- (4) Yeni yapılacak olan ve kullanım alanı 1.000 m²’nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar ve benzeri konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerindeki merkezi ısıtma ve sıhhi sıcak su sistemlerinde güneş enerjisi toplayıcıları ile sistemin desteklenmesi zorunludur.
- (5) Güneş enerjisi toplayıcıları kullanımında TS EN 12975-1 ve TS 3817’e uyulur.
- (6) Konut harici ve merkezi havalandırma ve iklimlendirme sistemlerine sahip binalarda, doğal havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin de tasarlanarak bu sistemlerin daha verimli çalışmalarının sağlanması gerekir.
- (7) Jeotermal enerji kaynakları ile merkezi ısıtma yapılan binalarda, ısıtma hattı dönüş suyunun bölgedeki jeotermal ısı kaynağına dönüşünün sağlanması gerekir.

Kojenerasyon sistemleri

MADDE 23 – (1) Toplam inşaat alanı en az 20.000 m²'nin tasarımında kojenerasyon sistemlerinin uygulama imkanları analiz edilir. İnşaat maliyetinin yüzde onunu geçmeyen uygulamalar yapılır.

Kaynaklar

- ▶ Pernick R. ve Wilder, C., 'The Clean Tech Revolution', sf 29-57, Collins, New York, 2008
- ▶ Yüksel I, 'Global Warming and Renewable Enerji Sources for Sustainable Development in Turkey', 'Renewable Energy, Vol.33, sf 802-812, 2008
- ▶ TTMD, 'TTMD, BEP Yönetmeliği ile ilgili Basın Toplantısı Yaptı', 7 Aralık 2009, <http://www.ttmd.org.tr>
- ▶ Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 5Aralık 2008 Tarihli resmi Gazete, Sayı:27075.

YOĞUNLAŞTIRMALI GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

Emir AYDAR

TUBITAK Marmara Araştırma Merkezi
Enerji Enstitüsü

Ersin ÜRESİN

TUBITAK Marmara Araştırma Merkezi
Enerji Enstitüsü

Haydar LİVATYALI

TUBITAK Marmara Araştırma Merkezi
Enerji Enstitüsü

Ansay GÜNAL

SUNMAX BÜTEM Metal Form San. ve Tic. A.Ş.

Özet

Güneş enerjisi sistemleri arasında ısıl yöntemle güç ve elektrik üretmek ancak yoğunlaştırmalı sistemler ile mümkündür. Yoğunlaştırmalı ısı sistemler doğrusal veya noktasal olabilirken, bazen buhar türbinleri (Rankine çevrimi) için su/kızgın buhar, bazen de Stirling veya Brayton çevrimleri için gaz ısıtarak çalışmaktadır. Güneşten alınan ısı ortama bazen kızgın yağ veya tuz aracılığı ile bazen de doğrudan geçmektedir. Bu bildiride, yoğunlaştırmalı güneş enerjisi teknolojilerinin gelişme durumu ve çözüm bekleyen teknik problemler hakkında bilgi verildikten sonra bu konuda TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nde yürütülmekte olan araştırma özetlenmiştir.

1.Giriş

Yoğunlaştırmalı (veya yoğunlaştırıcı) güneş enerjisi teknolojileri (CSP: concentrated solar power), **doğrusal yoğunlaştırıcılar** ve **noktasal yoğunlaştırıcılar** olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal yoğunlaştırıcıları, parabolik oluk kolektörler; noktasal yoğunlaştırıcıları ise, çanak kolektörler ve merkezi alıcı sistemler (heliostatlar) oluşturmaktadır. Türkiye gibi ılıman iklimli ülkelerin ortalama sıcaklıkları göz önüne alındığında elektrik üretiminde fotovoltaik (PV) sistemlere kıyasla CSP sistemleri genel olarak daha ekonomik ve verimli çıkmaktadır. CSP sistemlerinde imalat ve kurulum teknolojileri PV'lere kıyasla daha büyük oranda konvansiyonel yöntemler içerdiği için Türkiye gibi ileri malzeme ve yüzey teknolojilerinin gelişmemiş bulunduğu ülkelerde yerli imkânlarla geliştirilip kullanılabilir.

İlk geliştirildiği yıllardan beri diğer güneş enerjisi teknolojileri gibi CSP sistemlerinin temel iki sorunu kurulum maliyetinin yüksekliği ile işletme performansının yere, zamana, mevsimlere ve hava durumuna aşırı bağımlı olmasıdır. Komponent, sistem, kurulum ve altyapı maliyetleri üretimin artması ile zaman içinde düşmeye başlamıştır. Diğer yandan başta ABD ve İspanya olmak üzere dünyanın değişik yerlerinde kurulum senelerdir işletilen CSP sistemleri üzerinde kazanılan tecrübe ile bakım ve işletme maliyetlerinde anlamlı düşüş elde edilmiştir. Anadolu'nun bulutlu gün sayısı sınırlı güney illerinde bile yaz-kış arasında ısıma süresi yaklaşık 8 ile 16

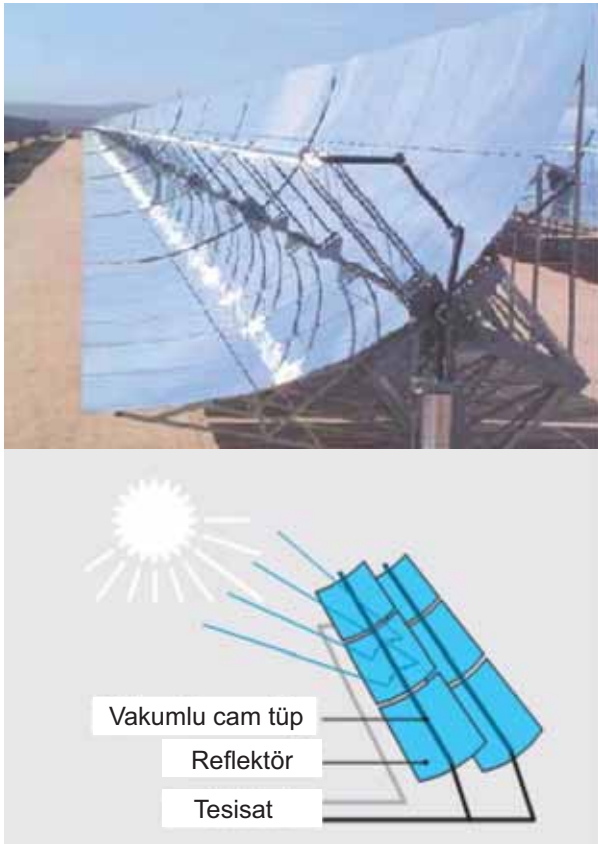
saat arasında değişmektedir. Bu durumda enerji depolama teknolojileri henüz emekleme safhasında bulunduğu için, CSP'ler tek başına tüm elektrik ihtiyacını karşılayamamakta, diğer sistemlerle birlikte (hibrid yapıda) veya dönüşümlü çalışmak durumunda kalmaktadırlar. Aşağıda yoğunlaştırmalı güneş enerjisi teknolojilerinin 2010 yılı başındaki gelişme durumu ve çözüm bekleyen teknik problemler hakkında bilgi verildikten sonra bu konuda TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nde yürütülmekte olan araştırma özetlenmiştir.

1.1.Doğrusal Yoğunlaştırıcılar: Parabolik Oluk Kolektörler

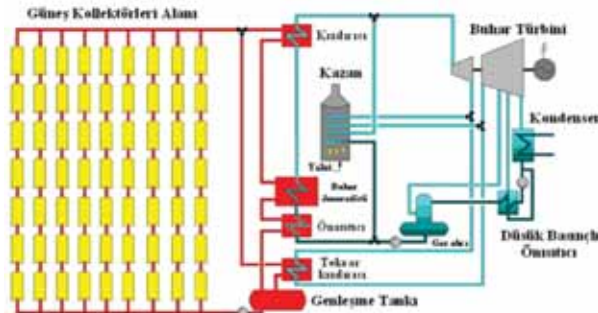
Parabolik oluk kolektörler, doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır (Şekil 1). Isı toplama elemanı; cam tüp, yüzeyi yaklaşık %97'lik bir absorbtiviteye sahip çelik alıcı boru ve cam-metal birleştiricilerden oluşur. Alıcı boru üzerinde meydana gelen yüksek sıcaklık nedeniyle oluşan ısı kayıplarını azaltmak için, cam tüp ile alıcı boru arasındaki hava vakumlanmıştır. Bu boşluk basıncı yaklaşık 0,1 atm'dir. Isıya dayanıklı cam tüp, yüksek bir geçirgenliğe ve radyasyon kayıplarını en aza indirmek için antirefleksif bir yapıya sahiptir. Sıcaklık nedeniyle meydana gelen genleşmelerin etkilerini gidermek için körüklü cam-metal birleştiriciler kullanılmaktadır.

Buhar üretim sistemi; ön ısıtma, buhar üretimi ve süper ısıtma bölümlerinden oluşur. Bu bölümlerden geçirilerek 400°C ve 100 bar basınca yükseltilecek buhar, elektrik üretimi için türbine gönderilir (Şekil 2). Üretimden sonra yeterince soğumayan buhar, yeni bir çevrime gönderilmeden, yeniden aynı sıcaklığa kadar ısıtılır ve tekrar türbine gönderilir. Bu ikinci çevrimden sonra artık soğuyan buhar, sıkıştırılıp sıvı hale getirildikten sonra yeni bir çevrime gönderilir. Işınımın en yüksek olduğu şartlarda büyüklük olarak 25-200 MW elektrik üretebilen bu sistemler genel olarak kWh başına en düşük maliyetli alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Parabolik oluk aynalı sistemlerdeki temel Ar-Ge hedefi çalışma sıcaklığının ve böylece sistem çalışma veriminin yükseltilmesidir. Güneş takip sistemlerinin parabolik oluk kolektörlere uygulanması yanında, ayna, anti-reflektif film kaplı cam tüp ve absorbant kaplamalı metal tüp performansının iyileştirilmesi de gerekmektedir. Yurdumuzda Hitit Solar-Zorlu Enerji Firması Denizli ve Manisa'da birkaç pilot tesis kurmuş ve geliştirmektedir. Ayrıca birkaç KOBİ ölçekli sanayi kuruluşunda yürütülen Ar-Ge çalışmaları mevcuttur. Kısa vadede şebekeye vermek üzere elektrik üretimi mümkün görünmese de, sera ısıtma ve meyve-sebze kurutma vb. yerel ihtiyaçların karşılanması amacıyla yaygınlaşarak kullanılabileceği görülmektedir. Hassas ve kırılğan nitelikteki cam-metal tüp grubu halen ithal edilmekte olup, bu teknolojinin gelişmesi ve yaygınlaşması için ekonomik ölçekte yerli üretimin teşvik edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Parabolik Oluk kolektörler



Şekil 2. Parabolik Oluk Kolektörlerde Sistem Çevrimi

1.2. Noktasal Yoğunlaştırıcılar

1.2.1. Çanak kolektörler

Çanak motor sistemleri; kolektör, toplayıcı ve bir motordan oluşan başlı başına bir ünitelidir (Şekil 3). Güneş enerjisi, çanak biçimli bir yüzey tarafından bir alıcı yüzey üzerine nokta şeklinde yoğunlaştırılır. Alıcı yüzeyde toplanan ışıınının ya doğrudan ısı enerjisi olarak kullanılmasını sağlar ya da bir Stirling motoru içerisindeki çalışma akışkanına aktarır. Motor ısıyı mekanik güce çevirir. Hidrojen veya helyum gibi özgül ağırlığı, (ataleti) düşük bir gazın tercih edildiği bu sistemlerde soğukken sıkıştırılmış gaz, güneş enerjisi tarafından ısıtılır ve bir türbin veya silindir piston sisteminde genişlerken iş üretir. Bu mekanik güç bir jeneratör yardımıyla elektriksel güce dönüştürülür. Çanak-motor sistemleri güneşi iki ekseninde izlerler. İdeal yoğunlaştırıcı şekli paraboliktir. Üç ya da tek bir yansıtıcı yüzeye veya birçok yansıtıcıdan oluşan bir yüzeye sahiptir. Alıcı yüzey ve motor tipi için başta Stirling motoru veya Brayton alıcısı olmak üzere birkaç seçenek vardır [2].

Noktasal yoğunlaştırıcı çanak kolektör sistemlerde su çevrimi kullanılmadığı için su kaynakların bulunmadığı kurak çöl ortamlarına çok uygundur. Modüler yapıda olduğu için ister tek, isterse çok sayıda çanak bir arada kullanılabilir. Ancak, güvenilir ve ekonomik bir Stirling motoru yapmak zordur. Stirling motorlarının sağlıklı işlemesi için Hidrojen veya Helyum gibi hafif ve ince bir gaz ortamın sızdırmazlığı sağlanmak durumundadır. Ayrıca, bu sistemlerde enerji depolamak da mümkün değildir. Bu nedenle, çanak/Stirling sistemlerinin hibrid yapıda başka bir enerji kaynağı ile birlikte tasarlanması önerilmektedir. Doğal gazlı, biyogazlı veya biyokütleden elde edilen sentez gazlı prototipler Avrupa ve Amerika'da geliştirme ve test aşamasındadır. 2009 yılı itibarıyla hala yatırım maliyeti en yüksek alternatif bu görülmektedir. Yurdumuzda bu sistemleri geliştirmek üzere on sene kadar önce Kombassan Firması tarafından bir Ar-Ge projesi başlatılmış ve Amerikan Cummins Firmasından geliştirilmekte olan bir Stirling sistemi devralınmıştır. Antalya'da bir güneş takip sistemi üzerine prototip bir çanak kurulmuş, sistem sürekli ve verimli çalışır hale getirilemeden Firmanın yaşadığı ekonomik problemler sebebiyle durdurulmuştur.

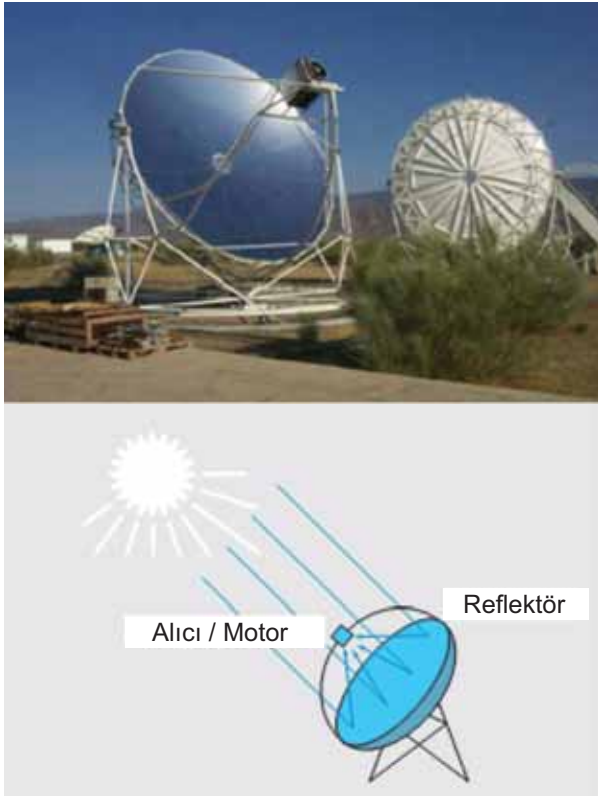
1.2.2. Merkezi Alıcılar

Güneşten gelen direkt ışınlar, geniş bir alana yayılmış ve iki eksenli güneş takip sistemleri ile donatılmış yüzlerce aynalar ("heliostat"lar) yardımıyla kule üzerindeki toplayıcı üzerine yoğunlaştırılır (Şekil 4 ve 5). Toplayıcı içerisinde dolaştırılan tuzlu eriyiğin, bu yoğunlaşan ışıının yardımıyla sıcaklığı artırılır. Tuzlu eriyik ısıyı verimli bir şekilde tutar. Tuzlu eriyik 277°C sıcaklıkta soğuk depolama tankından kule üzerindeki bir toplayıcı içerisine pompalanır. Burada 777°C'a kadar ısınarak bir sıcak tanka gönderilerek depolanır. Güce ihtiyaç duyulduğunda sıcak tuzlu eriyik bir buhar kazanına pompalanarak yüksek sıcaklıkta kızgın buhar üretilmesinde kullanılır. Güneş kulesi sistemlerinde yoğunlaştırma oranı 300 ile 1500 arasında değişirken, sıcaklık 550'den 1500°C'a kadar çıkabilir. Maksimum güç 10 MW ve üzeridir. Alternatifler arasında en verimli, ancak büyük yatırım gerektiren heliostat sistemlerdeki çalışma sıcaklığı diğerlerine göre çok yüksek bulunduğu için güvenirlilik ve emniyet en önemli faktörler olarak ortaya çıkmaktadır.

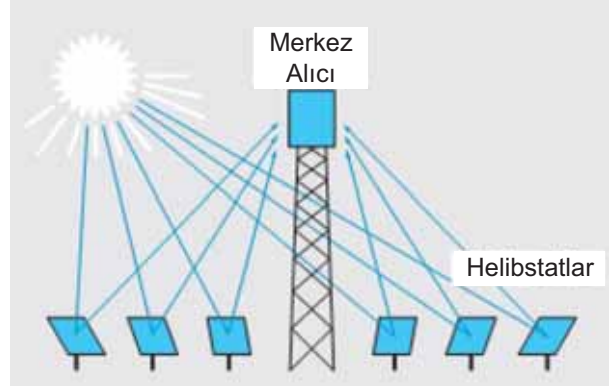
2. Dünyada Csp Uygulamaları

Dünyada 2008 yılı itibarıyla parabolik aynalı güneş santralleri olarak toplam 400 MW bulunmaktadır. Buna ek 350 MW santral inşa edilmekte iken, 7.000 MW planlama aşamasındadır. Ortalama yatırım maliyeti 4-9 \$/W arasında değişmektedir [3]. Kurulu güneş enerjisi sistemlerinin detaylı karşılaştırılması Tablo 1'de, geliştirme aşamasında olan projeler ise Tablo 2'de verilmiştir.

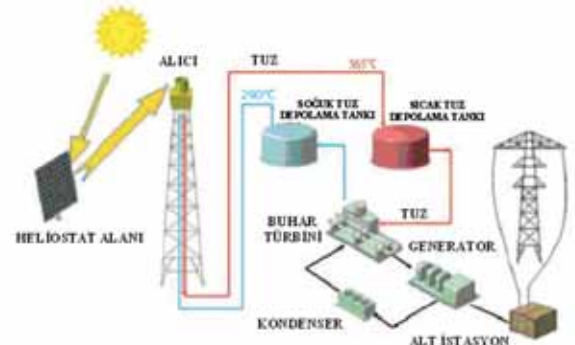
ABD'de California Mojave çölündeki SEGS demo tesisi 20 yıldır çalışmaktadır. ABD'nin parabolik oluk kolektörlerle kurmuş olduğu en büyük santral olan SEGS, dünyanın en büyük güneş enerjisi santrali olup; dokuz üniteden oluşmaktadır. Toplam kurulu gücü 354 MW' tır ve 936,384 adet ayna ile 6,5 km²'lik bir alana sahiptir. Bu santrale ait değerler, Tablo 3'te verilmiştir [3]. Bir diğer parabolik oluk projesi Nevada Solar One, 260 milyon USD bütçe ile yapılmış olup; nominal kapasitesi 64 MW, maksimum kapasitesi ise 75 MW'tır. Santralde 760 olukta 219.000 ayna, 18.000 alıcı tüp olup akışkan sıcaklığı 391°C'dir [3]. California'da bir sonraki parabolik oluk CSP projesi 106.8 MW kapasitede planlanmış ve 2011'de devreye alınacaktır. ABD Enerji Bakanlığı tarafından deneysel amaçlı olarak 1981'de kurulan ilk güneş kulesi (heliostat) santrali yine California Mojave çölündeki Solar One tesisidir. 1995'te Solar Two adı verilerek genişletilen tesisin test edilen kapasitesi 10 MW'a ulaşmıştır (Şekil 6). 2009 yazında daha gelişmiş ve yüksek kapasiteli bir santral kurmak üzere sökülüştür. Böylece Amerika'nın PV santralleri dâhil 2016'da 28 GW güneşten elektrik kapasitesine ulaşacağı öngörülmektedir.



Şekil 3. Çanak kolektörler



Şekil 4. Merkezi Alıcılar (Güneş Kulesi, PS10 ve PS20 santralleri, İspanya)



Şekil 5. Merkezi alıcılarda sistem çevrimi

Seville İspanya'da, Inabesa, Fichner, Ciemat ve DLR'ın ortaklığı ile Mart 2007'de ticarî nitelikte kurulan Planta Solar PS10 güneş kulesi santrali 11 MW kurulu güçte olup; 75,000 m²'lik bir alana sahiptir (Şekil 6). Santralin yıllık üretimi 24,3 GWh, termal verim %27, toplam verim ise %17'dir. Santralden elde edilen sıcaklık 250 °C'dir. 14,3 milyon Euro maliyetin 5 milyon kadarını AB karşılamıştır [3]. Aynı yerde Nisan 2009'da 20 MW kapasiteli PS20 kurulurken, genişleme planına göre toplam gücün 2013'e kadar 300 MW'a çıkarılması planlanmaktadır. Bir diğer güneş kulesi sistemi Andulucia bölgesinde Solar Tres adıyla 15 MW kapasiteyle kurulmuş tuz ergiyeği üstünde enerji depolayarak yaz aylarında 24 saat kesintisiz çalışma sağlanmış ve yıllık ortalama %65 emreanadelik elde edilmiştir. 2008 yılında Granada'da kurulan parabolik oluk kolektörlü, Andasol santrali 50 MW kapasiteli olup, yılda 3.589 saatte toplam 179 GWh üretim yapmaktadır. PV santral yatırımlarıyla

birleştirildiğinde Avrupa'nın en güneşli ülkesi İspanya'da güneşten elektrik üretme kapasitesi 2009 yılı sonunda 3 GW'a ulaşmıştır. Böylece güneş enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payı %12'yi bulmuştur.

Parabolik çanak sistemlerinin geliştirilmesi için ABD ve AB'de çalışmalar yürütülmüştür. ABD 1980'li yıllarda başlayan ve 500 Milyon USD'ye yakın Ar-Ge harcaması yapılan projede her biri 25 kWp üretebilen Stirling motorlu sistemler 2009 yılında ticarileştirilmiş ve ilk alınan siparişlerle California, Texas ve Arizona'daki dört projede 1.630 MWe kurulu güç elde etmek üzere 35.000'den fazla Stirling motorlu çanak kurulacağı ilan edilmiştir. AB fonlarından desteklenen EuroDish projesinde ise çanak başına 10 kWp seviyesine erişilmiş, Alman SBP firması tarafından Avrupa'nın ve dünyanın pek çok yerinde 50 kWp altında çok sayıda demo/test ünitesi kurulduğu halde henüz büyük ticarî güneş tarlası aşamasına gelinmemiştir.

CSP sistemlerinde temel Ar-Ge hedefi elektrik maliyetinin kısa vadede 0,08-0,10 €/kWh, orta vadede 0,04-0,05 €/kWh mertebesine indirilmesidir. Bunun için kurulum maliyetinin 1000€/kWe değerini aşmaması gerekir. Bu bağlamda Ar-Ge öncelikleri için aşağıdakiler önerilmiştir [8]:

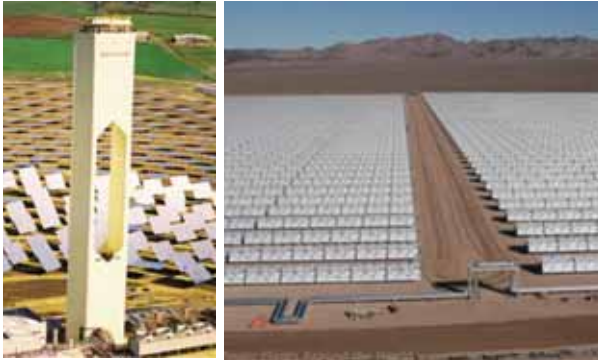
- Sistem otomasyonu
- Sistem çalışma sıcaklığının ve veriminin yükseltilmesi
- Doğrudan buhar üretim sistemlerinin geliştirilmesi
- Gelişmiş enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi
- İleri modüler sistemler
- İleri güneş-hibrid sistemler (gece saatlerinde çalışan biyogaz veya diğer yakıtlı sistem ile entegre sistemler)
- Elektrik dışı uygulamalar (su pompalama, desalinasyon vb.)
- Güneş enerjili kimyasal sistemler (çinko ekstraksiyonu, hidrojen üretimi, biyokütle gazlaştırma vb.)
- İmalat ve kurulum maliyetlerinin düşürülmesi
- Sistem ömür, güvenilirlik, verim ve emniyetinin iyileştirilmesi

Tablo 1. Güneş enerjisi sistemlerinin teknik ve ekonomik karşılaştırması

Teknoloji Türü	Sistem Verimi (%)		Maks. Çıkış Sıcaklığı (°C)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Enerji maliyeti	
	Elektirik	Isı			Elektrik (\$/kWh)	Isı (\$/kWh)
Düzlemsel Kolektör	-	50-70	80	250-1000	-	0.0013-0.004
Parabolik Oluk	14	46	380	2800 kWe	0.15	0.0053
Parabolik Çanak	24	79	700	5000 kWe	0.28	-
Merkezi Alıcı	15	46	600-700	3000 kWe	0.16	0.004
Tek Kristal Silisyum	12	-	-	6000 kWe	0.29	-
Çok Kristal Silisyum	10	-	-	6000 kWe	0.29	-
Tek İnce Film	4	-	-	5000 kWe	0.25	-
Çoklu İnce Film	7	-	-	5000 kWe	0.24	-

Tablo 2. Gelişme Halinde Olan Güneş Enerjisi Projeleri

BÖLGE	TOPLAM KAPASİTE (MWe)	GÜNEŞ ENERJİSİ APASİTESİ (MWe)	ÇEVİRİM	FİNANSMAN
Parabolik Oluk				
Cezayir	140	35		New Energy Algeria
Kuraymat, Mısır	150	30		NREA / GEF grant, JBIC loan
THESEUS - Girit, Yunanistan	50	50	Buhar Çevrimi	Solar Millennium, Flabeg Solar Int, Fichtner Solar, OADYK
Mathania, Hindistan	140	30		RREC (Rajasthan Renewable Energy Authority) / GEF grant, KfW loan
Yazd / İran	467	17		Mapna / Iranian Ministry of Energy
İsrail	100	100	Buhar Çevrimi	Israeli Ministry of National Infrastructure with Solel
İtalya	40	40	Buhar Çevrimi	ENEA
Baja California Norte, Meksika	291	30		Open
Ain Beni Mathar, Fas	220	30		ONE / GEF grant, African Development Fund
İspanya	12x50	12x50	Buhar Çevrimi	Abengoa, ACS-Cobra, EHN-Solare-nix, Iberdrola, HC-Genesa, Solar Millennium
Neveda, USA	50	50		SolarGenix
Merkezi Alıcılar				
İspanya	10+ 2x20	10+ 2x20	Buhar Çevrimi	Abengoa (İspanya) grubu
İspanya	15	15	Ergimiş Tuz / buhar	SENER (İspanya)
Çanak				
California, Texas ve Ar.	1.6	1.6	8-çanak, Stirling sistem	Tessera Solar - SES
Eurodish Demonstrasyon	0.1	0.1	6-çanak, Stirling sistem	SBP and Partners



Şekil 6. Nevada Solar One parabolik oluk santrali – ABD (sol); PS 10 Güneş Kulesi – İspanya (sağ)

Tablo 3. A.B.D.'de SEGS santrallerine ait değerler

Santral	Kuruluş yılı	Kurulum yeri	Net türbin kapasitesi	Alan	Yağ sıcaklığı	Elektrik üretimi (MWh)	
			(MW)			1996	1998 - 2002 (ortalama)
SEGS 1	1984	Daggett	14	82,960	307	19,900	16,500
SEGS 2	1985	Daggett	30	165,376	316	36,000	32,500
SEGS 3	1986	Kramer Jct.	30	230,300	349	64,170	68,555
SEGS 4	1986	Kramer Jct.	30	230,300	349	61,970	68,278
SEGS 5	1987	Kramer Jct.	30	233,120	349	71,439	72,879
SEGS 6	1988	Kramer Jct.	30	188,000	391	71,409	67,758
SEGS 7	1988	Kramer Jct.	30	194,280	391	70,138	65,048
SEGS 8	1989	Harper Lake	80	464,340	391	139,174	137,990
SEGS 9	1990	Harper Lake	80	483,960		141,916	125,036

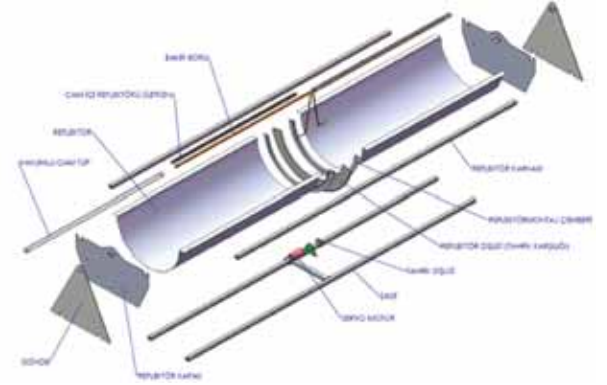
3. Parabolik Oluk Kollektör Prototip Sistemi

3.1. Sistemin Tasarım Çalışmaları

Yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi teknolojilerini geliştirme amacıyla, SUNMAX BÜTEM Metal Form Firmasının katkılarıyla üç adet parabolik oluk kolektörden oluşan bir deneysel sistem kurulmuştur. Prototip sistemin kurulum çalışmalarından önce, yansıtıcı ayna (reflektör), vakumlu tüp, destek mekanizması ekipmanlarının CAD ortamındaki çizimleri gerçekleştirilip, aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 7). Parabolik oluk kolektör prototip sistemi genel olarak, yansıtıcı ayna (reflektör), vakumlu tüp, destek mekanizması, kızgın yağ pompası, genişleme tankı, basınç tankı ve sıcaklık sensörlerinden oluşmaktadır.

Prototip sistemin gerekli ekipmanları temin edildikten sonra montaj işlemleri yapılmıştır (Şekil 8). Sistem için aşağıdaki şekilde verildiği gibi üç adet parabolik oluk kolektör kullanılmıştır. Kollektörler arasında sentetik yağın dolaşımı için yüksek sıcaklığa dayanıklı izolasyonlu paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Sentetik yağın,

kızgın yağ pompası vasıtasıyla, tüm kolektörler içerisinde dolaşımı sağlanmaktadır. Güneş ışınlarının yansıtıcı aynalara gelerek odak noktasında bulunan vakumlu tüp içerisinde dolaşan yağ yüksek sıcaklığa çıkarılmaktadır. Bunun sonucunda yüksek sıcaklıktaki yağ, basınç tankına girmektedir. Basınç tankında bulunan serpantin yoluyla tankta bulunan suya ısısını vererek, suyun buharlaşması amaçlanmaktadır (Şekil 9). Kollektörlerde dolaşan yağın sıcaklıklarını ölçmek için basınç tankının giriş ve çıkış hattına sıcaklık sensörleri bağlanmıştır. Performans ve verim parametreleri için çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 7. Prototip sistemin CAD modeli



Şekil 8. Üç kolektörlü sabit açılı deneysel CSP sistemi



Şekil 9. Kollektörler arası bağlantı (sol), kızgın yağ pompası ve basınç tankı (sağ)

4. Özet Ve Sonuçlar

Dünyada güneş enerjisi sistemlerinin tasarlanıp kullanılmaya başlandığı 150 yıldan fazla süre içinde kazanılan tecrübe kısa ve orta vadede CSP teknolojilerine yapılacak yatırımlar ve kurulacak tesisler için düşük teknik ve ekonomik risk göstermektedir. Halen KWE

başına yatırım maliyeti yüksek bulunurken, California ve İspanya demo tesislerinde 2003-2008 döneminde oluşturulan işletme ve bakım prosedürleri ile işletme maliyetleri %30 oranında düşürülmüş ekonomik düzeye inmiştir. Bu aşamada parabolik oluk ve heliostat sistemler 5 saatlik enerji depolaması içerdiğinde (sanal) CO₂ takası ile ekonomik olabilmektedir.

Yurdumuz açısından düşünüldüğünde heliostat sistem geliştirmek için gereken büyük ekonomik güç yoktur. Çanak/Stirling sistemleri güvenilirliği kanıtlanmış motorların ekonomik olarak temin edilebildiği şartlarda kurak bölgelerde anlamlı bir alternatif olacaktır. Şu an Arizona ve California'da çalışan demo tesislerinin geliştirilmesi için 20 yıl ve yarım milyar USD harcadığı düşünülürse, bu teknolojik alternatif üzerine de baştan başlayarak özgün bir sistem geliştirmek zordur. Gelecekte elektrik üretimi ile desalinasyon işlevini birleştiren kojenerasyonlu tesislerinin tatlı su kaynakları kısıtlı yerlerde ekonomik yönden cazip olması beklenebilir ve ülkenin kısıtlı Ar-Ge kaynaklarından bu yönde pay ayrılması anlamlı görünmektedir.

Diğer yandan, parabolik oluk sistemler tasarımı ölçek esnekliği yanında yurdumuzun güneşli günleri en bol güney bölgelerinde sistemi çalıştıracak yeterli su kaynaklarının bulunması da göz önüne alınarak en cazip alternatif olarak görünmektedir. Ekonomik fizibilite tesis büyüklüğü ve kısa süreli enerji depolama yeteneği yanında kurulum ve arazi maliyetinin en az indirilmesi ile elde edilebilecektir. İmalatında ağırlıklı olarak konvansiyonel teknolojiler kullanıldığı için parabolik oluk sistemlerinin yerli imkânlarla (PV'lere kıyasla) düşük enerji tüketilerek kurulması da ülke açısından toplam ekonomik cazibeyi artırmaktadır. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünde başlatılan Ar-Ge çalışmaları güneş takip sistemi ile de entegre edilerek sistemin veriminin iyileştirilmesi üzerine odaklanacaktır.

Kaynaklar

- [1] Pitz-Paal R, "Concentrating Solar Power", German Aerospace Center (DLR), Institute of Technical Thermodynamics, Köln, Germany.
- [2] Müller-Steinhagen H, and Trieb F, "Concentrating Solar Power, Part 1. Royal Academy of Engineering, 2004.
- [3] Gonzalez F. A, Liberali R, Concentrating solar power: from research to implementation, European Communities, (2007) ISBN 978-92-79-05355-9.
- [4] Tyner C.E, Kolb G.J, Geyer M, "Concentrating Solar Power in 2001", An IEA / SolarPACES Summary of Present Status and Future Prospects, January 2001.
- [5] Tsoutsos T, Gekas V, Marketaki K, "Technical and economic evaluation of solar thermal power generation", Renewable Energy, Vol.28, pp.873-886, 2003.
- [6] Mills D, "Advances in solar thermal electricity technology", Solar Energy, Vol.76, pp.19-31, 2004.
- [7] Cohen G, Skowronski M, Cable R, et al. "Solar thermal parabolic trough electric power plants for electric utilities in California", Solargenix Energy. Los Angeles, CA, November 2005.
- [8] Poullikkas A, "Economic analysis of power generation from parabolic trough solar thermal plants for the Mediterranean region-A case study for the island of Cyprus", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 2474-2484.

[9] Alrobaei H, "Novel integrated gas turbine solar cogeneration power plant", Desalination 220 (2008) 574-587

[10] Al-Soud M, Hrayshat, E.S, "A 50MW concentrating solar power plant for Jordan", J. of Cleaner Production 17 (2009) 625-635.

[11] "Concentrating Solar Thermal Power", Greenpeace Report, September 2005.

Summary

Solar thermal power is a relatively new technology which has already shown significant promise. Producing electricity from solar radiation is a straightforward process with collection and concentration by a range of concentrated solar power (CSP) technologies to provide medium to high-temperature heat. The heat is then used to operate a conventional Rankine cycle (with water vapor) or Stirling or Brayton cycles (with gas). The major benefit of solar thermal power is that it has little adverse environmental impact, with none of the polluting emissions, noise or safety concerns associated with the conventional power generation technologies.

The three most promising solar thermal technologies are the parabolic trough, the central receiver or solar tower, and the parabolic dish. Parabolic trough-shaped mirror reflectors are used to concentrate sunlight on to thermally efficient receiver tubes placed in the trough's focal line. A thermal transfer fluid, such as synthetic thermal oil, is circulated in these tubes. Heated to approximately 400°C by the concentrated solar rays, this oil is then pumped through a series of heat exchangers to produce superheated steam. The steam is converted to electrical energy in a conventional steam turbine generator, which can either be part of a conventional steam cycle or integrated into a combined steam and gas turbine cycle. Parabolic dish shaped reflector is used to concentrate sunlight on to a receiver located at the focal point of the dish. The concentrated beam radiation is absorbed into the receiver to heat a salt bath or directly gas (helium or hydrogen) to approximately 750°C. This gas is then used to generate electricity in a Stirling engine or a micro turbine, attached to the receiver. Central receiver (solar tower) systems use a circular array of large individually dual-axis tracking plain mirrors (heliostats) to concentrate sunlight on to a central receiver mounted on top of a tower, with heat transferred for power generation through a choice of transfer media.

A parabolic trough system has been designed and installed at the Energy Institute of TÜBİTAK MAM for performance testing and maximization. The receiver tube consists of a copper absorber with selective coating and surrounded by a tempered glass envelope with an anti-reflective surface. The glass envelope is used to insulate the copper absorber from convective and radiative heat loss, and the air in between is evacuated to improve performance. The set-up includes three static troughs connected in parallel and filled with temperature resistant synthetic oil. The solar heat collected by the oil is transferred to water to generate superheated steam in a serpentine type boiler. The system is equipped with a number of temperature and pressure sensors. The preliminary aim is to maximize the high temperature steam experimentally using this prototype system. At the moment, experiments are being performed to detail performance and efficiency parameters.

GÜNEŞKENT ANTALYA'YA DOĞRU

Engin ERARSLAN

Antalya Büyükşehir Belediyesi
Temiz Enerji Koordinatörlüğü
Koordinatör Yardımcısı

Özet

Dünya yüzeyinde aynı paralel üzerinde bulunan yerler incelendiğinde, Antalya Güneşkent olarak adlandırılan şehirlerden olabilecek niteliktedir. Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya'nın tanınmışlığı, turizmi, tarımı, ticareti, hizmet sektöründeki yeri ve ulaşım kolaylığının yanı sıra Güneş enerjisi potansiyelininde ön planda olması için projeler hazırlamaktadır. Bunlar; Güneşev-Ekolojik Eğitim Merkezi Projesi ve Güneşkent Antalya Projesi'dir. Ayrıca, Antalya Büyükşehir Belediyesi İmar Komisyonu'nun yeni inşaat çalışmalarında kullanılmak üzere yönetmelik tasarısı hazırlanmıştır.

Antalya Ekolojik Eğitim Merkezi

Antalya, Türkiye'nin ilk güneş kenti, Antalya Ekolojik eğitim merkezi ise, Antalya'nın simgesi oluyor...

Yeni Yaşam Kaynağı: Enerji

Binlerce yıl, insanoğlu toprağın üzerinde karnını doyurdu, yaşamını biçimlendirdi. İlk barınağı, toprağa tutunan ağaçlar oldu. İlk tekerlekler toprağın üzerinde döndü. İlk buğday toprağa ekildi, toprak ekmek oldu. Toprak yüzeyi insana hayat verdi. Ancak nüfus arttıkça, teknoloji ilerledikçe, toprağın üzerindeki kaynaklar yetmez oldu. Artık bir şey daha gerekiyordu: Enerji. Toprağın altı, en az toprağın üstü kadar önemli hale gelmişti. Büyük ve kalabalık dünyanın ihtiyacı olan bu enerji, petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıt rezervlerinden karşılanageldi.



Dünyanın Geleceği ve Temiz Enerji

Derken yaşam veren enerji, verdiklerini yavaş yavaş geri almaya

başladı. Fosil yakıtlar iklimi değiştiriyor, doğal afetleri gözle görülür biçimde artırıyor, atmosferi kirletiyordu. 21. yüzyılın başlarında, insanların ne zaman ısınacağına, aydınlanacağına, yemeğinin pişirilip pişirilemeyeceğine, sınırlı fosil yakıt rezervlerini barındıran ülkeler adına, "birileri" karar veriyordu. Fosil yakıtlar, 'dışa bağımlılığı' da beraberinde getirmişti.

Tek çözüm, "temiz ve yenilenebilir" enerji kaynaklarıydı.

Fiş Güneşe Takmak..

Dünyamızın enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık şu anda bu ihtiyacı karşılayan fosil-yakıt rezervi, çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminlere göre bile, en geç 2030 - 2050 yılları arasında petrol rezervleri büyük ölçüde tükenecektir. Kömür ve doğal gaz için de benzer bir durum söz konusudur.

Fosil yakıt rezervlerinin bitmesini beklemeden temiz enerji kaynaklarına yönelmek zorunludur. Bu nedenle, tükenmeyen enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, su ve biokütle gibi) çok kısa bir süre içinde önem kazanacaktır.

Türkiye'de Neler Oluyor

Türkiye, güneş ve rüzgâr bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Türkiye'nin AB uyum yasalarını çıkarmakta olduğu şu günlerde çok kısa bir süre sonra hükümetin gündemine gelecek bu konular, maalesef Türkiye'de tanınmamakta ve dünyadaki gelişmelerin çok gerisinde kalmaktadır.

Antalya Büyükşehir Belediyesi ile Temiz Dünya Ekoloji Platformu ortaklığıyla gerçekleştirilecek Antalya Ekolojik Eğitim Merkezi, Türkiye'de de konseptini kullanan öncü uygulamalardan biri olacaktır. Projenin temel vurgusu, konutlarda ekolojik yaklaşımların temiz enerji kaynakları ile birlikte kullanımının orta ve uzun vadede hem son kullanıcı hem uygulayıcı hem de ülke için yüksek ekonomik kazanç getirmesi, ve bunun yaygınlaşmasının da bilinçli eğitim yolu ile mümkün olacağı gerçeğidir.

Antalya Ekolojik Eğitim Merkezi Nedir?

Yaklaşık 11 bin m² arazi içinde elektrik enerjisini güneşten, suyunu yeraltısuyundan ve yağmur eleme sistemlerinden karşılayan, bünyesinde serası olan bir sistemdir.

Atatürk Bulvarı ile Dumlupınar Bulvarı'nın kesiminde yer alan köşe kavşakta olacak olan Güneşev-Ekolojik Eğitim merkezi, herkesin rahatlıkla ulaşabileceği mekan olarak tasarlanmaktadır.



Merkezin İçinde Neler Var?

Kapalı alanlar (EkoEv):

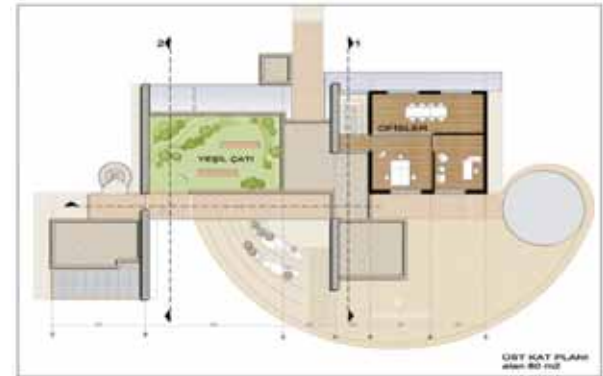
- ▶ Eğitim merkezi (seminer salonu)
- ▶ Laboratuvar birimi,
- ▶ Kafe,
- ▶ Yönetim birimi

Bahçe:

- ▶ Güneş enerjisiyle çalışan mini arabalar ve bisikletlerin dolaştığı bir parkur,
- ▶ Yürüyüş parkuru,
- ▶ Araziyi çevreleyen ve doğal sit olan kanyonların izlenebileceği seyir terasları,

EkoEv'in Özellikleri

- ▶ Şebeke elektriğine bağlı olmayacak, tüm elektrik ihtiyacını güneş ve rüzgâr enerjisinden elde edecek.
- ▶ Şebeke su sistemine bağlı olmayacak, tüm su ihtiyacını yağmur ve havadaki nemi toplayarak sağlayacak.
- ▶ Tüm aydınlatması özel tasarruflu LED sistemi ile yapılacak.
- ▶ Tüm elektrik tüketimi A+ sınıfı elektrikli aletler kullanılarak minimize edilecek.



- ▶ Doğalgaz-LPG-kömür vb. aktif ısıtma sistemi olmayacak; tüm talep, pasif iklimlendirme ve güneş mimarisine ek olarak yüksek verimli güneş kolektörleri ile karşılanacak.
- ▶ 240 metrekarelik alan üzerinde modern ahşap karkas sistemi ile yapılarak, depreme karşı sağlıklı ve güvenli bir model oluşturulacak.
- ▶ Hem LEED, hem BREEAM sertifikası alınacak.

Kim Kullanacak?

- ▶ Antalya halkı, özellikle öğrenimi süren çocuk ve gençler,
- ▶ Antalya'yı ziyaret eden yerli ve yabancı turistler,
- ▶ Yenilenebilir enerjiler üzerine araştırma yapmak isteyen kurumlar,
- ▶ Antalya Büyükşehir Belediyesi
- ▶ Sivil toplum örgütleri
- ▶ Kamu kuruluşları

Güneşkent Antalya

Antalya Büyükşehir Belediyesi'nin Antalya'yı Güneşkent yapma çalışmalarında şu amaç ve hedefler konmuştur;



Amaç;

- Antalya'yı Güneş Enerjisi üretim merkezi haline getirerek örnek kent yapmak,
- Küresel Isınmayı azaltmak, çevreyi korumak ve Türkiye'nin Dünya'daki algısını değiştirmek,
- Türkiye'de eğitim ve bilinçlendirmeyi sağlamada, diğer kentlere önder olmak,
- Antalya kentinin cazibesini ciddi boyutta artırarak, insanların yaşam kalitelerini yükseltmek,
- Enerjimizin bağımsızlaştırılmasını sağlamak

Hedef;

- 3 yıl içinde büyük kapasiteli Güneş Sistemlerinin kurulmasının planlanmak,
- Karbon salınımını azaltmak,
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Sertifikası'nın proje dönemi içerisinde sağlamak,
- Antalya'yı dünya'da GES (Güneş Elektrik Santali) konusunda en tanınan ilk 10 şehir içine sokmak,
- Antalya'ya, Dünya'daki GES ile saygın ödüllerden en az 3 adet kazandırmak,

Antalya Büyükşehir Belediyesi Güneş Enerjisi ile İlgili İmar Komisyonunun İmar Yönetmeliği Taslağı Çalışmaları

- (1) 2 ve daha fazla katlı tüm yapıların merdiven aydınlatmaları güneş enerjisinden elektrik üretim sistemlerinden elde edilen elektrikle sağlanacaktır.
- (2) Bir imar ada yada parselinde 1'den fazla yapı bulunması halinde bahçe, güneş enerjisinden üretilen elektrikle aydınlatılacaktır.
- (3) Konut Tipi Sitelerde, Tek katlı, dublex yada triplex yapılarda kullanılmak üzere, en az 500 Watt kurulu güce sahip güneş enerjisinden elektrik üretim sistemleri kurulacaktır.
- (4) Turistik Tesis ve Otel projelerinde Belediye ruhsatlı otellerde en az 1 KW'lık kurulu güç, Turistik Otel tesislerinde Otellerin yıldız sayısına göre kurulu güce sahip güneş enerjisinden elektrik üreten sistemler kurulacaktır.
- (5) Akaryakıt servis istasyonlarında, en az 1 KW'lık kurulu güce sahip güneş enerjisinden elektrik üretim sistemleri kurulacaktır.
- (6) Özel hastanelerde, iş merkezlerinde toplam inşaat alanı içinde ilk 1000 m²'lik inşaat alanı için 500 Watt, sonraki her 1000 m²'lik inşaat alanları için de ilave 500 Wattlık kurulu güce sahip güneş enerjisinden elektrik üretim sistemleri kurulacaktır.

Summary

While searching the places on the same parallels on the earth, Antalya has the qualification for the one of the cities named as "Solar City". Antalya Metropolitan Municipality is preparing the projects for the ease of transportation of Antalya, its place in serving sector, its trade, its agriculture, its tourism and its well-known, beside these keeping the Solar Energy potential ahead. These are Solar House the Project of Ecological Education and Solar City Antalya Project. Also, the regulation draft to be used in new building works of Zone Commission was prepared.

What Is Antalya Ecological Education Center?

It's a system placed in the approximately 11 thousand meter –

square- area and having its electricity from sun, water from ground water and rain elimination systems and having its own green-house.

Solar House-Ecological Education Center would be placed in the corner cross roads in the cross line of Atatürk Boulevard and Dumlupınar Boulevard will be conceived to be easy to be reached by everybody.

What Are These In The Center?**Closed Areas (Eco House):**

- Education Center(Seminar Saloon)
- Lab. Department
- Cafe
- Management Department

Garden:

- A course having the mini cars and cycles starting with Solar Energy
- Walking Course
- The Watching Terraces where the canyons that are naturally protected around the area can be watched

Solar House Antalya

The purposes and the aims of this project is:

Aims;

- To make Antalya as a sample city by making it the Solar Energy Production Center
- To decrease global warming, to keep environment and to change the conscious of Turkey in the world,
- To be the leader of the other cities in education and making conscious in Turkey,
- To increase Antalya's attractiveness and the people's living conditions,
- To supply our energy independent.

Purpose;

- To plan the construction of huge capacity Solar Systems in 3 years,
- To decrease the carbon release,
- To supply the certificate of LEED in the term of Project,
- To make Antalya one of ten cities well-known about GES(The Central of Solar Electricity) in the world,
- To make Antalya win at least 3 awards with GES in the world,

The Works Of Zone Regulation Draft Of Antalya Metropolitan Municipality Zone Commision About The Solar Energy

- (1) The stairs' brightening of all of the constructions with 2 and more roofed is going to be held with the electricity having from Solar Energy Electricity Production Systems.
- (2) In the event of 1 or more building in a zone block or parcel, the garden is going to be brightened with the electricity produced Solar Energy.
- (3) The electricity producing systems with at least 500 Watt are

going to be built up in the dwelling complexes, one roofed, double or triplex constructions.

- (4) In the projects of touristic complexes and hotel municipality certificated hotels, according to their star number, the use of their electricity produced by Solar Energy; per-star 1 KW energy.
- (5) In the fuel oil serving stations, the electricity production systems are going to be built up from the Solar Energy of 1 KW power
- (6) The electricity production systems are going to be built up from the 500 W powers for the first 1000 m² construction area and for the following 1000 m² additional area 500 W power-solar energy is going to be set up in the construction area of private hospitals, working centers.

Kaynakça

Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ekolojik Eğitim Merkezi
Tanıtım Broşürü

GÜNEŞ İZLEYEN SİSTEMLER VE BİLEŞENLERİ

Taner YILDIRIM

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Orhan KÜTÜK

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Mehmet Ali ÇİMEN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Erkan ELCİK

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Sinan UNAN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Şeref Naci ENGİN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Mustafa TIRIS

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Özet

Güneş izleme sistemleri güneş ışınlarından faydalanma oranının aktif olarak yüksek tutulması amacı ile yapılmış sistemlerin tamamına verilen genel isimdir. Güneş izleme sistemleri güneş ısı dönüşümü sistemlerinde, PV sistemlerinde ve gün ışığı ile aydınlatma projelerinde kullanılmaktadır.

PV sistemleri ile üretilen elektriğin şebekeye verildiği durumlarda güneş izlemeli sistemlerin sabit sistemlere nazaran daha kararlı olması çoğu yenilenebilir enerji kaynağında olduğu gibi güneş enerjisi için de bir problem olan devamlılık zaafının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Güneş izleme sistemleri yıllık olarak %35'e varan enerji üretim verim artışı sağlamaktadır. Verim değerleri mevsimlere göre farklılık göstermekte; özellikle kış aylarında güneş izlemeli sistemlerin verimleri sabit sistemlerin verimlerine göre daha yüksek olmaktadır.

Güneş izleyen sistemlerin ticari kullanımının yaygınlaşabilmesi için bu sistemlerin güneşten elde edilen toplam enerjiyi artırmasının yanı sıra dayanımlarının yükseltilmesi ve maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir. İzleme sisteminin tükettiği enerjinin, sağlayacağı enerji artırımının %2-3'ü olduğu düşünülürse bu sistemlerin özellikle büyük güneş panelleri veya ısı dönüşüm sistemlerinde kullanılması uygun olacaktır. Dolayısıyla, izleme sistemlerinin tasarımında güç tüketimi önemli bir kistas olarak dikkate alınmalıdır. Bu bilgiler ışığında güneş izleyen sistemlerin tasarımı mekanik ve elektronik olarak iki kısımda incelenebilir. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü bünyesinde mekanik konstrüksiyon, kontrol sistemi tasarımı ve elektronik donanımı üzerinde çalışmalar yürütülmektedir.

Bu yayında güneş izleyen sistemlerin PV enerji üretiminde sağladığı performans artırımları sunulacak; güneş izleyen sistemlerin farklı çalışma yapıları incelenecektir. Bu inceleme sonucuna göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen elektromekanik güneş izleme sistemi "güne bakan" üzerinde astronomi ve algılayıcı bilgilerini değerlendiren çeşitli kontrol yöntemleri sınanacaktır. Elde edilen en uygun kontrol algoritması ve donanım konfigürasyonu belirlendikten son-

ra endüstriyel ölçekli güne bakan sistemleri geliştirilecektir. Elde edilen tüm sonuçlar TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü bünyesinde devam etmekte olan güneş izleyen sistemler ve bileşenleri üzerinde yapılmakta olan çalışmalar çerçevesinde sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, PV sistemler, güneş izleme sistemleri

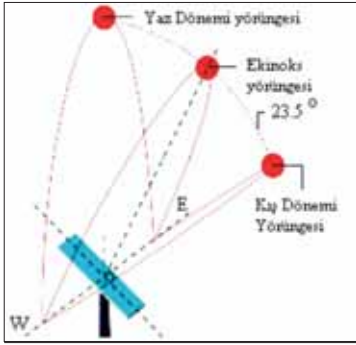
1. Giriş

Bu yayında güneş izleyen sistemlerin PV enerji üretiminde sağladığı performans artırımları sunulacak; güneş izleyen sistemlerin farklı çalışma yapıları incelenecektir. Giriş bölümünde güneş izleyen sistemlere olan ihtiyaç irdelenecek, farklı teknolojilere sahip güneş izleyen sistemler karşılaştırılacak, güneş izleyen sistemlerin kullanılması ile PV enerji üretiminde elde edilebilecek performans artırımları sunulacaktır. İkinci bölümde ise TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü bünyesinde devam etmekte olan bir güneş izleyen sistemin geliştirilmesi çalışması hakkında bilgi verilecektir.

1.1. Güneş İzleme Sistemleri ile Daha Etkin Faydalanma

Güneş izlemesi yapılırken kuramsal olarak kazanç çok yüksek gibi görünse de, pratik uygulamalarda kazanç sadece tatmin edici düzeydedir. Genellikle izleme sistemleri yıllık olarak en az %33 gibi bir enerji üretim verim artışı sağlar [1]. Tabii bu değer tek veya çift eksenli izleme yapılması ve sistemin izleme için ne kadar enerji harcadığına, meteorolojik şartlara, kullanılan PV türüne, dünya üzerinde bulunan konuma göre değişiklikler göstermektedir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi güneş ışınlarının dünyaya geliş açısı iki etkenle değişmektedir. Bunlardan ilki dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden dolayı güneş ışınlarının gün içerisindeki geliş açılarının değişmesidir. İkincisi ise dünyanın güneş etrafında dönüşü sırasında güneş ışınlarının geliş açısıdır. Bu açı mevsimsel olarak değişmektedir. Bu nedenle bu iki değişimi de doğru olarak takip etmek gerekir. Takip edecek sistemin en az iki eksenli hareket ediyor olması gereklidir.



Şekil 1. Güneşin yerküre üzerindeki gözlemciye göre hareketi

1.2. Farklı Güneş İzleme Sistemleri

İzleme sistemleri çalışma prensiplerine göre üçe ayrılabilir. Pasif, algılayıcı ve astronomik veriler ile izleme. Pasif izleme sistemleri aynı zamanda akışkanlı sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Bu sistemlerde hiç bir elektronik eleman veya motor kullanılmamaktadır. Borular içindeki akışkan güneş ışınları ile ısınarak genişir, genişleyen akışkan pistonları hareket ettirir ve güneş izlemesi yapılır. Genellikle akışkan olarak freon kullanılan sistemlerde, çok hassas bir izleme gerçekleştirilemez de, izleme için gereken enerji güneşten sağlandığı için avantajlıdır [5].

1.2.1. Algılayıcı izleme sistemleri

Pasif izleme sisteminin dışında kalan diğer iki sistem izlemelerini elektronik olarak gerçekleştirir. Algılayıcı olarak LDR, LED, foto diyot kullanılabileceği gibi küçük bir PV de kullanılabilir. Algılayıcı sistemlerde, ışığın şiddetine duyarlı algılayıcılar uygun şekilde konumlandırılır. Bir elektronik karşılaştırıcı devre algılayıcıların ürettiği sinyalleri birbirleri ile kıyaslar. Işık şiddetinin fazla olduğu yöne doğru yönelim motor yardımıyla sağlanır. İzleme doğruluğu algılayıcı hassasiyeti ve elektronik devre ile ayarlanabilir. Bu sistemlerde 0,5°-1° doğruluk elde etmek mümkündür. Yüksek doğruluk özellikle güneş-ısı dönüşümlerinde odaklama prensibi ile çalışan sistemler için önemlidir. PV'ler için ise 1°'lik doğruluğa gerek duyulmaz.

Algılayıcı sistemlerde ışık şiddetleri birbirleri ile kıyaslandığı için düşük ışık şiddetlerinde bile izleme devam eder. Bu hem olumlu hem de olumsuz bir özellik olabilir. Gün doğumu, gün batımı, yağmur, kar, sis gibi durumlarda sistem doğrudan gelen ışınım ne olursa olsun, en çok ışınım gelen yöne dönme eğilimindedir. Bu da en yüksek enerji üretimini sağlasa da, en çok ışık gelen yönün bulunması için sistemin tarama durumunda kalmasını ve izleme için motorun daha çok enerji harcaması anlamına gelir. Uzun süreli yağışlarda ve çok bulutlu günlerde sistem ürettiğinden daha fazla enerjiyi kendisi için harcamak zorunda kalabilmektedir. Buna ek olarak ise, az bulutlu günlerde, hem doğrudan gelen ışınım, hem de bulutlardan yansıyan ışınım ile 1300 – 1400 W/m²'lik değerlere çıkan ışınım şiddetlerinde hassas izleme sayesinde PV'nin katalog değerleri bile aşılabilmektedir. Bu duruma "Eye of Cloud" etkisi denilmektedir [3].

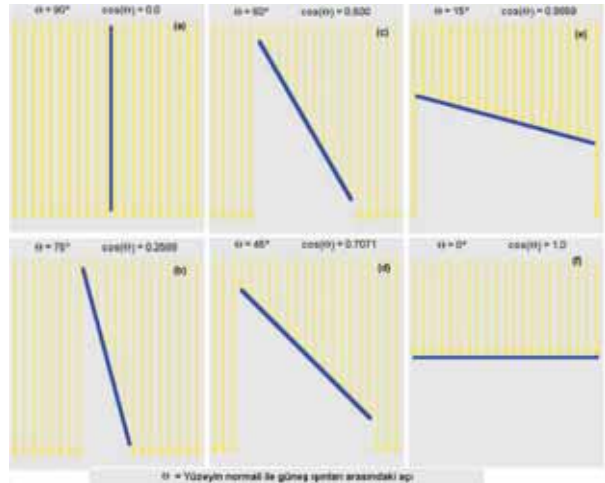
Tek eksenli izleme yapan çoğu izleme sistemi, doğu batı ekseninde izleme gerçekleştirirken güneş yükseklik açısını sabit tutmaktadır. Bunun sebebi Türkiye için yükseklik açısı sadece 72° değişirken, doğu batı ekseninde 240°'lik bir değişimin olmasıdır.

1.2.2. Astronomik veriler ile izleme

Astronomik verilerle izleme sistemleri algılayıcı sistemler ile benzer prensipte çalışır ancak, motorların hareketi için gereken sinyal algılayıcılardan gelen sinyallerin kıyaslanması sonucu değil, bir algoritma tarafından üretilir. En büyük artısı, doğrudan güneş ışınımının soğurulması için istenilen hassasiyetle izleme yapılabilmesidir. İzleme için kullanılan program istenirse 0.01°, istenirse 25° hassasiyet ile doğrudan gelen ışınımı, hem de güneşi hiç görmeden, algılamadan yapabilir. En büyük eksisi ise, dolaylı ışınımı algılamak mümkün olmadığı için bu ışınımı bilinçli olarak değerlendirmek mümkün değildir. Yani "Eye of Cloud" etkisi olduğu durumda algılayıcı sistemlere göre daha az verim sağlamaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki "Eye of Cloud" etkisi kısa sürelidir ve ardından bulutluluk durumuna girilmesi muhtemeldir.

1.3. Güneş İzleme Sistemlerinin Kıyaslanması ve İncelenmesi

Astronomik verilerle izleme sistemlerinde geliştirilecek bir yazılım ile sistemin kullanılmak istendiği yer için güneşin yıl boyu konumunun bilinmesi ve programa eklenmesi, astronomik verilerle yapılacak izleme için yeterlidir. Algılayıcı sistemler çok hassas bir şekilde güneşi izledikleri için motora fazla dur/kalk yaptırmaktadır. Bu da astronomi değerleriyle yapılan izlemeden daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır. Şekil 2'de güneş ışınlarının gelme açısına göre faydalanma miktarı örnekleri verilmiştir.



Şekil 2 Güneş ışınlarının gelme açısına göre faydalanma oranları

Astronomi verileri ile yapılan izlemelerde 15°'lik hassasiyet değerlerini elde etmek mümkündür. Bu hassasiyet PV sistemleri için yeterlidir. Kosinüs 15° değeri bize ışınımın faydalanma oranını verir, bu da 0,966'dır. Yani 15° hassasiyetle izleme yapan bir PV sistemi güneş ışınımından %96,6 veya daha fazla oranda faydalanacaktır. Sistemin az hareket etmesi demek, az enerji tüketmesi anlamına geldiğinden sistemin genel veriminin artmasını sağlar.

Algılayıcı sistemler özellikle yağmurlu havalarda tarama durumuna gelerek, hangi yönde ışığın daha fazla olduğunu anlamak amacı ile hareket etmekte, yani fazladan enerji tüketmektedir.

İzleme sistemlerinin kurulumu aşamasında algılayıcı sistemler, kolay kurulumları sayesinde, rahatlık sağlamaktadır. Astronomik

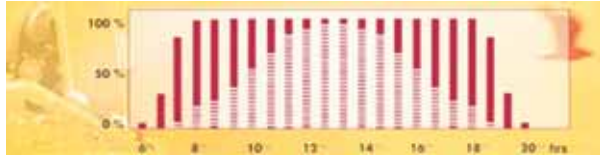
değer ile izleme sistemlerinin güney değeri kurulum sırasında doğru olarak ayarlanmalıdır. Ayrıca kurulumun ardından sisteme enlem, boylam, saat, tarih bilgileri doğru şekilde girilmelidir. Aksi durumlarda izleme düzgün bir şekilde yapılamayacaktır. Buna karşın algılayıcı sistemlerde kurulum rahatlıkla yapılabilir, teknik olarak dikkat edilmesi gereken bir bileşen yoktur, sistem güneyin neresi olduğundan, saatin ve tarihin değişiminden bağımsız olarak çalışmaktadır.

Algılayıcı sistemlerde, algıcının zedelenmesi, bozulması durumunda sistem artık düzgün olarak çalışmayacaktır. Algıcın üstünün tozlanması, pislmesi olası durumlardır. Aynı zamanda, kıyaslanan algılayıcıların özdeş olmaması sistemde sürekli hatalara yol açabilir.

1.4. Güneş İzleme Sisteminin Sabit Sistem ile Kıyaslanması

1.4.1. Ticari sistem verileri

Deger Energie firmasının izleme sistemlerinin kullanıldığı Almanya'daki Solar Park Horb'dan enerji üretim değerleri internet üzerinden yayınlanmaktadır [2]. Şekil 3'te bir gün içerisinde optimum açı ile sabit yerleştirilmiş bir sistem ile güneş izleyen eşdeğer iki sistemin karşılaştırılması verilmiştir [3].



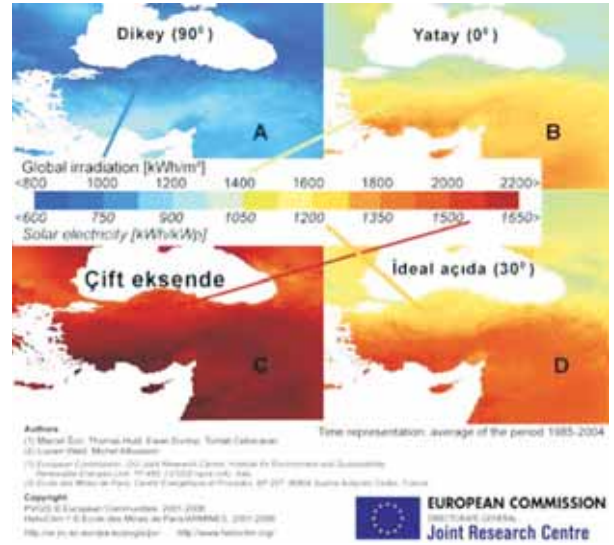
Şekil 3. Güneşli bir yaz gününde sabit sisteme göre izleme sistemi ile faydalanma oranı değişimi [3]

Sabit sistem kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. 12 adet 150 Wp'lik PV panel taşıyan çift eksenli algılayıcı yardımcı izleme gerçekleştiren bir sistem ile sabit konumlandırılmış bir sistemde üretilen enerjiler arasında %50'den fazla farkın olduğu günler mevcuttur. Sistem ile elde edilen değerlerin iki yıllık toplamına bakıldığı zaman ise izleme sistemi % 39 civarında bir artış sağlamaktadır.

1.4.2. Kuramsal ve olası değerler

JRC (European Commission Joint Research Center), Avrupa genelinde güneş enerjisi ölçümleri almakta olan bir kurumdur. Türkiye'de de 4 ana merkezde ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca hava durum raporları, uydu görüntüleri yardımıyla yaptığı modelleme yöntemi (PVGIS) sayesinde bütün Avrupa'nın güneş enerjisi yoğunluğunu istenilen diklik açısı değerlerinde verebilmektedir.[4]

Şekil 4'te farklı diklik açısına sahip yüzeyler üzerine düzen güneş enerjisi renkli olarak verilmiştir. (A) kısmında yeryüzüne dik konumlandırılmış, yani 90° diklik açısındaki yüzeyler için güneş enerjisi yoğunluğu ve %75 elektriksel çevrim ve aktarım verimine sahip PV'ler için kurulu güç başına elektrik üretim oranı görülmektedir. Benzer şekilde (B)'de ise 0° diklik açısındaki, yani yeryüzüne paralel yüzeyler için harita görülmektedir. (D)'de yıllık verilere (en yüksek yıllık elektrik üretimi için) göre en iyi diklik açısı için konumlandırılmış (güneye dönük) yüzeyler için harita görülmektedir. Burada 30° Türkiye ortalamasıdır, ancak haritanın tamamı yerel en iyi diklik açısı için yapılmıştır. Şeklin (C) kısmında ise çift eksenli izleme sistemine sahip yüzeyler için harita verilmektedir.



Şekil 4. Türkiye geneli için güneş enerjisi yoğunluğu haritaları [4]

2. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Güneş İzleme Sistemi Çalışmaları

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü bünyesinde gerçekleştirilen güneş izleme sistemi tasarım çalışmaları mekanik ve kontrol olmak üzere iki bölümde incelenecektir.

2.1. Mekanik Tasarım

Güneş izleyen sistemin mekanik yapısı, iki eksenli harekete olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Konstrüksiyon tasarlanırken yapının taşıyacağı yükler hesaplanmış ve bu hesaplar ışığında eyleyiciler seçilmiştir. Panel taşıyıcı sistemine etki edecek yükler şöyle sıralanabilir;

- Panel ağırlığı,
- Paneli taşıyacak çerçeve sisteminin ağırlığı
- Kar yükü
- Rüzgâr yükü.

Güneş izleyen sistemin mekanik yapısı oluşturulurken öncelikle panel sayısı dikkate alınmıştır. Yaklaşık 1 kW maksimum elektriksel güce sahip bir sistem olması düşünülmüştür. 85 W güce sahip PV paneller kullanılacağından sistemin taşıyacağı panel sayısı 12 olmaktadır. Panellerin ağırlıkları ise panel başına yaklaşık 13 kg'dır. Kullanılacak 12 adet panelin toplam ağırlığı 156 kg olmaktadır. Çerçeve ağırlığı ise 154 kg'dır.

Kar yükü hesabı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır;

$$P_k = m \cdot P_{k0} \quad m = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{40^\circ} \quad (1)$$

(1) ile verilen denklem; güneş izleme sisteminin kurulacağı Gebze bölgesi dikkate alınarak hesap edilmiştir. Gebze yaklaşık 40° paralelinde bulunur. Sonbahar ve kış aylarında (23 Eylül, 21 Mart) panel açısı (yer düzlemine göre) minimum 40° olmaktadır. 40° eğim için m=0,75 olur. Gebze bölgesindeki (3. bölge) zati kar yükü değerinin (P_{k0}) belirlenmesi gerekir. 3. bölge ve 200 metre rakım için zati kar

yükü (P_{k0}) 0,75 kN/m² olmaktadır [6]. P_k kar yükü değeri ise 0,56 kN/m² olur. Panel boyutlarının 0,6m x 1,2m olduğundan toplam panel alanı 8,64 m² olur. Bu durumda panel yere paralel halde iken gelecek kar yükü 4,86 kN olur.

Panel sistemine etki edecek bir diğer yük ise rüzgârdır. Rüzgâr yükü

$$w = C_p \cdot q \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. (2) denkleminde;

q = Rüzgar basıncı kN/m²

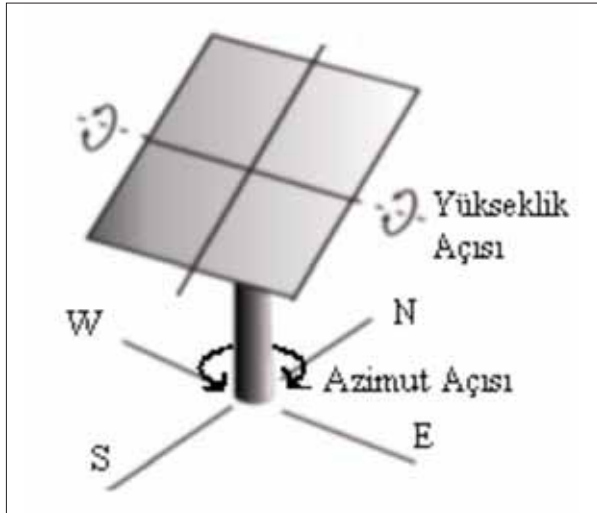
C_p = Emme katsayısı

C_p , dikkate alınan yüzey için çeşitli esiş yönüne bağlı olarak belirlenir. Rüzgâr basıncı, etki yüzeyine dik olarak etki eder.

Tablo 1 Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme

Zeminden Yükseklik m	Rüzgar Hızı v m/s	Emme q (kN/m ²)
0-8	26	0,5
9-20	36	0,8
21-100	42	1,1
>100	46	1,3

Zeminden 0-8m yükseklikte ve 28m/s (100 km/saat) rüzgâr hızı için emme değeri $q=0,5$ kN/m² olmaktadır. Kapalı olmayan yapı elemanlarında rüzgâr yönüne dikey yüzeylerde C_p katsayısı yaklaşık 1,2 olmaktadır. Bu durumdaki rüzgâr yükü $w=0,6$ kN/m² olur. Panelin yer düzlemine dik olduğu durumda sistem üzerine gelecek maksimum rüzgâr yükü 5,18 kN olmaktadır.



Şekil 5- İki eksenli güneş izleme sistemi yapısı

Toplam dikey yükü oluşturan yükler panel kütlesi 1,43 kN (156 kg), çerçeve sistemin kütlesi 1,4 kN (154 kg) ve kar yükü 4,86 kN'dur. Buradan toplam dikey yük 7,69 kN olmaktadır. Dikey gelecek bu yüklere bağlı olarak eksen hareketlerini sağlayacak rulman seçimleri yapılmıştır. Panel yükseklik açısını ayarlamak için kullanılması gereken yataklama sisteminin 7,69 kN kütleye dayanması gerek-

mektedir. Sistem tasarımında 52,7 kN dinamik yük dayanımına sahip yataklı rulmanlar kullanılmıştır.



Şekil 6- Güneş izleyen sistem (güne bakan)

Panelin dönüş hareketini vermek için lineer eyleyici kullanılmıştır. PV paneller ve çerçeve sisteminin ağırlık merkezi dönme ekseninden 70 mm uzaklıktadır. Panel ağırlıkları, çerçeve ağırlığı ve kar yükünün dönme eksenine göre oluşturacağı maksimum döndürme momenti;

olmaktadır. Kullanılacak eyleyicinin oluşturacağı momentin bu değerden büyük olması gerekmektedir. Bu nedenle 5400 N dinamik itme kuvvetine sahip eyleyici panel üzerine döndürme merkezinden 0,65 m uzağa yerleştirilmiştir. Panelin yer düzlemine dik olduğu durumda eyleyici ile panel düzlemi arasında minimum 13° açı oluşmaktadır. Bu halde iken eyleyici oluşturacağı döndürme momenti; olmaktadır. Eyleyicinin uzama hızı ise 5.2mm/sn'dir. Eyleyicinin panel üzerindeki maksimum çalışma deplasmanı 400 mm olduğundan yaklaşık 77 saniyede paneli 90° döndürmektedir. Rüzgâr yükünün panel yüzeyine eşit dağıldığı varsayılırsa eyleyici üzerine rüzgâr yükü gelmeyecektir, ancak direk üzerinde rüzgâr yükü oluşacaktır. Panel sisteminin azimut dönüşünün sağlanması için ikinci bir dönme eksenine gerekmektedir. Bu amaçla panel sisteminin taşıyıcı direklerle birleşme noktasına ikinci bir dönme eksenine yapılmıştır. Bu dönme eksenine üzerine hem radyal (rüzgâr yükü) hem de aksiyal (panel ağırlığı ve kar yükü) yükler binmektedir. Bu amaçla dönme ekseninde 117 kN dinamik yük dayanımı sağlayan konik rulmanlar kullanılmıştır. Dönme hareketini sağlamak amacıyla sonsuz vidalı redüktör ve fırçalı DC motor kullanılmıştır. Redüktör çevirme oranı 1/930, motor 1000 dev/dak ve motor gücü 150 W'dır. Redüktör mil momenti 400 Nm civarındadır, mil hızı ise 1,07 dev/dak civarında olacaktır. Panel sisteminin bir gün içerisinde sadece yarım tur döneceği düşünüldüğünde bu devir sayısı yeterli olacaktır. Sonsuz vidalı redüktör kullanılması sebebi ise panelde istenilmeyen dönüşlerin önlenmesidir (elektrik motoru çalışmadığı sürece redüktör çıkış milinden gelebilecek döndürme momentleri sonsuz vida düzeneğinden dolayı dönüş oluşturmaz). Ayrıca sistem eylemsizliğinden kaynaklanabilecek aşımarda engellenmiş olacaktır.

2.2. Sensör sistemi

İzleme sistemi için geliştirilen sensör sistemi, optik algılayıcı grubu ve elektronik donanım kısmından oluşmaktadır. Optik algılayıcı olarak LDR'ler (Light Dependent Resistor) kullanılmıştır. Sensör bağımsız bir ünite olarak çalışabilecek özellikte olup güneş konumunu ve panellerin o anki açısını ölçüm merkezi kontrol ünitesine Endüstriyel çok noktalı haberleşme protokolleriyle gönderebilmektedir. Bu sayede sensör ünitesi her izleme sistemi için ayrı ayrı kullanılabilirliği gibi birden fazla sayıda güneş ağacı için tek sensör kullanımına da imkan vermektedir.

2.3. Kontrol Sistemi Tasarımı

Geliştirilmekte olan sistemde karma kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. GPS'ten okunan konum ve saat bilgisi ile öncelikle konum bilgileri ilklendirilmekte ardından donanımda bulunan gerçek zamanlı saat periyodik olarak güncellenmektedir. Böylece yaklaşık 1µs'lık bir hassasiyette zaman bilgisi elde edilmektedir. Senkronlanan tarih ve zaman bilgisi ile tarih ve zaman tabanlı algoritma çalıştırılarak uygun azimut ve yükseklik açısı hesaplanmaktadır. Algılayıcı sistem ise bu açının $\pm 5^\circ$ etrafında aktif hale gelerek zaman ve konum tabanlı algoritmada kullanılan yaklaşık denklemlerden ve ölçme hatalarından kaynaklanan yanlısıyı minimuma indirecek şekilde panelleri konumlandırmaktadır. Kontrol sistemi ayrıca eğer bir güneş tarlası var ise diğer panellerle de haberleşerek kendini doğrulamaktadır. Kontrol sistemi anemometreden gelen verileri de değerlendirmekte böylece mekanik dayanımın üzerinde bir rüzgâr var ise; güneş izleyen sistemi panelini rüzgâr ile minimum açiya getirecek şekilde konumlandırmaktadır. Konumlandırma işlemini yaparken koruma için uç noktalara limit anahtarlar yerleştirilmiştir böylece kontrolsüz olarak bir hareket ile mekanik aksama zarar verilmesinin önüne geçilmiştir.

2.3.1. Kontrol Sistemi Donanımı ve Gerçek Zamanlı Yazılımı

Güneş izleyen sistemi kontrol donanımı isterleri, sistemden beklenen güneş izleme görevinin uzun zaman ölçeğinde hatasız yürütülmesi amacına göre aşağıdaki maddelerden oluşmaktadır:

LDR, foto diyet gibi algılayıcılardan elde edilecek analog verileri ve GPS alıcılarından elde edilen zaman bilgilerini sayısal olarak işleyebilme,

Güneş izleme sisteminde kullanılan eyleyicilerin yönlendirilmesi için gerekli kontrol işaretlerini ilgili devrelere iletebilme
Sistem verilerinin ve üretilen enerji değerlerinin ölçülüp uzaktan ilelenebilirliğinin sağlayabilme

Bu amaçlara yönelik güneş izleyen sistemi kontrol sistemi donanımı üç ana devreden oluşmaktadır:

Algılayıcılardan ve GPS alıcısından gelen bilgileri kontrol algoritmasında işleyen ve haberleşme çıkışları olan mikroişlemci tabanlı ana kontrol ve izleme devresi.

Haberleşme portları üzerinden alınan verilere göre eyleyicileri sürece mikroişlemci ve güç elektroniği özellikli sürme devresi.

Güneş izleme sisteminde bulunan algılayıcı verilerini şartlandırarak sayısal haberleşme formatında uzak birimlere ileten algılayıcı devresi.

Tasarımı yapılan ve üzerinde yazılım geliştirme çalışmaları yürütülen kontrol sistemi bir adet güneş izleyen sistem için olduğu gibi birden çok sistemden oluşan güneş tarlalarında kullanılabilir. Güneş tarlası uygulamalarında sistemin maliyetini düşürmek amacı ile elektronik devreler arası işaretlemelerin haberleşme protokolleri üzerinden yapılması uygun bulunmuştur. Bu sayede birden çok güneş izleyen sistemden oluşan güneş tarlası uygulamalarında bir ana kontrol devresi ile güneş tarlasındaki tüm sistemlere kumanda edilebilir.

3. SONUÇ

Güneş izleme sistemleri PV enerji üretimi sistemlerinde verimliliği %40'a kadar artırarak güneşten elde edilen enerjinin daha düşük maliyetli olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla bu sistemler güneş enerjisinin kullanımını daha mümkün kılan bir teknolojidir. Özellikle büyük enerji üretim santralleri düşünüldüğünde yatırımın geri ödeme süresi kısaltmakta ve yatırımcılar için güneş enerjisi daha cazip hale gelmektedir. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü bu kapsamda tasarımı tamamen kendine ait güneş izleme sistemini geliştirmektedir. "Güne Bakan" ismi verilen güneş izleme sisteminin gerek karma kontrol yapısı ile gerekse sunduğu izleme ve arayüz imkânları ile rakiplerine oranla daha verimli olması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Gay C.F., Yerkes J.W., Wilson J.H., 1982, Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy system. In: Proceedings of 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1368–71.
- [2] Deger Energie, 2009, <http://www.degerenergie.com>, (Erişim tarihi 10 Nisan 2009)
- [3] Deger Energie, 2008, DegerEnergie Tracking Systems – Visions. [CD-ROM]. (E 03.07.2008 Edition) Oberflingen - Almanya
- [4] JRC, 2009, European Commission Joint Research Centre Ispra İtalya resmi internet sayfası <http://.....>, PVGIS (Erişim tarihi 27 Mayıs 2009)
- [5] Roth P., Georgiev A., Boudinov H. 2004, Cheap two axis following device, Energy Conversion & Management, 1180 – 1192
- [6] TS 498-1997, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, TSE, 1997.

Sun Tracking Systems and Subcomponents

Taner YILDIRIM, Orhan KÜTÜK, Mehmet Ali ÇİMEN, Erkan EL-ÇİK, Sinan UNAN, Şeref Naci ENGİN, Mustafa TIRIS
TÜBİTAK Marmara Research Center, Energy Institute

Abstract

Solar tracker system is general definition of the systems that built to take advantage of the solar radiation for PV, solar thermal conversion and solar lighting applications.

The stability of the energy source is one of the common problems for the renewable energy sources. Solar trackers improve the stability of the energy production while supplying the grid regarding to fixed panel systems. Compared to a fixed mount system it increases annual production of the solar panels up to 35% for a year. In

winter solar trackers have maximum efficiency rate compared to fixed mounts that is varying according to seasons.

The solar trackers should be cost effective and robust together with increased system efficiency to become widespread commercial application. Installation of the solar trackers with high power rate PVs or thermal conversion systems is more efficient because solar tracker motors have 2% - 3% power consumption of total power production. Consequently power consumption is one of the crucial points of tracker design. In this perspective solar tracker development should be analyzed with electronical and mechanical design stages. Mechanical and electronic design stages are currently being implemented in TUBITAK MRC Energy Institute Laboratories.

In this paper performance of the solar tracker is studied and its types are compared. According to this analyzes a prototype system and possible control systems will be examined with laboratory tests. After the performance test of tracker and control systems, a commercial solar tracker system will be produced. All simulation, laboratory test results will be presented.

Keywords: Renewable energy, solar energy, PV systems, sun tracking systems

SHARING EXPERIENCES GAINED WHILE INSTALLING AND OPERATING A “HOME SOLAR HEATER”

Erol İNELMEN

Boğaziçi University

Abstract:

The author has encountered many difficulties during the implementation and operation of his “home solar heater”. By sharing his experiences, he hopes that a regulatory environment is created in order to ease the construction of similar systems in the future. Benchmarking can help prospect buyers to make smarter decisions.

Introduction

In this work we aim to share the experiences gained while installing and operating a “Home Solar Heater”. It is possible to agree with the premise that climatic conditions in our planet require drastic changes in the way we use the available resources. We claim that in the geography so favorable -like is ours to harness the energy of the sun- we need procedures for the benchmarking of the products available in the market so that users can effectively make their choice during purchase and operation phase. Using available literature and descriptions about our experiences in the installation and operation of a “Home Solar Heater” we use currently, we provide evidence on the need for benchmarking procedures.

Rather than using scientific arguments, the author of this work is trying here to plea his fellow global citizens to increase their awareness for the problems the planet is facing: on one side the pressure of the government to make economical developments possible to satisfy the needs of the growing populations and the fact that resources in the planet are getting each day more scarce. A new model of social welfare must be developed in order to cope with the changing political and cultural changes. We hope that our experiences and the knowledge accumulated till now can help in mitigating the consequences of a growth pattern –which as we used to think in the past centuries- unfortunately is not unlimited.

It is the responsibility of the city administrators to develop open communities that discuss the problems they are facing in order to gain their participation and support on the subject of energy consumption. The acquisition, erection, implementation and maintenance of clean energy systems may create unexpected conflicts –as our experience has definitely shown- among stakeholders. An adequate legal structure –supported by scientifically proven regulations- must be put in place to assure that the rights of the indi-

viduals are respected. In some cases “sharing schemes” must be developed so as that many citizens can profit from a system which benefits from the economics of scale.

Background

The author has been involved in small scale energy generation since 1963 under the supervision of the late Dean Prof. Adnan Hallet Taşpınar on the occasion of a project on vertical wind turbines (1). At that particular time nuclear power was considered the solution to all energy requirements and our project did not receive the deserved attention by the administration and academia. After completing our doctoral thesis on decision support model in 1992 (2), it was only possible the year 2002 to be engaged in the implementation of a “knowledge based tool” for the design of scale vertical wind turbines, thus completing the academic phase of our work (3).

Since the beginning of the century encouraged by the activities of the “Institute of Environmental Sciences” once launched by the late Director Prof. Kriton Curi in our university, that we were motivated to continue on searching for ways of contributing in energy saving and clean environmental issues. Using rechargeable batteries -as much as possible- at home in the consumption of energy we did our share in the movement that the government was effectively promoting. In this period we attend as many conferences – such as Turkish Association for Energy Economics launched also in our campus in 2005- and seminars as possible.

As can be understood by the developments described in the previous paragraphs the time was adequate for trying to be engaged in practical activities on energy generation and conservation. Taking the opportunity of our new house being in the last floor of the apartment in the Beşiktaş district, we ventured at the beginning of 2002 on the implementation a home solar heater. It was only after several unsuccessful contacts with local providers that the erection of a two flat panel was possible on the roof. The erection was followed by several changes due to poor design of control valves. We had to abandon the idea of automatic control and latter a heat exchanger had to be added.

During the year 2009 we witnessed the improvements in photovoltaic energy generation systems and decided to also venture in

this area. After some contacts in the market a company promised to make a small scale implementation. Our requirement was that the system should be able to monitor the operation by indicating the use of sun, battery or city energy. All these events were followed by complaints by neighbors: we had much difficulty in convincing them of the need for us in gaining experience on the possibilities of clean energy systems. The system seems at this moment to operate, but we need a setup that could evaluate the daily operations on hourly basis so that we can make a better assessment of its efficiency.

Survey

In this section we review the literature on “home solar heater” benchmarking. Design, installation and operation criteria must be made clear to the prospect purchasers if we wish to facilitate their use. Our experience with several stakeholders shows that clean energy use is not well understood. Clean energy should boost the image of the cities and be considered a “must”, not as an option. Energy Agencies should help in developing the desired awareness. We were able to observe an important threshold in the 1970’s when energy became a scarce resource and climate changes threaten our lives and the future of the planet. In the literature we have surveyed there gives important hints for the design and operation of solar heater (4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10).

Following on the earlier publications on solar heating, we found two MS thesis in the university the author is affiliated. In the first thesis we are presented with solar data in İstanbul that is followed with design considerations of solar heaters. The author uses half tubes where water is to be stored covered with insulation material. In order to evaluate the performance of the solar radiators experiments were carried under very different climatic conditions (11). In the second thesis solar assisted heat pump systems are used for space and water heating. In this thesis heat pumps are introduced to compensate for the deficiency due to the lack of continuity in solar availability. The theory behind both systems is provided followed by design considerations (12).

We continue to use the literature available on solar design, now based on material found in the digital media. Morrison provides with a summary of different solar collectors and the marketing information to back the design of systems. He introduces new methods of circulation to enhance the performance supported by simulated data (13). In a more recent paper the author recommends that the Soltherm Europe Initiative should aim to create information resources in all EU countries by creating a co-operation between sales and installation companies and information centers and information campaigns (14). There is an imperative need to continue on research so as to make solar heating more attractive.

In a more extensive work, Hendron takes the whole building energy requirements and develops schemes that will help in detecting possible saving items as reports are published periodically on the same unit (15). Using simulation methods, the author of a research paper argues that their collector incorporates a number of innova-

tive features that are designed to reduce auxiliary energy consumption rather than maximize peak efficiency (16). A hybrid model of the solar plant has been realized by Zambrano et al. The principal subsystems of the plant are modeled using energy balance equations, and the flow models are realized through identification using real data. (17). We can see from the above that new ideas continue on to flourish in academia.

Discussion

In a recent keynote speech she delivered on the occasion of the 50th anniversary of the School of Business Administration in our university, Dr. Saskia Sassen referring to her latest book (18) stressed the importance of considering the city at the center of all human activities in balance with nature. We should all very much be concerned with her ideas as we are moving in a period where even the increase of two degrees of temperature –as the global average- is being considered as devastating for the future of the planet. Each citizen in this planet should do her best in assuring that her footprint remains within an agreeable limit. This planet also belongs to those who are to come after us.

Our experience in installing and operating a “home solar heater” shows that knowledge about government regulations, design criteria, ways to get the approval from neighbors, maintenance requirements are necessary for the effective implantation and use. We cannot hide our surprise, when we learn how little about the technical requirements of a “Home Solar Heater” are known actually known by the public. We believe that “city welfare” depends on how municipality mayor, district chief, community leader and building superintendent meet the needs with the available means: adequate “buildings codes” should be provided and closely followed.

From the very first moment we started with the implementation of a “Home Solar Heater” in our own residence -in the roof over the fourth floor- problems had to be resolved due to lack of expertise. The design of the piping system had to be changed, the control valve that was intended to swap between the solar and gas heater -as required by the climatic conditions- had to be removed because it did not serve the purpose after several trials. It was found later that a heat exchanger was needed to assure the efficient operation of the system with the addition of a circulation pump. The recent addition of photovoltaic cells in the roof inspired us to use its energy to drive this last pump as suggested in a recent academic work in Ankara (19).

We continue on with our plight for improvements in the system that has been described in the previous sections. Adding a cooling system based on absorption principle –as was commonly used where electricity was not available- and adding more devices to assure that energy is preserved and more energy is generated using clean technology maybe considered for the future. The promise that we will be able to “sell” the excess energy -as is the case in many countries now- is a motivating factor to make improvements. Modularity, usability and connectivity should be considered in the design

phases: location, orientation, construction, insulation, collection, distribution and evaluation (See Figure 1.).

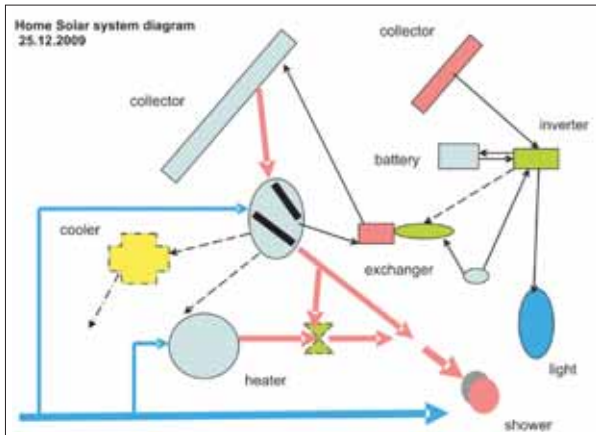


Figure 1. Solar System implemented in the author's home (drawn by author)

Conclusion

This paper is only a preliminary attempt to develop "home solar heater" benchmarking practice. The design and erection criteria as well as the costs, cost/benefit analysis should be foreseen. Maintenance specifications and insulation should be very carefully analyzed considering the undesired conditions in which solar heater systems are to operate. Even if not fully used a photovoltaic system should be installed parallel to the heater in order to measure the availability during the day and the year. It requires the participation of all parties involved: government, manufacturers, professional chambers, universities and research agencies. As you progress in the experimentation on solar energy, your eyes are more concerned with the events on the sky.

We present a proposal for a home "home solar heater" benchmarking. We believe strongly that prospective users should have a guideline in order to make rational choices: a) capacity requirement depending on use and available energy, b) security measures to be taken in the installation and c) maintenance procedures to secure a long life for the system. The potential buyer should be assured that s/he will be able to monitor on hourly and daily basis the performance of the system as well as assess the physical conditions as the equipment. It is important to remember that such systems are at the mercy of the environmental conditions and need maintenance done by skillful staff.

It is important to explain the prospect buyer of clean energy generating systems that the speed of the rate of return on investment is not as one can normally expect. We welcome the idea that buildings in the future will be required to maintain an "identity card" recording the energy needs and the performance during the year. This will help prospect buyers of buildings to know about the energy characteristics while they make a choice. In order to assure the effective implementation of such a measure tax incentives should be provided to good performers. "Pay as much as you consume"

should be the motto that municipalities should foster in all the economical activities in the future.

It is important to express the deep emotions that have surged during the quest for harnessing the power of the sun. The theoretical and practical knowledge acquired in the last half century on this subject, goes hand in hand with the ideals of the people living on both side of the Red Sea. The importance of the sun in agriculture is revealed in their spiritual beliefs that have permeated till now through the narrations of the three monotheistic religions. This awareness of the importance of the sun can help in creating a better environment for future generations. We must definitely strike a balance between our needs and our means. In the 5/2009 issue of the Deutschland Magazine on climate crisis, we see important issues that we should take into consideration.

Acknowledgement

Prof. Özer Arnas has been instrumental in keeping our motivation high in our motto: "from the flashlight to the washer use clean energy".

References

- (1) Inelmen, E. "Wind power : the utilization of wind rotors for the generation of power in underdeveloped areas" unpublished master thesis, 1965
- (2) Inelmen, E. "Integrating Model Bases with Data Bases in the Design of Decision Support Systems" unpublished doctoral thesis, 1992
- (3) Inelmen E. "Knowledge based conceptual design tool for small scale vertical wind turbines", Proceedings of ASME-ESDA2002, Istanbul, (Turkey), 8-11 July 2002
- (4) Szokolay, S.V. "Solar energy and building" London: Architectural Press ; New York : Halsted Press Division, Wiley, 1975.
- (5) Jordan, R.C. et al. "Applications of solar energy for heating and cooling of buildings" New York: ASHRAE, 1977.
- (6) Anderson, B. "Solar energy: fundamentals in building design" New York: McGraw-Hill, 1977.
- (7) Paul, J.K. "Solar heating and cooling: recent advances", Park Ridge, N.J. : Noyes Data Corp., 1977.
- (8) Watson, D. ".Designing & building a solar house: Your place in the sun" Charlotte, Vt. : Garden Way Pub., 1977.
- (9) Kreider, J.F. and Kreith.F. "Solar heating and cooling: active and passive design", Washington: Hemisphere Pub. Corp.; New York: McGraw-Hill, c1982.
- (10) Jones, R.W., McFarland, R.D. "The sunspace primer: a guide for passive solar heating", New York: Van Nostrand Reinhold, 1984.
- (11) Basan, K., "An evaluation of combined collection and storage type solar water heaters made of plastic", unpublished MS thesis, 1976.
- (12) Aşçıoğlu, İ.N., "The solar-assisted heat pump systems for space and water heating" unpublished MS thesis, 1986.
- (13) Morrison, G. L. "Developments in Solar Water Heating", Published in ASME (Singapore) Yearbook 1997
- (14) Out, P.G. and van der Leun, C.J. "The Soltherm Europe Initiative: Boosting the demand for solar water heating", paper

presented at North Sun 2001, May 7-8 2001, Leiden, The Netherlands.

- (15) Hendron, R. "National Renewable Energy Laboratory Report" USA DOE, 2007
- (16) Groenhout, N.K., Morrison, G.L. and Behnia, M., "Annual Performance Simulation and Benchmarking of an Advanced Solar Collector using TRNSYS", Proceedings of Solar 2002 - Australian and New Zealand Solar Energy Society.
- (17) Zambrano, D et al. "A solar cooling plant: a benchmark for hybrid systems control". In the Preprints of the 2nd IFAC Conf. on Analysis and Design of Hybrid Systems (Alghero, Italy), 7-9 June 2006.
- (18) Sassen, S. Cities in a world economy (Thousand Oaks, Calif. : Pine Forge Press, 2006) updated 3rd ed., original 1994; Series: Sociology for a new century, ISBN 1-4129-3680-2.
- (19) Doğan, H. Ceylan, İ, Aktaş, M. "Güneş Enerjili Yeni bir Sıcak Su Hazırlama Sistem ve Performance Deneyleri", 7. Ulusal Temiz Enerji Günleri, 2008, ed. (Z. Şen A.D. Şahin), 405-414.

CONCENTRATING SOLAR POWER (CSP)

Dr. Frederick H. Morse

Senior Advisor, Abengoa Solar and
Chairman, CSP Division
US Solar Energy Industries Association

Abstract

Concentrating Solar Power (CSP) is emerging as a major renewable energy resource in Spain and the United States and of growing interest in many other countries, including Turkey. This presentation will provide an overview of the important aspects of CSP. The solar resource will be addressed, leading to how the prime solar radiation areas for CSP plants can be identified. Then the family of CSP technologies will be presented and their key operational characteristics highlighted, including thermal energy storage and cooling options. An overview of current CSP projects around the world will be presented along with some specifics of several selected projects plus an overview of the CSP industry. The factors that influence the cost of electricity generated from CSP plants will be summarized. The presentation will close with a forecast and outlook for CSP.

OPTICAL CONSTANTS OF TITANIUM OXIDE THIN FILMS DERIVED FROM SOL-GEL PROCESS

Savaş SÖNMEZOĞLU

Gaziosmanpaşa University
Department of Physics

Güven ÇANKAYA

Gaziosmanpaşa University
Department of Physics

Necmi SERİN

Department of Physics Engineering

Tülay SERİN

Department of Physics Engineering

Abstract

The sol-gel technique was used to prepare TiO_2 thin film onto glass substrate of 5 and 10 layer coatings at 400°C annealing temperature. Transmittance measurements in the wavelength range (300-1500 nm) were used to determine the optical constants of TiO_2 thin film, and the effects of different layer on optical constants were investigated. The analysis of the optical absorption data indicates that the optical band gap, E_g , was direct transitions and the obtained film was transparent in the UV- visible region.

Keywords: Titanium oxide, optical constant, solar cell and sol-gel process.

1. Introduction

Titanium dioxide (TiO_2) thin film is now investigated for their potential applications in photovoltaic, electro-optical, micromechanical and sensor devices. TiO_2 thin film for dye-sensitized and ETA (extremely thin absorber) solar cells have been under intense study for many years. The evaluation of optical constants of thin films is a considerable importance for these solar cells, due to key parameters for device design.

A number of methods have been employed to prepare TiO_2 thin films; including e-beam evaporation [1], sputtering [2], chemical vapor deposition [3], and sol-gel process [4]. The sol-gel process is one of the most appropriate technologies to prepare thin oxide coating. The interest in the use of sol-gel method is due to several advantages: good homogeneity, ease of composition control, low processing temperature, large area coatings, low equipment cost and good optical properties. In general, the preparation conditions of TiO_2 thin films in sol-gel process can strongly affect physical properties of the film [5]. Therefore, it is necessary to study systematically the optical properties of sol-gel TiO_2 thin film as a function of the preparation conditions.

In the present study, the sol-gel dip coating technique was performed to prepare TiO_2 thin films on glass substrate to investigate the optical band gap.

2. Experimental

In order to prepare a TiO_2 solution, first, 2.4 ml titanium tetraisopropoxide $[(\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4, \text{Merck})]$ was added in 25 ml ethanol $[\text{C}_2\text{H}_6\text{O}, \text{Merck}]$ and the solution was kept in a magnetic mixture for 1 h. Then, 5 ml glacial acetic acid $[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2, \text{Merck}]$ and 25ml ethanol were added in the solution, and after each additive component was added, it was mixed in the magnetic mixture for 1 h. As the final step, 1.5 ml triethylamine $[(\text{S}_2\text{H}_5)_3\text{N}, \text{Merck}]$ was added in the solution, and the final solution was subjected to the magnetic mixture for 1 h. The dipping process was performed using a homemade motorized unit and each sample was dipped into the solution five and ten times at 400°C annealing temperatures on glass substrate. The optical characterization is investigated for at different coatings using Shimadzu 3600 UV-VIS-NIR Spectroscopy at 400°C annealing temperatures.

3. Results And Discussion

Fig. 1 shows the UV-VIS spectra TiO_2 thin films for different layer coatings at 400°C annealing temperature in wavelength range 300–1500nm. The transmission of the thin films of titanium oxide increases with the increase in the number of coatings. This can be linked with the formation stage of anatase and with the decrease in the grain size [6].

The optical band gap of the film was calculated by the following relation [7]:

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^r \quad (1)$$

where A is an energy-independent constant between 10^7 and 10^8 m^{-1} , E_g is the optical band gap and r is a constant, which determines type of optical transition, $r = 1/2, 2, 3/2$ or 3 for allowed direct, allowed indirect, forbidden direct and forbidden indirect electronic transitions, respectively [7]. The $(\alpha h\nu)^{1/r}$ vs. $h\nu$ curves were plotted for different r values and the best fit was obtained for $r = 1/2$. The film at various annealing temperatures shows a direct allowed transition. The optical band gap was determined by extrapolating the

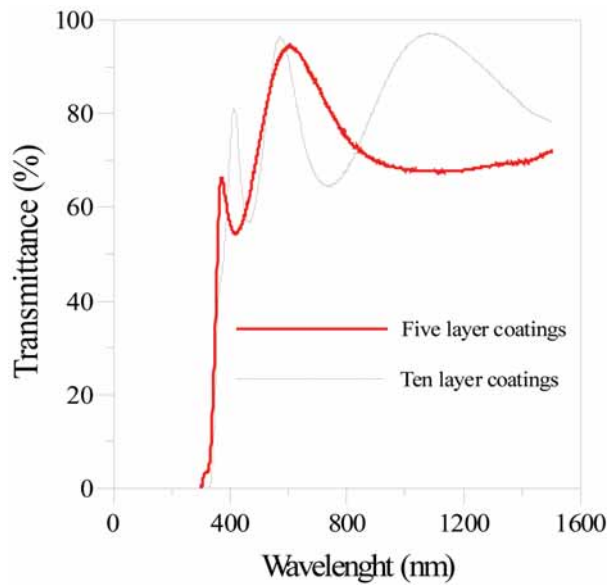


Fig. 1. UV-VIS spectra of the TiO₂ thin film, for various layers at 400 °C annealing temperatures.

linear portion of the plots to $(\alpha h\nu)^2 = 0$. The optical band gaps of the thin film were found to be 3.45 and 3.34 eV at five and ten layers in the 400°C, respectively. The thicknesses of TiO₂ film were also determined from transmittance measurements in Fig.1 and found to be 94 and 127 nm, respectively. The optical band gap decreases with the increasing layer coatings. The decrease in the optical band gap is attributed to the defects during formation of the films. Thus, unsaturated bonds can be produced as a result of an insufficient number of atoms [8]. These bonds are responsible for the formation of some defects in the films and these defects produce localized states in the films. The film increases the width of localized states in the optical band gap, consequently the optical absorption edge decreases with reverse effect.

4. Conclusion

The effect of film thickness on optical properties of TiO₂ thin films was investigated. It was found that there are significant variations in the optical band edge due to the thickness of thin films. It was seen that the optical band gaps of the films are inversely changed by width of band tail.

Acknowledgements

This work was partially supported by the Scientific Research Commission of Gaziosmanpaşa University (Project No: 2009/29).

References

- [1] Wang Y.L., Zhang K.Y., Surf. Coat. Technol. "Study of the growth morphology of TiO₂ thin films by AFM and TEM" 140 (2001) 55-160.
- [2] Takeda S., Suzuki S., Odaka H., Hosono H., "Photocatalytic TiO₂ thin film deposited onto glass by DC magnetron sputtering" Thin Solid Films 392 (2001) 338-244.
- [3] Ha H.Y., Nam S. W., Lim T. H., Oh I. H., Hong S. A., "Properties of the TiO₂ membranes prepared by CVD of titanium tetraisop-

ropoxide" J. Membr. Sci. 111 (1996) 81-92.

- [4] Hu L., Yoko T. Kozuka H., Sakka S., "Effects of solvent on properties of sol-gel-derived TiO₂ coating films" Thin Solid Films 219 (1992) 18-23.
- [5] Brinker C.J., Scherer G.W., Sol-Gel Science, Academic Press, San Diego, 1990.
- [6] Oh, S.H. Kim, D.J. Hahn, S.H. Kim, E.J. "Comparison of optical and photocatalytic properties of TiO₂ thin films prepared by electron-beam evaporation and sol-gel dip-coating" Mater. Lett. 57 (2003) 4151-4155.
- [7] Mott, N.F. Davis, E.A. Electronic Process in Non-Crystalline Materials, Clarendon Press, Oxford, 1979.
- [8] Ovshinsky, S. R. Adler, D. "Progress in the science and application of amorphous materials" Journal of Non-crystalline Solids, 90 (1987) 229-241.

İÇERİSİNDE FAZ DEĞİŞTİREN MADDE BULUNAN GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE ISIL PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Yasin VAROL

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi

Hakan F. ÖZTOP

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,

Ahmet KOCA

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,

Memet ŞEKERCİ

Fırat Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Zuhal ERGİN

Fırat Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Mert GÜRTÜRK

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin en büyük dezavantajı sürekli bir enerji kaynağı olmamasıdır. Bu dezavantajı yok etmek için kullanılan yöntemlerden birisi de ısı depolama kapasiteleri büyük olan maddelerle güneşin bol olduğu zamanlarda ısı enerjisini depolamak ve daha sonra kullanmaktır. Bu çalışmada, ticari olarak kullanılan düzlemsel kolektörlü bir güneş enerjisi su ısıtma sisteminin sadece depo kısmı değiştirilmek suretiyle eklenebilecek yeni tip bir FDM'li depo tasarlanarak sistem performansı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla depo içerisinde ısı depolama kapasitesi ve erime sıcaklığı ihtiyacı maksimum oranda karşılayacak 2 farklı saf FDM'nin karışımı (hibrid FDM) konulmuştur. Güneşin az olduğu sonbahar ve kış aylarında deneyler yapılarak standart su ısıtmalı güneş enerjisi sistemiyle karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: FDM, gizli ısı depolama, düzlemsel güneş kolektörü

Abstrac

1. Giriş

Çalışmanın ana amacı, Faz Değiştiren Madde (FDM) olarak kullanılan organik ve inorganik maddelerin iki veya daha fazlasının karışımı sonucunda termofiziksel özellikleri, ısı depolama kapasiteleri ve erime sıcaklığı daha iyi olan yeni bir FDM elde edilmesi ve bunun ticari veya evsel Boylerli güneş enerji sistemlerinin sadece depo ünitesi değiştirilmek suretiyle uygulanmasıdır. Böylece, halihazırda kullanılan güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği artırılarak, güneş enerjisinden kış aylarında ve geceleri de maksimum fayda sağlamak amaçlanmaktadır. Bu amaçla Boylerli güneş enerjisi sistemlerinin mevcut depolarında; içerisi FDM dolu kanatçıklı cep yerleştirilerek ısı transferinin iyileştirilmesi yapılacaktır. Pasif ısı transferi iyileştirme tekniklerinin güneş enerjisi sistemlerinin depo

ünitelerine uygulanması ile ilgili birkaç teorik çalışmaya rastlansa da içerisi FDM ile dolu kanatçıklı depolara literatürde rastlanmamıştır.

Isı enerji depolamada, üzerinde çalışılan en önemli konulardan birisi de güneş enerjisinin depo edilmesidir. Amaç, güneş enerjisinin bol olduğu zamanlarda enerjiyi tutmak, yani bir yerde saklamak ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanmaktır. Bu konuda birçok araştırmalar yapılmış ve halen hızlı bir şekilde bu araştırmalar devam etmektedir. Kullanışlı bir güneş enerjisinden yararlanma sistemi yapmanın en önemli koşulu, iyi bir enerji depolamasının yapılmasıyla mümkün olur. Aslında her güneş enerjisi sistemi bir miktar ısı enerjisini depolar. Fakat depolanan bu ısı yalnızca kısa bir süre için geçerlidir.

Isı depolama duyulur ve gizli ısı olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Gizli ısı ile depolama maddenin faz değiştirmesi esnasında oluşur. Gizli ısı depolamasında, daha çok katı-sıvı faz değişiminden yararlanılır. Güneş enerjisiyle her maddeye katı-sıvı faz değişiminde enerji depolanmaz. Güneş enerjisiyle enerji depolayabilmek için kullanılacak maddelerin düşük sıcaklıkta faz değiştirme özelliklerine sahip olmaları ve yüksek ısı depolama kapasiteli olması istenir. Herhangi bir maddenin faz değişimi esnasındaki gizli ısısından faydalanarak güneş enerjisinin depolanmasında kullanılan bu malzemelere literatürde Faz Değiştiren Madde (FDM) adı verilmektedir. FDM'ler ile ilgili literatür çalışmaları aşağıda verildiği gibi üç ana grupta incelenebilir.

1.2 Uygun FDM'nin Tespitini İçeren Çalışmalar

Uygun FDM'nin seçimi bu tür araştırmalarda hayati önem taşımaktadır. Farid ve Husian [1] gizli ısı depolama sistemleriyle ilgili olarak yapılan ilk çalışmalarda FDM olarak bal mumu ve parafinler kullanılmıştır. Ryu ve diğ. [2] Varol ve Koca [3] daha sonra özel-

likle tuz hidratlar ile ilgili birçok uygulamalar yapılmıştır. Farid ve Khalaf [4] iki farklı tuz hidrat farklı kaplara konularak bu kapların etrafından ısı transferi akışkanı geçirilmek suretiyle, ısı transferinde iyileşmenin sağlandığı çalışmalara da rastlanmaktadır. Sari ve Kaygusuz [5], Rozana ve diğ. [6] son yıllarda yağ asitlerinin performansları FDM olarak iyi sonuç vermiştir. Keleş ve diğ. [7], El-Bassuoni ve diğ. [8], Sari [9], Kakuichi ve diğ. [10] saf olarak kullanılan organik veya inorganik FDM'lerin birçoğunun depolama kapasiteleri düşük veya erime sıcaklıkları depolamaya uygun olmadığından birden fazla maddenin karışımından oluşan yeni FDM'lerin kullanıldığı çalışmalar günümüzde oldukça popülerdir. Bu çalışmalarda erime sıcaklığı ve depolama kapasiteleri daha iyi olan yeni FDM'ler elde edilemeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda iki veya üç farklı kimyasal maddenin farklı oranlardaki karışımları denenerek daha uygun yeni bir FDM elde edilmiştir. Ancak FDM olarak kullanılan çok sayıda maddelerin karışımlarının detaylı sonuçları incelenmemiştir. Bu yönüyle önerilen çalışma literatürdeki bu boşluğu dolduracaktır.

1.3 FDM'nin Sisteme Yerleştirilmesi İle İlgili Araştırmalar

FDM'nin konumu araştırmalarda genellikle kolektör ve depo kısımlarında yoğunlaşmıştır. Rabin ve diğ. [11] bu alandaki ilk çalışmalarda FDM güneş kolektörünün hemen altına konularak ısıtma ve depolama aynı ünite yapılmıştır. Cabeza ve diğ. [12] sonraki çalışmalarda FDM'nin sıcak su deposu ile yerleştirilmesinin daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Hasan [13] depo ünitesinde FDM'lerin kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, silindirik deponun dikey yerleştirilmesinin FDM'nin performansını daha iyi etkilediği görülmüştür. Hawlader ve diğ. [14], Özönur ve diğ. [15] bir diğer çalışma konusu da mikro kapsül yöntemiyle yoğunlaştırılmış FDM'lerin yüksek basınçla özel kaplara konularak kullanılmasıdır. Velraj ve diğ. [16], Altuntop ve diğ. [17] bu yöntemin ısı depolama yönünden avantajları olmasına rağmen, ileri teknoloji ile birlikte maliyetinin yüksek olması nedeniyle ticari olarak kullanımı sınırlıdır. Depo içerisinde ısı transferini iyileştirmek için aktif veya pasif yöntemlerin denemesi ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Koca [18] FDM'li düzlemsel güneş kolektörleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, güneş kolektörünün alt tarafına yerleştirilen depo içerisine FDM yerleştirilmiş ve Ekim ayı içerisinde 3 farklı günde sonuçlar alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, FDM'nin özellikle güneşin olmadığı zamanlarda yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Koca ve diğ. [19] ayrıca, mevcut sistemin termodinamiğin I. ve II. kanunlarına göre analizleri yapılarak, enerji ve ekserji verimleri proje önericileri tarafından gerçekleştirilmiştir.

1.4 FDM'nin Uygulama Alanlarına Yönelik Çalışmalar

FDM'ler ısınin depolanma amacı güdülen alanlarda özellikle devamsızlığı nedeniyle güneş enerjisi sistemlerinde kullanılmaktadır. Nallusamy ve diğ. [20], Emaes ve diğ. [21], Saman ve diğ. [22] FDM'lerin özellikle güneş enerjisinden sıcak su elde etmek amacıyla, güneş kolektörleriyle kullanımı oldukça yaygındır. Zalba ve diğ. [23], Öztürk [24], Enibe [25], Sharma [26] bunun dışında seralarda, güneş enerjili pişiricilerde, güneş enerjili havalı kolektörlerde, yapıların soğutulmasında ve yapıların güneş enerjisiyle ısıtılması gibi çeşitli sistemlerde FDM'ler kullanılmaktadır.

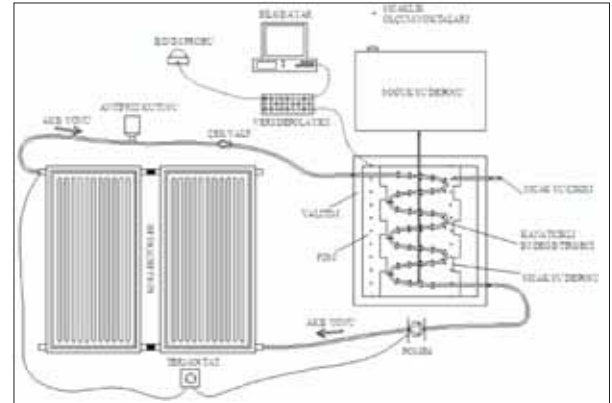
1.5 Güneş Enerjisi Sisteminin Depo Ünitesindeki Isı Transferi İyileştirmeye Yönelik Çalışmalar

Güneş enerjisinin depolanması amacı ile sıradan yöntemler terk edilerek ısınin olabildiğince su ve FDM'ye aktarılması için çeşitli yöntemler denenmiştir. Altuntop ve diğ. [27], Altuntop ve diğ. [28] bu konuda literatürde bulunabilen çalışmalar tamamen teorik çalışmalara sınırlı olup, boylerli tip olmayan konvansiyonel güneş enerjisi sistemlerinde, cidara farklı geometriler yerleştirmek suretiyle sayısal çözümler yapılmıştır. Bu çalışmalarda, depoda faz değiştiren madde kullanılmamış ve depo içerisinde yüksek hızda karma taşınım (mixed ya da combined) analizi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen sistemin mevcut literatüre göre en büyük yeniliği ve avantajı içerisi FDM dolu kanatçıklar yerleştirilerek FDM-akışkan temas yüzeyini artırmaktır.

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, hazırlanan deney seti Şekil 1. 2 ve 3'de görülmektedir. Deney seti bakır selektif yüzeyli iki adet kolektör, sıcak ve soğuk su depoları, ısınım probu ve dataloggerdan oluşmaktadır. Düşey depo ceppli ve kanatçıklı olup, cep Faz Değiştiren Madde ile (50 kg) doludur

Faz değiştiren madde olarak Aluminium Ammonium Sulfate + di-Sodium hydrogen phosphate dodecahydrate maddeleri seçilmiştir. Hibrit FDM'nin karıştırılması %40 (di-Sodium hydrogen



Şekil 1. Deney setinin görünümü



Şekil 2. Deney setinin yandan görünüşü

phosphate dodecahydrate) ve %60 (Aluminium Ammonium Sulfate dodecahydrate) oranlarda 10 gr hassasiyetli tartı ile özel karıştırıcıda 25 dk boyunca karıştırılmıştır. Karışım esnasında FDM nin nem kapmaması için özel önlemler alınmış ve istenildiği gibi homojen bir karışım elde edilmiştir. Karışım sonrasında elde edilen yeni FDM'nin termofiziksel özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. FDM'li deponun FDM için ayrılmış bölümün girişleri küçük olduğundan ve dolum esnasında bu alanda hava ve boşlukların oluşmasının istenilmediğinden FDM sıcak su banyosunda, özel kaplarında (hava ve su geçirmeyen) bekletilerek sıvı faza geçmesi sağlanarak depodaki yerlerine huni yardımı ile istenilen şekilde doldurulmuştur. FDM'lerin ısı kapasiteleri DSC cihazında tespit edilmiştir. Deney Elazığ şartlarında 38o açı ile Kasım ayında yapılmıştır. Deneyler FDM'li ve FDM'siz olarak iki farklı şekilde yapılmıştır. Günümüzde artık güneş enerji sistemlerinin vazgeçilmez olacak olan boylerli sistem sayesinde fark sıcaklık (depo ile kollektör arasındaki sıcaklık farkı) istenilen düzeyde ayarlanılarak kış aylarında sistemin kullanılabilişi daha da artırılmıştır. Deneyde pompa depo ile kollektör arasındaki sıcaklık farkı olarak kollektör sıcaklığı depodaki su sıcaklığından yüksek olduğu süreç çalışmaktadır. Pompanın bu çalışma aralığında güneşin olduğu gün boyunca devam etmekte ve sonrasında güneş ışınımının olmadığı zamanda veya depo sıcaklığının kollektör sıcaklığından fazla olduğu zamanlarda sistem pompayı devre dışı bırakmıştır.

Tablo 1. Yeni FDM'nin termofiziksel özellikleri

Kimyasal Formülü	%60 Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O %40 Al(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ · 12H ₂ O
Erime noktası	41.98-60.42 °C
Yoğunluk (Katı Fazda)	1,46 g/mL
Yoğunluk (Sıvı Fazda)	1,38 g/mL
Özgül ısı kapasitesi (Katı fazda)	334.13 J/molK
Özgül ısı kapasitesi (Katı fazda)	590.79 J/molK
Erime Isısı	288.13 kJ/kg
Maliyeti	50 \$/kg

3. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, depo kısmı haricinde ticari olarak kullanılan standart güneş enerjili su ısıtma sisteminin depo kısmına yapılan ilavelerle kışında güneş enerjisinden maksimum oranda faydalanılmaya çalışılmıştır. Deneyler aynı ölçülerdeki standart kollektörle FDM'li kolektör için yapılarak karşılaştırmaları yapılmıştır. FDM'li kollektörün veriminin özellikle öğleden sonra daha fazla çıktığı görülmüştür.

3.1 Sonuçların Değerlendirilmesi

Deneyel çalışma sonucunda yapılan ölçümlerden FDM'ye depolanan duyulur ve gizli ısı ile net enerji verimi sırasıyla aşağıdaki formüllerden hesaplanmıştır:

$$Q_s = M \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

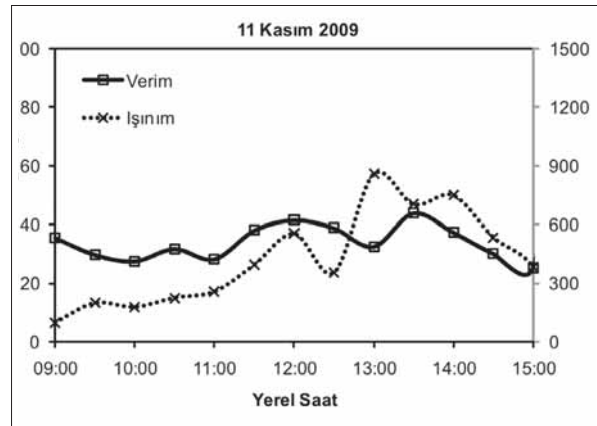
$$Q_1 = \frac{\Delta V_s \rho_s \cdot h}{\Delta t} \quad (2)$$

$$Q_1 = Q_s + Q_1 \quad (3)$$

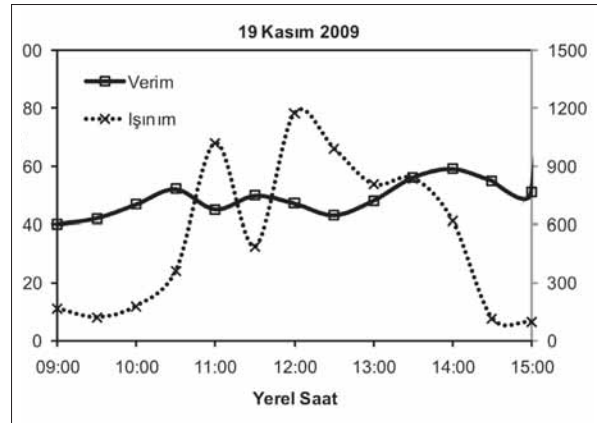
$$\eta_{\text{enerji.net}} = \frac{Q_s - Q_1}{Q_1} \quad (4)$$



Şekil 3. Deney setinin önden görünüşü



Şekil 4. FDM'siz deponun 11 Kasım 2009 tarihinde verim-güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 5. FDM'li deponun 19 Kasım 2009 tarihinde verim-güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi

Yukarıdaki denklemlerde, M, FDM'nin toplam kütlesi, Cp, FDM'nin katı fazdaki özgül ısı, ΔVs katı FDM'nin hacimsel değişimi, s, katı FDM'nin yoğunluğu ve h ise FDM'nin erime gizli ısı kapasitesidir.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere, piranometre ile güneş ışınımı ölçülmüştür. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar verim-

ışınım grafikleri ile **Şekil 4 ve 5** 'de verilmiştir. Deneyler, hava sıcaklığının düşük olduğu Kasım ayında havanın açık olduğu günlerde yapılmıştır. **Şekil 4** 'de 11 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edilen verim-ışınım grafiğinin yerel zamana göre değişimi görülmektedir. **Şekil 6**'de ise 19 Kasım 2009 tarihinde, FDM'li depo için elde edilen verim-ışınım grafiği gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi FDM'li deponun verim değerleri her zaman diliminde FDM'siz depodan daha yüksek çıkmıştır. Özellikle güneş ışınlarının en yoğun olduğu yerel saatte 12'den sonra FDM'siz deponun verimi zamanla düşmesine rağmen FDM'li deponun veriminin düşmesi daha yavaş olmaktadır. Saat 15:00 sıralarında, FDM'li depoda, deneyler, güneş ışıınının daha düşük olduğu günlere rastlamasına rağmen, verim %100 daha yüksek çıkmaktadır. Bu da özellikle havanın soğuk olduğu günlerde, FDM'li deponun kullanılabilirliğini göstermektedir. Yine aynı grafikler, özellikle sabah çok erken saatlerde, gece suyun kullanılmadığı durumlarda, FDM'siz depoya göre daha yüksek verimle ısıtmaya başladığını göstermektedir. Bu da depolanan ısının verimli bir şekilde soğuk suya aktarıldığını göstermektedir. Hem yapılan depo tasarımı hem de seçilen FDM karışımı bu tür sıcak su sistemleri için uygun olduğu bu sonuçlardan görülmektedir. FDM kullanımının bir başka avantajı olarak da malzemede ani sıcaklık değişimlerinin önlenerek, malzemede ısıl gerilmelerin indirgenmesi ve böylece özellikle bağlantı kısımlarında ileride meydana gelecek sızdırmazlık vb. tesisat arızalarının indirgenmesini de sağlamaktadır. Çalışma farklı türde (yağ asiti gibi) FDM'lerin karışımı için tekrarlanabilir. Elde edilen FDM'nin maksimum çevrim sayısı bir başka çalışmanın konusu olabilir.

Teşekkür

Bu çalışmaya 108M420 no.lu proje kapsamında katkı sağlayan TÜBİTAK' a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Farid, M.M. ve Husian, R.M., An electrical storage heater using the phase-change method of heat storage, *Energy Conversion and Management*, 30(3); 219-230, 1990
- [2] Ryu, H.W., Woo, S.W., Shin, B.C., Kim, S.D., Prevention of supercooling and stabilization of inorganic salt hydrates as latent heat storage materials, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 27(2); 161-72, 1992.
- [3] Varol, Y., Koca, A., Isı Depolamada Glauber Tuzunun Etkinliğinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 275-281, 2002.
- [4] Farid, M., Khalaf, A.N., Performance of direct contact latent heat storage units with two hydrated salts, *Solar Energy*, 36; 179-189, 1994.
- [5] Sari, A., Kaygusuz, K., Thermal Energy Storage System Using Some Fatty Acids as Latent Heat Energy Storage Materials, *Energy Sources*, 23; 275-285, 2001.
- [6] Rozanna, D., Chuah, T.G., Salmiah, A., Thomas, S.Y.C., Saari, M., Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A review, *Int. Journal of Green Energy*, 1(4); 495-513, 2004.
- [7] Keles, S., Kaygusuz, K., Sari, A., Lauric and myristic acids eutectics mixture as phase change material for low-temperature

- heating applications, *Int. J. Energy Reserach*, 29; 857-870, 2005.
- [8] El-Bassuoni, A-M.A., Tayep, A.M., Helwa, N.H., Fatyh, A.M., Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage, *Renewable Energy*, 28; 1629-1643, 2003.
 - [9] Sari, A., Eutectic mixtures of some fatty acids for latent heat storage: Thermal properties and thermal reliability with respect to thermal cycling, *Energy Conversion and Management*, 47; 1207-1221, 2006.
 - [10] Kakiuchi, H., Yamazaki, M., Yabe, M., Chihara, S., A study of new phase change material; Trimethylolethane Hydrate and its mixtures having phase change temperature between 13°C and 30 °C, IEA Annex-10 PCMs and Chemical Reactions for Thermal Ebergy Storage, 4th Workshop, Benediktbeuern, Germany October 28-29, 1999.
 - [11] Rabin, Y., Bar-niv, I., Korin, E., Mikic, B., Integrated solar collector storage system based on a salt-hydrate phase-change material, *Solar Energy*, 55(6); 435-444, 1995.
 - [12] Cabeza, L.F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J., Nogues, M., Experimentation with a water tank including a PCM module, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90; 1273-1282, 2006.
 - [13] Hasan, A., Phase change material energy storage system employing palmitic acid, *Solar Energy*, 52; 143-154, 1994.
 - [14] Hawlader, M.N.A., Udin, M.S., Khin, M.M., Microencapsulated PCM thermal-energy storage system, *Applied Energy*, 74; 195-202, 2003.
 - [15] Özönur, Y., Mazman, M., Paksoy, H.Ö., Evliya, H., Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change material, *Int. Journal of Energy Reserach*, 30(10); 741-749, 2005.
 - [16] Velraj, R., Seeniraj, R.V., Hafner, B., Faber, C., Schwarzer, K., Heat Transfer Enhancement in a Latent Heat Storage System, *SolarEnergy*, 65(3); 171-180, 1999.
 - [17] Altıntop, N., Arslan, M., Özceylan, V., Kanoglu, M., Effect of obstacle on thermal stratification in hot water storage tanks, *Applied Thermal Engineering*, 25; 2285-2298, 2005.
 - [18] Koca, A., Gizli ısı enerji depolu düzlemsel bir güneş kolektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması, Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., 2001.
 - [19] Koca, A., Öztö, H.F., Koyun, T., Varol, Y., Energy and exergy analysis of a latent heat storage system with phase change material for a solar collector, *Renewable Energy*, basımda, 2007.
 - [20] Nallusamy, N., Sampath, S., Velraj, R., Experimental investigation on a combined sensible and latent heta storage system integrated with constant/varying (solar) heat sources, *Renewable Energy*, 32(7); 1206-1227, 2007.
 - [21] Emaes, P.C. ve Griffiths, P.W., Thermal behaviour of integrated solar collector/storage unit with 65° phase change material, *Energy Conversion and Management*, 47; 3611-3618, 2006.
 - [22] Saman, W., Bruno, F., Halawa, E., Thermal performance of PCM thermal storage unit for a roof integrated solar heating system, *Solar Energy*, 78; 341-349, 2005.
 - [23] Zalba, B., Marin, J.M., Cabeza, F.L., Mehling, H., Free-cooling of buildings with phase change materials, *Int. Journal of Refri-*

- geration, 27; 839-849, 2004.
- [24] Öztürk, H.H., Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of a seasonal latent heat storage system for greenhouse heating, Energy Conversion and Management, 46; 1523-1542, 2005.
- [25] Enibe, S.O., Thermal analysis of a natural circulation solar air heater with phase change material energy storage, Renewable Energy, 28; 2269-2299, 2003.
- [26] Sharma, S.D., Iwata, T., Kitano, H., Sagara, K., Thermal performance of a solar cooker based on an evacuated tube solar collector with a PCM storage unit, Solar Energy, 78; 416-426, 2005.
- [27] Altıntop, N., Arslan, M., Özceylan, V., Kanoglu, M., Effect of obstacle on thermal stratification in hot water storage tanks, Applied Thermal Engineering, 25; 2285-2298, 2005.
- [28] Altıntop, N., Kilik, Z., Özceylan, V., Kincay, O., Effect of water inlet velocity on thermal stratification in a mantled hot water storage tank, Int. J. Energy Reserach, 30; 163-176, 2006.

PV DESTEKLİ HİBRİD BİR GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN ISIL PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Hakan F. ÖZTOP

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Ahmet KOCA

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Yasin VAROL

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Mert GÜRTÜRK

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,
Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Özet

Sıcak su üretimi, sıcak hava üretimi ve elektrik üretimi için kolektör bu amaçlara uygun olarak tasarlanır. Kırsal alanlarda sıcak su üretiminin yanı sıra sıcak hava üretimi ile tarımsal ürünlerin sağlıklı ortamlarda kurutulmasını sağlayacak sistemlerinde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada hem sıcak su hem de sıcak hava üretiminin şebeke elektriğinden bağımsız olarak üretimi hedeflenmiştir. Sistem, amaca uygun olarak sadece su ısıtmak amaçlı ya da sadece hava ısıtma ya da hem hava hem su birlikte ayrı ısıtma yapacak şekilde tasarlanmıştır. Hava ısıtmada kullanılan fan gücü ise fotovoltaik panel yardımıyla gerekli elektrik üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PV, hibrid kolektör, güneş enerjisi

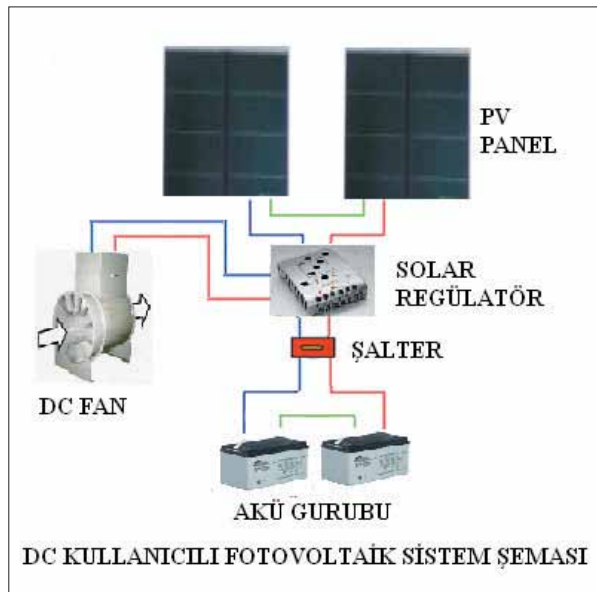
1. Giriş

Günümüzde dünyanın bu günlerde küresel ısınmaya karşı verdiği savaşta en önemli silahlarından biri de güneş enerjisidir. Yatırımcılar, araştırmacılar bu silahı geliştirmek amacı ile büyük çabalar harcamaya başlamıştır. Güneş enerji sistemleri farklı amaçlara hizmet etmesi için kullanıcıya farklı seçenekler sunmaktadır. Bunlar sıcak su, sıcak hava, elektrik, soğutma, vs. gibi birçok ihtiyacı karşılayabilecek sistemlerdir. Fakat güneşin süresizliği bu üretimi kısıtlamaktadır ve güneşin olduğu zamanlarda güneş enerjisi sistemlerinden maksimum düzeyde yararlanmasını sağlayacak ve depolaması yapabilecek sistemler geliştirilmektedir. Sıvı ısıtmalı kolektörler endüstriyel alanlarda evsel kullanımlarda en yaygın olarak kullanılan kolektör tipleridir. Güneş enerjisi Türkiye genelinde evsel olarak sıcak su temininde dünyada ilk 5'te olan nadir ülkelerdendir. Evsel sıcak su teminini sağlamak için ülkemizde vakumlu tüp ve standart düz kolektör tipleri kullanılmaktadır.

Hava ısıtmalı kolektörler bir hacmin ısıtılmasında, kurutma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Araştırmacıların daha çok üzerinde durduğu bu konu üzerinde çeşitli verim artırıcı yöntemler denenmiştir. Hava ısıtmalı kolektörler içerisindeki akışın emici yüzeyin altından, üstünden ya da hem altından hem üstünden olmak üzere birçok akış yönü tayin etmişlerdir. Hava ısıtmalı kolektörlerin içerisine yerleştirilen kanatçıklar, türbülansı geliştirmeye yönelik engeller, emici yüzeyinin kolektör içerisindeki açısının değiştirilmesi ve emici yüzeye bağlanmış bir hacimden akışın geçirilmek suretiyle ısı transferini geliştirmeye yönelik

çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda yapılan çalışmalar genellikle üretilen bir kolektörün ısı verim değerleri başta olmak üzere, diğer parametrelerini incelemektedir. Bu kapsamda, Koyuncu [1], ürün kurutma uygulamaları için güneş enerjili hava ısıtıcıları da farklı tasarımların performansı üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, altı farklı model tasarlanmış güneş enerjisinin kurutma sistemleri için havalı düz yüzeyli güneş kolektörlerine dayandığını belirtilmiştir. Uçar ve İnallı [2], pasif arttırma teknikleri ile havalı güneş kolektörlerinin termal ve ekserji analizleri üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Doğan [3], dört ayrı tip hava ısıtmalı güneş kolektörüyle deneysel çalışma yaparak, kolektör verimleri ve kurutmaya olan etkilerini karşılaştırmıştır. Kırbas [4], tarafından yapılan çalışmada labirentli tip hava ısıtmalı güneş kolektörünün verimi deneysel olarak tespit edilmiştir. Kolektör üç değişik hava debisinde farklı gün ve sıcaklık koşullarında denenmiştir. Deney sonuçlarına göre yüksek hava hızlarında kolektör veriminin arttığı gözlenmiştir. Yeh ve Chou [5], hava ısıtmalı güneş kolektörlerine kanatlar ilave ederek kolektör verimini arttırmayı hedeflemişlerdir. Kanat sayısının artışıyla kolektör veriminin %12 oranında arttığı sonucuna varılmıştır. Yeh ve Thing [6] çalışmalarında yutucu plaka ile cam kapak arasını demir talaşıyla doldurmuş ve deneyler sonucunda demir talaşı doldurulmuş kolektör için verimin, siyah yüzeyin kolektörün ortasında olduğu kolektör verimine göre %38 oranında daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Yeh ve Lin [7] düz plakalı hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin kolektör verimleri üzerinde birbirine paralel olan engellerin etkisini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Yeh ve Lin [8] hava akışının siyah yüzeyin üst kısmında olduğu hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin verimi üzerinde kolektör boyutunun etkisini, deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Mohammad [9] kolektör üst yüzeyinden olan ısı kaybını azaltmak ve yutucu plakadan sağlanan ısı kazancını maksimum yapmak için, ters-akışlı ısı değiştiricisi şeklinde ilave bir örtünün kullanıldığı bir kolektör imal ederek, bunun ısı analizini yapmıştır. Garg ve Datta [10], kanatlı tip bir hava ısıtmalı güneş kolektörünün deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Üstteki plakanın sıcaklığı alttaki plakanın sıcaklığından yüksek olacağından, üstteki plakaya eklenen kanatlardan daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. Altıntop vd. [11], alt kısımdaki bakır levha üzerine siyah mat boyalı emici yüzey ve üzerine değmeyecek şekilde çapraz biçimde iki katlı yerleştirilmişlerdir. Yatayla 60°'lik açıya sahip V-biçiminde bükülerek oluşturulan siyah mat boyalı sinek telinden ikinci bir emici yüzeyi bulunan matris tip hava ısıtmalı güneş kolektörünün analitik olarak incelemişlerdir.

Fotovoltaik paneller günümüzün artık vazgeçilmezi olan elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla tasarlanmış güneş panelleridir [12]. Temmuz 1998 de Viyana da ikinci dünya fotovoltaik enerji konferansında özellikle evlerin çatılarına yerleştirilen PV sistemlerine ilginin hızla arttığı belirlenmiştir. Avrupa Birliği'nin 2010 yılına kadar bir milyon küçük fotovoltaik sistem kuracağı açıklanmıştır. Japonya, 2000 yılında 70 000 çatıya PV sistem programını tamamlamıştır. Benzer olarak Hollanda, PV sistemlerini çatıda kur-ışlet-sahip ol programını başlatmıştır. PV sistemler amaca göre basit birkaç bileşene bağlı olarak kolayca kurulabilen sistemlerdir. Bu sistemlerde hedeflenen amaca göre düzenlemeler yapılmaktadır. Bunlara örnek olarak DC kullanıcı bir sistemde PV, solar regülatör, akü gurubu, şalter ve kablo tertibatı gibi elemanlardan oluşmaktadır.



Şekil 1. DC kullanıcı fotovoltaik sistem şeması []

Hem AC hem de DC kullanım için kullanılacak sistem elemanlarına yukarıda sayılanlara sadece invertör eklenerek kolayca kurulabilir. Farklı amaçlar için üretilmiş bu kolektörleri tek bir sistemde toplayarak hibrid kolektörler tasarlanmıştır. Bu tip kolektör tipleri genelde kırsal kesimlerde ya da endüstriyel amaçlı olarak kurutma yapacak tesislerde kullanımı küçük değişikliklerle kolayca yararlanılabilir. Tasarladığımız hibrid kolektör öncelikli su ısıtma olmak üzere hava ısıtması da yapabilmektedir. Sıcak hava üretimi her daim ihtiyaç olunmasa da sıcak su ihtiyacı her daim olmaktadır. Isı transferini iyileştirmek ve ısıtılan havayı istenilen bölgeye yönlendirmek amacı ile kullanılan fanın elektrik gereksinimini şebekeden bağımsız olarak fotovoltaik panelden elde edilen elektrik ile karşılanmıştır. Bu farklı amaçlarda üretilen panellerin birlikte kullanarak tasarlanan hibrid kolektörün kullanıcıya ne kadar faydalı olabileceğini verim analizleri ile araştırılmasıdır. Literatürde, sadece hava ısıtmalı güneş kolektörleri [13–15] ya da fotovoltaik destekli sadece su ısıtan sistemler [14] üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Standartlarda da ölçüm metotları belirlenmiştir [16]. Buna göre tasarım yapılan hibrid bir kolektörün performansı bu çalışmada araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışma, Elazığ şartlarında ve Ağustos ayında yapılmıştır. Deney seti Şekil 2 ve 3' de gösterilmiştir. Deney setinin boyutları geometrik benzerlik kullanılarak küçültülmüştür. Güneş enerjili su ısıtma sistemi, hem hava hem de su ile çalışabilecek bir güneş kolektöründen ibarettir. Sistemde su debisi rotametre ile ölçülmüştür. Kolektör içerisindeki sıcak hava bir fan tarafından çekilmekte ve fan için gerekli elektrik enerjisi ise Fotovoltaik panel ve buna bağlı olarak çalışan akü ünitesi ile çalışmaktadır. Güneş ışınım şiddeti solarimetre ile ölçülmüştür. Sistemdeki basınç kaybının ölçümü sisteme bağlanan bir manometre yardımı ile yapılmıştır. Sıcaklık değerleri ısı çiftleriyle ölçülmüş ve datalogger yardımı ile bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 2. Deney Setinin ve ölçüm Cihazlarının yandan görünüşü.



Şekil 3. Deney setinin genel görünümü

Deneyde; sadece havalı, sadece sulu ve ikisi birlikte olmak üzere ayrı çalıştırılarak kolektör verimleri karşılaştırılmıştır. Sadece sulu çalışmada kolektörün hava giriş ve çıkış delikleri kapatılarak su zorlanmış taşınım ile kolektöre dakikada 1 ve 1,5 litre debilerinde gönderilerek kolektörün su ısıtması durumundaki verimi araştırılmıştır. Sadece hava ısıtmalı çalışmada kolektöre su giriş çıkışı kesilerek sadece hava giriş çıkışı sağlanarak çalıştırılmıştır. Hava + sulu olarak birlikte olmak üzere çalıştırılmıştır. Fotovoltaik sulu çalışmada devre dışı bırakılarak sadece aküyü şarj amaçlı kullanılmış, hava ile yapılan çalışmalarda fan çalıştırıldığından güç kaynağı olan akü PV vasıtasıyla beslenmiştir.

Deneyde verim analizleri için;

$$\eta = \frac{Q_a}{IA} \quad (1)$$

$$Q_a = AF_{ta} [I(\tau\alpha) - K(T_{ga} - T_c)] \quad (2)$$

Burada Q_a akışkana geçen faydalı ısı miktarı T_{ga} akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı, T_c çevre sıcaklığı, K ısı kaybı katsayısı, F_{ta} toplayıcı ısı kazanç faktörü, $(\tau\alpha)$ yutma geçirme çarpımı, I ışınım, A kolektör yüzey alanıdır.

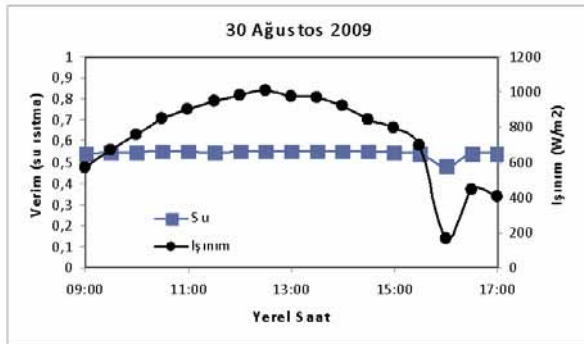
Hava kütlesi akış hızının bir fonksiyonu olarak verim hesabında hava ısıtmalı kolektörlerde enerjistik etkinliklerinin değerlendirilmesi için daha uygundur Sharma ve ark. [18].

$$\eta_t = \frac{T_c - T_g}{I} \quad (3)$$

Deneyde verim analizleri hava + su için ise akışkanlara geçen yararlı ısının toplamını alarak formül 1 ile hesaplanmıştır.

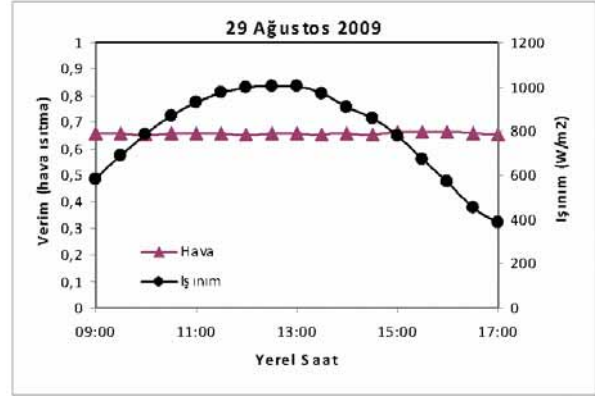
3. Sonuçlar Ve Tartışma

Sonuçlar, tasarımı yapılan kolektörün, sıcak havalarda, sıcak su kontrolünün, dış ortam havası ile yapılabileceğini göstermiştir. Kolektörden çekilen hava, birçok ısıtma sistemi için ön ısıtma havası olarak kullanılabilir. Su ısıtmalı çalışmada, sistemde, standart kolektör kullanıldığından kolektör verimi de aynı şekilde benzerlik göstermiştir. Standart kolektör verimleri %50–60 arasında olmaktadır. Deneyin su ısıtma aşamasında kolektör verimi %54–56 arasında olmaktadır. Deneyin yapılışında dış etkenlerden doğan olumsuzluklar yüzünden (bulutun güneşi engellemesi) verim saat 16:00 civarında ani olarak düşmektedir (Şekil 4).



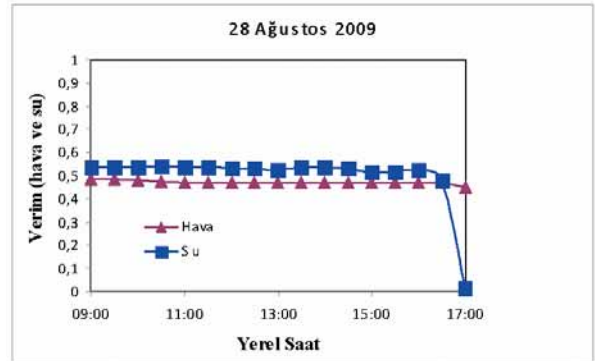
Şekil 4. Su ile çalışma durumu: Verimin ve ışınımın zamanla değişimi

Sadece hava ısıtmalı olarak çalıştırıldığında ise sistemin arzu edilen verim değerlerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 5). Hava ısıtmalı kolektörlerin verimi ise %50–70 gibi değerlere ulaşmaktadır. Yapılan deneyde verim %65–67 arasında değişkenlik göstermektedir. Grafikteki dalgalanmalar, ısının sudan havaya geçmesinden kaynaklanmaktadır.

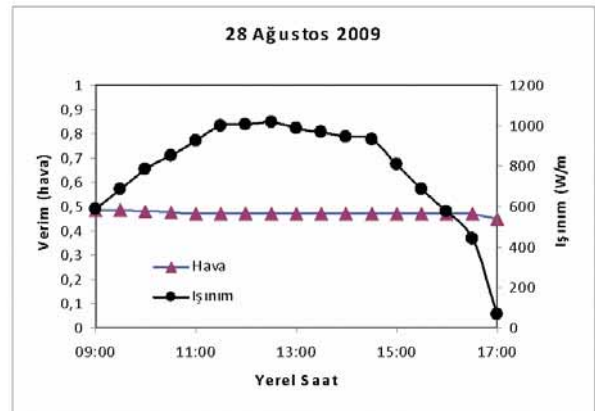


Şekil 5. Hava ile çalışma durumu: Verimin ve ışınımın zamanla değişimi

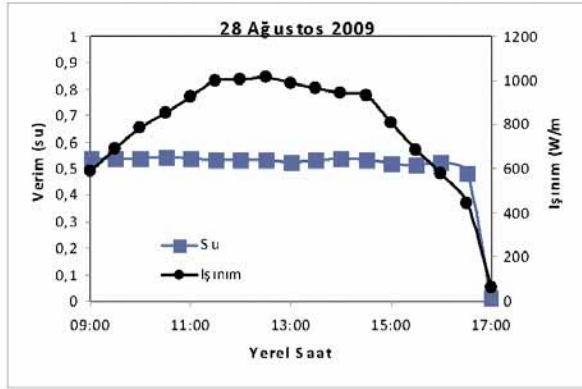
Hem hava hem de su ile çalışmada ise hava veriminin düşmesi suyun havaya oranla ısı iletim katsayısının yüksek oluşu yani ısının suya aktarılması sonucu olduğu ve sistemin su öncelikli ısıtma yapması için tasarladığımızdan dolayı amaca uygun hareket ettiği gözlenmiştir.



Şekil 6. Hava ve su ile çalışma durumu için verimin zamanla değişimi



Şekil 7. Hava ile çalışma durumu: Verimin ve ışınımın zamanla değişimi



Şekil 8. Su ile çalışma durumu: Verimin ve ışınımın zamanla değişimi.

Sonuç

Bu çalışmada, hem sulu hem de havalı çalışabilen bir kolektörün tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, havalı kolektörden hava çekmek için kullanılan fan fotovoltaik pil ile çalışmaktadır. Çalışmada, özellikle yaz aylarında kullanım sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta ısınan suyun dışarıdan alınan hava ile ısı kontrolü sağlanmış ve çekilen sıcak hava ısı bir sistemin ön ısıtma sisteminde kullanılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Koyuncu, T., Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications, Renewable Energy, Vol. 31, pp. 1073–1088, 2005.
- [2] Ucar, A., ve Inalli, M., Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques, Int. Comm. Heat Mass Transfer, 33, 1281–1290, 2006.
- [3] Doğan, H. Kurutmada kullanılan hava ısıtma kolektörlerinin deneysel karşılaştırılması, Teknoloji, Cilt 4, Sayı 1–2, s.75–82, 2001.
- [4] Kırbaş, İ., Havalı Güneş Kolektörünün Performansının deneysel olarak incelenmesi, Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [5] Yeh, H., Ting, C., Efficiency of Solar Air Heaters with Baffles. Energy, Vol.16.No.7, pp.983-987, 1990,
- [6] Yeh, H., Ting, C., Efficiency of Solar Air Heaters Packed with Iron Fillings. Energy Vol.13, No.7, pp.543-547, 1987.
- [7] Yeh, H., Lin, T., Efficiency Improvement of Flat-Plate Solar Air Heaters. Energy, Vol.21, No.6, pp.435-443, 1995.
- [8] Yeh, H., Lin, T., The Effect of Collector Aspect Ratio on the Collector Efficiency of Upward- Type Flat- Plate Solar Air Heaters. Energy, Vol.21, No.10, pp. 843-850, 1996.
- [9] Mohamad, A.A., Counter- Current Solar Air Heater. Proceedings of the First Trabzon International Energy and Environment Symposium, 1996,
- [10] Grag, H.P. and Datta, G., Performance studies on a finned-air heater, Energy Vol.14, No.2, pp.87–92, 1988.
- [11] Altuntop, N. ve Demiral, D., Çınar, G., Matrix tip düzlemsel havalı güneş kolektörlerinin analitik ve deneysel incelenmesi, ULIBTK'97 11. ulusal isi bilim ve tekniği kongresi, Edirne, s.992-1001, 1997.
- [12] www.solenenerji.com.tr

- [13] Ozgen, F., Esen, M., Esen, H., Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans, Renewable Energy, 34, 2009, 2391-2398.
- [14] Dubey, S., Tiwari, G.N., Analysis of PV/T flat plate water collectors connected in series, Solar Energy 83 (2009) 1485–1498.
- [15] Mohamad AA. High efficiency solar air heater. Solar Energy 1997;60(2):71–6.
- [16] ASHRAE STANDARD 93-86. Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors. Atlanta EU; 1991.
- [17] Kılıç, A., Öztürk, A., Güneş enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.
- [18] Sharma, S.P., Saini, J.S., Varma, H.K. Thermal performance of packed-bed solar air heaters solar energy, 47(2):56-67 1991.

THERMAL ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES FOR SOLAR APPLICATIONS

Halime PAKSOY

Çukurova University
Faculty of Arts and Sciences

Abstract

The foremost global challenges facing the energy market today are growing environmental concerns, especially climate change, economic development and energy security. Developing and deploying more efficient and less environmentally damaging energy technology is critical to achieving objectives of energy security, environmental protection and economic and social development. Solar energy is the most important renewable energy source that waits to be exploited to meet the global challenges of the energy market. Solar energy with its intermittent characteristics needs to be stored for efficient utilization. Thermal energy storage technologies are used to close the gap between supply and demand of such intermittent resources. Duration of the storage can be short or diurnal (day/night) or long or seasonal (summer/winter). For seasonal storage (summer/winter), underground thermal energy storage (UTES) is the only option currently used in solar plants. For short term applications thermal energy storage in phase change materials (PCM) and thermochemical reactions are preferred. Recently there are hybrid systems that combine short and long term storage technologies in the same system. Storage is used in solar applications like domestic hot water heating, combi systems, district heating, cooling, passive heating/cooling and thermal power plants. This paper attempts to give an overview of the recent thermal energy storage technologies used in solar applications around the world.

1. Introduction

Sun is the source of life on earth. All renewable energies (wind, hydro, biomass), except for geothermal which come from the center of the earth, originate from sun. Solar energy is so abundant that one hour of sun shining on earth is enough to meet the world demand for an entire year. Since ancient history mankind has been trying to find ways of harnessing the solar radiation to meet the growing energy demand. The foremost global challenges facing the energy market today are growing environmental concerns, especially climate change, economic development and energy security. Developing and deploying more efficient and less environmentally damaging energy technology is critical to achieving objectives of energy security, environmental protection and economic and social development. Today, more than ever, we need to find ways to a "solar future" to meet these challenges.

Solar energy with its intermittent characteristics needs to be stored for efficient utilization. Thermal energy storage technologies are used to close the gap between supply and demand of such intermittent resources [1,2]. Duration of the storage can be short or diurnal (day/night) or long or seasonal (summer/winter). For seasonal storage (summer/winter), underground thermal energy storage (UTES) is the only option currently used in solar plants. For short term applications thermal energy storage in phase change materials (PCM) and thermochemical reactions are preferred [3]. Recently there are hybrid systems that combine short and long term storage technologies in the same system.

Storage is used in solar applications like domestic hot water heating, combi systems, district heating, cooling, passive heating/cooling and thermal power plants. This paper attempts to give an overview of the recent thermal energy storage technologies used in solar applications around the world.

2. Thermal Energy Storage

2.1. Concepts

Thermal energy storage (TES) is realized as a result of the change in internal energy of the material. The fundamental principle of internal energy of materials is the basis for TES concept. This principle is quoted here from Incropera and DeWitt [4].

"Internal energy refers to energy of molecules making up a material. The molecules of a material are in continuous motion and have kinetic energy of translation, rotation and vibration, except for monatomic materials. The change in the internal energy consists of a sensible or thermal component, which accounts for the molecular motion; a latent component, which relates to intermolecular forces that influence phase change between solid, liquid, vapor states; a chemical component, which accounts for energy stored in the chemical bonds between atoms; and a nuclear component, which accounts for binding forces in the nucleus."

One or combination of the following heats is utilized in TES systems:

1. Sensible heat: The change in internal energy resulting from a change in the temperature of a material is utilized in this method. The effectiveness of sensible heat storage systems depends

on the heat capacity and density of the storage medium where volume is an important factor. Sensible heat storage may be classified on the basis of storage materials used as liquid, solid and hybrid systems.

2. Latent heat: The internal energy change accompanying a phase change of the material is used for energy storage. The phase change can be solid-solid, solid-liquid and liquid-vapor. The latent heat of solid-solid phase change is small. Solid-vapor and liquid-vapor transitions typically have a large latent heat transformation, but the large changes in volume make the systems complex and impractical. Solid-liquid transformations involve relatively smaller change in volume. The energy storage density of a latent heat system is typically higher than a sensible heat system.
3. Chemical reaction heat: Thermal energy may also be stored as the energy of a chemical compound, and energy can be repeatedly stored and released in the same materials by reversible chemical reactions. This generally involves a reversible chemical reaction, absorption, adsorption or a hydration process. In principal, every chemical reaction can be reversed if it is carried out under suitably controlled conditions. Reactions absorb energy when proceeding in one direction and release it when proceeding in the reverse direction. The energy storage density of reversible chemical reactions is generally higher than the latent heat transitions.

2.2. Technologies

Thermal energy storage technologies that can be used in solar applications are:

- ▶ Underground Thermal Energy Storage (UTES)
- ▶ Phase Change Materials (PCM)
- ▶ Sorption and Thermochemical Storage
- ▶ Building structure
- ▶ Water tanks

2.2.1. Utes

Underground soil and/or rock provide a large, invisible and isolated storage volume. UTES technologies use the heat capacity of this volume to store thermal energy from any natural or artificial source for seasonal or diurnal applications. These technologies, shown in **Figure 1** [5] are:

- ▶ Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)
- ▶ Borehole Thermal Energy Storage (BTES)
- ▶ Cavity (tanks, pits, caverns) Thermal Energy Storage (CTES)

Heat and/or cold from any natural or artificial source can be stored underground seasonally with these technologies. The Netherlands is the leading country in the world in the number of Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) applications reaching 600 by the year 2006 [6]. 78% of these projects are for buildings, 12% for industry and 10% for agriculture. ATES has become a standard design option for large buildings in The Netherlands. 15 PJ of energy, which is equivalent to 200 million m³ of natural gas is expected to be replaced by TES systems in the Netherlands by the year 2020 [7]. Sweden is also a leading country in UTES applications. The contribution of 50 large scale ATES and 300 BTES projects to CO₂ emissions reduction in Sweden is 2.3 million tons/year. This

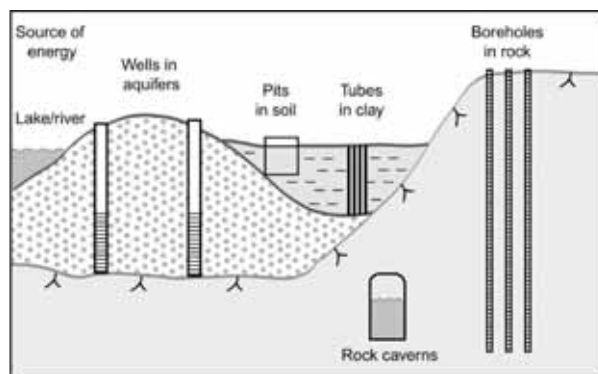


Figure 1. UTES technologies [5]

value is equivalent to 3.5% of the total CO₂ emissions in Sweden [8].

“Solarthermie – 2000” Programme that started in Germany had the purpose of improving and demonstrating the technical and economical feasibility of various large scale seasonal thermal energy storage and system concepts [9]. 8 large scale systems have been built using different storage technologies and designed to cover 30-62% of the annual heat demand of newly developed housing areas by solar energy. Technical design data of these projects were reported in previous studies. Different UTES technologies were used in these solar energy plants: Concrete tanks buried underground, underground gravel-water heat store, BTES, ATES [9,10].

2.2.2. Pcm

PCMs have been used for various heat and cold storage applications since the 1800s. PCMs that can be used for thermal energy storage can be classified as follows [11]:

- ▶ Inorganic materials – eutectics and mixtures (hydrated salts)
- ▶ Organic materials- eutectics and mixtures (paraffins and fatty acids)

Ice and snow, which are not included in the above classification, are the oldest known natural PCMs used for cooling. Modern ice storage systems use refrigeration machines to produce ice during a lower cost window and then to melt this ice for cooling during the peak window. Ice thermal energy storage uses the latent heat of fusion of water (335 kJ/kg) at 0°C. To store this energy, refrigeration equipment must operate at temperatures below the normal operating range for air-conditioning applications.

Organic and inorganic phase change materials offer a wide range of melting points. The heat of fusion – latent heat - (solid-liquid) or heat of crystallization (solid-solid) accompanying phase change is utilized by thermal energy storage systems. Phase changing process is isothermal. PCM with a high phase changing energy and melting point that is appropriate for the application is selected for the thermal energy storage system. A review of PCMs is given by several previous studies [11-15].

Recently, PCMs are microencapsulated with diameters in the range of 2-20 μm to offer the advantage of very high surface area/volume ratios and extremely short transport distances [16-18]. There are commercial microencapsulated PCMs for mainly passive building applications [19].

PCMs can be used in solar applications like free cooling with night time air [20], enhancing stratification of solar domestic hot water tanks [21], air based roof integrated collector [22], solar assisted heat pump with a latent heat storage tank [23], solar collectors [24] and absorption solar cooling to store waste heat [25].

2.2.3. Sorption and Thermochemical Storage

Thermochemical storage (TCS) system consists of a working fluid (mostly water) also called sorbate, and a sorption material usually referred to as sorbent. The sorption material can be porous solids (e.g. silica gel, zeolite) or salt hydrate solutions with a high affinity for water. TCS is based on the principle that the sorption material releases water vapor when heated and releases heat when water vapor is adsorbed or absorbed. TCS systems can be open or closed. In open systems the gaseous working fluid is directly released to the environment. Examples of open systems are sorption processes for desiccant systems and heat storage systems based on the adsorption process. Closed systems work with a closed working fluid circuit, which is insulated from atmosphere [26].

Another way of TCS is through using reversible chemical reactions. Solar thermal energy can be used to drive an endothermic reaction and thereby store solar energy. During the reverse exothermic reaction, the thermal energy will be released, generally at a different temperature level. Many chemical reactions that can be utilized for solar energy storage have been identified previous researches [27].

2.2.4. Building Structure

Building structure is used as storage media to reduce heating/cooling loads at peak hours. Since concrete has large volumetric specific heat, it can store relatively large amount of heat if it can be cooled or heated effectively. Traditional architecture in Mediterranean climates used thick walls to benefit from this effect. Modern light weight buildings usually have very poor thermal mass. PCM addition to the building structure can enhance the thermal mass. PCMs are installed in various locations in the building structure to store cold from night time and use it for cooling during daytime or vice versa for load shifting purposes. Such buildings are also known as thermally activated building systems (tabs) [28]. PCMs can be used in the building materials, slabs, ceilings and floors.

Schossig et al. [29] tested the microencapsulated PCMs in full-size rooms. Air temperature difference of 4°C was achieved between a room with PCM and the reference room without PCM, allowing decreasing overheating effects of external thermal conditions such as temperature and solar fluxes. The first products, which were used in this test, are now available on the market. Results from several pilot plants show that PCM in building materials can be

effective in load leveling by managing the solar gain of buildings [30-32].

2.2.5. Water Tanks

Solar thermal energy can be directly used for hot water production from solar collectors of different types for different heat levels. At present the largest market for solar applications is the residential buildings [33]:

- Solar domestic hot water (SDHW) systems
- Solar domestic hot water and heating (SDHW&H) systems
- Swimming pool systems

Water storage uses the sensible heat capacity of water (4.184 kJ/kg.K) to store cold. The storage volume depends on the temperature difference between the water supplied from storage and return water. Water tanks are used for SDHW systems that use solar heat only for the hot water load. Stratified water storage is generally the simplest, most efficient, and cost-effective method. Stratification in the water storage tanks is based on the density difference of water to form horizontal layers or temperature zones based on its density. Hot water is naturally above the layers of cold water. Stratification allows an optimal use of the store with limited heat losses. There are different methods for enhancing stratification like using diffusers of different designs[34] and adding PCM to water tank [21].

Solar combi systems are also known as solar domestic hot water and heating (SDHW&H) systems, that use solar heat for both hot water and space heating demand. There are two different heat loads to supply using two separate heat sources, solar collectors and an auxiliary heat supplier. In these systems the water store is normally the central part of the system, and heat is usually stored from both the solar collectors and the auxiliary heater. The two loads are often supplied from the store. In order to accomplish this, the store generally requires heat exchangers for solar collector loop and for preparation of hot water, although immersed tanks or separate tanks can be used for the later. Due to many options available, many different solutions have been developed and marketed. [35].

3. Some Recent Tes Solar Applications

3.1. Seasonal Storage

The Drake Landing Solar Community in the town of Okitoks, Alberta, Canada is the first district solar heating plant in North America (Figure 2) [36]. The system is designed to store solar energy in the underground by BTES technology during summer months and distribute the energy to each home for space heating in winter. 90% of space heating load will be met by solar energy. This is a first in the world. A reduction of approximately 5 tonnes of greenhouse gas emissions per house per year is expected. The BTES system has the following properties [37]:

- 144 - 150mm diameter x 35m deep boreholes spaced 2.25m on centre

- ▶ Single polyethylene 25 mm U-tube
- ▶ High solids grout – 9% Blast Furnace Cement, 9% Portland cement, 32% fine silica sand, 50% water
- ▶ 24 strings of 6 boreholes in series.
- ▶ Divided into four circuits and distributed through four quadrants so that the loss of any single string or circuit has minimal impact on the heat capacity on the entire system
- ▶ All circuits and strings start from centre of the BTES and move toward the outside to maximize stratification

Storage of solar energy started in June 21 2007. The construction of 52 houses was completed by August 2007. The opening of the system was realized in September 2007.



Figure 2. Okotoks district solar heating plant [37]

Anneberg – the new residential area in suburbia of Stockholm – has a total 50 houses with a total floor area of 6000 m² [38]. The solar plant uses BTES system with 100 boreholes drilled to a depth of 65 m. In the groundwater filled boreholes single U-pipes are used. Roof integrated 2400 m² solar collectors and the store cover 70-80% of the yearly heating and domestic hot water demand. The system has been in operation since spring 2002.

In the ATES plant used for heating and cooling of a 360 m² greenhouse in Adana, Turkey, greenhouse is used as a solar collector [39]. The system was constructed in 2005. The plant



Figure 3. Aerial view of Gram District Solar Heating plant in Denmark (Foto: Arcon Solvarme)

operated with 60% energy savings for growing tomatoes with a 20% increase in yield.

Danish storage for Gram District Solar Heating (Figure 3) is expected to supply 17 % of the towns demand in district heating, which is approx. the total demand of 190 single family houses [40]. In the first phase, 802 collectors are mounted in spring 2009. The water pit storage used has a volume of 10 000 m³. They produce approx. 7 MW yearly results in 4800 MWh and solar fraction of 117%. This leads to a CO₂ emission reduction by 1,110 ton. The expected life time for the installation is estimated to be 25 years. The investment of 18 Million Danish Kroner is expected to be paid back in 7-9 years.

3.2. Solar Cooling

Solar thermal energy is stored in a liquid desiccant cooling system for an office building of Prochek Immobilien GmbH in Amberg, Germany. The building with a floor area of 5700 m² has been designed for an annual demand for heating as low as 35 kWh/m². A special dehumidifier, developed by ZAE Bayern, using evaporative cooling from the exhaust air flow, provides high system efficiency and low desiccant regeneration temperatures, which can be efficiently delivered by economic flat plate collectors. The desiccant cooling system is designed for a maximum air flow of 30.000 m³/h. The design point for cooling is defined as 32°C and 12 g/kg outside air and 24.5 °C and 8.5 g/kg supply air. Under these conditions the air cooling demand is about 80 kW and dehumidification demand is 70 kW. A total air conditioning capacity of 150 kW is required. Thermally activated ceilings are used to heat and cool the building. In summer the ceilings are cooled by groundwater. Therefore humidity control is required to prevent humid air condensing on the ceilings. The humidity is controlled by solar driven liquid desiccant cooling and dehumidification system as shown in **Figure (4)** [41].

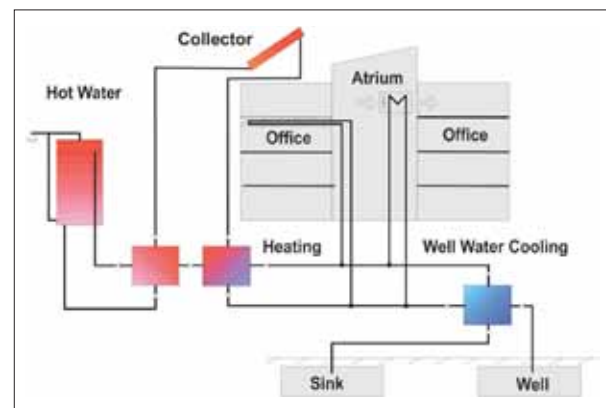


Figure 4. Liquid desiccant cooling system for an office building of Prochek Immobilien GmbH in Amberg, Germany [41]

3.3. Solar Thermal Power Plants

Solar thermal power plants generate electricity using parabolic through technology, linear Fresnel reflector technologies, single tower systems, distributed tower systems and updraft towers [42]. For a continuous electricity generation, solar heat is transferred

to a thermal storage medium in an insulated reservoir during the day, and withdrawn for power generation at night. Several storage systems at high temperatures ($>200^{\circ}\text{C}$) for solar power plants have been proposed in literature [43]: sensible heat storage in liquid and solid media, latent heat storage and thermochemical storage.

Figure 5 is showing the aerial view of Solar Two thermal power plant in Nevada, USA. Solar Two used molten salt to store solar heat. The very hot salt was stored and used when needed to produce steam to drive a turbine/generator that produces electricity. The system operated smoothly through intermittent clouds and continued generating electricity at night. Molten salt, which is 60 percent sodium nitrate and 40 percent potassium nitrate, is preferred in such solar power tower systems because it is liquid at atmospheric pressure, it provides an efficient, low-cost medium in which to store thermal energy, its operating temperatures are compatible with today's high-pressure and high-temperature steam turbines, and it is non-flammable and nontoxic. In addition, molten salt is used in the chemical and metals industries as a heat-transport fluid, so experience with molten-salt systems exists in non-solar settings. The salt melts at 220°C and is kept liquid at 290°C in an insulated storage tank. [44]. The storage tank can be seen in Figure 5 next to the tower.



Figure 5. Aerial view of the Solar Two facility, showing the power tower (left) with storage tank next to it and surrounded by the sun-tracking mirrors [44]

4. Conclusions

There is an urgent need to exploit the solar energy to meet the growing energy demand and to sustain the life on earth. The solar plants reviewed here show that thermal energy storage is an essential part of any solar energy system. The number of projects and countries where they are located are increasing, but still not at a desired level. Solar energy is abundant in many countries, but current applications are only situated in a few countries around the world.

What makes these countries unique is mainly caused by human factor. This factor consists of a good mixture of at least three groups of people. First a government who supports the technology by funding research, subsidizing projects and making energy saving a strong political issue. Example for this is the Solarthermie Programme in Germany. Secondly, there have to be consultancies, strongly innovative by designing and marketing non-standard options. And finally the market must consist of some pioneers who would like to use this technology because they believe in the environmental and economical benefits.

Once solar systems are mass produced like conventional, fossil energy systems, and integrated into buildings, thus replacing conventional systems they will become competitive. A corrective pricing mechanism, such as a carbon tax, will also help competitiveness.

References

1. Dincer, İ. and Rosen, M.A. 2002. Thermal Energy Storage: Systems and Applications. John Wiley and Sons: New York.
2. Paksoy, H.Ö. 2007. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption – Fundamentals, Case Studies and Design, Editor, NATO Science Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry – Vol 234, Springer, ISBN-10 1-4020-5288-X (HB), 447 pages.
3. Mehling, H. and Cabeza, L.F. 2008. Heat and Cold Storage with PCM, Springer Verlag, ISBN-13: 9783540685562, 308 pages.
4. Incropera, F.P., and DeWitt, D.P. 1996. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4th Ed., John Wiley & Sons.
5. Andersson, O., Hellström, G. and Nordell, B. 2000. Recent UTES Development in Sweden, Terrastock 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Proceedings, Vol.1, 75-80
6. Snijders, A.L. 2006. ATES Market Development in the Netherlands. ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, NJ, USA, May 31 – June 2.
7. Snijders, A.L., Van Aarssen, M.M. 2003. Big is Beautiful? Application of Large Scale Energy Storage in the Netherlands, FUTURESTOCK 9th International Thermal Energy Storage Conference, Warsaw, Poland, 1-4 September.
8. Andersson, O. 2006. Ground Source Heating and Cooling – A Significant Contribution to CO₂ Reduction in Sweden, ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, NJ, USA, May 31 – June 2.
9. Schmidt, T., Mangold, D., Müller-Steinhagen, H. 2000. Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in Germany, Solar Energy, 67(1-3), 165-174.
10. Wille, A. and Lottner, V. 2006. R&D Programme on Thermal Energy Storage in Germany, 10th International Conference on Thermal Energy Storage, Ecstock, NJ, USA, 31 May – 2 June.
11. Abhat, A. 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials, Solar Energy, 30, 4, 313-332
12. Lane, G.A. 1986. Solar heat Storage: Latent Heat Material. Volume II: Technology, CRC Press, Florida.
13. Mazman, M. 2006. Latent heat storage and applications, PhD Thesis, Cukurova University, Adana, Turkey (in Turkish).
14. Zalba, B., Marin, J.M., Cabeza, L.F., Mehling, H. 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, Applied Thermal Engineering, 23, 251-283.
15. Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K., Al-Hallaj, A. 2004. A review on phase change energy storage: materials and applications, Energy Conversion and Management, 45, 263-275.
16. Özonur, Y., Mazman, M., Paksoy, H.Ö., Evliya, H. 2006.

- Microencapsulation of Coco Fatty Acid Mixture for Thermal Energy Storage with Phase Change Materials, *International Journal of Energy Research*, 30, 10 741-749.
17. Hawlader, MNA, Uddin, MS, Zhu, HJ. 2002. Microencapsulated phase change materials for thermal energy storage: Experiments and Simulation. *International Journal of energy Research*. 26: 159-171.
 18. Hawlader, MNA, Uddin, MS, Khin, MM. 2003. Microencapsulated PCM thermal- energy storage system. *Applied Energy*. 74, 195-202.
 19. Jahns, E. 1999. Microencapsulated Phase Change Material. 4th IEA –Workshop Annex 10 Phase Change Materials and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage IEA-Workshop Annex 10 Phase Change Materials and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage , Germany.
 20. Zalba, B., Marin, J.M., Valverde, B.S., Cabeza, L.F. 2002. Free Cooling: an Application of PCMs in TES, IEA ECES IA Annex 17, Advanced Thermal Energy Storage Through Phase Change Materials and Chemical Reactions-Feasibility Studies and Demonstration Projects 3rd Workshop in Tokyo, Japan, 1-2 October, <http://www.fskab.com/Annex17/>
 21. Mazman, M., Cabeza, L.F., Mehling, H., Nogues, M., Paksoy, H.O., Evliya, H. 2009. Utilization of phase change materials in solar domestic hot water systems, *Renewable Energy*, Volume 34, Issue 6, June, 1639-1643.
 22. www.unisa.edu.au/sec/PDF's/solar_air_space_heating_system.pdf
 23. Trinkl, C., Zorner, W., Hanby, V., 2009. Simulation study on a domestic solar/heat pump heating system incorporating latent and stratified thermal storage, *J. Sol. Energy Eng.* November, Volume 131, Issue 4, 041008.
 24. Rabin, Y., Bar-Niv, I., Korin, E., Mikic, B. 195. Integrated solar collector system based on saly hydrate phase change material, *Solar Energy*, 55, 435-444.
 25. Hiebler, S., Mehling, H., Martin, H., Cristian, S. 2009. Latent heat storage with melting point 29 C supporting a solar heating and cooling system, *Effstock 11th International conference on thermal energy storage*, June 14-17, Stockholm, Sweden.
 26. Bales, C., Gantenbein, P., Hauer, A., Jaehnig, D., Kerskes, H., Hennig, H.M., Nunuez. T., Visscher, K., Laevemann, E., Peltzer, M. 2005, Sorption and thermochemical storage, *International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, Thermal energy storage for solar and low energy buildings, State-of-the-art Task 32*, Ed. Haddorn, J.H.
 27. Van Berkel, J., Storage of solar energy in chemical reactions, 2005. *International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, Thermal energy storage for solar and low energy buildings, State-of-the-art Task 32*, Ed. Haddorn, J.H.
 28. Lehmann, B., Weber, R., Hadorn, J-C. 2005. Thermal storage in building structures: thermally activated building systems (tabs), *International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, Thermal energy storage for solar and low energy buildings, State-of-the-art Task 32*, Ed. Haddorn, J.H.
 29. Schossig, P., Henning, H.M., Gschwander, S., and Haussmann, T., 2005. Micro-Encapsulated Phase-Change Materials Integrated into Construction Materials, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 89, 297–306
 30. Konuklu, Y., Paksoy, H.O., 2009. Phase Change Material Sandwich Panels for Managing Solar Gain in Buildings, *J. Sol. Energy Eng.* November, Volume 131, Issue 4, 041012-19.
 31. Cabeza, L, F., Castello, C., Nogue, M., Medrano, M., Leppers, R., and Zubillaga, O. 2007. Use Of Microencapsulated PCM in Concrete Walls for Energy Savings, *Energy and Buildings*, 39, pp.113–119
 32. Tyagi, V.V., and Buddhi, D., 2007, “PCM Thermal Storage in Buildings: A State of Art”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, pp. 1146–1166.
 33. Brechlin, U., Pilgaard, O., Piria, R. Eds. 2003. *Sun in action II- A solar thermal strategy for Europe. Volume 1: Market overview, perspectives and strategy for growth*, ESTIF: Brussels, Belgium.
 34. Streicher, W., Bales, C. 2005. Combistores, *International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, Thermal energy storage for solar and low energy buildings, State-of-the-art Task 32*, Ed. Haddorn, J.H.
 35. Suter, J-M., Letz, T., Weiss, W. 2000. *Solar combisystems – Overview 2000*, Berne, Switzerland: Buro 1.43.
 36. Wong, W.P., McClung, J.L., Kokko, J.P., Snijders, A.L, First large scale solar seasonal BTES in Canada, *ECOSTOCK'2006*, 10th International Conference on Thermal Energy Storage, Pomona, NJ, USA, 31 May – 2 June, 2006
 37. <http://www.dlsc.ca/>
 38. Lundin, S-E., Eriksson B., Brinck, B., Drilling in hard rock and borehole heat exchangers for seasonal stores-Experiences from Anneberg solar heating plant 2000, *FUTURESTOCK'2003*, 9th International Conference on Thermal Energy Storage, Warsaw, Poland, September 1-4, 2003, 399 -404.
 39. Turgut B., Paksoy H.Ö., Bozdog S., Evliya H., Abak K., Dasgan Y. (2006), *Aquifer Thermal Energy Storage Application in Greenhouse Climatization*, 10th International Conference on Thermal Energy Storage, *Ecostock* , NJ, USA, 31 May – 2 June, 2006, 29-36.
 40. <http://centralsolarheating.wordpress.com/>
 41. Laevemann, E., Hauer, A., Peltzer, M. 2003. Storage of Solar Thermal Energy in a Liquid Desiccant Cooling System, *IEA ECES Annex 14 Cooling in all Climates with Thermal Energy Storage Workshop in Leida, Spain April 10-11*, on CDROM
 42. Gabbrielli, R., Zamparelli, C. 2009. Optimal design of a molten salt thermal storage tank for parabolic trough solar plants, *J. Sol. Energy Eng.* November, Volume 131, Issue 4, 041001
 43. Herrmann, U., Kearney, D.W. 2002. Survey of thermal energy storage for parabolic trough solar plants, *ASME J. Sol. Energy Eng.*, 124, 145-152.
 44. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_plants_in_the_Mojave_Desert - cite_note-6

ULUSAL FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ PLATFORMU YOL HARİTASI, EĞİTİM VE STANDARTLAR ÇALIŞMALARI

İlker ONGUN

Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu

1. Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu

Bütün dünyada olduğu gibi Avrupa'da da hızla gündeme yerleşip, siyasal, ekonomik, sosyal ve çevresel algıları değişmeye zorlayan "Yenilenebilir Enerji" kavramı bileşenlerinden en büyük payı "fotovoltaik-FV" almaktadır. Bu hızlı dönüşüm sürecinde ülkemizin de sağlıklı imkân ve koşullar ile yer almasını sağlamak üzere, 1 Eylül 2008 tarihinde Ege Üniversitesi tarafından TÜBİTAK desteği ile İşbirliği Ağları Projesi (İŞBAP) kapsamında Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu-UFTP kurulmuştur. Türkiye'de fotovoltaik teknolojilerinin, pazarının ve istihdamının düzenlenmesi ve sağlıklı gelişimi için üniversite, girişimci, finans sektörü, devlet ve yerel yönetimleri bir araya getiren bir ortak platform olarak tanımlanabilecek olan UFTP'nin yapısı Şekil:1'de verilmiştir.

UFTP, üyelik temeline dayanan bir yapılanma içindedir ve bütçesinin büyük bölümünü, üyelerin katkıları ile oluşturmaktadır. Sayısı 42'ye ulaşan ve yeni katılımlarla halen artan UFTP üyeleri, Tablo:1'de sunulmuştur.

2. Yol Haritası Çalışmaları

Temel hedefi Ulusal Fotovoltaik Yol Haritasını oluşturmak olan UFTP, bu doğrultuda kapsamlı çalışmalar yürütmektedir. Üyelerinin yanı sıra, ilgili tüm tarafların da katkısı sağlanarak 2-3 Ekim 2009 tarihlerinde TÜSSİDE Merkezinde;

- Güneş Enerjisi Santralleri (Lisanslı)
- Küçük ve Orta Ölçekli Uygulamalar (Lisanssız)
- Silisyum Külçe / Dilim / Hücre / Modül Teknolojisi
- İnce Film, Gelişmekte olan ve Yoğunlaştırıcı Teknolojileri
- Denge Bileşenleri (Balance of Systems (BoS)) Teknolojileri

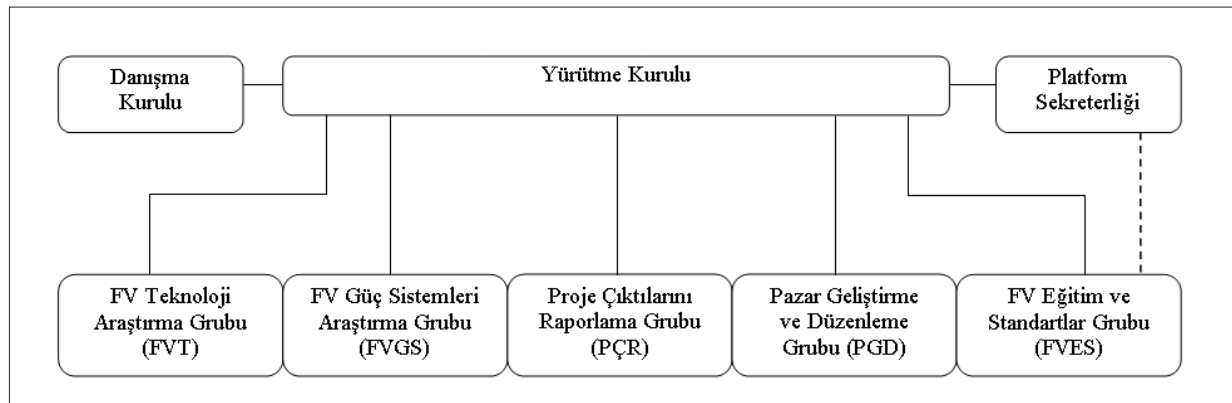
► Hizmet / Ürün Standartları, Eğitim, Farkındalık Gereksinimleri grupları halinde bir araya gelmiş ve bir beyin fırtınası/fikir sağma toplantısı gerçekleştirilmiştir. Bu geniş kapsamlı toplantı sonrasında, Ulusal Fotovoltaik Yol Haritası için öncül sayılan bir Fotovoltaik Vizyon Raporu oluşturulmuştur. Bu raporda platformun öncelikleri olduğu kadar, kısa uzun ve orta vade için türlü alanlarda ne gibi düzenlemeler yapılması yada ne gibi beklentiler olduğu gibi çok değerli bilgiler bir araya getirilmiştir. "Türkiye İçin Fotovoltaik Sanayii Yol Haritası Ortak Akıl Platformu® Raporu" adıyla yayınlanan bu rapor, ülkemizdeki en kapsamlı fotovoltaik öngörü raporudur.

Yol haritası çalışmaları, vizyon raporundaki öncelikler, hedefler ve zamanlamalar dikkate alınarak, platform alt çalışma gruplarının kendileri ile ilgili bölümleri inceleyip mevcut gelişmeleri de dikkate alarak güncelledikleri Vizyon Toplantıları ile sürdürülmektedir. Alt grup toplantılarının ardından Türkiye Fotovoltaik Yol Haritası Taslağı ortaya çıkacaktır. Bu taslağın belirlenmesinden sonra ortaya çıkacak güncel değişim, dönüşüm ve beklentilerin de değerlendirilmesi ile 2011 3. Çeyrekte 5-10 ve 20 yıllık öngörülerini içeren nihai Fotovoltaik Yol Haritası "FV Türkiye:2030" oluşturulmuş olacaktır.

3. Eğitim ve Standartlar Grubu-FVES

UFTP çalışma gruplarından birisi olarak planlanmıştır. TÜSSİDE Vizyon raporunda belirlenmiş olan hedefleri şöyle sıralanabilir:

1. Hedef: TSE ile birlikte çalışarak, IEC ve CENELEC tarafından yayınlanmış bütün FV standartlarının Türkçeleştirilmesi ve



Şekil 1: UFTP Organizasyon yapısı

TSE tarafından Yayınlanması (2011 sonu)

- a. Aralık 2009 itibariyle Ayna komite kurulması
 - b. FV ürün ve hizmet standartlarının ilgili yasa, yönetmelik ve diğer düzenlemelere sokulması için çalışmaların yürütülmesi
- 2. Hedef: Uygulayıcı (tekniker) ve Planlayıcı (mühendis) eğitimleri ile ilgili çalışmaların tamamlanması (2010 sonu)**
- a. Tekniker / teknisyen eğitimi için MEB, mühendis eğitimi için ETKB onaylı sertifikaların süreç ve yöntemlerinin tanımlanması
 - b. Eğitim müfredatlarının belirlenmesi
 - c. Eğitim süreci, koşul ve içeriğinin belirlenmesi
 - d. Eğitim sertifikalarının hangi durum ve konularda gerekli sayılmasının belirlenmesi
- 3. Hedef: Uluslararası akreditasyona sahip bir test merkezinin 2011 yılına kadar kurulması (2012 sonu)**
- a. Üretim ve ithalat için test merkezi değerlendirmelerinin dikkate alınmasının sağlanması
 - b. Merkezin kurulduktan sonra bir yıl içinde TÜRKAK tarafından 17025'e göre akredite edilmesi



Şekil 2: 2-3 Ekim TÜSSİDE Gebze. UFTP Fotovoltaik Vizyon Raporu ekibi.

- c. Merkezin kurulduktan sonra iki yıl içinde "IEC CB Scheme" dâhil olmasının sağlanması

4. Hedef: Bilinç ve farkındalık artırma amaçlı FV projelerinin gerçekleştirilmesi

Tablo 1: Ocak 2001 itibariyle UFTP üyelerinin listesi.

Üniversite ve Araştırma Enstitüleri	
Bilkent Üniversitesi	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ege Üniversitesi	Kocaeli Üniversitesi
Hacettepe Üniversitesi	Muğla Üniversitesi
Haliç Üniversitesi	TÜBİTAK-UME
Kamu Kuruluşları	
Bayındırlık ve İskân Bakanlığı	KOSGEB
Elektrik İşleri Etüt İdaresi	TEDAŞ Genel Md.
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	TOKİ
Gediz Elektrik A. Ş.	TSE
Sanayi ve Ticaret Odaları	
Antalya Ticaret ve Sanayi Odası	Ege Bölgesi Sanayi Odası
Dernek ve Vakıflar	
Türkiye Genç İşadamları Derneği (TÜGİAD)	Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstri Derneği (GENSED)
Temiz Enerji Vakfı (TEMEV)	Ege Sanayici ve İşadamları Derneği (ESİAD)
Özel Kuruluşlar	
AGS Enerji ve İletişim Sis. Ltd. Şti.	Lodos Teknik A.Ş.
Airfel A.Ş.	Mavis A.Ş.
Aneltech A.Ş.	Motif Proje İnş. Ltd. Şti.
Batıçim Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	MTB Enerji Ltd.
Enisolar Ltd.	Nurol Teknoloji A.Ş.
Envy Enerji ve Çevre Yatırımları A.Ş.	Orbit Müh. Ltd. Şti.
GEO Ltd. Şti.	Türkiye Şişe ve Cam Fab. A.Ş.
Girasolar Ltd. Şti.	Vestel Dijital A.Ş.
İnci Akü A.Ş.	
Belediyeler	
Antalya Büyükşehir Belediyesi	Bornova Belediyesi
Finans Kuruluşları	
Türkiye Kalkınma Bankası A. Ş.	

- a. Görünür kentsel uygulamaların desteklenmesi
- b. Basın-yayın etkinliklerinin desteklenmesi
- c. Yaygın tüketici eğitim programlarının hazırlanması

5. Hedef: 2012 sonuna kadar FV ile ilgili konuların eğitim prog-ramlarına (YÖK, MEB) alınması

- a. Önlisans programı olarak "Fotovoltaik Güç Sistemleri Teknikerliği" oluşturmak için YÖK ile işbirliği yapılması
- b. Meslek liselerinde "Fotovoltaik Güç Sistemleri Teknisyenliği" bölümü oluşturulması için MEB / Talim Terbiye ile işbirliği
- c. İlköğretim okullarında fotovoltaik bilgilerinin ilgili ders kapsamına eklenmesi

Bu hedefler, teknoloji geliştirme, ar-ge ve diğer sınırlı hedeflere göre çok daha kısa erimli öngörüler içermekte ve bununla birlikte, gerçekleştirilmeleri çoğunlukla biçimde işleyen süreçlere girmeyi yada süreç oluşturmayı talep etmekle başarılacak işlerdir.

4. MTC116 Fotovoltaik Sektör Ayna Komitesi

Standartlarla ilgili hedefler için TSE ile birlikte çalışılabilir sürecini işletebilmede gerekli olan Ayna Komitesi kurulması girişimleri öncelikli olarak gerçekleştirildi. Öngörülen zamandan önce tamamlanan işlemler sonunda;

- ▶ Ege Üniversitesi
- ▶ UFTP
- ▶ Şişecam A. Ş.
- ▶ ANELTECH A.Ş.
- ▶ İnci Akü A.Ş.
- ▶ Nurol Teknoloji A.Ş.
- ▶ Antalya Ticaret ve Sanayi Odası
- ▶ Mavisys A. Ş.
- ▶ AGS Ltd. Şti.
- ▶ TÜBİTAK-UME

olarak sıralanan 10 kuruluşun 18 üyenin katılımı ile 20 Kasım 2009 tarihinde TSE Ankara Kampusunda ilk toplantı gerçekleştirildi. İkinci toplantı Ocak 2010 için planlandı ve yapıldı. Şu anda bütün

standartların 2010 ilk yarısı için planlaması yapılmış durumdadır. Bu aşamada süreç, TSE'nin bile öngöremediği bir hızla ilerlemektedir.

MTC116 Fotovoltaik Ayna Komitesi, UFTP-FVES yükümlülükleri arasında en önemli yeri tutan standart çevirme/düzenleme/oluşturma görevlerini başarıyla yürüten ve kendi ayakları üzerinde duran bir komite olarak hayata geçirilmiş durumdadır.

Fotovoltaik esasların yasa, yönetmelik ve diğer düzenlemelere sokulması ve standartların bu yönetmeliklerce zorunlu kılınması sürecine verilen katkılar da sürmektedir. Bu çerçevede TEDAŞ ile görüşmeler yapılmakta, FV güç sistemlerinin elektrik şebekesine bağlanması ile ilgili esasları belirleyen yönetmelik üzerinde birlikte çalışılmaktadır. Bu kapsamda Mart 2010 başında ortak bir Almanya ziyareti ve bunu izleyen dönemde bir çalıştay planlanmış durumdadır.

5. Eğitim ve Sertifikasyon Süreçleri

Eğitim planlamaları ve müfredatlar için İzmir'de Ağustos 2009'da düzenlenen ve Ankara İl Millî Eğitim Müdürlüğü'nün Energetik projesinin de ele alındığı bir çalıştay düzenlenmiştir. Bu çalıştayda, montaj teknisyeni eğitimi ve ileri düzey fotovoltaik eğitimi için gerekli temel ölçütler belirlenmiş ve eğitim paketleri için program taslak önerileri oluşturulmuştur.

Fotovoltaik Montaj Eğitim Kursu

Hedef Kitle: Ustalık Belgesine sahip veya Teknisyen/Tekniker diplomalı

Alan: Elektrik/Elektronik/Makina/Tesisat

Verilecek Belge: Fotovoltaik Montaj Elemanı Sertifikası (MEB Onaylı)

Eğitim Süresi: 5 gün (8 x 5=40 saat, 19 teorik+21 uygulama)

Ülkemizde fotovoltaik sistem kurulumu yapacak kişilerden, bu eğitimi alıp belgelendirmeleri istenmelidir. Montaj elemanları için

Tablo 2: Fotovoltaik Montaj Eğitimi kurs programı.

1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün
Yenilenebilir Enerji (1+0)	Fotovoltaik Modül Teknolojileri (1+1)	Evirici (MPPT) (1+1)	Şebeke Bağlantısız Fotovoltaik Sistemler (2+2)	Kontrol Koruma Bakım (3+1)
Mevcut Yasal Durum (1+0)	Fotovoltaik Ölçme ve Değerlendirme (1+1)	Denge Bileşenleri ve Bağlantıları (2)	Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler (2+2)	Sistem Montajı ve Çalıştırma (0+4)
Işınım ve FV Etki (1+1)	Enerji Depolayıcılar (1+1)	Denge Bileşenleri ve Bağlantıları (1)		
Temel Elektrik (*) (2+2) veya	Şarj Kontrol Üniteleri (1+1)	Taşıyıcı (Mekanik) Elemanlar (2+1)		
Temel Montaj (*) (2+2)				

(*): Ek modüller. Makina/Tesisat kökenli öğrenciler Temel Elektronik modülünü, Elektrik/Elektronik kökenli öğrenciler Temel Montaj modülünü alacaklardır.

bu temel eğitim gereğinin aranmaması durumunda, hızla artan talep karşısında, kalitesiz hizmet arzı ve olası tehlikelerin ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu denetimin sağlanabileceği yöntemlerin ve sertifikasyon sürecinin en kısa zaman belirlenerek ilgili kurumlar (TSE, MEB, EİE, ETKB) ile işbirliği içinde yürütülmesi çok önemlidir. Bu eğitim lisans düzeyinin altında olduğu için, MEB onaylı eğitim sertifikası ile belgelendirilecektir.

Bu amaçla ülkemizde mesleki standartların oluşturulması, düzenlenmesi ve sertifikasyonu ile ilgili olarak faaliyet gösteren Mesleki yeterlik Kurumu-MYK ile ortak bir çalışma ile yenilenebilir enerjiler ile ilgili mesleki standartların belirlenmesi ve oluşturulması üzerine işbirliğine gidilmektedir. Bu işbirliği sonrasında 2010 üçüncü çeyrekte, fotovoltaik alanı ile ilgili yeterlikler ve meslek standartları oluşturulmuş olacaktır.

Benzer biçimde fotovoltaik sistem projelerinin hazırlanmasında görev alacak kişilerin de bir eğitimden geçmeleri ve bunu belgelendirmeleri uygundur. Bu eğitim lisans düzeyinde bir eğitim olduğu için, sertifikasının EİE ve/veya TEDAŞ tarafından onaylı olması yeterlidir. Bu eğitimlerin verilmesi ve sertifikasyonu için, Elektrik Mühendisleri Odası ve Tesisat Mühendisleri Odası gibi meslek odaları ile birlikte çalışılacaktır.

İkinci eğitim paketi, yatırımcı, üretici, proje hazırlayıcılara yönelik bir eğitimi öngörmektedir. Üniversiteler ve özel kurumlar tarafından verilebilecek bu kurslarda, ilgili dallarda lisans mezunu kişiler ders verebileceklerdir. Ancak ders içerikleri ve kurs süresinin, aşağıda belirlenen ve daha sonra ayrıntılandırılacak olan temel çerçevede olmasının sağlanması gereklidir.

İleri Düzey Fotovoltaik Uygulama Kursu

Hedef Kitle: Bina Enerji Yöneticisi olabilme vasıflarına sahip olan kişiler

Verilecek Belge: Fotovoltaik Uygulayıcı Sertifikası (ETKB ve /veya EİE onaylı)

Eğitim Süresi: 10 gün

İçerik:

1. Enerji, Çevre, Işınım, Fotovoltaik etki
2. Yasal Hükümler, Sözleşmeler, Sigorta Kapsamı
3. Standartlar (Kalite Standartları)
4. Sistem Bileşenleri
5. Tasarım Boyutlandırma Optimizasyonu
6. Hibrid Kullanım
7. Maliyet
8. Montaj Bileşen ve Yöntemleri (+Uygulama)
9. Test, Kalibrasyon ve İzleme Yöntemleri
10. Bakım – Onarım (Koruma)
11. İş Güvenliği
12. Tasarım Uygulaması

Çalıştayda oluşturulan bu eğitim paketi taslakları, katılımcıların ve resmi kurumların katkıları ve düzenlemeleri ile son halini alacak ve sektörel eğitimde önceliklerin ve eğitim katmanlarının bir örneklemesi sağlanacaktır.

Bu kursların hazırlanması ve yürütülmesi ile kursu alanların istihdamı süreçlerinde, İŞKUR ve KOSGEB ile işbirliğine giderek istihdam artırıcı ve sürdürücü proje girişimleri de gerçekleştirilmektedir. KOSGEB'in nitelikli işgücü istihdamına yönelik destekleri, KOBİlerde eğitilmiş FV teknisyenlerinin çalıştırılmasına yönelik güzel bir başlangıç oluşturacaktır.

6. Farkındalık Projeleri

Eğitim ve standartlar grubunun bir diğer çalışma alanı da kamusal farkındalık ve bilinç artırmadır. Toplumda temiz enerji kavramının yerleşmesi, kabul görmesi ve talep edilmesi için gerekli çalışmaların yaygın medya üzerinden yapılması için gerekli düzenlemelerin planlanması amacıyla çeşitli girişimlerde bulunmaktadır. Yerel yönetimlerin süreçlere dâhil edilmesinin yaygınlaştırma ve kent uygulamalarının gerçekleştirilmesi için son derece önemli olması nedeniyle, belediyelerden katılım sağlanması için girişimler yapılmaktadır. Bu çerçevede, Antalya Büyükşehir Belediyesi ve Bornova Belediyesinin UFTP katılımları gerçekleştirilmiştir. ABB tarafından gerçekleştirilen güneş projelerine, UFTP tarafından katkı sağlanmaktadır. Benzer biçimde Bornova Belediyesi ile de görünürlük projeleri kapsamında çalışmalar yürütülecektir.

Platformun farkındalık kapsamında değerlendirilebilecek bir diğer girişimide, meslek odaları ve birliklerde verdiği/planladığı eğitimlerdir. Örneğin 2010 ikinci çeyrekte Türkiye Belediyeler Birliğinde, bütün Türkiye'den belediye yetkililerinin katılacağı, fotovoltaik teknolojisi ve uygulamaları üzerine kapsamlı bir bilgilendirme toplantısı planlanmaktadır. Benzer biçimde yine Ankara'da, OSTİM'de, konu ile ilgili yatırımcı, girişimci ve sanayicilere, FV teknolojisi ve üretim gereksinimleri üzerine bir eğitim verilecektir.

TemizDünya Derneği tarafından çıkarılan TemizDünya Rehberi'nin editörlüğü de UFTP-FVES tarafından üstlenilmiş ve yapılmıştır. Ayrıca TRT tarafından hazırlanan Nasıl Çalışır belgesel dizisinin "Güneş Pilleri Nasıl Çalışır" bölümünün hazırlanmasında katkı verilmiştir. Sektör ve çevre dergilerine verilen yazılar da bilgilendirme çalışmaları arasındadır.

Ülkemizde düzenlenen ve genelde yenilenebilir enerji, özelde fotovoltaik içerikli büyük fuar ve benzeri organizasyonların desteklenmesi de çok önemlidir. Bu kapsamda Mart 2010'da yapılacak Güneş Enerjisi Fuarında oturumların düzenlenmesi üstlenilmiştir. Fuar için planlanan etkinlik dizisi, teknik, teknolojik, ekonomik ve sosyal içerikler arasında bölüştürülmüş ve paralel oturumlar şeklinde yoğun biçimde sıralanmıştır. Böylelikle fuar ziyaretçileri, ilgi alanlarına göre istedikleri oturumlara katılabileceklerdir.

7. Test ve İzleme Merkezi

Türkiye'deki üreticilerin uluslararası pazara çıkma şanslarının sağlanması, ancak, uluslararası ve bazı durumlarda yerel standartlara uygun ürünler geliştirilmesi ile mümkündür. Türkiye'de üretim yapan firmaların ürünlerine sertifika alabilecekleri yerli bir kurum yoktur ve bu nedenle üretilen ürünlerin test edilmesi ve sertifikalandırılmaları için diğer ülkelerdeki test merkezleri kullanılmaktadır. Bu nedenle

Türkiye’de ve belki de birkaç bölgede birden, fotovoltaik ile ilgili hizmet, ürün ve süreçler için, test ve sertifikasyon merkezleri kurulmalıdır. Bu merkez(ler), yurtdışından gelecek malzemenin standart uyumlarını da test edecek kapasitelerde olacağı için, kalitesiz ürünlerin iç pazarı istilasını da önlemek mümkün olacaktır. Ancak bunun işlemesi için, yazılı düzenlemelerde standart uyum gereksinimlerinin ve sertifikasyonun belirlenmesi ve aranması gereklidir. Ayrıca şebeke bağlantılı sistemlerde üretilen enerjinin ekonomik ve istatistik nedenlerle izlenmesi de çok önemlidir. Görünen odur ki; önümüzdeki on yıl içinde özellikle kent elektriğinin ciddi bir kısmı dağıtık FV sistemlerden sağlanıyor olacaktır. Bu dağılımın izlenmesi için bir de, ulusal enerji takip sistemi kurulmalıdır.

Bu iki önemli ihtiyacın karşılanması için gereken Ulusal Enerji İzleme Merkezi ve FV Test Merkez(ler)inin oluşturulmasında, kamu kuruluşlarının da katıldığı ve yönlendirdiği oluşumlar planlanmaktadır. Bu amaçla diğer ülkelerdeki uygulamalar incelenerek, Türkiye koşulları ile karşılaştırılarak ilk adımlar atılmaya başlanmıştır. İkinci aşamada, yerleşik teşvik ve destek mekanizmalarından faydalanarak, sözü geçen tesislerin gerçekleştirileceği öngörülmektedir.

8. Örgün Eğitim ile ilgili düzenlemeler

Diğer alanlardaki tüm çalışmalara göre daha uzun erimli olan ve belki de uzun vadede en gerekli ve önemli konu, eğitim sistemimiz içinde genelde yenilenebilir enerji ve özelde güneşin vurgulandığı müfredat değişiklikleridir.

Temel eğitimde verilecek enerji verimliliği ve fotovoltaik bilgilerinin uzun vadedeki gerekliliği ne kadar önemliyse, mesleki ve teknik eğitimde de, çok büyük bir istihdam baskısıyla gelişecek olan sektörün nitelikli işgücü beklentisini karşılayabilecek bir yapı oluşturulması o kadar acil ve önemli bir ihtiyaçtır.

Dünyada mühendislik alanı olarak da yaygınlaşmaya başlayan fotovoltaik konusunda, meslek liseleri ve meslek yüksekokulları düzeyinde eğitim programları oluşturulmalıdır. Bu hedef doğrultusunda hem MYK, hem de MEB birimleri ile birlikte çalışılmaktadır. Mart 2010 içinde başlatılması muhtemel bir proje ile Türkiye’de fotovoltaik konusunda mesleki ve teknik eğitimin yapısını oluşturmaya başlayacağız.

VERİMİ ARTIRILMIŞ FOTOVOLTAİK PANELLER: HİBRİD PANEL (PV/T) TEKNOLOJİSİ İLE ELEKTRİK VE ISI ENERJİSİ ÜRETİMİ

İsmail Hakkı KARACA

SOLİMPEKS Enerji San. ve Tic. A.Ş.

1. Giriş

Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacı, alışılmış enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenişi, çevre ve ekolojik sorunlar, temiz enerji kaynaklarına ve özellikle güneş enerjisine olan ilgiyi artırmıştır. Güneşin sonsuz ve temiz bir enerji kaynağı olması, dünyanın enerji tüketiminin yaklaşık 10.000 katı kadar enerjiyi yeryüzüne göndermesi bu ilginin en önemli sebeplerini oluşturmaktadır. Güneş enerjisinden ısı uygulamalar ve elektrik üretimi şeklinde yararlanmak mümkündür. Isıl uygulamalarda termal kolektörler ve elektriksel uygulamalarda güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik (PV) modüller öne çıkmaktadır.

Dünyada PV modül üretimi yaygın olmasına rağmen PV modüllerin artan sıcaklıkla verimlerinin düşmesi ve buna bağlı olarak yatırım geri dönüş süresinin uzaması, güneşten elektrik üretimi yapacak sistemlerin yaygınlaşmamasındaki en büyük nedenlerdendir. PV modül kısmının sıcaklığının dolaşımli bir akışkan yardımıyla düşürmek mümkündür. Bu amaçla son yıllarda PV modüllerin tek başına kullanılmasına bir alternatif olarak aynı anda hem elektrik hem de ısı enerjisi üretebilen, PV modülün soğutma düzeneği ile birlikte kullanıldığı hibrit PV/termal (PV/T) sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar PV/T sistemlerin aşağıda verilen ana üstünlüklerini ortaya çıkarmıştır.

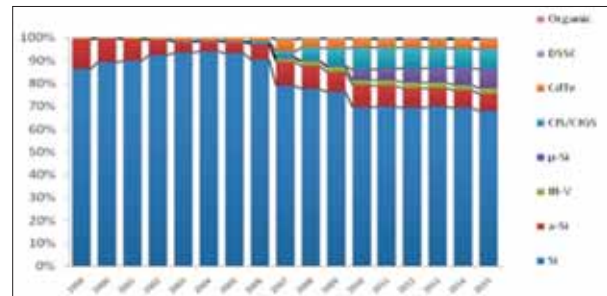
- ▶ PV modülün elektrik üretim performansı artmıştır.
- ▶ Hibrit PV/T sistemlerin kapladığı alandan üretilen elektrik ve ısı enerjisi toplamı, bu alanın yarısının PV modülle, kalan yarısının termal kolektörle kaplanmasından elde edilecek enerjiden daha fazladır.
- ▶ Termal kolektör ve PV modüllerin yan yana kurulması hem yer kullanımı açısından sıkıntı oluşturmakta hem de görüntü kirliliğine sebebiyet vermektedir. PV/T modüller, aynı alan içerisinde hem elektrik hem de sıcak su üreteceğinden yer tasarrufu sağlamakla birlikte görüntü ve çevre kirliliğinin azaltılmasına büyük katkıda bulunmaktadır
- ▶ Hibrit PV/T sistemlerin yatırım geri dönüş süresi, PV sistemlere göre daha düşüktür.
- ▶ PV/T sistemlerde, PV hücrelerin sıcaklıkları düşürüldüğünden dolayı hücre ömürleri artmaktadır.

Ülkemizdeki sanayi gelişimine paralel olarak elektriğe duyulan ihtiyaç artmaktadır. Coğrafi konum itibarıyla güneşlenme süresi yük-

sek kuşakta yer alan ülkemizde, PV/T sistemlerin performansları ve yatırım geri dönüş süreleri nedeniyle elektrik üretiminde önemli bir noktada olacağı düşünülmektedir. Enerji üretiminde PV/T modüllerin yaygın bir şekilde kullanılması, zararlı karbon ve sera gazlarının atmosfere salınım oranını düşürerek, KYOTO protokolü çerçevesinde karbon kredisi kazanımına katkıda bulunacaktır.

Dünyada ticari boyutuyla PV/T sistem üretimi ve pazarlaması girişi yapan firma sayısı 10 civarında olmasına rağmen, şu an aktif olarak satış yapan bir kaç firma vardır. Bu firmaların PV/T sistemleri modül halinde olmayıp, PV modül ile termal kısmın kurulum aşamasında özel bir yapıştırıcı ile birleştirilmesinden elde edilmektedir.

PV sektöründe faaliyet gösteren dünyanın önde gelen firmalarının, Yole Développement adlı araştırma kuruluşuna PV malzemeleri pazar payı ile ilgili olarak yaptıkları araştırmada, 1999-2008 yılları arasındaki değişim ve 2015 yılına kadar olan öngörüler Şekil 9'daki gibi ortaya çıkmaktadır [1]. Şekil incelendiğinde, günümüzde yaklaşık %80 pazar payına sahip olan kristalli silisyum (tek kristal ve polikristal) PV hücrelerin gelecekte yaklaşık % 75 civarında bir pazar payına sahip olacağı beklenmektedir. Kristalli yapıdaki PV hücrelerin veriminin sıcaklıkla önemli bir ölçüde azalması sebebiyle, PV modüllerin yerine PV/T sistemlerin kullanılmasının, enerji kazanımı açısından daha verimli ve bu yatırımların daha ekonomik olacağı görülmektedir. Bu nedenle, dünya PV pazarında PV/T sistemlerinin payının hızla artması beklenmektedir.



Şekil 9. Değişik PV Hücrelerin Dünya Pazar Payları Ve 2015 Yılına Kadar Olan Öngörüler [1]

Türkiye, düzlemsel termal kolektör kurulum kapasitesi açısından dünyada ikinci sıradadır [2]. Ancak PV modül kurulum kapasitesi açısından Avrupa ülkelerinin oldukça gerisinde yer almaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkarılan yasa ile yenilenebilir enerji kullanımı teşvik edilmeye başlanmış olup, bu teşviklerin artırılmasına çalışılmaktadır. Bu durum, PV sistemlerinin kullanımının ülke genelinde hızla yaygınlaşmasına sebep olacaktır. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin birçok ülkeye göre daha iyi olması sebebi ile kurulacak olan PV sistemlerinde, yukarıda belirtilen sıcaklık etkileri daha fazla önem kazanacaktır. Bundan dolayı, ülkemizde PV/T sistemlerine olan ilginin artması kaçınılmazdır. PV/T modüllerin ithal edilen ve edilecek bu tip sistemlerin yerini alması, fiyat ve kalite bakımından avantajlar sağlaması beklenmektedir.

2. Hibrid Panel (Pv/T) Teknolojisi

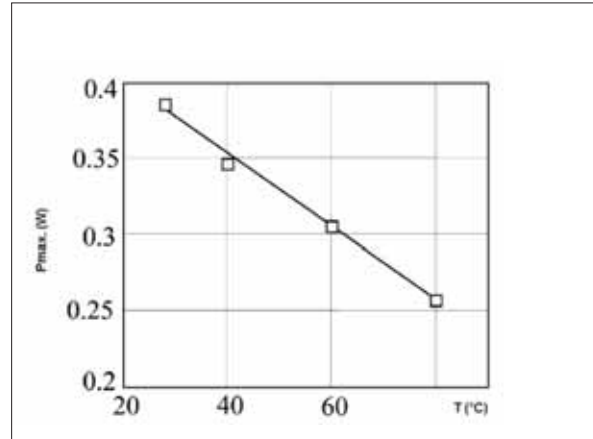
PV hücreler, son 50 yıl içerisinde bilim insanlarının üzerinde çalıştığı ve ülkelerin bu araştırma konularına verdiği önemli destekler neticesinde daha yoğun şekilde devam eden bir uygulama olarak görülmektedir. Araştırmalar, düşük maliyetli ve yüksek verimli PV hücrelerin elde edilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Çalışmalar sonucunda geliştirilen çeşitli PV hücrelerin ulaşılan maksimum hücre ve modül halindeki verimlilik değerleri **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli PV Hücrelerin Ulaşılan Maksimum Hücre Ve Modül Halindeki Verimlilik Değerleri [3,4]

Hücre türü	Laboratuvar şartlarındaki maksimum hücre verimleri (%)	Laboratuvar şartlarındaki maksimum modül verimleri (%)
Tek kristal silisyum	24.7	22.
Polikristal silisyum	20.3	15.3
Amorf silisyum	12.2	---
HIT	21	18.4
GaAs	25.1	---
InP	21.9	---
CdTe	16.5	10.7
CIGS	19.9	13.8
Organik	8.2	4.7

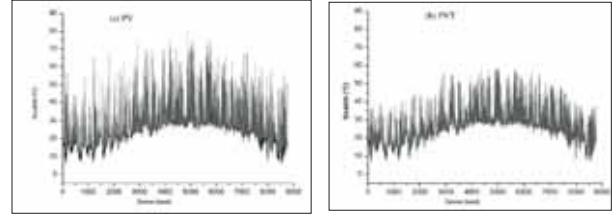
PV hücrelerin verimi artan sıcaklıkla azalmaktadır[5]. Bu sıcaklık etkisini azaltmak amacıyla, hem PV modülü hem de termal kısmı içeren uygulamalar ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. İlk çalışma, Delaware Üniversitesinde, K.W. Böer ve G. Tam tarafından, "Solar One" ismi verilen güneş evi için yapılan, hava ısıtma kolektörlerinin kullanıldığı PV/T uygulamasıdır [6]. Daha sonra, 1976 yılında, Martin Wolf tarafından düzlemsel termal kolektörün kullanıldığı PV/T çalışması gerçekleştirilmiştir. Wolf, bu çalışmada PV/T uygulamalarının PV güç sistemlerinin performansına etkilerini araştırmıştır [7].

İlk geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan PV hücreler tek kristal silisyum hücreler olduğundan, PV/T araştırmalarının büyük kısmı bu tip hücreler üzerinde yapılmıştır. [5]. Şekil 1'de tek kristal silisyum PV hücrenin maksimum güç-sıcaklık (Pm-T) grafiği görülmektedir. Sıcaklık arttıkça PV hücreden elde edilen gücün diğer bir deyişle birim zamanda dönüştürülen enerji miktarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Tek kristal silisyum modüllerde, hücrede oluşacak yaklaşık her 1 °C'lik artış, elektrik üretiminde % 0,45 - 0,50 arasında verim kaybına neden olmaktadır. [5,8].



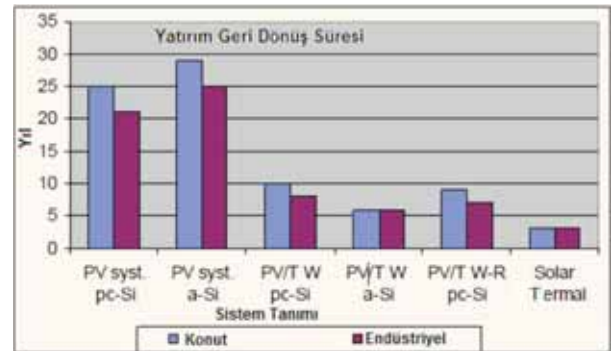
Şekil 1. Tek Kristal Silisyum Hücrenin Maksimum Pm(T) Güç Eğrisi [8]

Şekil 2'de; Hong Kong'ta tipik bir meteorolojik yıl (TMY: Typical Meteorological Year) için TRNSYS (The Transient Energy System Simulation Tool) programı kullanılarak yapılmış simülasyon sonuçları görülmektedir. PV hücrenin sıcaklığı 80 °C'lere kadar çıkmasına rağmen, aynı şartlarda yapılan PV/T simülasyonunda ise sıcaklığın en fazla 55 °C'de kaldığı gözlemlenmiştir [9].



Şekil 2. Tek Kristal Silisyum Teknolojisinden Faydalanan PV Modül Ve PV/T Kolektör İçin Sıcaklık-Zaman Simülasyon Grafiği [12]

Yapılan araştırmalar, PV modüle göre, PV/T uygulamaların hem performans hem de ekonomiklik yönünden iyi sonuç verdiğini göstermektedir [10]. Şekil 3'te farklı PV güç sistemlerinin geri dönüşüm süreleri verilmiştir [11]. Şekilde görüldüğü gibi, polikristal Si (pc-Si) PV modüllerin kullanıldığı güç sistemlerinde bu süre, konut uygulamalarında yaklaşık 25 yıl, endüstriyel sistemlerde ise yaklaşık olarak 21 yıldır. Fakat PV/T hibrit sistem ile bu değerler konutlarda 10 yıla, endüstriyel PV/T sistemlerde ise 8 yıla kadar düşmektedir.



Şekil 3. PV Ve PV/T Sistemlerin Yatırım Geri Dönüş Süreleri [11]

Yurtiçi, yurtdışı sektörel /ihtisas fuar ziyaretleri ve mevcut ürün pazar analizi sonucunda akışkan soğutmalı PV/T sistem üreten ve prototipini geliştiren firmaların olduğu tespit edilmiştir. Bu firmaların isimleri **Tablo 3**'te verilmektedir.

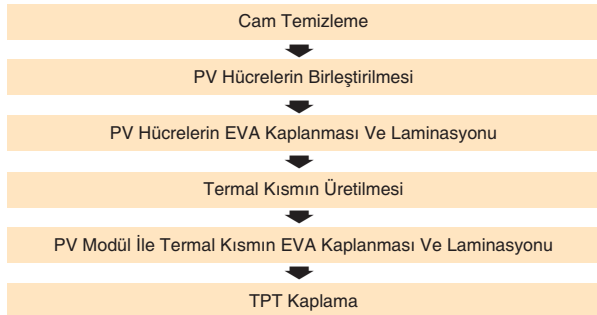
Tablo 3. PV/T Ürün Çeşitleri Ve Üreticileri [12]		
Firma ismi	Açıklama	Durumu
Millennium Electric	Ticari olarak camsız PV/T sistemler üretmektedir.	Üretilmekte
PV/TWINS	Ticari olarak camlı PV/T sistemler üretmektedir.	Üretilmekte
Solon	Ticari olarak camsız PV/T sistemler üretmektedir.	Üretilmekte
Zenit	PV/T prototip üretilmiş ancak ticari üretime geçilmemiştir.	Prototip
Sollektor	PV/T prototip üretilmiş ancak ticari üretime geçilmemiştir.	Prototip
ICEC	PV/T prototip üretilmiş ancak ticari üretime geçilmemiştir.	Prototip

Test sonuçlarında PV/T modülden sağlanan parametrelere ilişkin değerler **Tablo 4**'te sunulmuştur. Bu değerler Standart Test Şartlarında (STC) elde edilen değerlerdir.

Tablo 4. PV/T Modülden Elde Edilen Parametre Değerleri		
Parametre	Birim	Hedeflenen Değer
Ortalama elektriksel güç (Wp)	(Watt)	≥ 175 (ikinci cam yokken)
Güç Toleransı	($\pm$ %)	3
Nominal gerilimi	(Volt)	36
Elektriksel verimi	(%)	$\geq 13,7$
Maksimum sistem gerilimi (Vsys)	(Volt)	1000
Termal verimi	(%)	≥ 55 (ikinci cam varken)
Maksimum Çalışma Basıncı	(bar)	10

3. Hibrid Panel (Pv/T) Üretim Aşamaları

PV/T modül prototipinin yapım aşamalarının blok diyagramı **Şekil 6**'da verilmiştir.

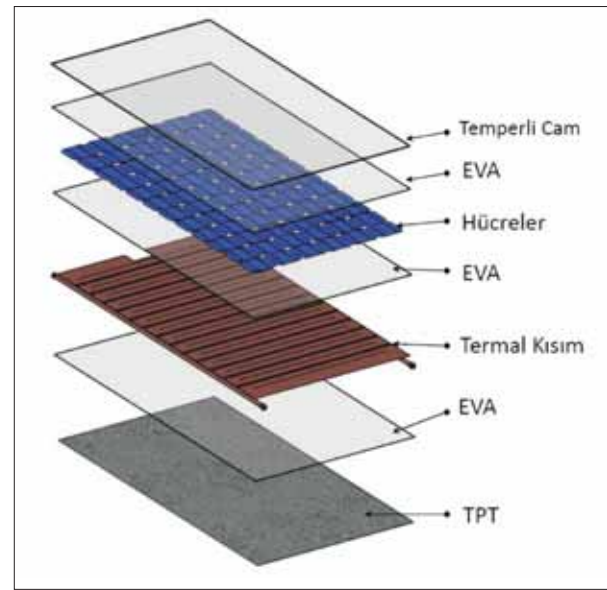


Şekil 6. PV/T Modül Üretim Aşamaları

Önce, PV hücrelerin konumlandırılacağı cam yüzey temizlenmektedir. Üzerine EVA kaplama serilmektedir. Yapılacak üretime ve üretilen güçte göre PV hücreler seri ve paralel bağlanarak

PV matris elde edilmekte, pozitif ve negatif uçlar yalıtılan olan EVA parçalarıyla birbirinden ayrılmaktadır. Bu işlem sonucu oluşan PV matris yüzeyine tekrar EVA kaplama serilmekte ve laminasyon işlemi gerçekleştirilerek PV modül elde edilmiş olmaktadır. Bu PV modülün her bir sütununun veya satırının altına bir termal soğurucu yüzey gelecek şekilde termal kısım PV modül altına yerleştirilmektedir. EVA ve TPT kaplanarak laminasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Termal kısımdaki soğurucu yüzey giriş ve çıkış boruları manifolda takılmakta ve elektrik bağlantı kutusu monte edilerek ürün tamamlanmış olmaktadır. PV/T modülün patlatma resmi **Şekil 7**'de verilmektedir.

Ürün testleri yapılırken, PV hücrelerinin seri ve paralel kombinasyonları, termal kısım için farklı materyal denemeleri, PV/T modülün



Şekil 7. PV/T Modül Patlatma Resmi

dayanıklılık testleri, PV/T modülün camlı/camsız performansı, PV/T modülün camlı/camsız elektriksel ve termal verimi parametreleri dikkate alınmakta ve ölçülmektedir.

4. Sonuç

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) incelendiğinde ülkemizdeki en düşük güneş ışınımına sahip olan kuzey bölgelerde m²'ye düşen yıllık ışınlam miktarı 1.450 kW olarak görülmektedir. Bu değer güneş enerjisi sistemleri konusunda dünyanın önde gelen yatırımcı ve teşvikçi ülkelerinden Almanya'da en iyi değerlere sahip Ulm ve Augsburg gibi şehirlerde 1.400 kW civarındadır. Güneş konusunda ortaya konulan bu değerler ülkemizde konuya verilen önemin ne denli düşük olduğunun bir göstergesi iken, sektörde ileri teknoloji ürünlere duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

Ülkemizde PV modül üretimi ile ilgili çalışmalar halen devam etmekte olup, bazı girişimler Türkiye'deki ilk modül üretimlerini gerçekleştirdiğini belirtmektedir. Bu noktada yerli kaynaklar kullanılarak geliştirilen PV/T modüller pazara bir alternatif sunmaktan öte,

pazarın gelişmesine ve yeni yatırım alanlarının doğmasına katkı sağlayacak bir girişim olarak öne çıkmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Opportunities for equipment and materials in Photovoltaic, Yole Développement. http://www.imicronews.com/upload/conference/Yole_Developpement_Opportunities_in_PV_Semicon_Europe.pdf
- [2] Renewables Global status Report 2009 Update. http://www.iea.org/files/Renewables_Global_%20Status_report.pdf
- [3] Kadirgan, F., Güneş Enerjisi teknolojileri, İTÜ 'de yapılan çalışmalar ve binalarda uygulamaları, 8. Ulusal Tesisat Müh. Kongresi, İzmir (2007) 245-250.
- [4] Solopower Inc., <http://www.solopower.com/thinfilms.html>
- [5] Bergene, T., Lovvik, O. M., Model calculations on a flat plate solar heat collector with integrated solar cells, Solar Energy 55 (1995) 453–462.
- [6] Boer, K.W., Tamm, G., Solar conversion under consideration of energy and entropy, Solar Energy 74 (2003) 525-533.
- [7] Wolf M., Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences, Energy Convers 16 (1976) 79–90.
- [8] Radziemska, E., The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells, Renewable energy 28 (2003) (11) 1-12.
- [9] Chow, T.T., Performance evaluation of photovoltaic–thermosyphon system for subtropical climate application, Solar Energy 81 (2007) 123–130.
- [10] Huang, H.J., et al., Performance Evaluation of Solar Photovoltaic/Thermal Systems, Solar Energy 70 (2001) 443-448
- [11] Tselepis, S., Tripanagnostopoulos Y., Economic Analysis of Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems and Comparison With Standard PV Modules, PV in Europe-From PV Technology to Energy Solutions, Rome, Italy (2002).
- [12] Zondag, H. A., Helden, W. G. J., Bakker, M., Affolter, P., Eisenmann, W., Fechner, H., Rommel, M., Schaap, A., Sorensen, H., Tripanagnostopoulos, Y., PV/T roadmap: a European guide for the development and market introduction of PV/T technology, The 6th Framework Programme, 2005.

SOLAR PV: THE ROUTE TO GRID PARITY AND KEY REQUIREMENTS FOR THE JOURNEY

Jerry STOKES

President

Suntech Power International Ltd.

Abstract

The enormous global solar resource available is well recognised as is the tremendous potential this offers for Photovoltaic Solar PV.

In order that Solar PV can take a leading role in providing reliable, clean, zero carbon, renewable energy several key factors must be addressed:

1. **Cost:** Cost of energy generated must be compatible with that of other renewable technologies and must be convergent with the cost of traditionally generated energy.
2. **Scale:** Scale of manufacturing must be at the Multi-Gigawatt level in order to “make an impact and make a difference”.
3. **Reliability:** Reliable and Robust technology and manufacturing is necessary to ensure long life, optimised performance and reliability of energy generation.
4. **Legislation:** Support by legislation at national level is essential to encourage long term investment by manufacturers, resellers, system designers, installers and end customers.

The presentation will address each of these key factors drawing upon the experience of Suntech a global leading PV technology company and the world’s largest manufacturer of crystalline PV modules.

YENİLENEBİLİR ENERJİ İÇİN ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Muhsin MAZMAN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Cem KAYPMAS

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Davut UZUN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Emre BİÇER

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Alpaslan YILDIZ

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

Mustafa TIRIS

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü

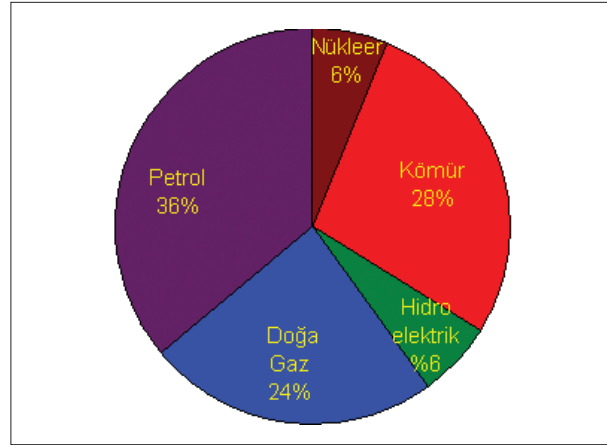
Özet

Bu gün için Dünya enerji ihtiyacı büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu nedenle Dünya enerji sektörü petrol ve kömür gibi kaynakların aşırı kullanımı, fazla enerji tüketiminden kaynaklı çevresel tahribat ve kaynakların tükenmesi problemleriyle yüz yüzedir. Fosil kaynakların kullanımının azaltılması için yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması önerilmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi için en yaygın olarak kullanılan yöntemler rüzgar ve güneş enerjisi sistemleridir. Bu sistemlerde üretilen enerji süreç açısından kesikli ve yoğunluk açısından değişkendir. Bu durum şebeke üzerinde gerilim sorunları yaratmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin şebekeye doğrudan bağlanması sorunlara sebep olmaktadır. Bu sorunları gidermek için önerilen çözüm yollarından biri de üretilen elektrik enerjisinin depolanmasıdır. Elektrik enerjisini depolamada bataryalar, volanlar, ısı güneş elektrik depolama, pompalanmış su depolama, sıkıştırılmış havalı enerji depolama ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri kullanılmaktadır. Bu makale elektrik enerjisi depolama sistemleri, uygulama alanı ve büyüklüğüne göre sistem seçim kriterleri hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemleri ile kullanılabilecek batarya teknolojileri hakkında bilgiler içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Enerjisi Depolama, batarya, yenilenebilir enerji, Pb-asit

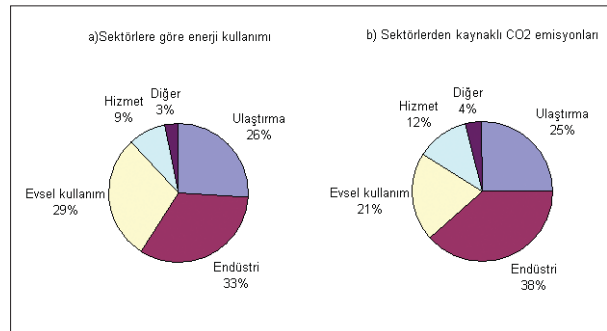
Giriş

Günümüzde dünya enerji gereksinimi büyük oranda fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenmesi, toplumlar üzerinde siyasal ve ekonomik baskılar yaratmaktadır. Bunun yanında fosil yakıt kullanımının çevre üzerinde olumsuz etkileri bilinmektedir. Fosil yakıtların yanma ürünü olarak açığa çıkan COX, NOX, SOX gibi gazların atmosferdeki miktarının artması; asit yağmurlarına, ozon tabakasının zarar görmesine, sera etkisinin ve atmosferdeki uçucu organik bileşiklerin miktarının artmasına sebep olmaktadır. Tüm bu yanma ürünleri kadar önemli olan diğer bir unsur da ısı kirliliğidir. Her tür yanma sonucu açığa çıkan ısı küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu sebeple yakma teknolojilerine gereksinimi azaltacak sistemleri geliştirmek ve yaygınlaştırmak önem kazanmaktadır.



Şekil 1. Dünya Enerji tüketimi [1]

Şekil 1' den de görüleceği gibi dünya % 75-80 oranında fosil yakıtlara bağlı durumdadır. Şekilde yer almayan çeşitli yenilenebilir kaynakların toplam payı %1 civarındadır. Yenilenebilir kaynaklar dahil farklı alternatifler üzerine yoğun olarak çalışmalar yürütülmekle birlikte dünyanın yükünü şimdilik fosil yakıtlar çekmektedir. Yakın bir gelecekte tükenme tehlikesi olmasa bu durumu sadece çevresel kaygılarla



Şekil 2. (a) Sektörlere göre enerji kullanımı (b) Sektörlerden kaynaklı CO₂ emisyonları [2]

değiştirmek pek kolay olamayacaktır. Ancak kaynağın sonlu olması çalışmaları kaçınılmaz hale getirmektedir.

Şekil 2'de dünyadaki enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımını ve sektörlerden kaynaklı emisyonlar verilmiştir. Tüketimlerdeki oransal paylar korunsa da toplam ihtiyaç duyulan enerji miktarı sürekli artmaktadır. Enerji arz güvenliği için mevcut kaynakları daha verimli kullanmak, gelecekte mevcut kaynaklara destek olacak ve/veya yerini alabilecek yeni kaynaklar üzerine çalışmak gerekmektedir.

Bu gün için rüzgar ve güneş temelli yenilenebilir kaynaklar çözüme katkı sağlamak noktasında önemli alanlar olarak görülmektedir. Ancak her iki kaynağında uygulamada karşılaşılan sorunları vardır. Bu sorunlar şu şekilde özetlenebilir;

- Rüzgar ve güneş şiddetinin homojen olmamasından kaynaklı üretimde dalgalanma
- Kaynakların sürekli olmamasından dolayı üretimde kesintiler
- Üretilen kesikli, farklı şiddet ve yoğunluktaki elektrik enerjisinin şebekeye doğrudan beslenememesi

Şebekenin kabul edebileceği dengesiz yük sınırları %5'i geçmemelidir. Kurulu dağıtım hatları düşünüldüğünde yenilenebilir kaynakların payı arttıkça iletim hatları burada üretilen dengesiz yükü kabul edemeyecektir. Bu durumda ya yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik miktarı iletim hatlarının kabul kapasitesiyle sınırlandırılacak, ya da iletim hatları geliştirilecek, uygun evirici/çeviriciler geliştirilecek ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi depolanarak şebekeye beslenecektir.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin kaynaklara sahiptir. Bu kaynakların değerlendirilmesi için Enerji Bakanlığı bağlı müdürlükler aracılığıyla önemli çalışmalar yürütmektedir. Rüzgar ve Güneş potansiyellerimizin belirlenmesine yönelik haritalama çalışmaları ülkemizdeki rüzgar enerjisi potansiyelinin 48000 MW olduğunu hesaplamış olup ve 2020 yılına kadar bu potansiyelin 20000 MW'lık kısmını kullanılabilir hale getirmek hedeflenmektedir. Enerji Bakanlığı tarafından oluşturulan güneş atlasında 1650 KWh/m²-yıl üzerinde güneş radyasyonu alan bölgeler güneş termik santrali kurulabilir alanlar olarak belirlenmiştir. Çalışmada coğrafi koşullarda gözlemlenerek yapılan değerlendirme sonucu 380 milyar KWh/yıl'lık bir potansiyel hesaplanmış olup bu değer 56000 MW kurulu güçteki doğal gaz santralinden üretilen elektrik enerjisine eşit olarak değerlendirilmiştir[3].

Her iki alanda ülkemiz açısından büyük imkanlar bulunmaktadır. Bu imkanların yanında teknolojik kısıtlarımız mevcuttur. Enerjiyi üretecek, depolayacak, dağıtacak ve/veya şebekeye besleyecek sistemlerin teknolojisinin kazanılması gerekmektedir[4].

Gelecek öngörülerini yenilenebilir kaynaklara önemli roller vermektedir. Bu durumda yenilenebilir kaynakları etkin kullanabilmek için çözümler üretmek gerekmektedir. Bu bildirinin konusu yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin etkin kullanılabilmesi için önerilen depolama çözümlerini açıklamak ve etkinlik sınırlarını kıyaslamaktır.

Elektrik Enerjisi Depolama Gereksinimi

Elektrik enerjisini depolama ihtiyacı sadece yenilenebilir kaynaklar için var olan bir sorun değildir. Büyük ölçekli sabit alanda elektrik depolama 3 amaç için yapılmaktadır.

- Enerji Kalitesi (Power Quality): Enerji kalitesinin sürekliliğini sağlamak için sadece saniyeler ya da daha kısa süreler mertebesinde yapılan depolama
- Gücü destekleme (Bridging Power): Saniyelerden dakikalar mertebesine kadardır. Farklı enerji üretim merkezlerini kesme/devreye almada enerjinin sürekliliğini sağlamak için yapılan depolama
- Enerji Yönetimi (Energy Management): Elektrik enerjisinin üretildiği ve tüketimine ihtiyaç duyulduğu zamanlarındaki farklılıkları çözmek için depolama. Enerjinin üretim fazlası olduğu (ucuz olduğu) zamanlarda depolanması ve ihtiyaç zamanlarında kullanılmasıdır ki saatlerce şebekeden bağımsız enerji kullanma olanağı sağlar.

Yenilenebilir kaynaklarla ilgili ihtiyacın çözümünde bu üç alanında kullanılması gerekebilmektedir. Bu gereksinimler doğrultusunda enerjii depolama kısa, orta ve uzun dönemli olarak yapılabilir.

Kısa dönemli (sn-dk mertebesi)

Kesintisiz güç kaynakları, Güç dengeleme sistemleri

Orta dönemli (dakika-saat)

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik Üretimi, Şebekeye besleme, Voltaj dengeleme, pik taşıma

Uzun dönemli (saat-gün/ay)

Büyük depolama (pompanmış su, ergimiş tuz, basınçlı hava), Gece ucuzken depola/gündüz üret

Elektrik Enerjisi Depolama Teknolojileri

Elektrik enerjisini depolamada bilinen en eski ve etkin yöntem elektrğin kimyasal enerji olarak bataryalarda depolanmasıdır. Kullanılan kimyasal yapıya bağlı olarak bir çok batarya çeşidi mevcuttur. Depolanacak enerjinin miktarı arttıkça geleneksel bataryalar çözüm üretmekte zorlanmaktadır. Bu noktada yeni teknikler ve yeni batarya çeşitleri gündeme gelmektedir.

Elektrik enerjisini depolamada aşağıdaki teknikler kullanılmaktadır:

- Bataryalar
 - Pb-asit
 - Derin deşarjlı Pb-asit
 - AGM VRLA
 - Jel Pb-asit
 - NiCd
 - NiMH
 - Li-iyon
 - Metal-hava
 - NaS
 - Flow Battery (akışlı batarya)
 - VRB (Vanadyum redoks batarya)
 - ZnBr (çinko bomür redoks batarya)
 - PBS (polysilfid redoks batarya)
- Süper kapasitörler
- Volan (Flywheel)
- Isıl Güneş elektrik depolama (Solar thermal electric storage (STES))
- Pompanmış su depolama (Pumped hydro storage (PHS))
- Sıkıştırılmış hava enerji depolama (Compressed air energy storage (CAES))
- Süper iletken manyetik enerji depolama (Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES))

Bataryalar

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayarak ihtiyaç anında tekrar elektrik enerjisine çeviren sistemlere pil (cell), pillerin seri veya paralel bağlanarak oluşturdukları yapıya akümülatör (batarya) denmektedir. Piller; birincil (Primer) tip (Çinko-karbon, çinko-klorür, alkali-mangan, çinko-hava, gümüş-çinko, lityum temelli piller v.b.) ve ikincil (sekonder) tip bataryalar (Nikel-kadmiyum, nikel metal hidrür, lityum iyon, lityum iyon polimer v.b.) olarak ikiye ayrılırlar. Birincil piller şarj edilemez olup kullanımları bitince yenilenirken ikincil piller elektrik kaynağı ile tekrar şarj edilebilme özelliğine sahiptirler. Kimyasal reaksiyonlardan alınacak olan elektrik enerjisi miktarı, 100 mWh düşme pilinden 100 MWh'lik kesintisiz güç kaynakları bataryalarına kadar oldukça geniş bir aralık göstermektedir. Bu çeşitlilik; çok özel elektriksel karakteristikleri sağlayan, farklı batarya teknolojilerini ve hücre tasarımlarını kapsamaktadır.

Sabit uygulamalar yanında özellikle taşınabilir elektronik sistemlerin gelişimine paralel olarak depolanmış enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Taşınabilir sistemlerin (haberleşme araçları, uzay ve uydu sistemleri, hibrit ve elektrikli araçlar, güneş ve rüzgardan üretilen elektriğin depolanması vb.) ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin depolanması için kullanılan mevcut en yaygın teknoloji kimyasal pillerdir.

Ülkemiz batarya sektörü sadece kurşun asit akülerin üretilmesi alanında faaliyet göstermektedir. Kurşun asit akümülatörler dünya batarya pazarında %50'nin üzerinde pay sahibidirler.

Lityum temelli piller küçük gereksinimde etkinken büyük sistemler için pahalı olmaktadır. Güvenli kullanım için zorunlu olan kontrol devreleri maliyeti artırmaktadır. Bu sistemler hibrit araç uygulamalarında gelecek vaat ederken daha büyük enerji depolama gerektiren yenilenebilir kaynaklarda uygulanabilir görünmemektedir. Aynı durum NiMH piller içinde söz konusudur.

Metal hava sistemleri enerji yoğunluğu olarak çok büyük olsa da şarj edilmelerinde sorunlar vardır. Yeniden şarj verimi %50 civarındadır. Primer (şarj edilemeyen) kullanımın çözüm olabileceği özel uygulamalarda değerlendirilebilir.

Güneş pilinden elde edilen enerji depolamak için NiCd tip bataryalar zaman zaman kullanılsa da bu sistemlerde büyük oranda



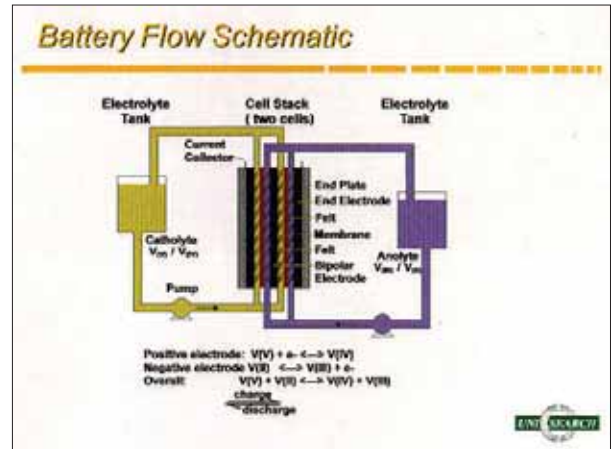
Şekil 3. NaS batarya [5]

derin deşarjlı Pb-asit modelleri (VRLA, AGM, Jel) kullanılmakta olup 1MW'ın üstünde fazla uygulama yoktur. En büyük uygulama 1988 de 40 MWh-Chino, Kaliforniya da kurulmuştur. Bu tercihte fiyat-performans istekleri önemli olmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik elde eden sistemlerde akü gurupları ihtiyaç duyulan akım ve gerilim değerlerine göre seri ve paralel bağlantılar kullanılarak çoklanır. Türkiye de kurşun asit akü üretimi yapan irili ufaklı birçok firma olmasına karşın AGM, VRLA tipi ve jel tipi akü üretimi büyük çoğunluğun ürün yelpazesinde yer almamaktadır.

Rüzgar enerjisinin depolanmasında güneş için kullanılan aküler yoğun olarak kullanılmakla birlikte rüzgar tarlası kurulan bölgelerde akü blokları yerine alternatif olarak NaS (sodyum sülfür) bataryalar ve redoks bataryalar kullanılmaktadır. NaS bataryalar Japonya da ticari olarak kullanılmakta olan sistemlerdir. Çalışma sıcaklığı 300 °C ve verimi %89'dur. Anot olarak Na ve katot olarak ergimiş kükürt kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklı bir sistem olduğundan işletme şartları zordur. Japonya da 190 kurulu tesis 270 MW kurulu güç bulunmakta olup Pik zamanlarda 6 saat çalışmaktadır. En büyük pil 34 MW olup ABD 9 MW tek modül yapmaktadır. Bu gün için Dünya da yıllık üretim kapasitesi 90 MW olup 2010 için ABD, Japonya, Avrupa da 150 MW tesis planlanmaktadır.

Redoks bataryalar (flow battery olarak ta adlandırılmaktadır) elektrokimyasal bir enerji depolama sistemidir. Elektrolitler aktif malzemeleri içerir ve bir birinden ayrı tanklarda depolanır. Tanklar ayrı olduğundan çalışmadığı zaman negatif ve pozitif aktif maddeleri arasında temas yoktur. Dolayısıyla kendiliğinden deşarj oldukça küçüktür. Çalışır durumdayken; tanklar içinde yer alan aktif madde içeren elektrolit bir pompa yardımıyla tankların dışındaki dizgelerde içinde dolaştırılır. Dizgeler yakıt pillerinde de kullanılan membranlarla ayrılmıştır. Reaksiyon bu membran yardımıyla dizgelerde gerçekleşir. Elde edilen elektrik dış devreden kazanılır.

İlk yapılan şekli Zn/Cl batarya olup Zn/Br, vanadyum (1.41 V at 25 °C) ve sodyum sülfat/sodyum polisülfat kullanan çeşitleri bulunmaktadır. Bataryanın kapasitesi kullanılan elektrolitin miktarı artırılarak artırılabilirdiğinden rüzgar tarlalarında yüksek miktarda enerjinin depolanması için kullanılabilir. Büyük sistemler



Şekil 3. Redoks batarya [6]

de bir tesis gibi çalışmakta olup 1 kW'tan başlayarak MW'lar mertebesine kadar elektriğinin depolanmasında ve gece ucuz elektriği depolama olanağını kullanmak için kurulmaktadır. Türkiye de bu uygulamalarla ilgili çalışma bulunmamaktadır.

Süper Kapasitörler

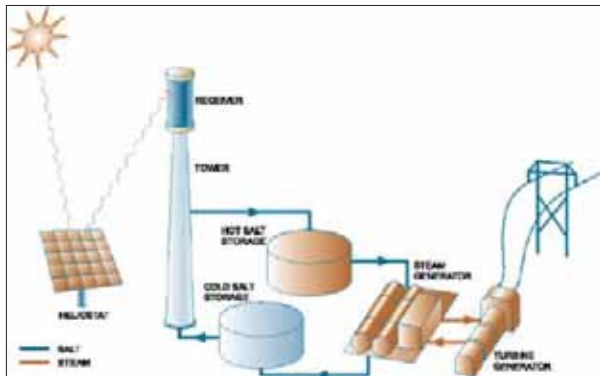
Ultrakapasitör ve süperkapasitör deyimi genel olarak sıvı elektrolit içerisindeki çok yüksek yüzey alanına sahip karbon iki elektrot arasında elektrik depolayabilen cihaza verilen genel addır. Enerji elektrotlar arasında şarj transferiyle depolanır. Depolayabildiği enerji düşük olmasına karşın güç seviyeleri yüksektir. Çok hızlı şarj/deşarj olabilmesi, 10000'den fazla şarj/deşarj çevrimini rahatlıkla sağlaması önemli avantajlarıdır. Süper kapasitörler enerjinin depolanmasından çok gücün dengelenmesinde kullanılmaktadır.

Volan (Flywheel)

Depolama kinetik enerji şeklindedir. Büyük hacimli bir kütle dönmeye daha küçük volanlar hızlı dönme hareketi yapar. Güç yoğunluğu yüksek, enerji yoğunluğu düşüktür. Süper kapasitörlerde olduğu gibi kısa süreli depolamalarda etkindir. Özellikle mobil uygulamaları daha yaygındır. Tren/metro ve araç uygulamalarında olduğu gibi kısa sürelerde yüksek hızlara çıkıp hemen ardından kısa sürelerde çok düşük hızlara inildiği durumlarda kullanılmaktadır. Hızlanma periyodunda volan çok yüksek hızlara çıkmakta yavaşlamada dönem hareketine devam ederek hızlanırken verilen enerjiyi depolamaktadır. Yavaşlama basamağından sonra tekrar hızlanırken kinetik enerji olarak depolanan enerji sisteme beslenerek geri kazanılmaktadır.

Isıl Güneş Elektrik Depolama (Solar Thermal Electric Storage (Stes))

Bu sistemde Güneş enerjisi odaklayıcı aynalar kullanılarak bir kuleye yönlendirilerek kulede yüksek sıcaklıklar elde edilir. Gün içinde bir akışkan kuleden geçirilerek buhar elde edilir ve bu buhar bir türbine beslenerek elektrik elde edilir. Kulede oluşan fazla ısı ile tanklarda depolu tuz ısıtılarak ergitilir. Güneş olmadığı zaman ergimiş tuzlarda depolanmış ısı akışkanı buharlaştırarak türbine buhar beslemek için



Şekil 3. Isıl güneş enerji depolama [7]

kullanılır. Tuz olarak tanklarda %40 KNO₃ + %60 NaNO₃ karışımı kullanılır. Depolama tanklarında ulaşılan sıcaklık 240-565 °C arasındadır. Bu ısı türbinlere gidecek suyu buharlaştırmak için kullanılır. Ticari kurulumu mevcut olup 50 MW - 200 MW kapasitelerde kurulumlar bulunmaktadır.

Pompalanmış Su Depolama (Pumped Hydro Storage (Phs))

Suyun hidrolik enerjisinden faydalanmak için potansiyel enerji şeklinde depolanmasıdır. Su kaynağına yakın kot farkı olan bölgelerde yüksek noktada bir gölet oluşturularak düşük seviyelerdeki su yüksek noktalara pompalanarak depolanır. Potansiyel enerji olarak depolanmış su hidro elektrik santrallerinde olduğu gibi bir türbine beslenerek elektrik elde edilir. Bu sistemde su pompalamak için gerekli elektrik enerjisi gece ucuz tarifieden sağlanabileceği gibi bölgede yenilenebilir kaynaklarla elde edilen elektrik enerjisi de bu şekilde depolanabilir. Bu sistemleri dezavantajı büyük hacimli göletler oluşturma riskinin ekolojik dengeyi değiştirme riskinin varlığıdır. Ayrıca uygulanması için su kaynağı ve coğrafi olarak uygun alan gerektirir. Buna karşın temiz enerji depolaması, depolama çevrim sayısının çok yüksek olması ve depolama hacminin büyük olması önemli artırlardır.



Resim 1. Pompalanmış su Depolama [8]

Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (Compressed Air Energy Storage (Caes))

Hava yer altı maden yataklarında ya da tuz kayaları içine açılan oyuklarda depolanır. Yer altındaki bu oyuklar doğal oyuklar, terk edilmiş maden yatakları v.b. olabileceği gibi oyuk tuz yatağındaki tuzu ergiterek de açılabilir. Bu işlem zorlu ve uzundur. Depolamaya yeterli

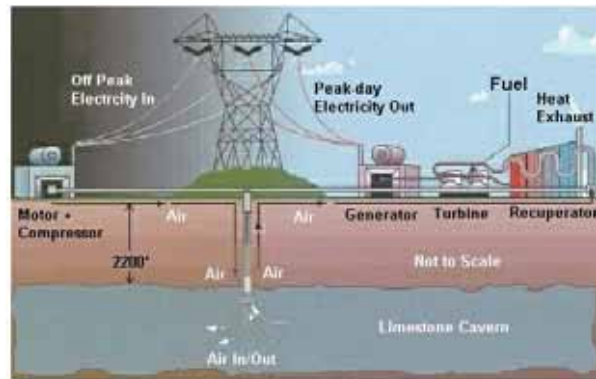


Photo Courtesy of CAES Development Company
Şekil 6. Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama [9]

büyükte bir oyuk Yaklaşık 1,5-2 yılda açılabilir. Gaz türbinlerinde kullanılan gazı %40 oranında azaltarak aynı miktar elektrik üretimi sağlayan bir sistemdir. Sistem elektriğin ucuz olduğu saatlerde harcandığı yakıtın 2/3'ü kadarını havayı tuz yataklarına basmak için

kullanır. Üretime gereksinim olan zamanda türbine/piston hareketine bu hava beslenerek gaz tüketimi düşürülür.

İlk ticari sistem 290 MW olup Hundorf, Almanya'da 1978 de kurulmuştur. En büyük uygulaması 2700 MW olup Norton, Ohio dadır. Bu tesis yapım aşamasında olup. 9-ünite havayı 103 bar da 670 m derinlikteki kireçtaşı madenine basacaktır.

Süper İletken Manyetik Enerji Depolama (Superconducting Magnetic Energy Storage (Smes))

Enerji iyi izole kaplardaki çok soğuk sıvılar (Sıvı helyum) içine yerleştirilmiş süper iletken bobin içinde depolanır. Enerji DC elektrik akımının, sıfıra yakın dirençteki süper iletken bobinlerde manyetik olarak dolaşmasıyla depolanır. Buzdolabı büyüklüğünde alanda 250 kW-h enerji mikro-saniyelerle ve mükemmel bir gerilim dengesinde depolanır. Ancak depolama kısa sürelidir (1-60 sn). Kapasite 0,3-3 MW arasında olup verim %90 dolayındadır. Sistemin maliyeti yüksek olup özel uygulamalarda uygulama alanı olabilir.

Depolama Teknolojilerinin Kıyaslaması

Elektrik enerjisi depolama teknikleri uygulamanın türü, yeri ve büyüklüğüne bağlı olarak birbirlerine göre üstünlüğe sahiptir [10]. Sistemlerin uygulamaya göre kıyaslamalı tablosu şu şekildedir:

Sonuç

Uygulama türü, gereksinim, doğal imkanlar ve maliyet değerlendirilip en uygun depolama tekniği seçilmelidir. Küçük uygulamalarda batarya blokları kullanılabilir. Gerilim dengeleme ve güç kalitesi arttırmada flow batarya, flywheel, süperkapasitör ve SMES değerlendirilmelidir. Akifer bölgelerinde, terk edilmiş tuz/maden yataklarında basınçlı hava depolama uygulaması çalışılabilir. Pompalanmış su

depolama önemli bir alan olup değerlendirilmelidir. Bu sistemleri hibrit kullanan çözümler çalışılmalıdır.

Kaynaklar

1. BP Statistical Review of World Energy 2007, BP p.l.c.
2. Worldwide trends in Energy use and efficiency, IEA, Energy indicators, 2008
3. Mazman M., "Enerji Depolama Teknolojileri", Kimya Mühendisliği Dergisi, sayı:173, sayfa:10-14, Kasım 2009
4. Mazman M., Uzun D., Kaypmaz C., Köylü Tokgöz S., Biçer E., Yıldız A., Enerji Verimliliği ve Batarya Teknolojileri, TMMOB makine Mühendisleri Odası, II. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONGRESİ / 09-11 Nisan 2009, TÜBİTAK UME Gebze-Kocaeli
5. <http://www.ngk.co.jp/english/products/power/nas/installation/index.html>
6. <http://www.vrb.unsw.edu.au/>
7. <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=2478>
8. <http://www.freerepublic.com/focus/f-news/1977573/posts>
9. <http://zebu.uoregon.edu/disted/ph162/l8.html>
10. Electrical Power Quality & Utilization Magazine, Volume 4, Issue 1, mart, 2009

Abstract

The world energy requirement is mostly supplied by fossil fuels. The world is facing some threats in the energy sector, including depletion of resources, environmental damages caused by excessive energy consumption and the use of high energy sources, such as petroleum and coal.

To reduce fossil fuel use is recommended to use renewable resources. Most important ways in electricity production from renewable

Tablo 1. Elektrik enerjisi depolama teknikleri

	Güç seviyesi	Enerji seviyesi	Deşarj süreleri	Teknolojinin durumu
Bataryalar (Pb-asit, NiCd, NiMH, Li-iyon)	kW-500 kW	MWh-100 MWh	1h-8h	Denenmiş, bilinir
Volan (Flywheels)	500 kW-1 MW	100 kWh-100 MWh	<5 dk.	Denenmiş, bilinir
Pompalanmış su	100 MW-4000 MW	500 MWh-15 GWh	4-12 saat	Geliştirme aşaması, ilk uygulamalar var
Sıkıştırılmış hava	25 MW-3000 MW	200 MWh-10 GWh	1-20 saat	Geliştirme aşaması, ilk ticari uygulamalar var
NaS	1 MW	1 MWh	1 saat	Geliştirme aşaması, ilk ticari uygulamalar var
Süperiletken manyetik depolama	10kW-10 MW	10kWh-1 MWh	1-30 dk.	Geliştirme aşamasında, ticari değil
Süper kapasitör	<250 kW	10 kWh	<1 dk.	Geliştirilmiş
Akışlı batarya	100 kW-10 MW	1-100 MWh	10 saat	Geliştirilmiş, demo projeler mevcut

Tablo 2. Elektrik enerjisi depolama teknikleri avantaj dezavantajları

Depolama teknolojileri	Avantajları	Dezavantajları	Güç	Enerji
Pompalanmış su	Yüksek kapasite, düşük maliyet	Özel alan gereksinimi		X
Sıkıştırılmış hava	Yüksek kapasite, düşük maliyet	Özel alan gereksinimi, gaz ve yakıt gereksinimi		X
Akışlı batarya	Yüksek kapasite, arttırılabilir güç ve enerji seviyesi	Düşük enerji yoğunluğu	/	X
NaS	Yüksek verim, yüksek enerji ve güç yoğunluğu	Yüksek maliyet, güvenlik riskleri	X	X
Bataryalar (Pb-asit, NiCd, NiMH, Li-iyon)	yüksek enerji ve güç yoğunluğu, Yüksek verim, bazıları düşük maliyet	Yüksek maliyet, güvenlik riskleri	X	X
Volan (Flywheels)	Yüksek güç	Düşük enerji yoğunluğu	X	
Süperiletken manyetik depolama	Yüksek güç	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet	X	
Süper kapasitör	Yüksek verim, uzun çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu	X	/

sources are wind and solar energy systems. However, the two sources in terms of the process of discontinuous and the intensity are not homogeneous. This situation is creating voltage problems on the grid. Also direct connection to the grid is big problem in these systems. One of the proposed for the solution of the problem is storing the generating electricity. Electrical Energy storage techniques are Batteries, Flywheel, Solar thermal electric storage (STES), Pumped hydro storage (PHS), Compressed air energy storage (CAES) and Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES). This article is aiming to give information about electrical energy storage systems. It gives system selection parameter for application area and application size. Also it is aiming to give information about battery technologies which could be used in renewable source.

Keywords: *Electrical Energy Storage, battery, renewable energy, Pb-acid*

GÜNEŞ ENERJİSİ: EKONOMİYE ve İSTİHDAMA KATKISI

Müjgan ÇETİN
Yeditepe Üniversitesi

Nilüfer EĞRİCAN
Yeditepe Üniversitesi

Kısa Özet: Enerji ekonomik gelişmenin önemli göstergelerinden biridir. Güneş enerjisi, sadece Türkiye için değil, Dünya için geleceğin önemli enerji kaynağıdır. Türkiye yüksek güneş enerjisi potansiyeli açısından öne çıkan bir ülkedir. Bu çalışmada amaç; güneş enerjisinin önemi ve dünyada yarattığı ekonomik ve istihdama etkisini değerlendirmek ve bu etkilerden yola çıkarak, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin kullanılması durumunda, Türkiye ekonomisine sağlayacağı katkı ile yaratacağı istihdam açısından bir değerlendirme yapmaktır.

Abstract: Energy is considered a prime a significant factor in economic development. Solar energy is accepted as a key source for the future, not only for Turkey, but also for the world. Turkey has a considerably high level of solar energy resources that can be a part of the total energy network in the country. The main objective in doing the present study is to analyze the solar energy economy and employment affects of the solar energy industry in the world. In these concept, The solar energy potential of Turkey, the effective utilization of this potential, economical and employment affects are evaluated in this study.

Dünyanın Enerji İhtiyacı, Güneş Enerjisinin Önemi ve Yarattığı Ekonomik Etki

Bilindiği üzere enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Ancak, artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünya enerji talebindeki artış, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmeler, ülkeleri yeni arayışlara götürmektedir. Dünya'nın enerji geleceği ile ilgili raporlara bakıldığında; 2000-2100 yılları arasında enerji ihtiyaçları ve kaynaklarındaki dağılımda, 2100 yılında petrolün iyice azalacağı, kömürün nerdeyse hiç kalmayacağı, güneş enerjisi kullanımının ise çok artacağı görülmektedir. [1]

2009 yılında başlatılan, 2050 yılına kadar 554 Milyar USD bütçesi olan DESERTEC projesi ile birlikte, Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları koridoru-hub'ı üzerinde önemini daha da artırmıştır. Türkiye; ekonomik güneş enerjisi potansiyeli bakımından; Orta Doğu ve Kuzey Avrupa ülkeleri hariç, AB ülkeleri içerisinde İtalya ve Yunanistan'ı geçmekte ve Portekiz ile eşdeğer durumda değerlendirilmektedir. [2] Dünya Enerji senaryolarında enerji talebi 2006-2030 yılları arasında her yıl %1,6 büyümekte ve sonuçta bu güne göre %45 artışa ulaşmaktadır. Bu talep enerji arzı yatırımlarını

da 2030 da 26.3 Trilyon USD' a ulaştıracağını göstermektedir. Dünya elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinin kullanımı 2007 yılına göre 80 kat artarak 5 TWh den 402 TWh a çıkmaktadır. [3]

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde; fotovoltaik (PV) ve konsantre termal (CSP) öne çıkan iki önemli teknolojidir. Dünya üzerinde 2007 yılında IEA-PVPS (International Energy Agency- Photovoltaic Power Systems Programme) Programına katılan ülkelerin PV kurulu kapasiteleri birikimli olarak 8 GWp ye erişmiştir. Bu miktar 2006 yılının 1/3 ü oranında arttığını göstermektedir. Bu ülkeler arasında Almanya ve Japonya lider konumdadırlar. Bununla beraber İspanya en hızlı büyümeyi göstermiştir. Yapılan değerlendirmeler, Almanya'da hükümet politikalarının güneş enerjisindeki liderliğine büyük katkı sağladığını belirtmektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Avusturalya Güneş kentleri kurmuştur. Avusturalya'nın 7, Amerika Birleşik Devletleri'nin 25 güneş kenti vardır. Hindistan Güneş kentleri programına başlamıştır. [4]

Pazarın bu kadar hızlı büyümesinin en önemli sebebi, destekleyici mekanizmalardır. Bu mekanizmalar içerisinde sadece Feed-in Tarif bulunmamakta, vergi indirimleri, yatırım garantileri v.b ilave destekler de yer almaktadır. 2009 yılı itibariyle 73 ülke yenilenebilir enerji politika hedeflerini belirlemiş, 64 ülke yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi konusunda politikalar üretmiş, 45 ülke ve 18 eyalet-bölge ise Feed-in Tarif denilen destekleme mekanizmaları oluşturmuştur. [5]

Global krizin sebep olduğu işsizlik rakamlarını azaltma için Amerika Birleşik Devletleri'nde Başkan Barack OBAMA Ocak 2010'da açıkladığı yeni programı ile 2,3 Milyar USD vergi kredisi programını hayata geçirmiştir. 17 bin yeni iş oluşturmayı amaçlayan program güneş ve rüzgar gibi teknolojiler ile enerji verimliliğini artırma yönündeki girişimleri içeren 183 projeyi kapsamaktadır. [6]

Yapılan çalışmalarda güneş enerjisi teknolojilerinin en fazla istihdam yaratan teknoloji olduğu belirtilmektedir. Güneş enerjisi ile yapılan 1 Milyon USD lık yatırım 10 yıl boyunca 5,65 kişi-yıl istihdam yaratmaktadır. (Aynı yatırım kömür endüstrisinde 3,96 kişi-yıl istihdam sağlayabilmektedir) [7] Yapılan tahminlerde iyimser senaryolarda Dünya'da 2030 yılında güneş enerjisi alanında 4,3 Trilyon USD satış, 37 Milyon kişi için iş imkanı oluşacağı hesaplanmaktadır. [8]

Türkiye İçin Güneş Enerjisinin Önemi ve Ekonomiye ve İstihdama Yaratacağı Katkı

Türkiye, enerji kaynakları bakımından net ithalatçı bir ülke konumundadır. 2008 yılında enerji ithalatına 48,2 Milyar USD harcamış, enerji arzının toplam %74'lük bölümü ithalat ile karşılanmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğilimlere paralel olarak ülkemizdeki nihai enerji tüketimi değerlerinde elektrik enerjisinin payı artmaktadır. 2008 yılında elektrik tüketimimiz bir önceki yıla göre %4.2 artarak 198.0 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik talebinin 2020 yılında düşük senaryoya göre 440,1 Milyar kWh düzeyine ulaşacağı hesaplanmaktadır. Artan elektrik talebini karşılamak üzere, 2020 yılına kadar olan dönemde yaklaşık 41.744 MWp olan mevcut kurulu gücümüzün düşük senaryoya göre en az iki katına (80.000 MW) çıkartılması gerekmektedir. Türkiye; enerji sektörünün 2020 yılına kadar yatırım ihtiyacının 128-130 milyar ABD doları olacağı hesaplanmaktadır. [9]

Türkiye, yerli, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilecek bir potansiyele sahip olmasına karşın, henüz bu kaynaklar mevcut potansiyelin çok altında değerlendirilmektedir. TÜBİTAK; Türkiye'nin 2023 yılına yönelik enerji vizyon raporunda hedeflere ulaşılması için öncelikli görülen teknolojik faaliyet konuları arasında güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretiminin önemi vurgulanmaktadır. [10] Türkiye'de yıllık Güneş ışıınımından yararlanma süresi 2.640 saati bulmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), Güneş Enerjisi Atlası (GEPA) çalışması ile ülkemizin güneş enerjisi potansiyelini ortaya çıkarmıştır. EİE tarafından yapılan ön fizibilite çalışmaları ülkemizde yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip (1.650 kWh/m²-yıl değerinin üzerinde) 4.600 km²'lik kullanılabilir alan olduğunu hesaplamıştır. [11] Bu alanda verimlilik ve etkinlik değerleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda PV ve CSP teknolojileri ile 380 Milyar kWh elektrik enerjisi üretimi anlamına gelmektedir. [12] Bu değer Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2 katıdır.

Türkiye; 1980-2005 yıllar arasında, enerji alanında araştırma ve geliştirme çalışmalarına 120 Milyon USD harcamıştır. Bu bütçenin %15,6 sı (17,4 Milyon USD) yenilenebilir enerji kaynakları içindir. [13]

Güneş enerjisi, uzun vadede Türkiye'nin artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, güç tedarikini yerli kaynaklarla çeşitlendirmede, yüksek güneş potansiyelini değerlendirmede, iklim politikalarından dolayı gelişecek düşük karbon hedeflerine ulaşmada, enerji sektöründeki önemli yeri bakımından ülkemiz ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, nitelikli istihdam ve katma değer yarattığı için yeni bir iş alanı açarak gelişen ekonomimize güç katacaktır.

Güneş enerjisi teknolojileri ile elektrik üretiminin özetle;

- ▶ Enerji tüketiminde ithalat bağımlılığının azaltılması,
- ▶ Yeni oluşan pazarda, firmalara sürdürülebilir küresel pazar ortaklığı yaratması,
- ▶ Yabancı yatırımcıların ülkemizde yatırım yapmalarına olanak sağlayacak yeni bir alan açılması,
- ▶ Yerli üreticilerimizin küresel pazarda ihracatlarının artması,
- ▶ Artan rekabet ile tüketicinin düşük fiyatta güneş enerjisi kullanımının sağlanması,

- ▶ Pazarlama, satış, araştırma, geliştirme işleri için yüksek yetkinlikte yeni iş imkanının yaratılması,
- ▶ Teknolojik gelişmenin sağlayacağı itici güç ile dünya ekonomisinde söz sahibi ülke olma yolunda ilerleme
- ▶ Pazara bir an önce girmenin sağlayacağı avantajlar ile gelişen pazarda ülke olarak yerimizi alma,
- ▶ Test, kalibrasyon, akreditasyon v.b gibi kalite geliştirmeye yönelik çalışmaların ve yatırımların artması ile yaratılacak ekonomik kaldıraçtan faydalanma,
- ▶ Yaratılacak yeni ekonomiden oluşacak vergi katkısı

Ayrıca;

- ▶ Düşük karbon mono oksit emisyonu ile çevresel etkilerde iyileşme
- ▶ İklim değişikliğine olumlu etki

Yaratacağı görülmektedir.

Yüksek Planlama Kurulunca, 18 Mayıs 2009 tarihinde kabul edilen "Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi"nde, yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik enerjisi üretimindeki payına ilişkin hedef 'Yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılında en az yüzde 30 düzeyinde olması' olarak ifade edilmiştir. Ayrıca; bu belgede rüzgar, jeotermal için hedef kurulu güç kapasiteleri net olarak belirlenmiş olmakla birlikte güneş için de net hedef tanımlanmamıştır. Yapılacak çalışmalarda baz alınacak bir hedef değer olması önemlidir. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak, hazırlanan Yol Haritası'nda; 2020 yılı için elektrik üretiminde kurulu güç hedefi CSP teknolojisi ile 200 MWp ve PV teknolojisi ile 4800 MWp belirlenmiştir. [14]

Her 100 MW lık CSP enerji santrali 400 kişiye imalat işi, 600 kişiye proje ve kurulum işi, 30 kişiye ise bakım ve servis işi imkanı yaratmaktadır. Avrupa PV Üreticileri Birliği (EPIA) ya göre her yeni PV üretim tesisi 1 MW lık kurulu kapasite; 10 yeni imalat işi ve 36 kişiye toptan ve parakende satış, kurulum ve bakım setörü için istihdam yaratmaktadır. [15] EUREKA raporlarında ise 2020 yılında Avrupa Birliği'nin hedeflerine ulaşması durumunda 900.000 yeni iş imkanının endüstride, hizmet alanında ve üniversitelerde sağlayacağını göstermektedir. [16] Amerika Birleşik Devletleri'nin raporlarında Colorado eyaleti için 2030 yılı baz senaryolarında PV için 13,5 Milyar USD satış hasılatı ile 206.000 kişiye istihdam, CSP için 0,2 Milyar USD satış hasılatı ve 3.800 kişiye istihdam ile toplam 209.800 kişilik istihdam yaratan toplam 13,7 Milyar USD tutarında yeni bir endüstri yaratacağı tahmin edilmektedir. [17]

Türkiye enerji sektörünün 2020 yılına kadar yatırım ihtiyacının 130 Milyar ABD doları olacağı varsayımından yola çıkarak, bu yatırımın bir kısmının da yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle güneş enerjisine -AB örneğinden yola çıkarak %10-15 lik oranın- yönlendirilmesi durumunda yaratacağı istihdam etkisi hesaplanmıştır. Bu konuda; son 10 yılda büyük ilerlemeler gerçekleştirmiş (yukarıda detaylı olarak sunulan) dünya ülkelerinin elde ettiği istihdam sonuçları dikkate alınarak tahminler yapılmıştır. Bu tahminlerde, 2020 yılında Yol Haritası'nda hedeflenen güneş enerjisi elektrik üretim santralleri için ayrılacak 13-20 Milyar

USD lik yatırım ile, yaklaşık 200.000-500.000 kişiye direkt olarak üretim, satış, proje, kurulum, servis alanlarında istihdam olanağı sağlanmış olmaktadır. TUIK raporlarına göre 2009 sonu itibari ile 3 Milyon işsiz insan yaşadığı ülkemiz için bu istihdam oranı büyük katkı anlamına gelmektedir. Mevcut endüstri alanında 1 kişiye istihdam yaratmanın maliyeti ortalama olarak 288.000 TL olan ülkemizde ; en çok istidam yaratan güneş enerjisi teknolojik alanında yatırımların yaratacağı çığ etkisi yanında, istihdam yaratma maliyetlerini ciddi şekilde iyileştirmiş olacaktır.

Yenilenebilir enerji kanunu ile oluşturulacak destekleme mekanizmaları bu etkileri hızlandıracak ve yatırımcılara güvence vermesi ile ekonomiye canlılık katacaktır.

Referenslar

- ¹ World Energy Council (WEC), 2007 Survey of Energy Resources, 2007
- ² www.desertec.org
- ³ World Energy Outlook (WEO), 2009
- ⁴ World Energy Council(WEC), Survey of Energy Resources Interim Update 2009, 2009, www.worldenergy.org
- ⁵ REN21, renewables Global Status Report, 2009 Update, 2009
- ⁶ Dünya gazetesi, 9 Ocak 2010
- ⁷ Kammen, D. M., Kapadia, K., Fripp, Matthias, Putting Renewables to Work: How Many Jobs Can the Clean Energy Industry Generate, REPORT OF THE RENEWABLE AND APPROPRIATE ENERGY LABORATORY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA BERKELEY, 2004
- ⁸ Bezdek, R.H., American's Solar Energy Societies Estimating the Jobs Impacts of Tackling Climate Change, October 2009
- ⁹ EÜAŞ, Elektrik Üretim Raporu, 2008, www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_EUAS.pdf
- ¹⁰ TUBİTAK, VİZYON 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi, Enerji ve Doğal Kaynaklar Raporu, 24 TEMMUZ 2003, ANKARA
- ¹¹ EİE, <http://www.eie.gov.tr/>
- ¹² EİE Presentation 9 May 2008
- ¹³ Koyun, Ahmet, Mediterranean and National Strategies for Sustainable Development Priority Field of Action 2: Energy and Climate Change, Energy Efficiency and Renewable Energy Turkey - National study's summary, Plan Bleu, Regional Activity Centre ,Sophia Antipolis March 2007
- ¹⁴ ICAT, Yerel ve Küresel Bakış Işığında Türkiye İçin Bir Yol Haritası Önerisi, 2010
- ¹⁵ JRC, PV Status report, 2008
- ¹⁶ EUROGIA +, EUREKA Initiative, White book, part 1, version 1, May 2008
- ¹⁷ The American Solar Energy Society Boulder, Colorado and Management Information Services, Inc. Washington, D.C., DEFINING, ESTIMATING, AND FORECASTING THE RENEWABLE ENERGY AND ENERGY EFFICIENCY INDUSTRIES IN THE U.S AND IN COLORADO, 2008

Müjgan ÇETİN

ODTÜ Endüstri Mühendisliği mezunudur. Yüksek lisansını Yeditepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi İşletme Programı'nda yapmakta ve tez çalışmalarını "Türkiye'nin Güneş Enerjisi Pazarı ve

Potansiyel Ekonomik Etkileri' alanında sürdürmektedir. Mühendis ve yönetici olarak Arçelik, TUBİTAK gibi kurumlarda çalıştıktan sonra, SİSTEM Yönetim Danışmanlığı Ltd.Şti sahibi olarak 1996 yılından bu yana kuruluşlara AR-GE projeleri ve verimlilik danışmanlığı hizmeti sunmaktadır. 1 kitabı yayınlanmıştır.

Prof. Dr. Nilüfer EĞRİCAN

University of Maryland, Dept. of Mechanical Engineering 'de doktora derecesini, lisans ve yüksek lisans çalışmalarını İTÜ Makine Fakültesinde tamamlamıştır. Yeditepe Üniversitesi Rektör Yardımcılığı'nın yanı sıra halen International Center for Applied Thermodynamics (ICAT) başkanı olarak çalışmalarına devam etmektedir. ASME, ASHRAE, ASES gibi uluslararası, TMMOB, TIBTD, TTMD, ISKAV, ISKID, COGEN gibi çok sayıda bilimsel kuruluşlara üyeliği, onursal üyelikler ve ödülleri bulunmaktadır. 2003 yılından bu yana ASME International'da Vice President, District Leader, Member ve Fellow faaliyetlerinde bulunmuştur. 9 doktora tezi, 60'ın üzerinde yüksek lisans tezi yaptırmış ve 14 ulusal ve 25 uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makalelerinin yanı sıra 48 uluslararası, 14 ulusal bilimsel toplantıda bildiri sunmuş ve 1 kitabı 4 raporu yayınlanmıştır.

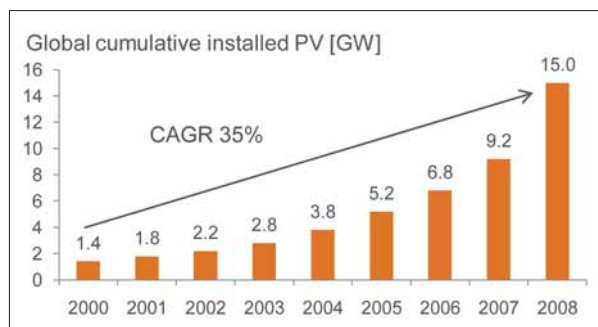
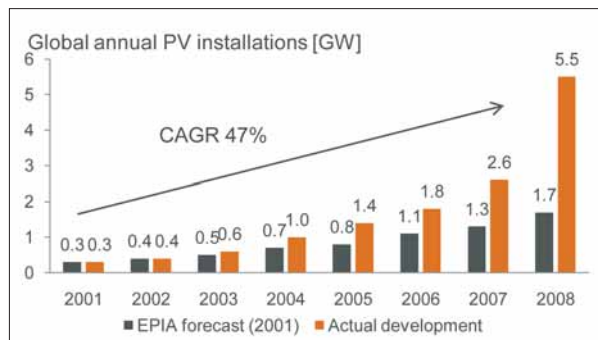
SOLAR ENERGY IN TURKEY

Nikolai DOBROTT

Managing Partner
Apricum Ltd.

Exceeding analysts' forecasts, PV markets enjoyed a CAGR of 47% between 2000 and 2008.

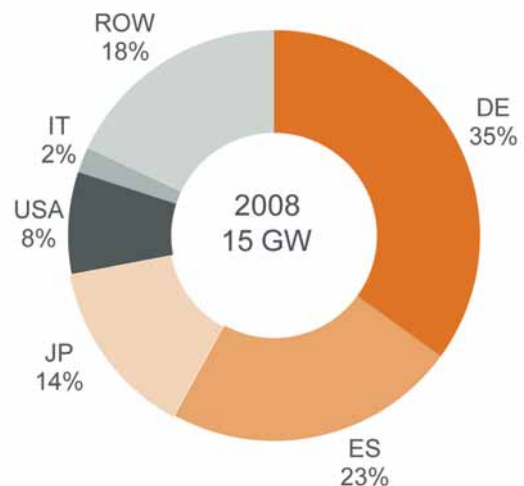
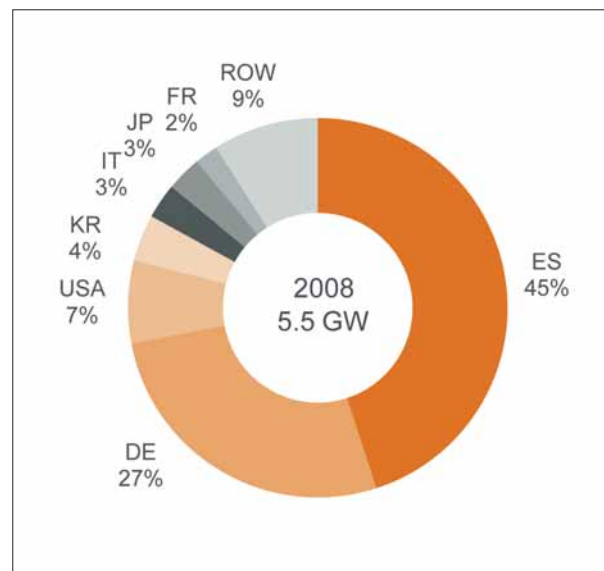
- Initial growth of the PV industry was driven by policy.
- In Europe feed-in-tariffs have been the primary policy tool to drive solar deployment.
- Especially the "Renewable Energy Sources Act" (EEG) established in 2000 and updated in 2008 has made Germany today's largest PV market.
- Ideal industry development conditions until 2008: demand was far outstripping supply.
- In 2008 the PV market grew to more than twice its 2007 size, driven by Spain and Germany.



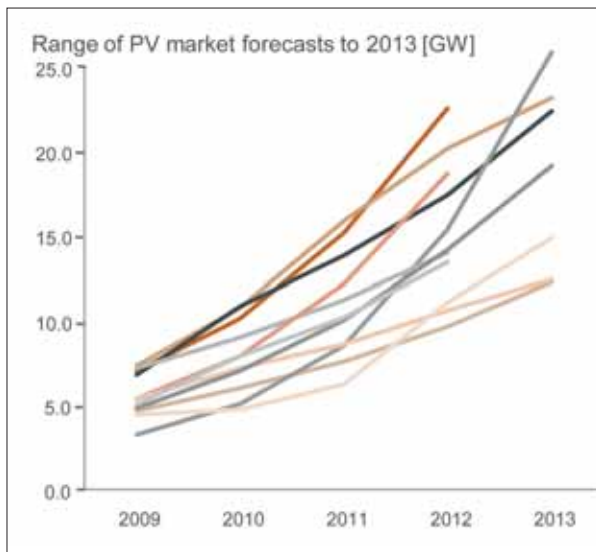
Feed-in-tariffs have made Germany and Spain the largest solar markets in 2008.

- In 2008 global annual PV installations have reached approximately 5.6 GW.
- Germany and Spain accounted for over 70% of the 2008 installed PV capacity

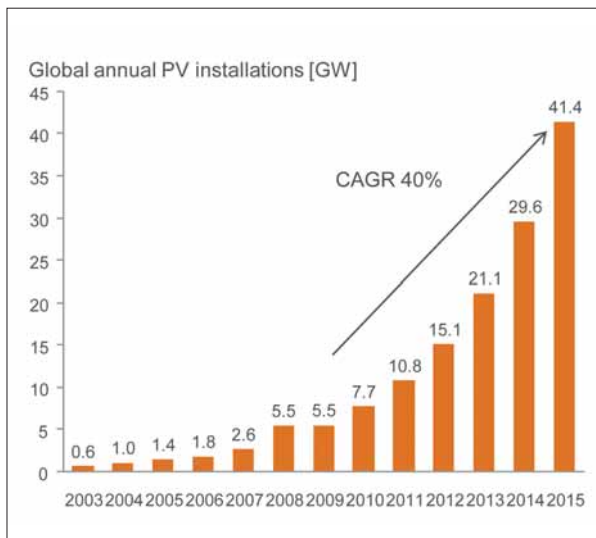
- As of 2008 global cumulative PV installations have reached approximately 15 GW.
- Germany and Spain accounted for over 50% of the cumulative installed PV capacity



Global PV market outlook until 2015 –Photovoltaic is a growth market.



While analysts' market forecasts cover a wide range of data, with CAGR between 24% and 68%, they unanimously expect continued medium-and long-term growth.



Building on analysts' market forecasts and its own industry knowledge, Apricum estimates that annual new PV installation will continue to growth at a CAGR of 40% between 2009 and 2015.

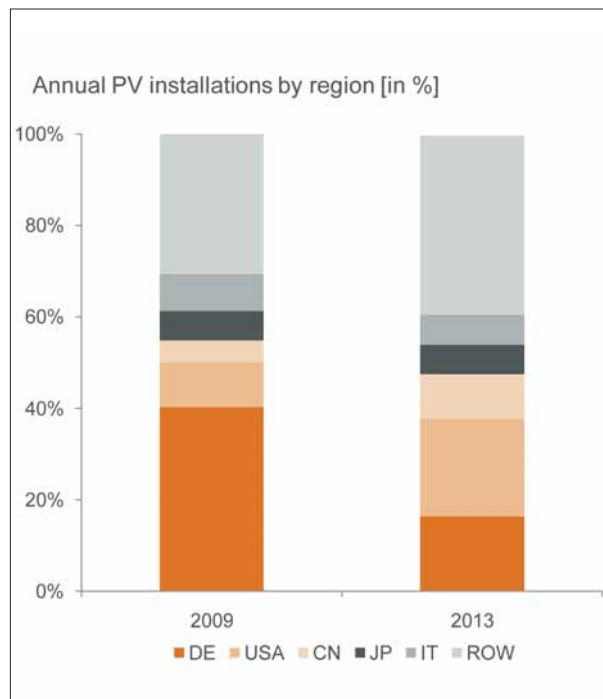
Drivers for continuing market growth.

1. In addition to the current primary markets, new PV markets with annual volumes of 500 MW will emerge in the next 2 years.
2. Non-European markets are expected to achieve higher than average annual growth rates.

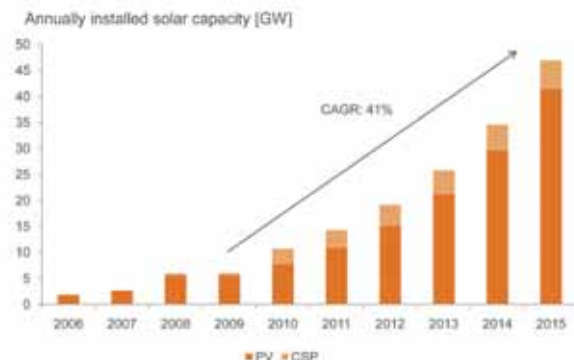
3. Germany, the largest solar market today, will continue to grow, but the U.S., China and Middle East are expected to become the next hot solar markets.

4. Market growth driven by:

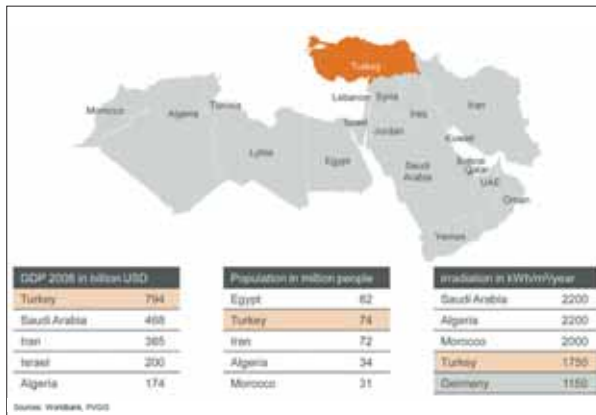
- Rising energy costs
- Strong demand due to lower module prices
- Improved project financing conditions
- Stimulus impact finally materializing
- Increasing government support in many countries due to the acceptance of global warming
- Many markets close to reaching unsubsidized grid parity



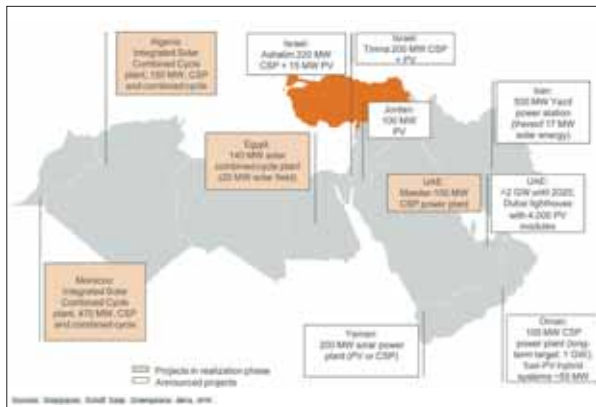
The worldwidesolar marketsareabouttotakeoff.
Whichrolewill Turkey play?



Turkey is the leading economy in MENA and has a high solar irradiance.

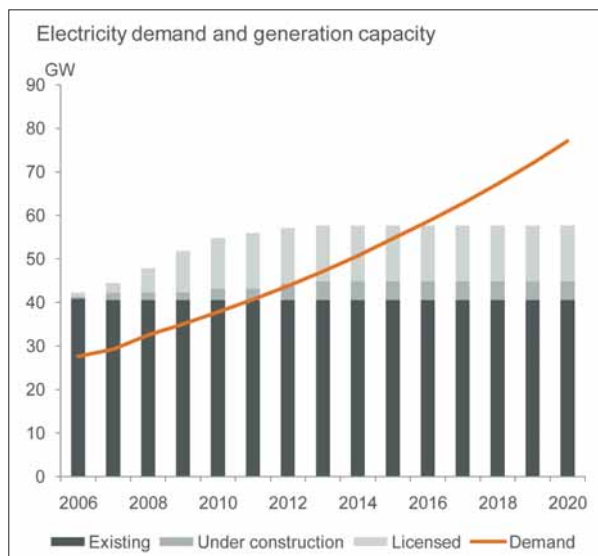


Large-scale PV and CSP projects in MENA.



Several drivers will push the Turkish solar market, if incentives are introduced accordingly.

- ▶ High import dependency of energy sources

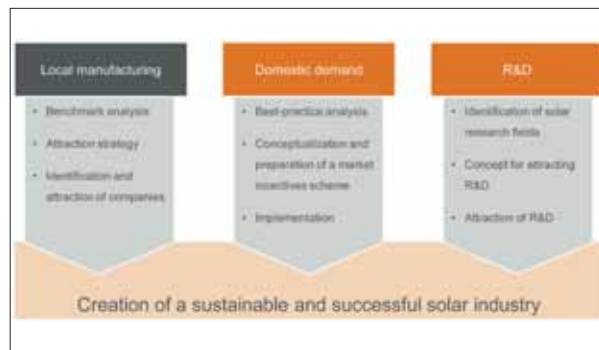


- ▶ Growing electricity demand from 200 TWh in 2008 up to 450 TWh in 2020
- ▶ Lack of power plants under construction or licensed may lead to a supply gap of 20 GW in 2020
- ▶ Ambitious renewable energy goals: wind and solar to reach 20% of generation capacity by 2020, i.e. up to 20 GW
- ▶ Expected grid congestions limit wind capacities and favor decentralized photovoltaics, especially rooftop systems
- ▶ High electricity prices of around 0.20 €/kWh for residential customers which are expected to rise within the next years

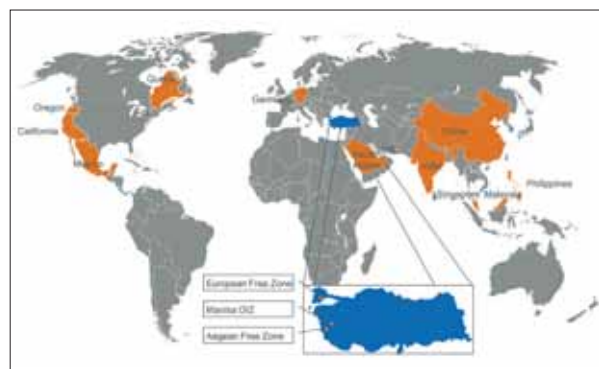
A three-way approach is necessary to develop a solar industry.



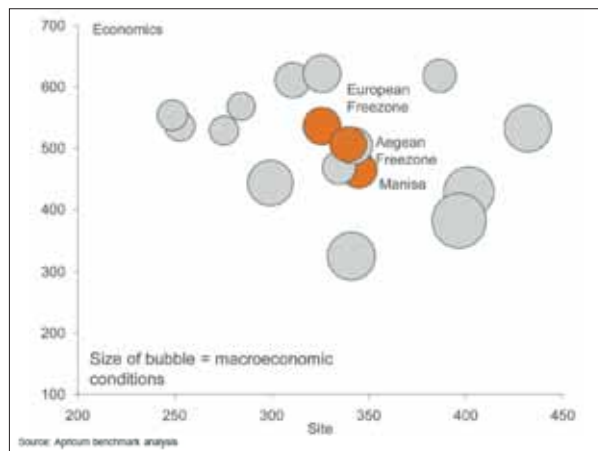
Turkey has taken first steps towards developing a solar industry.



Local manufacturing –global benchmarking of selected Turkish sites against other manufacturing site.

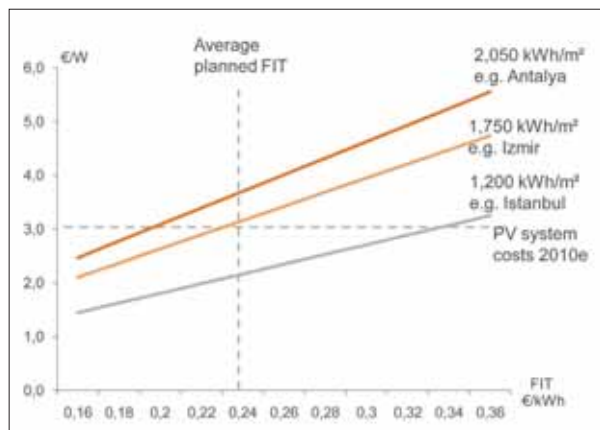


Turkish sites are well positioned among global leaders but quality factors need to be tackled.

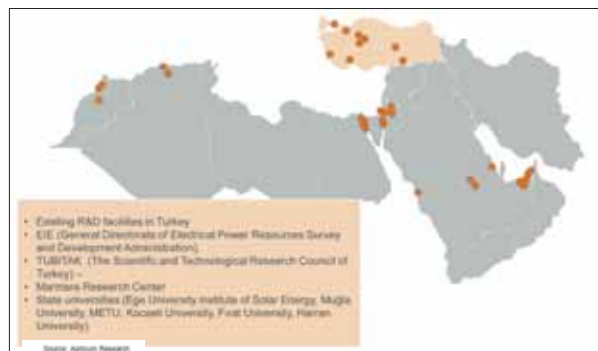


The planned feed-in-tariff could create a large market.

- Planned FIT for PV of 0.25 €/kWh (first ten years) and 0.20 €/kWh (next ten years) (weighted average = 0.23 €/kWh) is considered
- Particularly Southern regions in Turkey would greatly benefit
- Based on current targets, the solar market potential could reach 8-10 GW
- Small PV systems are excellently suited to tap market potential as utility-scale installations face troubles with grid connection
- Existing high awareness in population for solar potential and use due to high deployment rate of solar thermal (7 GWth)



Selected R&D activities and institutions in MENA



Apricum's team—internationally experienced Cleantech experts with a global network.



Apricum's team—internationally experienced Cleantech experts with a global network.



Apricum's expertise—Support for governmental institutions, corporations and investors leveraging their growth potential.

Cleantech industry focus	We are a globally operating strategic management consultancy with an exclusive focus on Cleantech and renewable energies.
Expertise	Our international team have profound sector expertise gained through many years of experience in Cleantech. We leverage our worldwide network to deliver outstanding solutions to your advisory needs.
Growth-oriented services	Our competences are in advising companies, investors and public institutions on how to best leverage their potential for growth in the highly attractive Cleantech industry.

Apricum offers growth-oriented services for investors and companies.

Strategy delivery	Transaction advisory / Corporate finance	Market entry
1. Joint venture/partnership / Acquisition / Divestment / Financing & growth strategy 2. Analysis of market, technology and business economics 3. Identification and evaluation of strategic options 4. Creation and implementation of strategic plan of action	1. Identification of business models, targets, go-to-market strategies, equity, intellectual and data solutions 2. Selection of contacts 3. Evaluation and due diligence 4. Organization and timing of the transaction process	1. Global case selection 2. Development of key / relevant / representative of representative business 3. Evaluation of location options and investment conditions 4. Support in implementation, organization and also - up to production of operations
	1. Business development 2. Identification of service clients 3. Creation of contacts 4. Contact development, negotiation and conclusion 5. Support in development of sales and project organization	1. Identification of service clients 2. Identification of service clients 3. Support in development of sales and project organization 4. Creation of contacts

HYDEPARK A STANDALONE RENEWABLE HYDROGEN DEMONSTRATION PARK IN TURKEY

Nilüfer İLHAN

TÜBİTAK Marmara Research Center Energy Institute
41470 Gebze Kocaeli TURKEY

Atilla ERSÖZ

TÜBİTAK Marmara Research Center Energy Institute
41470 Gebze Kocaeli TURKEY

Mete ÇUBUKÇU

Ege University Solar Energy Institute,
35100 Bornova İzmir TURKEY

Abstract

The management of all work packages of HYDEPARK project was carried by TÜBİTAK Marmara Research Center (MRC) Energy Institute with the support of the collaborators. The main goal of this national project is to research hydrogen technologies and renewable energy applications. Solar and wind energy are utilized to obtain hydrogen energy via electrolysis. Hydrogen can either be used in fuel cell or stored for further use. The project is in the demonstration phase. The aim of this paper is to present the units of standalone renewable hydrogen demonstration park and share the experimental results.

Keywords: Hydrogen, electrolysis, renewable energy, standalone.

1.Introduction

Hydrocarbon fuel sources like natural gas and cost-effective renewables are the main near-term sources for the hydrogen transition while in the longer run more mature renewables will play an important and ultimately a dominant role. The short-term aim in Europe should be to increase supply from renewable energy sources on the continent but in longer term, renewable energy sources will become the most important source for the production of hydrogen. The hydrogen technologies of primary interest include renewable sources (sun, wind etc.), biomass gasification and electrolysis with related purification technologies (such as gas cleaning, pressure swing adsorption, separation by palladium membranes, etc.). Currently, the reforming of natural gas is the most economical process for producing hydrogen. Within decades, hydrogen produced from biomass, wind and solar sources will be the ultimate, abundant, renewable based energy currency. Producing hydrogen by processing hydrocarbons or by electrolysis using electricity from fossil fuels releases large amounts of carbon dioxide. However “well to wheels” comparisons of using hydrogen as a fuel take into account all such greenhouse gas emissions and hydrogen still comes out on top. When hydrogen is produced from renewable hydrocarbons, such as biomass, or by using electricity from renewable energy sources, such as wind power, the carbon dioxide emissions will be very less.

Hydrogen, in many respects, is much better as a fuel than existing transportation fuels. Hydrogen possesses a very high flame speed and a wide range of flammability limit. A hydrogen-fuelled vehicle is intrinsically devoid of problems such as vapor lock, cold

wall quenching, inadequate vaporization and improper mixing. All of these problems are very closely related to the characteristics of conventional fuels such as gasoline and diesel, and they do not occur in a hydrogen-powered vehicle. In the long term, hydrogen could play a key role in adapting energy supply to energy demand as hydrogen has the potential for large-scale, even seasonal, energy storage.

For both transport and stationary applications, widespread and affordable production and a reliable hydrogen distribution system should be in place. The outlook for future markets for hydrogen as a fuel can be seen to be governing by two economic scenarios: (1) hydrogen produced from fossil sources, and (2) hydrogen produced from nonfossil sources. While not currently practical, it appears that nonfossil energy sources will become dominant in the future. Considerable progress has been made in the search for alternative energy sources since the oil crisis of 1973. A long-sought goal of energy research has been a method to produce hydrogen fuel economically by using nonfossil fuels such as sunlight, wind and hydropower as the primary energy source. Although production of hydrogen via the use of solar cells or wind has been regarded as the cleanest and most desirable method, these processes do not supply enough hydrogen at the present stage.

2.General Description Of Project

2.1.Overview

“Development of Hydrogen Production, Conversion and Storage Technologies – HYDEPARK” project proposal was submitted to the State Planning Organization of Turkey (DPT) for the national project call in 2004 and the project started on 1st of June, 2005. The main goal of this national project was to research hydrogen technologies and renewable energy applications. A standalone renewable hydrogen production and storage system were established.

The project had two segments of the laboratory studies such as indoor and outdoor applications. Indoor applications included the design and construction of reactor systems with the required sub-units for hydrogen production from methane and purification of syngas. On the other hand within the outdoor applications, hydrogen production by renewable energy sources was investigated. Hydrogen can either be stored for further use or directly utilized in a fuel cell system to obtain energy. The purchase and integration of all the units and sub-units were carried out by TÜBİTAK MRC Energy Institute.

2.2. System Description

A standalone renewable hydrogen production demonstration park powered by wind and solar energy has been designed, procured, and constructed (Figure 1). Components of the park and their integration scheme can be seen in Figure 2.



Figure 1. HYDEPARK demonstration park

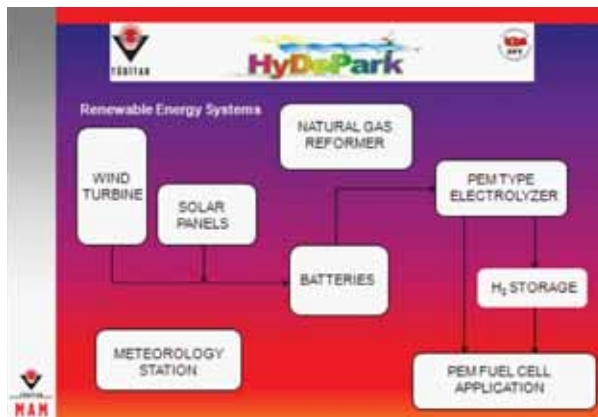


Figure 2. System components

3. Description Of Components

3.1. Photovoltaic Panels

The photovoltaic system (Figure 3) includes totally 145 PV panels and the total installed power is ~12 kWp in the standard conditions (values correspond to 1000 W/m², 25°C and 1.5 air mass). 120 PV panels are CIS type thin film, which have 9.6 kWp total. 10 PV panels are multicrystalline type and they were produced by Ege University Solar Energy Institute which is one of the support collaborator organizations with TÜBİTAK. The multicrystalline solar power capacity is 1.2 kWp total. The rest 15 PV panels are monocrystalline type, which have ~ 1.1 kWp installed capacity. The specifications of the solar modules are shown in Table 1.

Table 1. The specifications of PV panels in HYDEPARK project

CIS Thin film (120 PV modules)	Multicrystalline (10 PV panels)	Monocrystalline (15 PV modules)
P max = 80 Wp	P max = 119 Wp	P max = ~70 Wp
Isc = 1.3 A	Isc = 7.57 A	Isc = ~ 4.3 A
Voc = 83.5 V	Voc = 20.93 V	Voc = ~ 21 V
Vmmp = 66.3 V	Vmmp = 17.1 V	Vmmp = ~18 V
Imp = 1.2 A	Imp = 6.96 A	Imp = ~ 3.9 A



Figure 3. PV panels

3.2. Wind Turbine

The wind turbine power is 5 kWp which was produced by a national company in İzmir, Turkey (Figure 4). The wind generator is a permanent magnet and a three-phase synchronous machine. The nominal power of the generator is 5 kVA and the rated rpm is 375 (the wind speed is 13 m/s). The DC output voltage is 45-60 V DC. This voltage can be easily used for 48 V batteries charging. There is also 220 VAC output voltage from the PWM inverter. The height of the pole is 15 m. The blade radius is 1.65 m. The wind turbine produces electricity in the range of 3–13 m/s wind speed (Figure 5).



Figure 4. Wind turbine

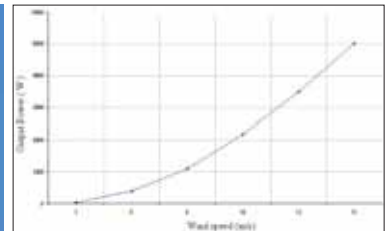


Figure 5. Output Power-Wind Speed (Electrical) Characteristic of 5 kVA Generator.

3.3. Batteries

All the generated electricity is stored in conventional stationary type lead acid batteries which were produced by a national company (Figure 6). The designed dc busbar voltage is set to be 48V. Therefore 2V dc cells are connected serially in number of 24, in order to achieve this voltage. The capacity of the desired battery is 1500Ah which is enough for standalone application for overnight period. The batteries are Low Maintenance Tubular Stationary (OPzS) which are a new version of common lead-acid batteries. One of the battery basic characteristic is that the capability to hold the active material and charging and discharging ability at the same level. Because the percentage of antimony in the alloy of lead is very low, the batteries have a long operation life. In the structure of the battery, tubular positive plates are used. The grids are pasted with a specific active material and from the negative plates. Negative plates are specially designed to match the capacity of the positive plates. Micro porous separators which are strong, flexible to heat and acid resistant are used. Because the separators are in a thin structure, the internal resistance is reduced. The construction of the vent plugs allows freed gases (H₂ and O₂) to go out and prevents

the leakage of electrolyte. Under normal floating charge conditions, addition of water shall not be required for 2-3 years or more. The batteries have a long life of 10-15 years or more. The dimension of each battery (W x L x H) is 275 x 210 x 848 (mm). The weight with acid is 114.3 kg for each battery. For the best power quality values and the maximum storage efficiency a battery management system including monitoring is planned for next step of the study. A detailed characterization of battery is to be realized for optimum operation conditions. Also other chemistries of battery technologies lie Li-ion are tested, but for smaller capacities.



Figure 6. Batteries

3.4. Control Units / Converters / Inverters

The power electronic units and the control components of the system are shown in Figure 7. As mentioned before, there are totally 145 PV modules in the system. Because the CIS thin film modules (120 units) have less DC current output and much DC voltage output, these modules are considered to be connected in parallel. This provides to increase the array DC current output and it is more efficient for battery charging. The CIS thin film PV panels have been mainly classified in three groups. Each group enters the MPPT (maximum power point tracking) charging controller and then the controller begins to charge the batteries. The battery group is held in 48 V. The MPPT charge controller system ensures that the solar array is operated at its peak power point regardless of age, shading or environmental conditions. A peak operating efficiency of 98% maximizes the PV array's performance.

The design of the system aims to operate the electrolyser from the renewable energy source. The electrolyser is operating in 220 V and 50 Hz AC line. Therefore, it is required to create an AC bus in the system design. The main important component of the system is a bidirectional inverter which is called "Sunny Island 5048" which is used both a battery charger and a inverter. It supplies loads on the stand-alone grid side and charges battery banks with power that is provided by feeding electricity into the grid on the AC side. It achieves a maximum efficiency of more than 95%. The parallel operation of two bidirectional inverters on a single phase of a battery bank which has 48 V and 1500 Ah capacity enables to stand up a power supply for electrolyser load. The bidirectional inverter can also automatically deactivate loads if the battery does not have sufficient electrical energy available. The inverter enables long life service life over 20 years due to optimum battery management sys-

tem and state of charge evaluation. It is optimum solution for all off-grid applications which require high quality for the establishment of a reliable AC grid voltage based on renewable energy sources. The single phase of AC line can also be integrated into the public grid. The additional inverters are used to supply the AC bus from the renewable energy sources. It is shown in Figure 7, there are several inverters which are called in different names. The inverters which are shown as SB1100 and SB1700 in the figure are used to integrate the multicrystalline PV modules (10 units) and monocrystalline PV modules (15 units) into the AC grid. Equipped for an input voltage up to 400 V, these inverters enable efficiency more than 93 %. The wind turbine has 45-60 V DC output voltage. The inverter which is called as WB1100 LV in Figure 7 is optimal to integrate the wind turbines which have very low output voltages to the AC line. The DC input voltages of 21 V to 60 V for these inverters enable to connect the wind turbine easily to the AC grid. Because these inverters accept currents of up to 62 A and the output current of the wind turbine can reach up to 80 A, four units of these inverters are connected parallel to the wind turbine output. The inverter efficiency goes up to 92%. There are two units PEM fuel cells which are integrated to the AC grid. The inverters which are called "Hydroboy HB1124" in Figure 7 are used to integrate the fuel cells to the AC grid. The main difference of these inverters comparing the solar inverters, the DC input voltage (19.5-55 V) is lower and the input current (up to 62 A) is higher. These inverters specially designed for fuel cell systems and the device efficiency is up to 91%. The general specifications of the power electronic units are shown in Table 2.

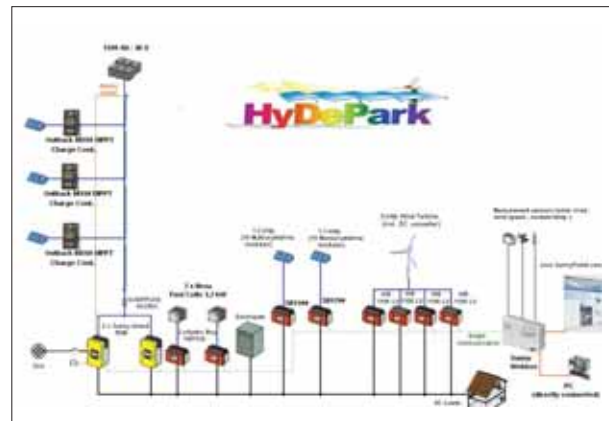


Figure 7. The components of the power electronic and control unit system.

A sensor box is also integrated to the system for determination and data storage of solar radiation, module temperature and wind speed. It enables a comprehensive performance analysis of the system. All components of the system are combined with a wide variety of components for system monitoring. The Sunny Webbox which is shown in Figure 7, enables diagnostic and maintenance via internet from any PC, anywhere in the world. It enables continuous monitoring of the system and early detection of operational faults. It achieves data storage and automatic data transfer to the PC or the internet portal at pre-definable intervals. All components communicate with each other via RS485.

Table 2. The general specifications of the power electronic components in the system

	OUTBACK MPPT Charge Controller	SI5048 bidirectional inverters	SB1100 Inverter	SB1700 Inverter	WB1100 LV Inverter	HB1124 Inverter
Output Current	max. 60 A	max. 100 A	4.4 A	6.7 A	4.4 A	4.4 A
Max. Open Circuit Voltage (Voc)	150 V DC	-	400 V (139-400 V)	400 V (139-400 V)	60 V (21-60 V)	60 V (19.5-55 V)
Max. Input Current	-	56 A (2-56 A) AC	10 A	12.6 A	62 A	62 A
Maximum Input Power	3200 W (48 V DC)	12800 W	1210 W	1890 W	1240 W	1240 W
Efficiency	98%	95%	93%	93.5%	92%	91%
Harm. Dist. Factor	-	< 3%	< 4%	< 4%	< 4%	< 4%

3.5. Electrolyser

Electrolysis is a reaction, which produces hydrogen and oxygen from water. The electricity required for this reaction can be supplied from the renewable energy. A Proton Exchange Membrane (PEM) type electrolyser was purchased from Proton Energy Systems (the name of the company has changed to Distributed Energy Systems) to produce hydrogen by utilizing the electricity generated by the wind turbine and the PV panels, which take place in the demonstration area (Figure 8).

The net hydrogen production rate of the electrolyser is 1.05 Nm³/h with a delivery pressure of maximum 13.8 barg. The purity of the product hydrogen is 99.9995% and the power consumed per volume of hydrogen produced is 6.7 kWh/Nm³ for optimal conditions

**Figure 8.** PEM type electrolyser

and 8.3 kWh/Nm³ for end of life conditions. The electrolyser is for indoor use for ambient temperatures ranging from 5°C to 40°C, so the required ventilation and climatisation according to its requirements should be established before the operation. The electrolyser is air-cooled and the heat load from the system is maximum 4.3 kW. The electrolyser uses deionized water to produce hydrogen and to actively cool the cell stack. The water should meet a minimum of ASTM Type II requirements. A deionized water feeding system was purchased from a national company, Tolem Çevre Teknolojisi, since deionized water can be supplied from an already established system in TÜBİTAK MRC Campus.

3.6. Hydrogen Compressor

The single-stage hydrogen compressor (PDC-3-1500) has a triple diaphragm construction which isolates hydrogen from hydraulic oil (**Figure 9**). All piping, tubing and wetted compressor parts are type 316 stainless steel which is corrosion-resistant. It has a 4 kW motor with a flameproof enclosure. It has a flow capacity of 4 Nm³/h at maximum suction and it can compress hydrogen gas to provide a discharge pressure up to 100 bar (1450 psi). Hydrogen is fed to the compressor through a buffer tank with an inlet pressure of 7-10 bar. No water cooling is needed.

**Figure 9.** Hydrogen compressor

3.7. Hydrogen Storage Cylinders

Hydrogen produced by the electrolysis is stored in high pressure cylinders in gas phase after pressurized by the compressor. In the hydrogen storage field there are 12 cylinders placed in a stationary bundle and 4 individual cylinders which are ready to be carried to the laboratory in case of need (Figure 10). All cylinders have connection to each other, so when a cylinder is full, the second

one starts to be filled. Stored hydrogen in the cylinders can also be utilized in the fuel cell after the pressure is regulated. Since the cylinders can be pressurized up to 100 bar, each cylinder contains 50 lt hydrogen. The bundle can be considered to be a storage unit for a possible hydrogen filling station.



Figure 10. Hydrogen cylinders

3.8. Pem Fuel Cell

PEM Fuel Cell (Nexa® Power Module) is air-cooled and comprises all necessary fuel, electrical and control interfaces. Fuel cell generates up to 1200 Watt of unregulated DC electrical power from hydrogen and oxygen (air). All necessary auxiliary components including an air compressor, cooling fan, humidity exchanger, purge valve, pressure regulator and microprocessor controller are built into the system. There are two power modules in this demonstration park.

3.9. Hydrogen Production And Purification

Within the indoor applications, a small scale unit (~ 1 kW) for hydrogen production from natural gas (Figure 11a) and a hydrogen purification unit via pressure swing adsorption (PSA) technology (Figure 11b) were designed and constructed in the laboratory.



Figure 11. a) Hydrogen production (reformer) unit b) PSA unit

4. Integration Of Components

The deionized water feeding system is connected to the electrolyser for its water requirement to produce hydrogen. The deionized water should meet the required conditions such as tempera-

ture, pressure, and conductivity.

The electrolyser produces oxygen besides hydrogen in electrolysis process and the production rate of oxygen is approximately 50% of the hydrogen production rate. The electrolyser has an oxygen vent port, from which this oxygen and small amounts of water condensate can be directly vented inside the container if the required ventilation is established. The electrolyser has a hydrogen vent port, which should be vented outside the container for safety. The product hydrogen port is separated into three lines, one of which goes to the hydrogen compressor to be pressurized, one goes to the vent, and the other one directly goes to the PEM fuel cell.

Before the hydrogen compressor, there is a buffer tank. After leaving the compressor, the pressurized hydrogen separates into two lines, one of which goes to the vent, and the other one goes to the tube ramp. One port of the tube ramp is connected to the manifold with 12 ports to store the hydrogen into the 12 pressurized gas cylinders, which will be used to feed hydrogen to PEM fuel cell in any case hydrogen can not be obtained from the electrolyser. Also the other 4 ports of the tube ramp are used to fill hydrogen into the 4 pressurized gas cylinders, which can be utilized outside the demonstration area. The product hydrogen from the electrolyser and the stored hydrogen from the cylinders are connected with an auto crossover manifold and the exit line of the manifold connects to the PEM fuel cell.

Although electrolysis reaction needs DC current, the electrolyser is designed to be connected to the grid so it requires AC current. In this project, the electrolyser supplies the power from the batteries after converting/adjusting the current to AC, which also serves to buffer the electrolyser from power spikes. If a problem occurs with this system, electrolyser can be directly connected to the grid.

5. Operational Experience And Performance

5.1. Modeling & Simulation Of Daily & Yearly Hydrogen Production And Storage Potential

The location of Gebze is 40°48'27" North, 29°26'14" East. The location of the installation area is so important to define the energy potential on solar and wind energy sources. The main factor is solar irradiation in photovoltaic power systems. In wind power systems, first of all it is required to know the wind speed values. By the time the project continues, the main parameters (the solar irradiation, module temperature and wind speed values) will be measured. The pre-calculation of the system requirements were done by using some reliable energy sources and some previous measurement values. The wind speed values were measured before in Gebze (Table 3).

Table 3. The wind speed average values in Gebze during one year measurement.													
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual Average
10 m	3.64	3.11	3.33	3.22	3.10	3.36	4.30	3.61	3.24	3.15	2.83	3.07	3.31
30 m	4.62	4.01	4.19	3.86	3.72	3.97	5.19	4.38	3.87	3.91	3.84	4.03	4.15

The general system has been planned to integrate wind and solar energy sources to feed the AC grid and operate the electrolyser to produce hydrogen. The product hydrogen is stored and then used by the fuel cells. The output of fuel cell system also feeds the main AC grid. It is considered whether the solar and wind energy capacity is enough to operate the electrolyser.

The photovoltaic power system has been planned that the solar energy potential is sufficient for operation of the electrolyser load. When the photovoltaic power capacity is not enough, than the wind power compensates the lack of it. Therefore, the essential solar module capacity was calculated. The essential parameters for solar system sizing are the average daily solar radiation energy and the load consumption energies. These parameters can be used to calculate the peak power of the PV generator and the amount of energy to store, in order to assure the autonomy of the system. The solar radiation energy can be provided from the measurements of the European Commission Directorate General Joint Research Center. The web page of the European Commission Directorate General Joint Research Center provides these values in its web page (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>). The optimum annual inclination angle is 30° for Gebze and the irradiation energy at inclination angle for Gebze is shown in Table 4.

per hourly operation. The system has planned that electrolyser is operated for 3 hours per day. Therefore, the energy consumption is 21.3 kWh/day.

To size the PV power generator, the following equation is usually used [1].

$$P_{PV,STC} = E_0 \cdot \eta_{PV,STC} \cdot A_{PV} \quad \text{and} \quad A_{PV} = \frac{E_{Ld}}{\eta_{sys} \cdot E_{sd}} \quad (1)$$

Where

- A_{PV} : PV generator surface area [m²]
- E_{Ld} : Daily mean load energy consumption [kWh/d]
- E_{sd} : Daily mean solar radiation energy [kWh/m²/d]
- η_{sys} : Total system efficiency taking into account the PV conversion efficiency, wires, diodes, chemical conversion, electricity regeneration, regulators, inverters etc [-]
- $\eta_{PV,STC}$: PV generator rated efficiency (0.10-0.15) [-]
- $P_{PV,STC}$: PV production power at standard test conditions [Wp]
- E_0 : Solar radiation at standard conditions [1 kW/m²]

In Gebze, the daily average solar radiation energy is 4,045 kWh/

Table 4. Daily Solar Irradiation and Solar Energy Potential in Gebze.

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual Average
Irradiation at 30° inc. ang. (Wh/m ² /day)	2093	2619	3713	4671	5323	5769	5718	5596	5090	3664	2422	1786	4045

By considering the values in Table 4, the monthly solar irradiation can be calculated. The graph shows the monthly solar irradiation in Figure 12. It is understood that the monthly solar irradiation is more than the annual average value between April and September. The solar irradiation for the rest months (October-March) are less than the annual average value. So the calculations can be done by evaluating these potentials. The yearly total solar irradiation is 1.6 MWh/m² in Gebze.

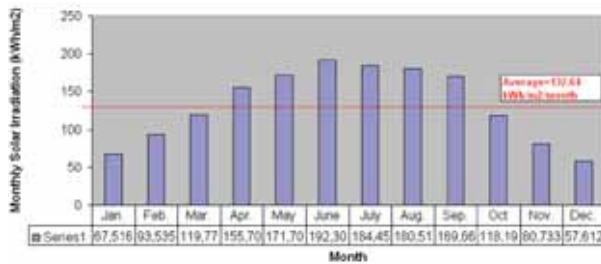


Figure 12. The Monthly Solar Irradiation Values in Gebze.

Because the main goal of HYDEPARK demonstration project is to operate the electrolyser load from renewable energy sources, the load consumption energy of the electrolyser is considered to define the renewable energy power. The power consumption of HOGEN 40 electrolyser is 6.7 kWh/Nm³ and its net production rate is 1.05 Nm³/h. This means that the electrolyzer needs 7.1 kWh energy

m²/d (Table 4) and the load energy consumption (3 hours operation of electrolyser per day) is 21.3 kWh/d. Assuming that the PV rated efficiency is 13.5%, the battery efficiency is 70%, the mean inverter efficiency is 90%, the mean charge controller efficiency is 90%, the other components (wires, temperature losses in PV etc.) efficiency is 80% and then the total solar system efficiency is calculated $\approx 6\%$. By using these values, the peak power of the PV generator is calculated from the above equation to be approximately 12 kWp.

In different applications around the world, the solar system efficiency was calculated 4.5-6.5%. For instant, it was calculated as 4.8% in a PhD thesis in recent years [2]. Because the HYDEPARK demonstration power system has been planned with more efficiency components, the total system efficiency is assumed $\approx 6\%$. This efficiency is used to define the essential PV peak power to operate the electrolyser. Other efficiencies (wind turbine, fuel cell, and hydrogen storage etc.) are not included in it. The total efficiency of all solar-wind hydrogen system will be defined during the real time operation. In the beginning, it is sufficient to set up the system according to essential solar power. When the solar energy capacity is not enough, the wind turbine will also support the main AC grid. Considering that the battery efficiency is 70%, 2 days in autonomy duration and the daily load consumption is 21.3 kWh and then the essential battery capacity is calculated to be approximately 61

kWh. Therefore the battery capacity in Ah at 48 V battery voltage is ≈ 1270 Ah. By regarding the additional energy supplies (wind turbine, fuel cell etc.), the storage battery bank was set up to be 48 V 1500 Ah.

Because the electrolyser is operated at least 3 hours/day and it produces $1.05 \text{ Nm}^3/\text{h}$, the daily hydrogen production will be $3.15 \text{ Nm}^3/\text{day}$ and then the yearly hydrogen production will be 1150 Nm^3 . The run time of electrolyser will be increased by making a real time operation schedule for electrolyser by regarding the renewable energy capacity in Gebze.

The storage tank volume in the system under study is 1150 Nm^3 of hydrogen, since the hydrogen is stored in a tank at a pressure of up to 100 bar, thus, the hydrogen tank volume is approximately 11.5 m^3 . The spare storage tanks will also be placed and the storage capacity will be ready for extension run time of electrolyser.

During the real time operation, the operation parameters for all components will be measured and saved. By measuring and logging the MPP operation values for PV generators (Wp), solar irradiance (W/m^2) and temperature ($^{\circ}\text{C}$), it will be possible to calculate the mean efficiency of PV generator. Similarly, the input and output powers of the other components (electrolyser, fuel cell, wind turbine, power conditioning units, hydrogen storage subsystems etc.) will be measured and saved. Finally the total efficiency of the system will be calculated from the efficiencies of subsystems.

6. Safety

Hydrogen is odorless, tasteless, colorless, and highly flammable. It is very combustible in the presence of oxygen and burns with a colorless flame. The lower explosive limit of hydrogen is 4% by volume. For safety, all sources of ignition should be kept away from hydrogen for any case of fire or explosion. On the other hand, although hydrogen is non-toxic, it can cause breathing problems by displacing oxygen in air.

Within the safety considerations of the electrolyser, a combustible gas sensor is located at the exit of the air purge stream to detect hydrogen. The sensor will cause an alarm and an automatic shutdown of the electrolyser when it detects the concentration of hydrogen within the purge air stream is in excess of 1.2%. If hydrogen leakage occurs due to any internal equipment failure, the internal hydrogen detector safety circuit of the electrolyser will stop any further generation of hydrogen by automatically shutting down the electrolyser. A ventilation system with the recommended values of the company was established to avoid the accumulation of hydrogen in the container in any case of leakage. Also the electrolyser shutdown circuits should not be bypassed. Hydrogen storage cylinders are placed outside the containers in a fixed position for safety reasons.

All inverters which are used in the project are compatible with all communication products and impressive with a high degree of protection (IP65). The robust enclosure design and high protection degree IP65 ensure secure operation even in extreme climatic con-

ditions, both indoors and outdoors. The design also ensures over voltage protection on DC and AC sides.

7. Environmental Aspects

The electrolyser uses water to produce hydrogen and oxygen, so this system is very environment-friendly since it has no dangerous byproducts for the universe. All inverters which are used in the project are compatible with all communication products and impressive with a high degree of protection (IP65). The robust enclosure design and high protection degree IP65 ensure secure operation even in extreme climatic conditions, both indoors and outdoors. The design also ensures overvoltage protection on DC and AC sides.

References

- [1]Busquet, S., R. Metkemeyer and D. Mayer, "Development of a Clean Stand-alone Power System Integrating PV, Fuel Cell and Electrolyser", Proc. of the Photovoltaic Hybrid Power Systems Conference, Aix en Provence, Session I, Oral, 2000.
- [2]Metwally Aly Abd El-Aal, "Modelling and Simulation of a Photovoltaic Fuel Cell Hybrid System", PhD Thesis, Faculty of Electrical Engineering University of Kassel, pp 166, 2005.

Acknowledgements

Ege University Solar Energy Institute and Hatgrup are acknowledged for their help and support in our studies.

SOLAR AS A SOURCE FOR SHALLOW GEOTHERMAL APPLICATIONS

Olof ANDERSSON

Sweco Environment AB, Shallow Geothermal Department

Abstract

Solar energy is naturally stored in the underground. If the underground is chilled down by heat extraction it will immediately start to be re-charged by heat from the surroundings, mainly as solar as a source of energy. Put into practice, systems using the underground as a source of heat and cold production are named Shallow Geothermal. In this paper an overview of these systems and their applications are given.

Introduction

Under normal conditions, the temperature at the depth of 5-10 meters reflects the average temperature in the air. However, at places with snow in the winter the ground temperature will be a few degrees higher since the snow will insulate the surface. At greater depths, the ground temperature will increase due to a thermal heat flow. This flow creates a geothermal gradient that in average is around 3°C/100 m. In countries with old crystalline rocks the gradient is often much less, while in countries with clayey rocks have a higher gradient. The heat flow represents around 0.06 W/m², or approx. 5 kWh /m² annually. However, the variation is rather large and depends greatly on geographical position and local geological conditions.

The solar radiation that is absorbed by the ground (in Sweden some 1 000 kWh/m²) is much higher than the geothermal heat flux. In practice, this means that the major portion of extracted heat from the shallow underground is reheated by solar energy, rather than geothermal heat from below. This basic knowledge, on how heat transfer in the underground works, suggests that shallow geothermal applications should be regarded as solar energy systems. In any case, both solar and geothermal energy is classified as renewable resources (RHC-ETP, 2009)

Utilization Of Thermal Energy Extraction Systems

Extraction systems mean that low temperature energy is extracted from the soil or upper parts of the bedrock either for space heating or cooling purposes. For utilization of heat an electrical driven heat pump is normally used. These systems sometimes referred to as Ground-Source Heat Pump systems (GSHP) encounter mainly three different commercial systems. These are by order of magnitude in application, "rock heat", "top soil heat" and "ground-water heat" (freely translated to English). However, in some cases, the rock heat system is also used for "free" comfort cooling.

For industrial purposes single boreholes are also used for dumping of heat in the underground, especially in the telecom sector. It is then referred to as "rock cold". Also ground water is often used for cooling, especially in the industrial sector, and then called "ground water cooling".

The rock heat system is principally illustrated in figure 1. The system contains a borehole in which a borehole heat exchanger (BHE) is inserted. The BHE consists of a single or double plastic U-pipe in which a heat carrier fluid is circulated. The fluid is transferring heat from the rock to an electrically driven heat pump that increases the temperature so it can be used for space heating and preparation of hot tap water. In Sweden there are currently around 250 thousand of these installations. This makes Sweden the world leading country for this type system, counted as per capita.

The second common GSHP system is the "top soil heat". As shown in figure 2, this system is applied in gardens or other larger surface areas by plowing down a plastic tube at depth of approx. 1 meter. As in the case of rock heat, a fluid is circulated through the tube, extracting heat from the soil. The difference is that the top soil system is based on freezing the moisture in the ground as energy released when water turns into ice (phase change energy). Hence, these systems works best in fine grained soil with a high porosity.

The temperature of ground water is constant all over the year. In general the average temperature in the atmosphere is reflected at depth of 5-10 m below surface. Further down the temperature will increase due to the geothermal gradient (expected temperature at 100 m depth is shown in figure 1). The relatively high and constant temperature makes ground water the most efficient heat source of all.

Another advantage is that that the ground water also can be directly used for cooling, both for comfort and process cooling. However, using ground water for technical purposes is limited. In Sweden only 10-15% of land has aquifers and on top of that using ground water is heavily regulated. There are also potential chemical problems involved, mainly with corrosion and clogging by iron precipitation. For these reasons there are not so many plants realised (approx. a couple of thousands in total). Still, the ones existing are often large scaled with capacities in the range of 100-1 000 kW.

In **table 1** the experienced working temperature of the geothermal source, the efficiency expressed as seasonal performance factor (SPF) and the profitability expressed as straight pay-back time is given. Working temperature address the maximum and minimum fluid temperature on the evaporator side of the heat pump. For validation of figures the temperature on the condenser side is +45°C. The efficiency is calculated by dividing the production of heat from the condenser with the consumption of electricity for running the heat pump and some minor pumps belonging to the production system.

Ground source cooling reflects the ambient temperature of the rock or the ground water that are being used for cooling. The ground water systems have the highest efficiency and the lowest pay-back time.

Table 1. Typical operational and economic data for different GSHP systems in Sweden

Type of system	Working temp. (oC)	Efficiency (SPF)	Pay-back time (year)
Top soil heat	-5/+5	3,0-3,5	4-7
Rock heat	-3/+7	3,5-4,0	5-8
Ground water heat	+3/+10	4,0-5,0	2-4
Ground source cooling	+3/+10	30-60	0-6

It has been estimated that the GSHP systems contribute to Swedish space heating with 18 TWh annually. Of this energy approx. 6 TWh is electricity for running the heat pumps, while 12 TWh is extracted from the underground (Nowacki 2007). This will correspond to 15 % of the energy demand for space heating. Since the systems mainly are used to replace old oil burners the ground heat represents some 1,5 million m³ of oil (9.5 million barrels). Hence, the systems greatly decrease the emission of carbon dioxide and other environmentally harmful flow gases (Andersson 2009).

Utilization Of Underground Thermal Energy Storage Systems (UTES)

The extraction systems described above recover in a passive way, mainly by energy exchange with the atmosphere but to a minor degree by the geothermal heat flow. In UTES systems thermal energy is actively stored in underground. In most cases the storage is seasonal. This means that heat is stored from the summer season to be utilised during the winter season. For cooling purposes, cold is stored during winter to be recovered during the summer. Most of Swedish applications combine these two modes of operation. The two commercial systems are Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) and Borehole Thermal Energy Storage (BTES). These are principally illustrated in **figure 3**.

In ATES systems groundwater is used to carry the thermal energy into and out of an aquifer. For the connection to the aquifer water wells are used. However, these wells are normally designed with double functions, both as production- and reinjection wells. The energy is partly stored in the ground water itself but partly also in

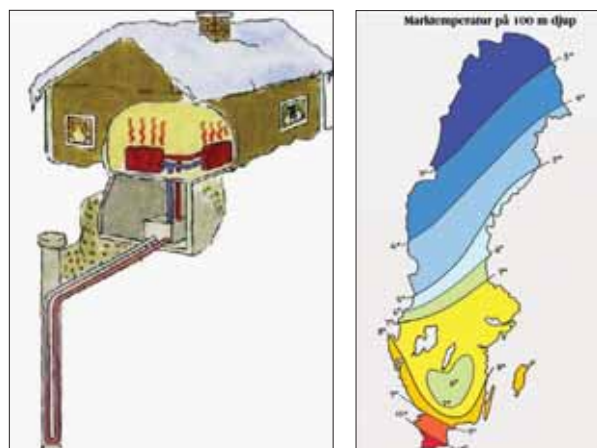


Figure 1. Rock heat is typically used for single residences. Heat is extracted from a closed loop entering a 100-200 m deep borehole. In Sweden the rock temperature varies between 10 and 3°C.



Figure 2. Top soil heat, often for a single house on the country side extract energy from the soil. Ground water heat is more effective, but is normally used in larger scales.

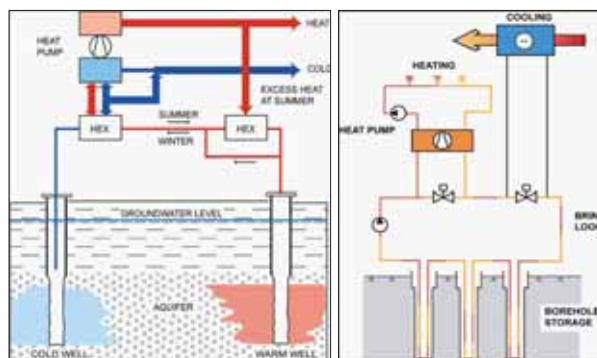


Figure 3. Principal configurations for the most common ATES (left) and BTES (right) systems

the solids that form the aquifer. There are two modes of operation. In winter with a dominating heat demand, the warm wells are delivering heat to the heat pump over a heat exchanger. The chilled ground water is injected through the cold wells and cold is stored around these wells. In summer the flow direction is reversed and the cold is recovered and directly used for cooling. The waste heat

from the cooling loop is then stored in warm wells. For peak shaving of cold the heat pump may be used. If so, the condenser is chilled by the ground water and the heat is stored in the warm side of the aquifer. Typical temperatures are 12-14°C on the warm side and 4-8°C on the cold side of the aquifer. Worldwide there are thousands of ATES systems in operation, with the Netherlands as the main user. In Sweden ATES was implemented in the mid 80-ties and currently there are approx. 100 plants realized. The Swedish systems are large scaled and the average of capacity is around 2,5 MW (Andersson 2006).

BTES systems consist of a number of closely spaced boreholes, normally 50-200 m deep. These are serving as heat exchangers to the underground. For this reason they are equipped with Borehole Heat Exchangers (BHE), typically a single or double U-pipe. In many countries the boreholes have to be grouted after the BHE installation. In Sweden no grout is demanded unless a system is located to a water protected area. Instead the boreholes are naturally filled with groundwater. It has been shown by experience that water filled boreholes are more efficient than grouted ones. In the BHE, heat carrier is circulated to store or discharge thermal energy into or out of the underground. The storing process is mainly conductive and the temperature change of the rock will be restricted to only a few meters around each of the boreholes. The rock temperature will typically swing between +2°C at end of winter and +8°C at the end of summer. The numbers of BTES plants are steadily growing and in Sweden it is estimated to be some 300 plants with more than 20 boreholes. These are typically applied for combined heating and cooling of commercial and institutional buildings.

A couple of BTES installations are also used for high temperature storage (>50°C). The concept is to demonstrate how solar energy and industrial waste heat can be efficiently seasonally stored. In general, BTES systems are regarded as having a huge market potential since they can be adopted practically anywhere, have a long lifetime (>50 years) and have a minimum of maintenance cost.

The experienced statistics on existing Swedish ATES and BTES systems used for combined heating and cooling are shown in table 2 (Andersson 2009).

Table 2. Typical operational and economic data for ATES and BTES systems in Sweden			
Type of system	Fluid temp. (oC)	Efficiency (SPF)	Pay-back time (year)
Aquifer storage (ATES)	+6/+14	6-7	1-3
Borehole storage (BTES)	-2/+9	4,5-5,5	4-6

Some Examples From Sweden GSHP for a single family house

The most common GSHP installation would be a rock heat system principally shown in figure 1. Applied on average Swedish single

family house with 150 m² of living area a heat pump with 6 kW capacity would be typically used. This would need some 4 kW on the evaporator side. This means a COP of 4, 0, or 1 kWh of electricity to deliver 4 kWh of heat from the condenser side.

The rock would normal be granite or gneiss with a thermal conductivity of at least 3 W/m, K. This conductivity indicates a borehole with a depth of approx. 130 m. This calculation assumes that the lowest average temperature allowed in the heat carrier fluid is -3oC and that the borehole is equipped with a single plastic U-pipe as the borehole heat exchanger (BHE).

The total cost for the installation is 120 000 SEK. The heat pump will have some 3 500 hours of running time producing some 21 000 kWh of thermal heat. The electricity used for this production is in the order of 6 000 kWh at a cost of approx. 6 000 SEK. The value of the energy conservation (15 000 KWh), replacing oil, natural gas or an electric boiler is in the order of 15 000 SEK the first year. Hence, a straight pay back time of 8 years is indicated. As a bonus a simple air conditioning system using the borehole as a source of free cooling could be installed at a cost of approx. 8 000 SEK (a simple water-air fan heat exchanger). This installation would be paid back rather quickly (2-3 years) compared to a system with a conventional chiller.

ATES and BTES for commercial buildings

As examples of applications in Sweden, one ATES and one BTES system for heating and cooling of IKEA stores can be used. The stores are of similar size and have in principle the same specific heating and cooling demands. The main designing parameters for the two subjects are shown in table 3.

Table 3. Main designing parameters for two IKEA stores in Sweden					
Store and system	Floor area (m ²)	Heat load (kW)	Cold load (kW)	Heat temp. program (°C)	Cold temp. program (°C)
Malmö, ATES	40 000	1 400	1 350	55/40	10/16
Uppsala, BTES	36 000	1 300	1 300	55/40	10/16

Hot tap water is in both cases produced by a separate heat pump at a temperature of +60°C. The systems have electric boilers to cover peak heat demands. To make the systems 100 % renewable, only green electricity is used to run the heat pumps, other pumps and electric boilers in the systems.

The ATES plant in Malmö use a fractured limestone as an aquifer. There are 11 wells, 5 warm and six cold ones. They are all 90 m deep and the maximum flow rate of the system is 50 l/s. The installed heat pump capacity is 850 kW (60% of the maximum heat load). A normal winter, the heat pumps will cover approx. 90% of the heat demand, while the electric boiler takes the rest. The average temperature coming from the warm side of the storage is +11°C. The reinjection temperature to the cold wells is always kept at +5°C.

The BTES plant at Uppsala use 100 boreholes, drilled into granite. The borehole distance is 5 m and in the holes 16 800 m double U-pipes are installed. The assembled heat pump capacity is approx. 1 400 kW, designed to cover the full cooling load in late summer when the cold from the boreholes is limited. The working temperature of the fluid is +1°C as lowest (winter) and +25°C as highest (summer). Approx. 95 % of the heat and 30 % of the cold is produced by the heat pumps.

Both systems are in a successful operation, but it is too early to have a full operational experience. In table 4 the calculated operational figures are given .

Table 3. Calculated energy balance for the two IKEA stores in Sweden				
Store and system	UTES heat (MWh/year)	UTES cold (MWh/year)	Electricity used (MWh/year)	Seasonal Performance Factor (SPF)
Malmö, ATES	1 580	1 420	485 (685)	7.2 (5.4)
Uppsala, BTES	1 590	1 510	660 (770)	4.7 (4.1)

References

- Andersson, O. 2006. Ground Source Heating and Cooling – A Significant Contribution to CO₂ Reduction in Sweden, ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, NJ, USA, May 31 – June 2, 2006.
- Andersson, O. 2009. Ground Source Heating and Cooling in Sweden. IEA Heat Pump centre. Newsletter. Vol. 27, No.2/2009, pages 19-22.
- Nowacki, J-E.: Heat pumps in energy statistics. Suggestions. Nowab AB, STEM dnr:17-07-3884, 2007.
- RHC-ETP. 2009. Homepage: www.rhc-plattform.org

Conclusions

Shallow geothermal systems show a steady growth on energy market worldwide. The potential of replacing fossil fuel and for an effective usage of electricity is huge. In principle one or several systems are applicable in almost any type of climate, either for heating or cooling, or combined heating and cooling.

In principal these systems works directly or indirectly with solar as the major source of energy. As such it has been recognized as a true RES within the EU, just as the geothermal portion has. Presently efforts are made to coordinate the research and the further deployment of the technology in RHC-ETP (Renewable Heating and Cooling-European Technology Platform).

As driving forces for a broader implementation on the market, a number of existing plants show that the technology is efficient with SPF values ranging from 3 (heat pump supported) up to 60 (direct use). This, together with a reasonable, or sometimes excellent, profitability indicates a promising future for the Shallow Geothermal systems.

TRANSITIONING TO AN ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL CAMPUS

Özge Yalçın ERÇOŞKUN

Gazi University
Department of City&Regional
Planning, Faculty of Architecture

Abstract

Universities influence generations of students whose future behaviors and decisions are shaped by what they learn from their campus experience and the actions of the university staff. The University should apply environmental regulations and a proven effective system of environmental management accountability. The University should plan its future with planning decisions that reflect a balance of economic, environmental, and socially responsible values. Some universities are committed to developing and maintaining an environment that enhances human health and fosters a transition toward sustainability through the management of building design, construction, renovation, landscape, renewable energy, water, waste, emissions, transportation, human health and productivity.

In this paper, some sustainable, eco-tech, solar and eco-campuses in the world will be analyzed. Efforts in Turkish universities on eco-tech issues will be explained in Section 3. The contradictions, some hints and recommendations on eco-tech programs and campus-wide sustainability principles for universities will be presented for the solar future.

Keywords: Eco-tech campuses, Turkish universities, sustainable universities, campus-wide sustainability principles, solar applications

1. Introduction

In December 2002, United Nations Resolution 57/254 was adopted which established the United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014) [1]. Today it is not that hard to find a professional association related to building design, construction, maintenance, and operation, as well as community planning and development related to sustainability. Higher education in the world tries to adopt the green movement. Many universities are in various stages of organizing for sustainability.

Sustainability has to do with reducing our footprint on the future. Most people will agree it contains the following main components – 1) improving economic efficiency, 2) protecting and restoring ecological systems, and 3) enhancing the well-being of all people. A sustainable campus program addresses all of these components.

Some type of committee or council is needed in the beginning in order to share information, understand the issues and concepts, and de-

velop plans for future initiatives. Nearly every department on campus has some role to play. Some universities have established an Office of Sustainability to coordinate many planning initiatives, projects, networking, and monitoring of the program's progress in achieving its goals [2].

A successful endeavor to transition to a sustainable or eco-tech campus involves four aspects of the university community – the administration, academic departments (students and faculty), the university research effort, and the local community. In detail (The Sustainable Campus Information Center website):

Administration: The administration has a very significant impact by decisions they make concerning new building design, repair and renovation projects, building operations and maintenance, procurement practices, landscaping, recycling at various levels, waste and energy management, transportation, food service and dining and residential operations.

Academic Departments: The educational side is also important. The investment in the education of students on these subjects has a long term benefit. They will eventually become leaders in their community and bring with them the concepts of sustainability. Service-learning is a teaching method that allows students to learn required curriculum while applying what they learn to real world problems. This can have an immediate benefit depending on the nature of the service requirement. Further educational opportunities exist with developing courses on sustainable development, informal workshops and training, as well as e-learning.

Research: The research sector of the university has a role in terms of its near and long term impacts. There can be projects with ecological habitats and other environmental issues. Areas for research could also include large scale composting, procurement practices, production methods, alternative energy sources, and any number of building design, construction, operations and maintenance practices.

Local Community: The local community can also provide various levels of resources to assist the sustainability effort and includes alumni, the business community, utility suppliers, community organizations, and local chambers of professions. One of the most effective structures for implementing a sustainable

campus is eco-certification programs like LEED-ND program established by the US Green Building Council. The University could establish a goal to develop a plan on how it could achieve a LEED-ND. The LEED-ND is composed of prerequisites and creditable items in the major categories of smart location-linkage, campus pattern and design, green infrastructure and buildings, innovation and design process [3].

The structured approach can help to integrate the efforts of the four aspects of the campus community (administration, academic, research, and local community) toward a common goal. It can help form the basis of planning and organizing efforts to accomplish a sustainable campus. Individual and disconnected on-going initiatives can be brought in under the overall green development umbrella [2].

The United Nations Decade of Education for Sustainable Development, 2005-2014 has passed its mid-point. Chapter 36 of Agenda 21 on education, training and public awareness identifies four overarching goals [4]:

- ▶ Promote and improve the quality of education: The aim is to refocus lifelong education on the acquisition of knowledge, skills and values needed by citizens to improve their quality of life.
- ▶ Reorient the curricula: From pre-school to university, education must be rethought and reformed to be a vehicle of knowledge, thought patterns and values needed to build a sustainable world.
- ▶ Raise public awareness of the concept of sustainable development: This will make it possible to develop enlightened, active and responsible citizenship locally, nationally and internationally.
- ▶ Train the workforce: Continuing technical and vocational education of directors and workers, particularly those in trade and industry, will be enriched to enable them to adopt sustainable modes of production and consumption.

Chapter 36 of Agenda 21 aims for education for sustainable development (ESD). If parameters in traditional education and ESD are compared, it can be said that universities should update their structure and education according to these new world conditions (Table 1).

Table 1. Parameters in traditional education versus ESD [5]

Parameters	Traditional education	Education for Sustainable Development
Curriculum structure	Fragmentary	Holistic
Flow of decisions	Top-down	Bottom-up
Consultation	Rare	Common practice
Change strategy	Change imposed from outside	Change coming from within
Teaching emphasis	To transmit knowledge	To organize the learning process
Organization of knowledge	Mono-disciplinary	Multi-disciplinary
Knowledge structure	Predetermined	Problem oriented
Function of knowledge	Individualistic	Societal
Role of ethics and values	Peripheral	Central

It is an essential task of universities to educate future decision makers and to provide continuing education and training programs promoting sustainability. For the universities the following approaches in its corporate strategy are summarized [6]:

- ▶ Environmental approach (energy, material-flows, water, emission and waste management transport)
- ▶ Economic approach (labor market, regional integration, health and security, equality, lifelong learning)
- ▶ Educational approach (curricula, Bologna process)
- ▶ Research approach (research on sustainability, ethical standards, inter and trans-disciplinary cooperation)
- ▶ Management approach (structural integration of sustainability, participation, values in decision making processes)

Sustainability should be a part of the university's mission and the university management takes the leading role in supporting this idea. The next section exemplifies sustainable campuses in the world. Campuses specialized only eco-technologies or solar energy or ecological issues are also covered.

2. Sustainable, Eco-Tech, Solar And Ecological Universitycampuses In The World

Some universities have made serious efforts to go green and leave a smaller carbon footprint on the environment in recent years. Here are some of the American colleges and universities that have been at the forefront of the green movement, along with some of their innovations.

In 2008, the U.S. colleges and universities are ranked for the first time that they considered most sustainable. 11 schools are listed as: 1) Arizona State University, 2) Bates College, 3) College of the Atlantic, 4) Emory University, 5) Georgia Institute of Technology, 6) Harvard University, 7) SUNY Binghamton, 8) University of New Hampshire, 9) University of Oregon, 10) University of Washington, 11) Yale University.

So what makes a campus sustainable? It is explained in detail below by giving some U.S. examples [7]:

Alternative Energy Sources: One step that many of these schools above have taken is to find ways to use alternative forms of energy. The College of the Atlantic in the U.S. which has achieved its goal of becoming a net-zero carbon emissions institution, powers the campus primarily through hydro-power. The University of New Hampshire is in the process of converting the campus primarily to landfill gas. At Carleton College, the campus receives about 40% of its power from a wind turbine.

Environmentally Friendly Construction: Another green trend on college campuses is new construction that follows the LEED guidelines. These buildings are created with eco- friendly materials and products, and are designed to use energy and resources efficiently. Emory University and SUNY Binghamton are two of a growing

number of schools around the country that have adopted LEED guidelines.

Green Cafeteria Choices: Schools are also finding ways to feed their populations of students and employees in more sustainable ways. One strategy is to rely more on locally grown, organic foods that do not need to be shipped in from elsewhere. In some cases, food production takes place on campus; for example, the University of New Hampshire has an organic dairy farm. Another trend is to get rid of trays in campus cafeterias, which eliminates the need to use a significant amount of water and cleaning materials to sanitize the trays.

Alternative Transportation: Some campuses find ways to decrease the amount of cars on campus. Some schools adopt rental program, which allows students to rent cars for short periods of time instead of bringing their own vehicles to campus. Emory University helps students get around with a fleet of shuttles that are powered with alternative fuels.

Green Coursework: Many of campuses also offer extensive coursework that focus on sustainability, and have found ways to incorporate environmental topics across the curriculum. For example, the University of Oregon offers over 200 classes with a sustainability emphasis. However, no school focuses more on environmental studies than the tiny College of the Atlantic in Bar Harbor which is an entire school devoted to the study of human ecology.

Yale University in the U.S. is one of the national and international leaders in sustainability, the Office of Sustainability has expanded to 26 full-time equivalents, 30 paid students and over 250 volunteers from across all facets of the campus in 2009. Their activity is embedded in an organizational framework focused on [8]: systems operations (transport, dining services, waste management, landuse, building design, etc.), policy and governance, academic integration, campus engagement, strategic partnerships. Their targets include a 10% greenhouse gas reduction from 1990 levels by 2020, all new construction meeting the LEED silver standard, and a 40% recycling target by 2010. In the future, the sustainability office will be paying attention to a 100% recycled content paper campus-wide [9].

In 2008, sustainability became an issue of the highest priority at ETH Zurich, Switzerland. ETH campuses develop a stringent building code for new construction, and show a significant decrease in fuel consumption and CO₂ and NO_x emissions, as well as a major reduction in the amount of waste and the consumption of paper [10].

The King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia, focuses on energy production in the future, environmental remediation, carbon sequestration, water and desalination technology, diverse bio-technology applications and sustainable agriculture. KAUST made a commitment at the beginning of the design process to use the most innovative and

cutting-edge design and building eco-technology available. As the facility is located close to the sea in a hot, humid climate, a strong emphasis was put on heating/cooling and energy management issues. The design team drew on sustainability concepts ranging from the traditional Arabic courtyard house and urban space design, to the use of cooling wind towers, as well as bio-concepts from the ecology of mangrove swamps. In addition, multiple types of transportation are being considered to reduce carbon emissions (trains, solar cars, and personal carriers such as segways and bicycles) [11].

Moreover, here are the examples of eco-tech campus movements:

A team of students at the Saginaw Valley State University, Michigan, USA have begun working on a project, which will green all vehicles that are used to run to and from the university greenhouse. The team is building a electric golf cart recharging station, which will actually be a foldable wooden shed with four solar panels and a wind turbine, which will be capable of generating 400 watts of green electricity. The energy harnessed from the natural resources will be fed into a bank of batteries, which will store the charge of the golf carts. The station has been designed with a collapsible wind mast so that it can be shown off at various events in an effort to depict the power of renewable energy [12].

Canadian university harnesses geothermal energy for heat and power. The University of Ontario Institute of Technology (UOIT) has invested in an ambitious project to capture geothermal energy to meet the power needs of its academic buildings and campus. At the UOIT, the geothermal well field is situated underneath an ear of the size of a football ground in the midst of the campus. The campus has eight buildings that are designed to be heated and cooled with renewable energy present underground, which minimizes greenhouse gas emissions. The geothermal system has the capacity to cool or heat about 1000 homes and roughly delivers about 8MW of power. In addition to the use of renewable energy, the university has also installed green rooftops on five of its academic buildings, which prevent water runoff and also provide natural cooling [13].

Some university campuses are specialized in solar energy more to be a solar campus, here are some solar campus examples from Libya, Germany and India.

University Zuwarah Technological Campus is underway with the Libyan government to be a solar campus. Planning and construction of the campus along with its 13 buildings is expected to be completed by the help of construction firms within three years (Figure 1). The developers have placed special emphasis on sustainability and the overall impact of the design on the ecosystem. The development will house several energy-saving systems that will reduce the demand for energy. Moreover, the developers are also planning a solar plant in conjunction with the campus infrastructure, and the building will be optimized for solar and thermal control. With all these systems in place, the development should accomplish the requirements of LEED GOLD certification [14].

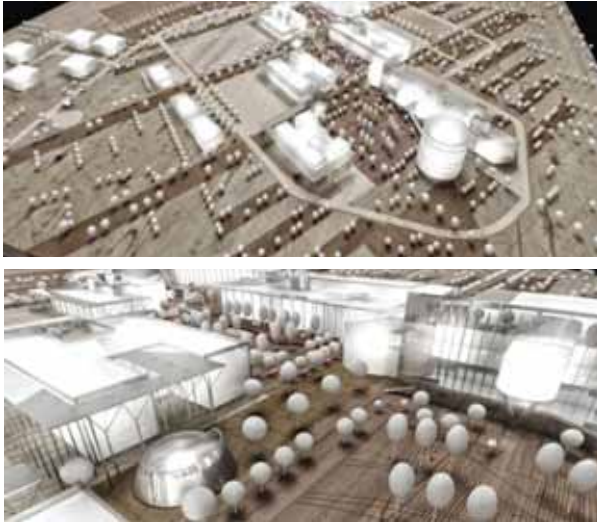


Figure 1. University Campus in Tripoli to be powered by solar energy [14]

Jülich Campus of Technological High School Aachen in Germany is a candidate of solar campuses, too. Solar construction continues for housing, employment, research and education. All buildings comply with solar architecture and are equipped with the latest heating, cooling and ventilation technology. The housing complex for 136 students was realized in five building rows featuring various architectures, insulation standards and domestic engineering concepts. A circular auditorium with two seminar rooms and a library was constructed according to low energy principles. The cooling is performed via an air/earth heat exchanger. Rainwater collected in the roof area is used for toilet flushing [15].

The world's largest Solar Parabolic Concentrated Technology Systems was inaugurated at Sathyabama University in 2009 (Figure 2). Sathyabama University has a very huge population of students and by installing these systems, a lot of energy and fuel was saved. Food for nearly 30.000 people can be served through these solar systems. Students would now be working on a new project to bring a storage system where solar energy could be stored and used during rainy and non-sunny days. The university will recover their expenditure on this solar system in three years. This system encompasses 110 dishes and has the capacity to prepare about 30.000 meals a day. The solar cells at the Sathyabama University have been designed in a way that they can be used in preparing lunch and dinner. Its main purpose is to serve the students with food and also hot water for the hostel students to late evening [16].



Figure 2. Solar panels installed on the Sathyabama University campus, India [16]

Consistent to their philosophy, universities in Asia improved themselves towards ecological campuses. Some universities from Japan, Taiwan and Ghana from South Africa present good examples on eco-campuses.

Although many Japanese universities have beautiful campuses, few have campus master plans. One notable exception is Hokkaido University, which in 1996 established the first campus master plan in Japan, focusing on eco-campus, green buildings, car-free zones, and an open space network. Other examples of campus sustainability projects in Japan relevant for campus master planning include the Todai sustainable campus project of the University of Tokyo, sustainability planning at Nagoya University, and the use of hydrogen gas and natural gas energy at Kyushu University [17].

The governmental Ministry of Education in Taiwan created a Technical Committee for Sustainable Campuses to review operational schemes, monitor progress, and offer advice on appropriate strategies for improving campus sustainability. In 2002, 76 schools submitted proposals and 23 projects were funded. A wide range of demonstration programs have been developed in areas such as resource recycling and reuse, permeable surface paving, constructed wetland purification systems, renewable energy use, site remediation, ecological recycling through composting, teaching gardens and the use of natural and recyclable building materials [18].

Development of eco-campus in National Taipei University of Technology (NTUT) was first introduced around 1980. That eco-environment is expanded to humanistic eco-environment. The green fences, with the bird nests they contain, became the outward image of an eco-campus. In 1996 the NTUT School Plaza was designed and was named Humanities Plaza. As the gateway to urban ecology, this project allows urban ecology and landscape to the campus which is Taipei's shortcut to eco-city. The Eco-Reservoir (Figure 3) was an eco-indicator environment. A completely splash-free pedestrian pavement would



Figure 3. Historical axis eco-renovation and section showing eco-reservoir in NTUT [19]

and Wall Re-vegetation Project, Campus Waterscape Project, Technology Greenhouse and Opto-Electronic Shade Project still continue. Also rice gardens are harvested by the students and staff in the campus [19].

Valley View University (VUU) is the oldest private university in Ghana with a campus area of 120 ha. There are around 1200 people but it is expected to grow up to 5000 in a few years. Valley View University has set its goal to become Africa's first real holistic ecological university. For this purpose a holistic ecological concept was developed. This concept designs the entire campus as a functional and sustainable ecosystem with all the required connections in matter, energy and information. The concept includes all important areas such as the master plan, buildings, water and nutrient cycles, agriculture, education, energy and quality management. The collected materials from the buildings are used in the VUU's own agriculture for the plantation of different crops. The collaboration with neighboring villages and farmers is of major importance to the overall project. In the ecological master plan the concepts for utilization were set out in a way that they are reasonably connected and agree with ecology (Figure 4). The common goal is to as much as possible keep the campus free of traffic. The buildings are arranged in a way that their diverse matter flows complement each other [20].



Figure 4. Ecological master plan of Valley View University in Ghana [20]

3. Efforts On Eco-Technologies In Turkish Universities

MTA Solar House is the first building in Turkey which was established in 1977. 30% of energy was generated by passive solar systems. METU built its solar house in 1976 and this house was renovated recently. Çukurova University built solar house in 1981 which fulfills its all energy from solar resources. Ege University has two solar houses built in 1986 and 1990. After 1990s, solar house trend increased in the universities. Hacettepe University, Pamukkale and Süleyman Demirel University built their solar houses, too. Last projects are from Diyarbakır Solar House which is used for education and energy architecture (Figure 5) and Yıldız Technical University energy house which uses solar, wind and geo-heat energy resources. İTÜ Eco-building (Figure 5) and METU Solar Energy Research Center house are in the project phase [21].



Figure 5. Diyarbakır Solar House [22] and İTÜ Eco-building [23]

Muğla University Rectorate Building is covered with PV systems to generate electricity from solar energy. Abant İzzet Baysal University installed a PV and wind turbine integrated system for street lighting of main pedestrian axis. METU has an office of sustainability studying on alternative transportation systems such as mono rail and bicycle network; they also aim to make campus barrier-free. Yalova University would like to produce its own energy from geothermal and wind resources. Harran University which has 2700 ha of land would like to build agriculture and renewable energy science park and international renewable energy center.

Table 2 gives the list of energy institutes and R&D centers in Turkish universities which was extracted one by one from universities' websites. There exist 141 universities in the country in 2009 (69% public, 31% private) [24]. Ege University solar energy institute, İTÜ and Tübitak-Mam Energy Institute take very small portion in this figure comparing 141 universities in the country. The research and development centers (R&D) built on clean energy have a number of 12 (10 public universities in Anatolia and 2 private in Istanbul). However, this topic is really new for this country and it is expected to increase of institutes and R&D centers rapidly in the near future.

Tübitak organizes Formula-G competitions for solar race cars created by universities since 2003. Istanbul University SOCRAT won Formula-G in 2009 [25] (Figure 6).



Figure 6. İstanbul Uni. SOCRAT solar race car [25]

Table 2 Energy institutes and R&D centers in Turkish universities	
Energy Institutes	R&D Centers
1. Ege Uni. Solar Energy Institute	1. Harran Uni. Solar Energy R&D center
2. İTÜ Energy Institute	2. Hacettepe Uni. New and Clean Energy R&D center
3. Tübitak-Mam Energy Institute	3. Gebze High Technology Institute Wind Energy R&D center
	4. Muğla Uni. Clean Energy Resources R&D center
	5. Dumlupınar Uni. Alternative Energy Resources R&D center
	6. Süleyman Demirel Uni. Renewable Energy Resources R&D center
	7. Gazi Uni. Clean Energy R&D center
	8. Ondokuz Mayıs Uni. Clean Energy Technologies R&D center
	9. Pamukkale Uni. Clean Energy R&D center
	10. Akdeniz Uni. Clean Energy R&D center
	11. Özyeğin Uni. Energy Environment and Economy Center
	12. Yeditepe Uni. International Center for Applied Thermodynamics

Only two graduate programs can be found on clean energies and energy and environmental management, one in Bahçeşehir University [26] and the other in Hacettepe University [27]. These multi-disciplinary programs should increase in the near future.

There are some efforts in faculties of architecture, city and regional planning departments on disseminating and designing eco-tech campuses. Gazi Uni. organized International Eco-Tech Cities Conference in 2008. Many international experts presented their best practices. Eco-Viikki including university and science park from Finland and Bo01 including university and state of the art housing from Sweden were the interesting cases. Moreover, Gazi Uni. 2nd class urban design studio students planned Gazi Uni. Çubuk Campus as eco-tech campus in 2008-2009 fall semester and made an exhibition in Çubuk campus staff and students, municipality and the public (Figure 7).



Figure 7. Gazi University projects of urban design studio for Çubuk Campus 2008-2009

The contradictions for universities' solar future and how they can be overwhelmed briefly are summarized in the next and the last section and some steps for sustainable campuses will be presented.

4. Contradictions And Sustainability Principles For Universities For The Solar Future

Every good and worthy endeavor will run into obstacles in spite of its apparently good potential outcome. The following list shows the most significant issues that will be faced in terms of implementing a sustainable campus. It also provides a process for how these obstacles can be overcome [2].

Understanding the significance of sustainable development: Universities like most organizations with a large mission and limited resources work on priorities. In the beginning, the organization's attention (interest, concern, and knowledge of the issue) is more

important than money. What is needed at first is a common vocabulary and understanding of the "why" and the "how" of a sustainable campus. This must occur at all levels of the organization.

Availability of information resources: Information on this topic is not easy to find in one place. Many people know a little bit about different aspects of the problem but are not often able to see the big picture. Unfortunately, myths also abound and complicate the task of informed decision making.

Cost of consumption virtually invisible: Very few organizations widely publish the cost of utility resources. In most cases only a few administration officials are aware of the amount of money spent on energy, water, and waste management. This contributes to the ambivalence toward energy, water, and other utility consumption. Even most department heads are not aware of the utility cost of their operations.

Perceived insignificance of the individuals' role: One of the problems with getting people involved in a conservation program is the perception that what one person can do is very little and therefore the effort is not worth the trouble. When viewed from the perspective of a total organizational effort, all these little bits of effort can add up to more capital for the organization.

Actions devoted to conservation perceived as more cost than benefit: Most people are not aware of the significance and impact of conservation efforts whether embodied in retrofit projects, training, education, or individual actions to control energy consumption in their own environment. They are also unaware of the embedded energy related to the choices they make.

Conservation perceived as doing without: Energy management focuses on eliminating energy waste and optimizing the use of energy when it is needed. There is a lot that can be saved just by eliminating waste. The green approach allows for improved working and learning spaces while reducing the cost of utility resources significantly.

Guidelines should be developed to facilitate exchange and to provide tools to enable organizational commitment and action. The charter can be structured around three topics: (1) sustainable construction, renovation, and campus operation; (2) sustainable mas-

ter planning and development, mobility, and community integration; and (3) the practice of linking facilities, research, and education for sustainable development.

For being a sustainable university, the approach can be categorized into six steps [8]:

- 1) Create an institutional strategy and vision: use of natural resources, system design in buildings, energy, landscape, water and waste management, transportation, integration of sustainability in culture, curriculum, research, human health and governance.
- 2) Continue to engage the efforts of students and staff
- 3) Develop a decision-making structure that engages a broad based coalition
- 4) Develop a management structure that leads to institutional change
- 5) Consider institutional results, projects, grants
- 6) Establish a sustainability metrics to measure progress.

Local, regional and international networks should be identified and campus management should be a part of these networks. For example, Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education is North America's major association of colleges and universities working to create a sustainable future. Copernicus Campus renamed as Copernicus Alliance strives to promote the role of sustainable development in European higher education. Such networks also include the three convening organizations of this conference: Sustainable Futures Academy, the Global University Leaders Forum and the International Sustainable Campus Network. Sustainability networks within Asia include the Australasian Campuses Towards Sustainability, the UNU Regional Centers of Expertise, Integrated Research System for Sustainability Science and the Korean Association of Green Campus Initiatives [28].

Today's graduates are facing unprecedented circumstances in the world. They are going to be challenged to stabilize world population; stabilize and then reduce the emission of greenhouse gases that induce climate change, protect and value bio-diversity, stop the destruction of forests worldwide; conserve energy; and stop soil erosion. They will also need to overcome the economic disparities that have deepened and the injustices that prevail.

References

- [1] Education for Sustainable Development, The United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014), UNESCO, <http://www.unesco.org/en/esd/>.
- [2] The Sustainable Campus Information Center website, <http://www.sustainablecampus.org/universities.html>
- [3] LEED-ND website, United States Green Building Council, <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=148>.
- [4] United Nation Chapter 36 of Agenda 21, http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_36.shtml.
- [5] Goncz, E. , "Universities and Their Role in Enhancing Human and Social Capital for Sustainability", *Committing Universities to Sustainable Development Conference Proceedings*, Graz, pp. 90-107, 2005.
- [6] Zimmermann, F., "The Role of Management in Sustainable Universities", *Committing Universities to Sustainable Development Conference Proceedings*, Graz, p.11, 2005.
- [7] Gladen, N.R., "America's Greenest Campuses 2008-2009", *Campus Life*, 2008, http://campuslife.suite101.com/article.cfm/americas_greenest_campuses_20082009.
- [8] Newman, J., "The Onset of Creating a Model Sustainable Institution, A Case Study of Yale University", *Committing Universities to Sustainable Development Conference Proceedings*, Graz, pp.22-29, 2005.
- [9] Newman, J., "Sustainability at Yale, From Collaboration to Innovation", *International Sustainable Campus Network /Global University Leaders Forum, Sustainable Academic and Corporate Campuses: Time to Implement Conference Summary*, p.10, Lausanne, 2009.
- [10] Bratrach, C., "Experiences from ETH Zurich", *International Sustainable Campus Network /Global University Leaders Forum, Sustainable Academic and Corporate Campuses: Time to Implement Conference Summary*, p.8, Lausanne, 2009.
- [11] Odell, B., "Experiences from the KAUST Campus", *International Sustainable Campus Network /Global University Leaders Forum, Sustainable Academic and Corporate Campuses: Time to Implement Conference Summary*, p.12, Lausanne, 2009.
- [12] Eco Tech: SVSU students to green their campus vehicles with solar and wind energy, <http://www.ecofriend.org/entry/eco-tech-svsu-students-to-green-their-campus-vehicles-with-solar-and-wind-energy/>, 02/01/2010.
- [13] Eco Tech: Canadian university harnesses geothermal energy for heat and power, <http://www.ecofriend.org/entry/eco-tech-canadian-university-harnesses-geothermal-energy-for-heat-and-power/>, 02/01/2010.
- [14] Uni. of Zuwarah Technological Campus, Libya, http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.projectview&upload_id=12813, 02/01/2010.
- [15] Schmell, R., Jülich- Solar Campus of Technological High School Aachen, <http://www.werkstatt-stadt.de/en/projects/33/>, 09/02/2010.
- [16] Mohaideen, F.K. , "Solar energy system on Sathyabama campus", *The Hindu*, 13 July 2009.
- [17] Kobayashi, H., "Towards a Sustainable Community through Campus Planning and Town-gown Partnerships", *International Sustainable Campus Network /Global University Leaders Forum, Sustainable Academic and Corporate Campuses: Time to Implement Conference Summary*, p.10, Lausanne, 2009.
- [18] Su, H.J., "Sustainable Campus Projects in Taiwan", *International Sustainable Campus Network /Global University Leaders Forum, Sustainable Academic and Corporate Campuses: Time to Implement Conference Summary*, p.8, Lausanne, 2009.
- [19] Tsai, J.H., Kang, M.C., "Ecological Campus Development at the National Taipei University of Technology", *Journal of Eco-technology*, Vol.2, pp.38-52, 2007.
- [20] Ecological Cycle Management at Valley View University in Accra (Ghana) http://www.ioev.de/projekt_VVU_Accra_e.html,

11/07/2009.

- [21] Akpınar, P., “ Türkiye’de Yeşil Bina Girişimleri”, Yeşil Ufuklar, Vol. 4, p.19, 2008.
- [22] <http://www.gunesevi.org>
- [23] <http://www.arkitera.com>
- [24] http://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye'deki_%C3%BCniversiteler_listesi
- [25] TÜBİTAK BİLTEK, Formula-G, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/etkinlikler/formulag/index.htm>
- [26] Bahçeşehir Uni. Energy and Environmental Management Graduate Program, <http://www.bahcesehir.edu.tr/fakultesayfa/yukseprogram/act/fenbilimleri/program/enerjicevre>
- [27] Hacettepe Uni. Clean Renewable Energy Graduate Program, <http://www.yetam.hacettepe.edu.tr/tanitim.htm>
- [28] Mital, S, Brundiers, K., Mader, C., Hopkins, P., James, P., Kildahl, A., Opportunities for Networking of Networks, International Sustainable Campus Network /Global University Leaders Forum, Sustainable Academic and Corporate Campuses: Time to Implement Conference Summary, pp.29-30, Lausanne, 2009.

ADOPTION MODEL FOR SOLAR TECHNOLOGIES

Pelin ERÇOŞKUN

Yeditepe University

Nilüfer EĞRİCAN

Yeditepe University

Kerem ERÇOŞKUN

Yeditepe University

Abstract

A renewables - intensive global energy future is technically feasible, and the prospects are excellent that a wide range of new renewable-energy technologies will become fully competitive with conventional sources of energy during the next several decades. Yet the transition to renewables will not occur at the pace envisaged if existing market conditions remain unchanged. The most important presidential and congressional actors held to a framing of the energy problem that made it impossible for solar advocates to present a compelling case that their technology fulfilled either the normative or pragmatic requirements were deeply intertwined. The current interest in solar energy and its anticipated future growth brings an unusual opportunity for the study of the consumer buying-behavior process surrounding solar energy products. Very little is presently known about how individuals and firms adopt themselves against innovative solar products. This study examines adoption and diffusion of products which rely on solar energy technologies within an innovation framework.

1. Introduction

Most of the energy resources we use today are finite. Sun is an infinite source of energy and is the source of life on earth. Even while we feed ourselves, actually we benefit from the solar energy which was converted to some kind of “consumable” energy through various ecologic cycles. Solar energy reaches earth in the form of light and heat, which both can be captured and convertible to other kinds of energy – in particular, electricity.

Solar energy as heat has been used as a means for passive heating and cooling systems; and sun light was used for ergonomic, aesthetic and semiotic purposes since ancient times. Though with industrial revolution and mostly after the “Second World War”, humanity faced a mental trauma and most of its “environment friendly know-how” which enabled sustainability of the humankind has been replaced by emerging “new” technologies. Since then technology acted as a factor to affluence and population which has a negative impact on the environment. It acts as an impact which threatens the future – the sustainability of the humankind. Fortunately, soon after realizing the problem, latest developments in technology mostly inspire from the nature itself and so advanced that it can also be used to negate this impact, with an even positive effect which heals the negative effects of population and affluence.

Developing such advanced technologies has a lifespan from initial invention to widespread use. A potential benefit exists if this lifespan can be analyzed with all factors affective over the process within a structured methodology. In this paper we develop a simple model to identify some basic factors which affects to the process for solar technologies.

Problem Context

The current interest in solar energy and its anticipated future growth, an unusual opportunity exists for the study of the consumer buying-behavior process surrounding solar energy products. Very little is presently known about how individuals and firms adopt innovative products which rely on solar technologies (Breescu, 2001).

The aim for sustainability assessment goes even further than at the design stage of a project to consider its importance at an early stage, before any detailed design or even before a commitment is made to go ahead with a development. However, little or no concern has been given to the importance of selecting more environmentally friendly designs during the project appraisal stage in which environmental matters are best incorporated [5].

A future scenario for the humankind must be developed. Hence the population is always increasing it may be foreseen that we would need to leave the land for agricultural facilities and move the population to live on or in the seas or other remaining land which is not suitable for growing plants or feeding animals. We would also have to relocate the place of industrial zones to protect freshwater resources and develop – build gray water and storm water collection systems, giant desalination facilities, while reducing energy requirement which rely on finite resources to operate such facilities. Either it would take a decade or a century, we have to start preparing for tomorrow now for the sanity of our children. None of the statements given above are novel but too few arguments exist to answer the question: “How?”

Methodology

Construction has been accused of causing environmental problems ranging from excessive consumption of global resources both in terms of construction and building operation to the pollution of the surrounding environment. Research on green building design and using building materials to minimize environmental impact is

already underway. This study examines innovative technology developments for solar energy products within an adoption and diffusion of innovations framework.

In this paper the role of technology, energy and sustainable development as a driver for solar energy products adoption is examined. The adopting unit may be an individual or a group that participates in the decision making process to adopt a given innovation. While for many consumer products and services the individual consumer is the adopting unit, in most cases the adopting unit of solar energy innovations may include the user, the architect, the builder, or an organization.

Since our primary focus is the construction sector we elaborate on the "Integrated Design Process (IDP)" as the "Contemporary Knowledge Management" progress for "Innovation" in "Architectural and Engineering" design. We then elaborate on the general outcomes of such Endeavour in terms of unit costs of investments and employment opportunities. The analysis helps to identify key drivers for renewable power projects, energy demand, and comprehensive national policies.

Related Work

Past research shows that several types of domestic solar systems are well-suited to an urban environment. These technologies are proven, effective, and offer the opportunity for individuals to make a statement about their environmental beliefs (Brescu, 2001). These systems are also defined as economic (Book, 1999), affordable (Berger, 2001), compatible with other technologies (Knudsen, 2002), enable to reduce pollution (Luque, 2001), and technically reliable (Cabral et al., 1998).

The adoption of an innovation is partly dependent on the consumers' perception of the product attributes, starting with the 'relative advantage' a product may have over another existing product, and also include issues of compatibility, complexity, observability and trialability (Faiers. A., et al, 2006).

Thus a key point in the question of how technology and sustainable development interact with respect to global environmental constraints is how effectively resources that have become scarce owing to global environmental constraints can be substituted for by an unlimited resource, technology. (Kaya, Yokobori, 1997).

Adoption Of Solar Technologies

Solar energy is the main source of most of the important renewable energy resources consisting of "Thermal" (heat and radiation), "Hydropower" (the hydraulic cycle), "Kinetic" (wind power), and "Biomass" (for food and power). The Hydroelectric power, "Concentrating Solar Thermal" and "Photovoltaic" power. Most of the renewable energy facilities installed today is for electricity generation, especially hydro electric and geothermal facilities; and, the proportion of renewable energy consumed for generating electricity in relation to the total renewable energy consumed each year during this five year period remained nearly constant at approximately 66%. (Kruger, 2006)

At present, solar energy conversion technologies face cost and scalability hurdles in the technologies required for a complete energy system. To provide a truly widespread primary energy source, solar energy must be captured, converted, and stored in a cost-effective fashion. New developments in nanotechnology, biotechnology, and the materials and physical sciences may enable step-change approaches to cost-effective, globally scalable systems for solar energy use. (Lewis, 2007)

Moreover, because the size of most renewable- energy equipment is small, the development and use of renewable –energy technologies can advance at a faster pace than conventional technologies. Whereas large energy facilities require extensive construction in the field, where labor is costly and productivity gains difficult to achieve, most renewable energy equipment can be constructed in factories, where it is easier to apply modern manufacturing techniques that facilitate cost reduction. (Kaya, Yokobori, 1997). Renewable energy consisting of fluxes available on a daily basis from incoming solar and lunar sources.

The contribution of renewable energy sources to the global primary energy supply was 13.5 per cent in 2001 (IEA, 2003b). Biomass is the most important renewable energy source today and has a share of 80 per cent among the renewables. Only three centuries ago, renewable energy sources provided virtually the entire global energy supply and many studies show that this might be achieved again in the future. However, other renewable energy sources such as solar power and wind power will be crucial in the future.

Within the scope of this research, macro factors affecting the adoption of solar technological developments have been identified as "Innovation", "Economy", and "Public Policy" factors. Many other secondary parameters contribute to the adoption process.

Innovation

Innovation has two quite distinct meanings. The first meaning is that of invention, creation, or discovery, to bring forth something truly new and useful. The other meaning is adoption of what is new to you, whether "you" are an individual or an organization (Coates J. F., 2003)

Particular ideas, interests, and institutions shape the energy problem frame. In doing so they also influence the way in which decision makers and the public see solar energy and its potential to solve energy problems. The failure of solar energy to develop in these years focuses on the lack of any pressing short term need for it. Although conditions changed and decreasing prices in most parts of the energy market characterized the postwar period to 1968 (Laird, 2001).

Solar advocates were unsuccessful by 2001. Though they succeeded in institutionalizing ideas, especially normative values, favoring the promotion of solar energy, while lack of supporting institutionalized values influenced both the interpretation of empirical ideas and the arena in which the assorted interests sought their preferred policy.

The driving force behind achievement of sustainable development was the development of manufacturing industry, and the rapid enhancement of productivity levels was most typically observed in the overcoming of constraints in the supply of energy by means of technological development. It is noteworthy that this enhancement was successful because of such means as substituting an unlimited resource (technology) triggered by innovation for limited resources (energy) (Watanabe, 1992).

Economic Efficiency

The question of economic efficiency is a major concern when planning renewable power projects. Alleged poor economic efficiency is one of the main arguments against renewable energy sources. The solution with the best economic benefits is usually the one realized, whereas technical or ecological aspects are of secondary importance. From the national economy's point of view, accommodating these latter considerations often causes negative consequences. Finally, effects on the environment are not considered sufficiently in current practice.

The aim of economic calculations is to find one system out of the various possible solutions that provides the desired type of energy at a lowest cost. Therefore, different types or variants of renewable energy systems are compared one against another. Furthermore, renewable energy systems are usually compared with conventional systems, although many such comparisons do not consider the full benefits and costs for the national or world economy. Production volumes of many renewable energy technologies are still relatively low and many involve multiple production steps, requiring expensive labor.

However, if future progress ratios are in the same range as the progress ratios of the past few decades, renewable energy systems will surely become competitive with all conventional energy types within the 21st century. Besides cost reduction of renewable energy systems, the increase in fuel costs for conventional systems due to limited conventional energy resources will force this development in the long term. However, exactly when renewable energy systems will dominate the global energy sector depends mainly on the question of when our society will give these energy resources a high priority to counteract the negative consequences of using conventional energy sources. (Quaschnig, 2005)

Solar advocates varied in their detailed assessments of various solar Technologies, but they presented a technological narrative that was remarkably consistent in its overall structure and content. The most important presidential and congressional actors held to a framing of the energy problem that made it impossible for solar advocates to present a compelling case that their technology fulfilled either the normative or pragmatic requirements were deeply intertwined. Most solar advocates during this period tried to reaffirm conventional problem frames and values, usually by making no explicit mention of normative issues in their writings, or if they did, they simply repeated the requisite emphasis on prosperity, which required both secure energy supplies and cutting-edge technologies. A convincing case that solar technologies could deliver ever-

increasing blocks of bulk energy in the not-distant future, and at prices that would not stifle economic growth. (Laird, 2001)

This success provides a new theory which can be applied to a "constrained economy." Attaining sustainable development by overcoming existing constraints is important for a constrained economy and a positive solution can be expected through the contribution of technology (MITI, 1992).

Public Policy Issues

A renewables- intensive global energy future is technically feasible, and the prospects are excellent that a wide range of new renewable-energy technologies will become fully competitive with conventional sources of energy during the next several decades. Yet the transition to renewables will not occur at the pace envisaged if existing market conditions remain unchanged.

Private companies are unlikely to make the investments necessary to develop renewable technologies because the benefits are distant and not easily captured by individual firms. Moreover, private firms will not invest in large volumes of commercially available renewable-energy technologies because renewable - energy costs will usually not be significantly lower than the costs of conventional energy. And, finally, the private sector will not invest in commercially available Technologies to the extent justified by the external benefits (e.g. a stabilized world oil price or reduced greenhouse gas emissions) that would arise from their widespread deployment if these problems are not addressed, renewable energy will enter the market relatively slowly.

Fortunately, the policies needed to achieve the twin goals of increasing efficiency and expanding markets for renewable energy are fully consistent with programs needed to encourage innovation and productivity growth throughout the economy. Given the right policy environment, energy industries will adopt innovation, driven by the same competitive pressures that have revitalized other major manufacturing businesses around the world.

Capturing the potential for renewables requires new policy initiatives. The following policy initiatives are proposed to encourage innovation and investment in renewable Technologies:

- Subsidies that artificially reduce the price of fuels that compete with renewables should be removed; if existing subsidies cannot be removed for political reasons, renewable energy Technologies should be given equivalent incentives.
- Taxes, regulations, and other policy instruments should ensure that consumer decisions are based on the full cost of energy, including environmental and other external costs not reflected in market prices.
- Government support for research on and development and demonstration of renewable-energy Technologies should be increased to reflect the critical roles renewable -energy Technologies can play in meeting energy, developmental, and environmental objectives. This should be carried out in close cooperation with the private sector.
- Government regulation of electricity utilities should be carefully

reviewed to ensure that investments in new generating equipment are consistent with a renewables-intensive future and that utilities are involved in programs to demonstrate new renewable-energy Technologies in their service territories.

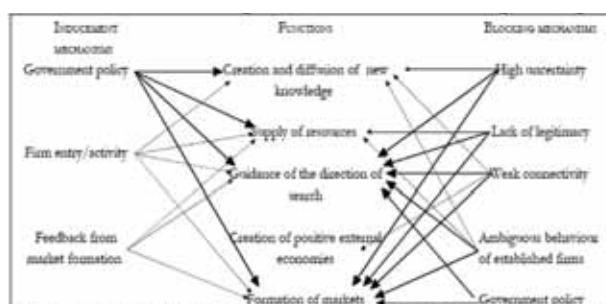
- Policies designed to encourage the development of a biofuels industry must be closely coordinated with both national agricultural development programs and efforts to restore degraded lands.
- National, regional, and international institutions should be created or strengthened to implement renewable-energy programs.
- International development funds available for the energy sector should be directed increasingly to renewables.
- A strong international institution should be created to assist and coordinate national and regional programs for increased use of renewables, to support the assessment of energy options, and to support centers of excellence in specialized areas of renewable-energy research.

There are many ways such policies could be implemented. The preferred policy instruments will vary with the **level** of the initiative (national, regional, and/or international). The preferred options will reflect differences in endowments of renewable resources, stages of economic development, and cultural characteristics.

Conclusion

The findings are based on a renewable –intensive global energy scenario, which was developed in order to identify the potential markets for renewable technologies in the years 2025 and 2050, assuming that market barriers to these technologies are removed by comprehensive national policies. An evaluation of the potential contribution of renewable energies concluded that, given adequate support, renewable energy technologies could meet much of the growing demand at prices lower than those usually forecast for conventional energy. (Johansson et al., 1993).

The following Figure 1 illustrates the wide range and different character of mechanisms that have either induced or blocked the diffusion of renewable energy technology. There are five functions in selected technological systems in Germany, the Netherlands and Sweden and two broad policy challenges are then formulated (Bergek, 2002, Johnson and Jacobsson, 2001a and 2001b).



Note 1: These mechanisms are from different cases and this table should, therefore, only be interpreted as an overview of the most important mechanisms found in the cases.
Note 2: Line weight illustrates the main messages of this scheme (see the following discussion).

Figure 1. Inducement and blocking mechanisms for some renewable energy technologies

These mechanisms are from different cases and above illustration should, therefore, only be interpreted as an overview of the most important mechanisms found in the cases. Line weight illustrates the main messages. The analysis is concluded with a synthesis of the factors analyzed and a simple IDEF0 preliminary model for adoption of solar technologies have been developed which outputs relevant strategies to enable “sun as main energy” (figure 2).

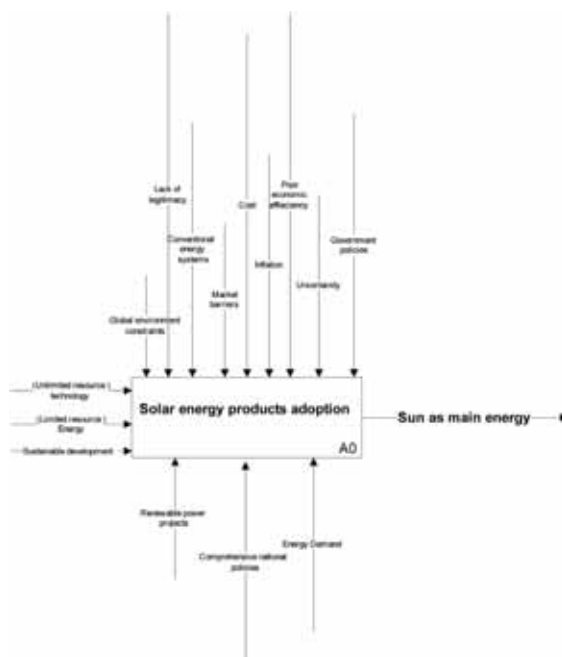


Figure 2. the Solar Technologies Adoption Model

The adoption model has three basic inputs to the adoption process. These are “sustainable” technologies which are taken into account as “unlimited resource” because these technologies rely on the excellent innovation capability of the humankind. Second input is energy resources we use today which with a high person rely on finite resources. The third input is sustainable development which includes environmental, social and economic sustainability of societies and in particular is about design (biomimetics, bioclimatic design, ecology, passive solutions and energy conservation).

Global environmental constraints, lack of (insufficient) legitimacy, available conventional energy systems, market barriers, cost, inflation rates, poor economic decisions, uncertainty and risks, with government policies define a set of controls and constraints affecting the adoption process. These factors all together define the margins of the path which goes to the future where sun is used as the main energy resource. The wider the margins, faster we would evolve.

Renewable power projects are our main source for innovation and development. Comprehensive national policies supported with intensives and detailed feasibility plans facilitate to realize such projects; and of course energy demand is a major driver which triggers the efforts for innovation. These factors define main mechanisms and provide the gear required to realize a future where sun is used as the main energy resource.

The model shows basic factors and barriers against renewable energy technologies whilst promoting the required strategy components which enlighten the path to a future that sun is used as main energy and can be used as a tool to make a vision, a reality.

References

- Bergek, A.** (2002): Responses to a Technological Opportunity: The Case of Black Liquor Gasification in Sweden. Mimeo. Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, Goteborg.
- Coates, J. F.**, (2003), Future innovations in science and technology: An excerpt from The International Handbook on Innovation, Joseph F. Coates Consulting Futurist, Inc. Washington, DC
- Faiers A. , Neame C., Cook M.**, (2007), The adoption of domestic solar-power systems: Do consumers assess product attributes in a stepwise process?, Institute of Water and Environment, Cranfield University at Silsoe, Silsoe, Bedfordshire MK45 4DT, UK Heidelberg.
- Johansson, T.B., H. Kelly, A.K.N. Reddy, and R. H. Williams** (eds). (1993). Renewable energy – Sources for Fuels and electricity. Washington, D.C.:Island press.
- Johnson, A. and Jacobsson, S.** (2001a): Inducement and Blocking Mechanisms in the Development of a New Industry: the case of Renewable Energy Technology in Sweden. Coombs,R., Green, K., Richards, A. & Walsh, V. (eds): Technology and the Market. Demand, Users and Innovation. Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham, pp. 89-111.
- Johnson, A. and Jacobsson, S.** (2001b): The Emergence of Growth Industry: A Comparative Analysis of the German, Dutch and Swedish Wind Turbine Industries. Forthcoming in: Metcalfe, S. & Cantner, U. (eds): Transformation and Development: Schumpeterian Perspectives (provisional title). Physica/Springer,
- Kruger, P.**, (2006), ALTERNATIVE ENERGY RESOURCES: The quest for sustainable energy, John Wiley&Sons, Inc., Canada.
- Laird, F. N.**, (2001), Solar energy, technology policy, and institutional values, Cambridge University pres, USA.
- Lewis, N. S.** (2007); Toward Cost-Effective Solar Energy Use DOI: 10.1126/science.1137014 Science 315, 798.
- MITI**, Industrial Structure Council, Comprehensive Energy Policy Council, and Industrial Technology Council. 1992. Fourteen Proposals for New Earth-Policy Triad for the Environment, Economy and Energy. Tokyo.
- Quaschnig, V.**, (2005), Understanding renewable energy sytems, Earthscan in the UK and USA.
- Shama, A.**, (1983), Energy conservation in US Buildings (showing the high potential/low adoption paradox from a behavioural perspective), energy policy ,no:2 pp.148-167
- Watanabe, C.**, (1992), Trends in the substitution of production factors to technology: Empirical analysis of the inducing impact of the energy crisis on Japanese industrial technology, Research Policy 21(6):481-505

EXPERIMENTAL PERFORMANCE OF SINGLE PASS SOLAR AIR HEATER WITH FINS AND STEEL WIRE MESH AS ABSORBER

Peter A. OMOJARO

Department of Mechanical Engineering, Eastern Mediterranean University Gazimagusa, TRNC, Mersin 10 Turkey

Loay B. Y. ALDABBAGH

Department of Mechanical Engineering, Eastern Mediterranean University Gazimagusa, TRNC, Mersin 10 Turkey

Abstract

Thermal performance of a single pass solar air heater using a steel wire mesh as absorber plate was investigated experimentally. The effects of mass flow rate of air on the outlet temperature and thermal efficiency for a bed of height 0.07m shows that the efficiency increases with increasing air mass flow rate for ranges between 0.012 and 0.038 kg/s. The maximum efficiency obtained was 59.62% for air mass flow rate of 0.038kg/s. Moreover, the Maximum difference between the outlet and ambient temperature obtained was 36.93°C for mass flow rate of 0.01kg/s. Comparison with a conventional single pass collector shows a substantially much more enhancement in the thermal efficiency.

Keywords: Single pass solar air heater; packed bed; Wire mesh with fins absorber; Thermal efficiency;

Introduction

Solar air heater is a simple device that heats air by utilizing solar energy, which has many applications in drying of agricultural products, such as seeds, fruits and vegetables and space heating [1]. Also, solar air heater are utilized as pre heaters in industries and used for auxiliary heating in buildings to save energy during winter-time [2]. Conventional solar air heaters mainly consist of a panel, insulated hot air ducts and air blowers if it is an active system. The panel consists of an absorber plate thermally insulated from the bottom, the sides are also insulated, and a glass or plastic cover fixed above the absorber plate forms a passage for air flow. There are different factors affecting the air heater efficiency, e.g. collector length, collector depth, type of the absorber plate, glass cover plate, wind speed, etc. The absorber plate shape factor is the most important parameter in the design for any type of air heater. Increasing the absorber plate shape area will increase the heat transfer to the flowing air, but on the other hand, will increase the pressure drop in the collector as a result increase the required power consume in the fan of air heater.

Works on single pass solar air heater to improve the heat transfer coefficient between the absorber plate and airstream include using an absorber with fins attached [4-9], the use of porous material like wire mesh screen [2, 10-11], limestone and gravels [12], limestone, gravels and iron scraps [13] inside the collector so as to increase the outlet temperature and the efficiency of the solar air heater. Modifications with wire mesh, iron chips with pebbles and copper

screen meshes as the porous matrix, tends to increase the surface per unit volume ratio substantially and enhance the thermal efficiency significantly but also increase the pressure drop, which becomes important at high volume flow rates of the air. [14] Show that the overall heat transfer depends on porosity and surface area density but weakly on orientation when several experimental configurations of copper screen mesh to identify the referable orientation for maximizing thermal performance was investigated. Lower porosity is reported to achieve higher efficiency [11] and thermal efficiency with gravel packed bed is 22% - 27% higher than that without a packed bed [13]. These modifications, using the porous matrix, enhance the thermal efficiency significantly but also increase the pressure drop, which becomes important at high volume flow rates of the air. Minimizing pumping power due to different arrangement was presented in a study to investigate the thermal performance of a solar air heater packed with wire screen matrices for different geometrical parameters [15]. [10] Numerical result of air flow collectors in which the absorber surfaces were made of porous matrix for air mass flow rates from 0.005 to 0.2 kg/s shows improved thermal efficiency. The purpose of this work is to investigate experimentally the single pass solar air heater with porous media filling the channel acting as an absorber plate. The porous media used consist of steel wire mesh layer arranged in a way to give high porosity. Tests were conducted under actual outdoor conditions. The obtained results show that the efficiency is higher than the compared work by 9%-11% [16] depending on the air mass flow rate.

Experimental Set-Up And Equipments

Figure.1 presents a schematic view of the constructed single pass air collector. Plywood of 2 cm thickness Painted with black color from inside and outside was used to make the frame of the collector. All sides and bottom of the collector were insulated with 2cm thick Styrofoam with the collector frame length and width made to be 1.5 mby 1.0 m. Normal window glass of 0.3 cm thicknesses was used as glazing while distance between the glass and the bottom of the collector duct "h", was 7cm. The air inflow into the duct was through a 2cm created at the top of the collector by reducing the length of the cover glass to be 1.48 m (Fig. 1). Four metallic fins of 1.5m length by 7cm height, painted black were positioned longitudinally along the duct creating five different passage sections of air pass and each section was fixed with seven steel wire mesh layers, 0.2 x0.2 cm in cross sectional opening. The distance between the wires mesh layers was 1cm and it was painted with black color

before installing it in the air pass channel. In this arrangement, the seven wire mesh layers acts as an absorber plate and no need to have an absorber plate at the bottom of the air pass collector. In this way, the cost of the solar heater is thus reduced considerably because the wire mesh is readily available in the market and very cheap. In addition, the new design of the porous matrices will

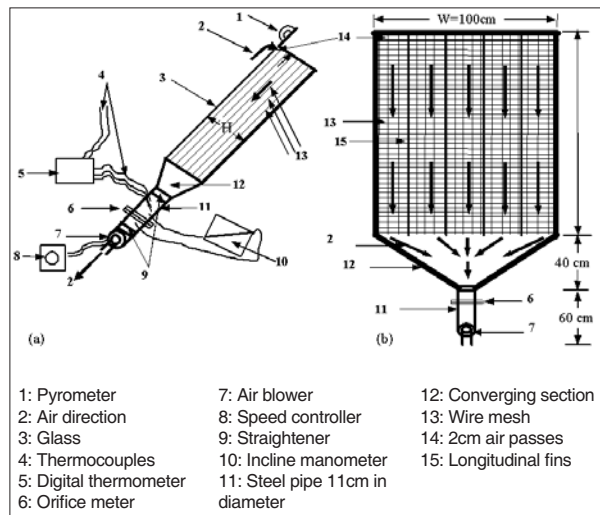


Fig. 1 Single pass solar air heater showing, a) Schematic Diagram of the experimental setup, b) front view.

minimized the pressure drop due to the porous medium through the collector. The pressure drop, due to the addition of the porous matrix to the collector, in this case is very small and can be neglected where the porosity is very high and more than 0.85 as expected.

In order to get a uniform flow through the orifice meter, two flow straightener were made and installed inside the pipe, one installed before the orifice meter and the other installed after the Orifice meter. Each straightener consisted of plastic straw tubes with 0.595 cm diameter and 3 cm length. Calibrated orifice meter has been used in the pipe to measure the air flow rates. The orifice meter is designed according to Holman [17] and was installed in the pipe (11cm in diameter) that was connected between the converging section and the axial blower (Type GEC-XPEL AIR). The pressure difference through the orifice was measured by using an incline manometer filled with alcohol which had a density of 803 kg/m³. The angle of the manometer was fixed at 19°. A different flow rate could be obtained from the air solar heater collector by using a speed controller which is connected to the axial fan to control the speed of the fan. The outlet temperature, T_{out} , and the inlet temperature, T_{in} , temperature was measured by using five thermocouples type T. Three thermocouples were fixed inside the pipe before the orifice meter to measure the outlet temperature of the working fluid and two fixed underneath the solar collector to measure the temperature of ambient air. The temperature readings were collected by Ten-channel Thermometer (MDSSI8 Series digital, Omega) $\pm 0.5^\circ\text{C}$ accuracy. A calibration test showed that the accuracy of the thermocouple readings were within $\pm 0.15^\circ\text{C}$.

During all experiments, the global solar radiation incident on an inclined surface was measured using an Eppley Radiometer Pyranometer (PSP) coupled to an instantaneous solar radiation meter model HHM1A digital, Omega 0.25% basic dc accuracy and a resolution of $\pm 0.5\%$ from 0 to 2800 Wm⁻². The pyranometer was fixed beside the glass cover of the collector. The heater was oriented facing south and tilted with an angle of 36° with respect to the horizontal to maximize the solar radiation incident on the glass covers [18]. Air is circulated for 30 min prior to the period in which data are taken. The measured variables, ambient temperatures, T_{in} , outlet temperatures of the working fluid circulating through the collector, incline manometer reading, and the solar radiation, were recorded at time intervals of 60 min. All tests began at 8 am and ended at 5 pm.

Result And Discussion

The pack bed with fins and no absorber plate single pass solar air heater is investigated experimentally under Famagusta prevailing weather conditions during the summer months, 25. 07. 2009 - 31.07.2009, with clear sky condition. Famagusta is a city of north Cyprus located on 35.125° N and 33.95° E longitude. The performance of the proposed single pass solar air heater with fin and packed with steel wire mesh as absorber was studied and compared with the performance of a single pass solar air heater. The mass flow rate of the air was varied from 0.012 to 0.038 kg/s and the uncertainty for mass flow rate was 32 % by calculations [9].

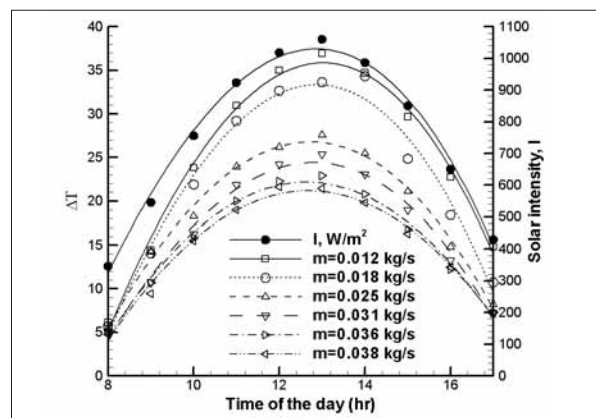


Fig.2 Temperature difference and solar intensity versus time at different mass flow rates.

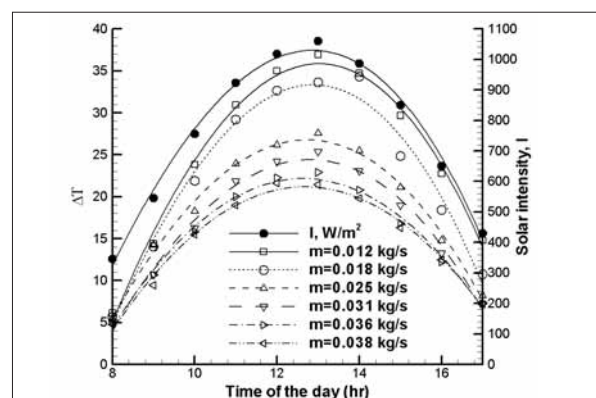


Fig.3 Variation of collector efficiency with time at different mass flow rates

Fig. 2 shows the temperature differences, $\Delta T = T_{out} - T_{in}$, versus time of the day for different mass flow rates and hourly measured solar radiation of a clear day in Cyprus for single pass solar air heater. The highest daily solar radiation obtained was 1050 W/m² at 13:00 hrs. For this configuration of the solar air heater with fins and packed wired mesh, the maximum temperature difference reached was 36.93°C at 13.00 hrs, with a flow rate of $m = 0.012$ kg/s. In general, ΔT was found to reduce with increasing air mass flow rate. In addition, results showed that for the same mass flow rate the collector temperature differences increased with increasing solar radiation, I , and decrease as solar radiation drops to lower values later on during the day. Using iron chips as a packed bed, [19] outlined that the maximum temperature reached is 26°C and [20] reported that the average temperature of the flowing air was improved by 7.7°C over the ambient temperature in the case of copper chips.

Efficiency versus time at various air rates for this experiment is shown in Figures 3. The efficiency of the solar collector, η , is defined as the ratio of energy gain to solar radiation incident on the collector plane,

$$\eta = \frac{m C_p (T_{out} - T_{in})}{I A_c} \quad (1)$$

Where m is the air mass flow rate, C_p is the specific heat of the fluid; A_c is the area of the collector. The efficiencies increase to a maximum value at 12:00-13:00 hrs by noon, and then they start to decrease later on in the afternoon. The efficiency of a single air pass solar collector notably depends on the air mass flow rate. The maximum efficiency obtained for this single pass air collector is 59.62 at 13:00hrs for $m = 0.038$ kg/s and the uncertainty for the efficiencies were calculated to be 2.4 % [9]. The efficiency increases with an increasing air mass flow rate of air (Fig. 4). Figure 4 shows the plots of thermal efficiency of the single pass solar air heater collector as a function of mass flow rate, m , for the period of 1:0 and 3:0 pm of the day. [13] Outline that the thermal efficiency increases with increasing the mass flow rate until a typical value of $m = 0.05$ kg/s beyond which the increase in thermal efficiency becomes insignificant. [12-13] Recommended to operate the system with or without the packed bed with the value of $m = 0.05$ kg/s or lower to have a lower pressure drop across the system and a reasonably high thermal efficiency, which will be more than 70%.

[19], reported that the efficiency increases with increasing mass flow rate to reach 45% when the mass flow rate equals 0.022 kg/s. [16], outlined that the maximum values of efficiency of the single duct solar air heater were found to be 32% and 27% when iron chips and pebbles, respectively, were used as packed bed materials. Comparison of the results of a packed bed collector, with those of a conventional collector shows a substantial enhancement in the thermal efficiency when wire mesh screen layer was use as a packing material with a distance of 1 cm between the layers in the duct of solar air heater and for a collector frame with lower height.

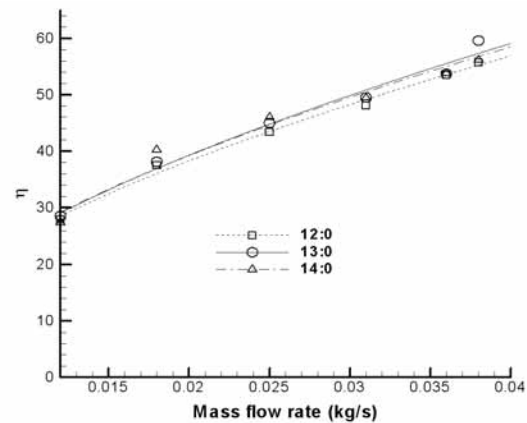


Fig.4 Thermal efficiency versus mass flow rate between 12.00 – 14.00 hrs.

Conclusions

This study shows that single pass solar air heater using wire mesh as absorber increase the thermal efficiency of the air heater. The efficiency was found to increase with increasing mass flow rate of air while, the temperature difference between the outlet flow and the ambient, ΔT , was found to reduce with increasing mass flow rate of air. Further still, results showed that for the same mass flow rate the collector temperature differences increased with increasing solar radiation, I , and decreases as solar radiation drops to lower values later on during the day. According to [10] who theoretically illustrated this with porous media obtained 84% efficiency to 59.62% from this work and a maximum temperature difference of 46 °C to 36.933°C for double (counter flow) with and without double glazing and single pass air heater (in this study) respectively. The absence of a separate absorber plate which proves that the coefficient between the absorber plate and the flowing fluid thermal effect has not affected the improved thermal efficiency performance but there are possibilities that it will increase the performance.

Reference

- [1] Akpinar E. Kavak, Sarsilmaz C. and Yildiz C. "Mathematical modeling of a thin layer drying of apricots in a solar energized rotary dryer". Int. J. of Energy Research, Vol.28, pp. 739-752, 2004.
- [2] Qenawy Ahmed M, Mohamad AA. "Analysis of high efficiency solar air heater for cold climates". 2nd Canadian Solar Buildings Conference, Calgary, June 10-14, 2007.
- [3] Tuhan K. "Performance of various designs of solar air heater for crop applications". Renewable Energy, Vol.31, pp. 1073-1088, 2006.
- [4] Ramadan MRI, EL-Sebaai AA, Aboul-Enein S, El-Bialy E. "Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater". Energy, Vol. 32, pp.1524-1535, 2007.
- [5] Ozgen F, Esen M, Esen H. "Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans". Renewable Energy, article in press, 2009.
- [6] Paisarn N. "On the performance and entropy generation of the double-pass solar air heater with longitudinal fins". Renewable Energy, Vol.30, pp. 1345-1357, 2005.
- [7] Lertsatitthanakorn C, Khasee N, Attahajariyakul S, Soponron-

- narit S, Therdyothin A, Suzuki RO. "Performance analysis of a double-pass thermoelectric solar air collector". *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 92, pp.1105-1109, 2008.
- [8] Yeh HM, Ho CD, Hou JZ. "Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached". *Energy*, Vol. 27, pp.715-727, 2002.
- [9] Esen H. "Experimental energy and energy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates". *Build Environ*, Vol. 43, pp. 1046-1054, 2008.
- [10] Mohamad AA. "High efficiency solar air heater". *Solar Energy*, Vol. 60, pp.71-76, 1977.
- [11] Thakur NS, Saini JS, Solanki SC. "Heat transfer and friction factor correlations for packed solar air heater with internal fins attached". *Renewable Energy*, Vol. 34, pp.1340-1347, 2009.
- [12] Yeh Ho-Ming, Ho Chii-Dong. "Effect of external recycles on the performances of flat-plate bed solar air heater for a lower porosity system". *Solar Energy*, Vol. 74, pp. 319-329, 2003.
- [13] El-Sebaï AA, Aboul-Enein S, Ramadan M R I, El-Bialy E. "Year round performance of double pass solar air heater with packed bed". *Energy Convers Manage*, Vol.48, pp. 990-1003, 2007.
- [14] Tian J, Kim T, Lu TJ, Hodson HP, Queheillalt DT, Sipeck DJ, Wadley HNG. "The effects of topology upon fluid flow and heat transfer within cellular copper structures". *Inter. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 47, pp.3171-3186, 2004.
- [15] Mittal MK, Varshney L. "Optimal thermal-hydraulic performance of a wire mesh packed bed solar air heater". *Solar Energy* Vol.80, pp.1112-1120, 2006.
- [16] Mishra CB, Sharma SP, "Performance study of air-heater packed-bed solar-storage collectors". *Energy*, Vol. 6, pp.153-157, 1981.
- [17] Holman JP. "Experimental methods for Engineers". McGraw-Hill, New York, 1989.
- [18] Tiwari GN. "Solar energy fundamentals, design, modeling and applications". pp.142; Narosa Pub. House, 2002.
- [19] Sharma VK, Rizzi G, Garg HP. "Design and development of a matrix type solar air heater". *Energy Convers Manage*, Vol. 31, pp. 379-388, 1991.
- [20] Singh D, Bharadwaj SS, Bansal NK. "Thermal performance of a matrix air heater". *Energy Research*, Vol.6, pp.103-110, 1982.
- [21] Prasad SB, Saini J S, Singh Krishna M. "Investigation of heat transfer and friction characteristics of packed bed solar air heater using wire mesh as packing material". *Solar Energy*. Vol. 83, pp. 773-783, 2009.
- [22] Paisarn N. "Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater". *Int. Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 32, pp.140-150, 2005

Summary

Solar air heater is a simple device that heats air by utilizing solar energy, which has many applications in drying of agricultural products, such as seeds, fruits and vegetables and space heating, as pre heaters in industries and used through auxiliary heaters in buildings to save energy during winter-time. Different factors affecting the air heater efficiency, e.g. collector length, collector depth, type of the

absorber plate, glass cover plate, wind speed, etc. The absorber plate shape factor is the most important parameter in the design for any type of air heater. Increasing the absorber plate shape area will increase the heat transfer to the flowing air, but on the other hand, will increase the pressure drop in the collector as a result increase the required power consume in the fan of air heater.

The purpose of this work is to investigate experimentally the thermal performance of a single pass solar air heater using steel wire mesh as an absorber plate. The steel wire meshes layers 1cm apart was arranged in a way to give high porosity. The indicated results show that the efficiency increases with increasing mass flow rate for the range of air mass flow rate used in this work between 0.012 and 0.038 kg/s. Moreover, the maximum efficiencies obtained are 59.62 % for the mass flow rate of 0.038 kg/s. At a mass flow rate of 0.01 kg/s, the maximum temperature difference reached was 36.93 °C at noon. Comparison with Mohamad A.A, [11] numerical result of air flow collectors in which the absorber surfaces were made of porous matrix for air mass flow rates from 0.005 to 0.2 kg/s shows improve thermal efficiency.

ENERJİ SEKTÖRÜ STRATEJİK PAZARLAMA YÖNTEMLERİNİN EKSİKLİKLERİ

Recep SOYALP

Pendik Araştırma Enstitüsü
Araştırmacı - Fizikçi

Özet

Gündemimizde olan enerji sektörünün yanlış gördüğüm birçok eksikliğini dile getirmek ve stratejik pazarlama yöntemlerine değinerek sektörü temsil eden tüm yönetici , kurum , kuruluşların bilgilendirilmesi ile amacına ulaşan bir projeyi başlatmak istiyorum.

Giriş

Alıcısını bildiğimiz ürünü, hizmeti nasıl kolay sattığımızı biliriz. Ürün ne kadar pahalı olursa olsun garanti satış yapan birisi için satacağı ürünün az maliyetlimi çok maliyetlimi olduğuna bakmaz. Az sermayeli az ürün hizmet çok sermayeli ise daha geniş bir ürün hizmet yelpazesini müşterisine sunar. Enerji sektörü de çoğunluğu alım garantili bir sektör olduğu için ürünün veya hizmetin elde kalacağı pek görülmeyen bir sektördür. Ancak ve ancak kişisel veya şirketin hatalarından dönüşü olmayabilir. Bununda pek olacağını sanmıyorum ama yinede yüzdesi küçük bir ihtimal bırakmak istedim.

Şimdi gördüğümüz üzere bir çok firmanın, kazancının garanti olduğunu bildiğimiz fakat yatırıma baktığınızda çok büyük finansın gerektiği Enerji sektörümüzde genellikle çoğu kuruluş veya şirket bu işi know-how gibi firmalarla üretim faaliyetlerini başlatıyorlar yada direk olarak ithalatını yaparak sadece aracı bir şirket durumuna düşüyorlar. Yatırım yapan firmalara baktığımızda da görüyoruz ki Ülkemizin genelde Sanayide ve Ticaret hayatında hep tavan yapmış isimlerin , şirketlerin , holdinglerin yaptığını görürüz. Bu önde gelen firmalar kar marjının kokusunu aldıkları zaman yatıracakları paraya değil de garantili bir şekilde alımın ne kadar vade ile yapıldığını hesaplayarak , kamu payının az olduğu bir konjonktürde yer almayı istiyor, devletin ve özel bankaların kredilendirme sistemleriyle Enerji'deki 50-60 milyar dolar olan pastadan büyük paylar almayı düşünerek hareket ediyorlar. Gerçekten pasta çok iştahamlı, büyük ve bir o kadar da lezzetli ki holdinglerin enerji grupları birbirleriyle yarış içerisine girmiş durumda ve diğer holdinglerde bu sektöre kayma eğilimi göstermişlerdir.

Gördüğünüz üzere buraya kadar her şey gayet güzel ve iyi gittiğini anlıyorsunuz ama yanılıyorsunuz. Nedenmi,

Bir çok konferans ve uluslararası seminerlerde , Enerji verimliliği Forumunda , Türk sanayisinde enerji verimliliği seminerlerinde sektörden insanların tek eksiği ülkesine katma değer adına bir şeyler yaptığını unutup ceplerine inen değeri düşünmeleridir. Çünkü baktığımızda hepsi Boğaziçili , Odtü'lü , İtÜ'lü ve daha yüksek üniversi-

telerin Mühendisleri , hukukçuları , işletmecileri. Yurtdışı Master'li , İyi bir eğitim almış kişiler, Baktığınızda süper beyinler ama ben öyle düşünmüyorum.' 60 milyar doların % 85 ini ithal eden yani kendi elimizle dışarıya gönderen beyinler ' olarak görüyorum maalesef.

Doğalgaz'da ve Petrol'de Transit Geçiş projeleri (Güney Akım , Mavi Akım , Nabucco gibi) , Nükleer Enerji Santral kurma ihalesi , Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisine yapılan ve sürekli artan yatırımlar hep iyi düşünülmüş ve iyi örnekleri olan projeler ve fikirler fakat sonucu genelde sadece yurtdışına ödenen sermayelerin ülkenin borç miktarını artıran projeler. Neden mi nedeni çok basit. Yapılan tüm teknolojik altyapı dış ülkelerden tedarik edilen ürünler olduğundan dolayı. A-Z ye enerjide dışa bağımlı olmak bu ülkenin kaderi değil arkadaşlar.

Pazarı araştırırken önceliği kendi bölgemizdeki pazarları araştırıp desteklemeliyiz. Örneğin yeni bir proje olan ve hepimizin belki de bir şekilde uğradığı Bursa Kapalıçarşı da çok eskiden beri kurukahvecilik ve kuruyemişcilik yapan ŞENÖZ ailesinin bireyleri tarafından TURKWATT projesi benim ilk okuduğumda çok mutlu olduğum bir projedir. En kısa sürede büyük bir ivme kazanarak uluslar arası bir proje olmasını diliyorum. Oda olmuyorsa kendi pazarımızı kendimiz oluşturmaliyiz. Enerji ile ilgili proje yarışmalarının yapılmasını sağlamalı ve desteklemeliyiz. Aldığımız ürünlerin hepsinin kendi topraklarımızda oluşmuş üretilmiş olmasına dikkat etmeliyiz. Türkiye Avrupanın iyi bir satış ve pazarlaması ayrıca transitisi olmasının yanında gerçekten % 100 yerli sermayeli isimlerin ürünlerin dünyaya açılımını yapması gerektiğini siz değerli yöneticilerin sayesinde olmasını da ayrıca istemekteyim..

Bu konuda yerli üretim yapma arzusu içerisindeki kişilere destek vermek ve enerji ile ilgili tüm sektörleri bir araya getirerek ülkemizin gerçekten Enerji sektöründe dünya markası olması sektördeki çalışanlara düşen bir görevdir. Bunu başaramayan milletler dışarıya gönderdikleri ağır faturalar ile boğulup giderler.

Üret ki milletin kazansın , Yazın Bodrumda teknelerde 1 ay tatil yapma hevesi ile üretimden uzak şirket yetkilileri sizlere sesleniyorum. Bu konuya acil çözüm bulmamız gerekiyor. Hazır işi herkes yapar , siz ki işinize ilk başladınız günleri hep düşünün. Yönetim Kurulu Başkanları sizlere sesleniyorum. Yatırım için nelerinizi ortaya koydunuz. Siz ki iyi bir üniversitede ODTÜ'de , İTÜ' de , Boğaziçinde vb. okullarda okumak için neler yaptınız. Gece gündüz sorulara

boğulduk , hem okul hem dersanelerde gecemizi gündüzümüze verdik. Ailemizin desteğiyle bu üniversiteleri bitirdik. Sonra yurtdışına gitmeyi Master derecesi almayı düşündünüz. Amerika Avrupa derken iyi bir MBA yapmış oldunuz. Sonrası nemi oldu iyi düşünen süper beyinler iyi bir şirkete yönetici olduğunda tüm ürettiği fikirleri bırakarak şirketlerin ana prensibi olan para kazandır ki para kazan sistemi tüm benliğimize işledi. Lütfen iyi düşünüp iyi kararlar alalım. Hepimiz matematik hesabını iyi biliriz. Bu ülkeye Enerji Sektörünün maliyeti 50 milyar dolar ve 2010 tahmini bütçe açığı 50 milyar dolar başka söze gerek yok. Öteleme ile bu iş olmaz. Gün gelir hesap bize geri döner , ileride çocuklarımıza yansımayacağını kim bilebilir. Üretmeyip sadece verimliliği desteklemek olmaz. Devlet olarak % 100 yerli üretimi destekleyen projeleri bir an önce hayata geçirmemiz gerekiyor geç olmadan.

Yarın çok geç olabilir.

Saygılarımla

GÜNEŞ HAVUZUNDA GÜNEŞ IŞIĞININ TEORİK OLARAK DEPOLANMASININ İNCELENMESİ

Sevinç MANTAR

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Mehmet KARAKILÇIK

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat
Fakültesi Fizik Bölümü

Özet

Güneş havuzları 1.5-3 m arasında değişen derinliklerde tuzlu su havuzlarıdır. Güneş havuzları üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; Üst konvektif, konveksiyonsuz ve alt konvektif bölgelerdir. Güneş Havuzunda güneş enerjisinin depolanması için gelen güneş ışını açılarının bilinmesi önemlidir. Bu amaçla, (SGHS) Çukurova Üniversitesinde, Adana da 1,6 m çapında ve 2,0 m derinliğinde bir silindirik güneş havuzu sistemi inşa edilmiştir. Güneş havuzuna giren güneş ışınlarının, güneş havuzunda her tabaka da meydana gelen kırılma açılarını belirlemek amacıyla bir teorik çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarına göre, havuza giren güneş ışığının üst bölge için kırılma açısı değerleri sırasıyla Q_i : 30° , 45° , 60° ve Q_k : 13.3° , 19.6° , 24.3° . Yalıtımlı bölge için Q_i : 13.3° , 19.6° , 24.3° ve Q_k : 9.02° , 13.22° , 16.24° olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Havuzları, Enerji depolaması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

Abstract

Solar ponds are an artificially constructed in which about 1.5-3 m depth contains salt water ponds. Solar ponds are generally comprise of three distinct regions. These are upper convective, non convective and bottom convective zones. To Solar energy storage in a solar pond is important to know angle of the incoming solar radiation. In this study, a cylindrical solar pond system (CSPS) with a radius of 1.6 m and a depth of 2.0 m was built in Çukurova University in Adana, Turkey. The Solar ponds entering of sun light that occurs in each layer to determine the refraction angles is a theoretical study. According to the analysis results, into stored of solar radiation, for upper convection zone entering light and angle of refraction values respectively Q_i : 30° , 45° , 60° and Q_k : 13.3° , 19.6° , 24.3° . For non convection zone entering light and angle of refraction values respectively found Q_i : 13.3° , 19.6° , 24.3° and Q_k : 9.02° , 13.22° , 16.24° .

Keywords: Solar Energy, Solar Ponds, Energy Storage, Renewable Energy Resources,

Giriş

Artan nüfus ve gelişen sanayinin enerji gereksinimleri kısıtlı enerji kaynaklarıyla karşılanamamaktadır. Ayrıca, dünyada artan nüfuzdan ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksiniminden dolayı, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık giderek artmaktadır. Bu nedenle ihtiyacı karşılamak için çeşitli enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu enerji kaynakları iki ayrı türe ayrılmaktadır. Bunlar; Birincil enerji kaynakları ve türetilmiş enerji kaynaklarıdır. Birincil enerji kaynaklarından birincisi, kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerjidir. Yani, yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. İkincisi ise, su, jeotermal, biokütle, rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarıdır. Türetilmiş enerji kaynakları ise, birincil enerji kaynakları kullanılarak tüketime hazır hale getirilmiş olan elektrik ve ısı enerjisi gibi kaynaklardır.

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık olarak %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık bu ihtiyacı karşılamakta olan fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde tükenmektedir. Ayrıca Fosil yakıtlar içindeki karbon havadaki oksijen ile birleşerek CO_2 veya CO gazları ortaya çıkmaktadır. Yine yakıt içerisinde eser miktarda bulunan kurşun, kükürt gibi elementler yanma sıcaklığında oksijen ile birleşerek insan sağlığı açısından önemli tehdit oluşturan bileşikler (SO_x , PbO , NO_x) oluşturmaktadır ve bunlarda dünyaya sera etkisi yapmaktadır. Bu etki sonucunda küresel ısınma meydana gelmektedir.

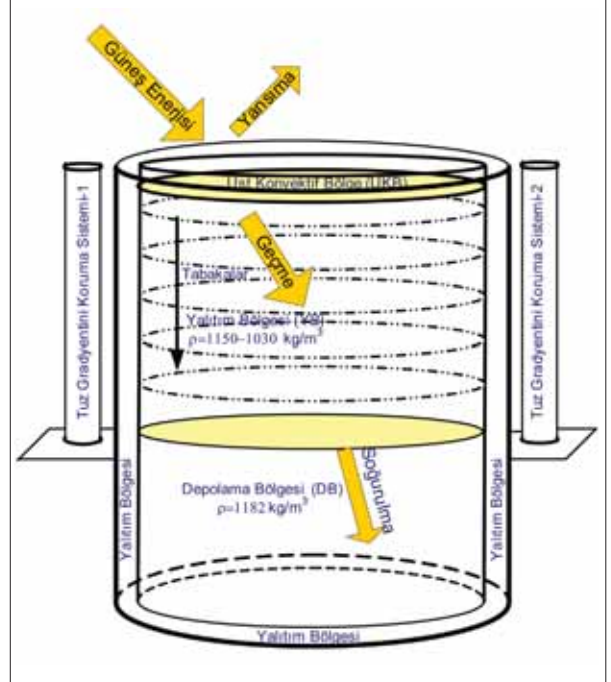


Şekil 1. Güneşten gelen güneş ışınlarının dünya yüzeyinde yansımaları (The Met Office; Hadley Center for Climate Prediction and Research)

Güneşten gelen toplam ışınların % 46'sı atmosfer tarafından % 23'ü de bulutlar tarafından soğurulur, %23'ünü de bulutlar geri yansıtır ve %4'lük bir bölüm ise yer yüzeyinden geri yansımaktadır. Dünyaya gelen ışınların ancak %24'lük bir bölümü yeryüzüne ulaşır ve gezegenimizi ısıtır. Isınan yeryüzü uzun dalga boyunda olan enerjiyi geriye atmosfere yayar. Sera gazları (su buharı, karbon dioksit ve metan) yeryüzünden atmosfere geri yayılan ışınları soğurup tekrar atmosfere salarak sıcaklığın yükselmesine sebep olurlar. Aslında sera etkisi doğal bir süreç olup gezegenin sıcaklığının korunması için gereklidir. Ancak sanayi devrimi ile birlikte tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdeki hızlanma, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının fazlaca tüketilmesi ve sera gazları için alıcı ortam olan ormanların tahrip edilmeye başlanmasıyla bu gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları zamanla artmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Günümüzde artık fosil yakıtlar yerine kaynak sorunu olmayan, tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen alternatif enerji kaynaklarını kullanmak zorundayız. Bunlar; güneş, rüzgar, hidrojen, biokütle, jeotermal, dalga ve hidrolik enerjidir. Bu alternatif kaynakların en önemlilerinden biri olan güneş, kirliletmeyen, tükenmeyen, en temiz ve sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, güneşten gelen ve hiçbir işletme masrafı olmayan bedava bir enerji kaynağıdır. Güneş havuzları, güneş enerjisinin doğrudan toplanıp, yine aynı ortamda depolandığı basit bir güneş enerjisi uygulamasıdır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Havuzda oluşan tuz yoğunluk gradyenti depolama bölgesi ile yüzey arasında konveksiyonla ısı iletimini önler ve böylece depolama bölgesinde kaynama noktasına yaklaşan sıcaklıklara ulaşılabilir. Güneş havuzlarının uzun süreli enerji depolama özellikleri olmasından dolayı, yaz aylarında depolanan enerjiyi kış aylarına kadar saklayabilme özellikleri vardır. Bu da güneş havuzlarının önemini ve kullanılabilirliğini artırır (Tabor, 1981). Havuz üzerine gelen güneş enerjisinin yaklaşık olarak %16'sı yansıma yoluyla, %21'i yüzeyden havaya konveksiyon ile, %22'si havuzdan suyun buharlaşmasıyla, %31'i gökyüzüne yaydığı uzun dalga boylu radyasyon ile, %3,7'si alt konveksiyonlu bölgeden yere olan ısı akışı ile kaybolur. Işınımın sadece %6,4'ü havuzda depolanır. Bunun dışında sadece AKB (depolama bölgesi) içinde depolanan güneş enerjisinin bir kısmı kullanılabilir enerji olarak havuzdan alınabilir (Subhakar ve Murthy, 1993).

Materyal Ve Metod

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER)'de inşa edilen ve güneş enerjisi ile çalışabilen yalıtımlı silindirik model bir güneş havuzu (SMGH) kullanılmıştır. SMGH yerden 130 cm yüksekte ve metal bir kaide üzerine yerleştirilmiştir. SMGH'ın çapı 160 cm, derinliği 2 m ve dış kısmının (dış duvarları) 10 cm kalınlığında cam yünü (izocam) yalıtımlı bir model güneş havuzu kullanılması planlanmıştır ve güneş havuzu üzerine gelen güneş ışınlarının havuzun her tabakasında kırılması hesaplanmıştır. Böylece havuzda depolanan enerji miktarına göre de çeşitli modeller geliştirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2. Silindirik model güneş havuzu (SMGH)'ın dış ve iç görünümü.

Güneş havuzunun yüzeyine ulaşan güneş ışınının havuz içeriğinde izleyeceği yol Şekil 2' de gösterilmiştir. Şekil 2' de görüldüğü gibi güneş ışığının bir miktarı havuzun yüzeyi tarafından yansıtılır kalanı havuzun üst konvektif bölgesinden (ÜKB) yalıtım bölgesine (YB) iletilir. Bir miktarı ÜKB tarafından soğurulur. Yalıtım bölgesine ulaşan güneş ışınının büyük bir kısmı depolama bölgesine (DB) iletilir. Bir miktarı YB tarafından soğurulur çok az bir miktarı ise YB den ÜKB ye yansıtılır. Güneş havuzunun yüzeyine gelen güneş enerjisinin büyük bir kısmı DB'ne ulaşır ve burada soğularak depolanır. Çok az miktarı havuzun tabanı tarafından yansıtılır.

Güneş radyasyonunun havuz içerisinde soğurulması dalga boyuna bağlıdır. Güneş radyasyonunun suyun farklı derinliklerindeki dağılımı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$I_x = I_s (1 - F_\delta) \exp(-\mu x) \quad (1)$$

Burada x,

$$x = (x_1 - \delta) \sec \theta_k \quad (2)$$

ile belirtilmiştir. Snell Yasasına göre θ_k açısı, aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$\theta_k = \sin^{-1}(\sin \theta_z / n_{ts}) \quad (3)$$

Burada, I_x , x derinliğindeki ışın; I_s , yüzeye düşen ışının suya giren miktarı; F_δ , yüzeyde soğurulan güneş enerjisi kesridir ve ortalama değeri yaklaşık olarak 0.4 dür. μ , etkin soğurma katsayısı; x, havuzdaki yol uzunluğu; δ , F_δ faktörü ile verilen ve güneş radyasyonunun uzun dalga bölümünün soğurulduğu yüzey tabaka kalınlığıdır ve önerilen kalınlık yaklaşık olarak 0.06 m dir. θ_y yatay bir yüzeyden yansıyan ışının yüzeyin normali ile yaptığı açıdır. θ_z yatay bir yüzeye gelen ışının yüzeyin normali ile yaptığı açıdır. n_{ts} tuzlu suyun kırılma indisidir (Hawladar ve Brinkworth, 1981). Suyun kırılma indisi $n_{su} = 1,33$ tür ve tuzlu su için aynı değer kabul edilebilir. Fakat bu çalışmamızda havuz üzerine gelen ışığın sadece kırılma açısına bağlı olarak depolanmadığı, bunun yanında sıcaklık ve yoğunluğa bağlı olarak kırılarak depolandığı varsayılarak bir teorik bir çalışma yapılmıştır. Her bölgedeki yoğunluklar dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Aşağıdaki tablolarda depolama bölgesine ulaşan ışınlar hesaplanarak, her bir bölgedeki kırılma miktarları da bulunmuştur. Q_i güneş'ten gelen güneş ışının havuzun normali ile yaptığı açıdır. Q_k havuza giren güneş ışının havuzda ki kırılma açıdır. Ayrıca sistem 3 ayrı yoğunluk ve sıcaklık bölgesine sahiptir. T havuzun her bölgesindeki sıcaklığını ve p ise her bölgesindeki ayrı ayrı yoğunluklarını göstermektedir.

$$T_1 \rho_1 n_1 \sin \theta_i = T_2 \rho_2 n_2 \sin \theta_k \quad (4)$$

Tablo 1. Üst Konvektif Bölgeye Giren ve Kırılan Işın Değerleri

Q_i : Havuza giren Güneş ışığı (°)	Q_k : Havuzda kırılan Güneş ışığı (°)
30	13.3
45	19.6
60	24.3

Tablo 2. Konveksiyonsuz Bölgeye Giren ve Kırılan Işın Değerleri

Q_i : Havuza giren Güneş ışığı (°)	Q_k : Havuzda kırılan Güneş ışığı (°)
13.3	9.02
19.6	13.22
24.3	16.24

Sonuçlar

Bu çalışmada, Adana ilinde bulunan güneş havuzu için, yatay düzleme gelen güneş ışınım değerleri kullanılmıştır. Havuza gelen ışığın sadece saf suyun meydana getirdiği kırılması göz önüne alınmayıp, ayrıca tuzlu su içinde meydana gelen kırılma da düşünülerek yoğunluk farkının sıcaklıkla olan ilişkisi de göz önüne tutularak teorik bir çalışma yapılmıştır. Her bölgeye ulaşan güneş ışınları miktarı ve buna bağlı olarak kırınım miktarı hesaplanmıştır. Güneş Havuzuna 60° ile giren bir güneş ışığı ancak depolama bölgesinde 16.24° ile ulaşabilirliği hesaplanmıştır. Böylece, güneş havuzuna giren ışığın her bölgede ayrı ayrı kırılarak depolandığı bulunmuştur. Buda depoda bulunan su yoğunluğunun ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak depolama bölgesinde meydana gelecek ısıyı, güneş ışınımı hesabıyla önceden tahmin edilmeye çalışılacaktır.

Kaynaklar

- [1] Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C., The long-term average performance of flat-plate solar energy collectors, Solar Energy, 7, 53, 1963.
- [2] Bozdemir S. and Kayali R. (1983) Mathematical modelling of a solar pond and comparison of experimental observations. Doga Turk J. Phy. 7, 3, 387-397.
- [3] Dinçer, I., Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus, Renewable Energy, 6, 7, 813-819, 1995.
- [4] Karakılıçık, M., "Yalıtımlı Prototip Bir Güneş Havuzunun Performansının Saptanması", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1998.
- [5] Karakılıçık, M., Kıymaç, K., and Dincer, I., (2006) Experimental and Theoretical Temperature Distributions in a Solar Pond. International Journal of Heat and Mass Transfer, 49, 5-6, 2006, 825-835.
- [6] Bozkurt, I., "Yalıtımlı ve Üstü Kapalı Silindirik model bir Güneş Havuzunun (SMGH) Performansının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2006.
- [7] Durmaz, A.F., Eğik yüzeylere gelen güneş ışınımının analizi ve cam yüzeylerden geçen güneş ışınımının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 2007
- [8] The Met Office; Hadley Center for Climate Prediction and Research, (<http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/>)

A STUDY ON GLOBAL SOLAR RADIATION AND SUNSHINE DURATION MEASURED DATA: A CASE STUDY FOR ISTANBUL

Şaban PUSAT

Yıldız Technical University,
Mechanical Engineering Department

Erdal BAĞCI

Uzman Enerji – Renewable Energy and
Energy Efficiency Solutions

Abstract

In this study, we tried to analyze the ten years hourly measured (raw) global horizontal solar radiation and sunshine duration data, which was measured in the meteorological stations of DMI from 1997 to 2006, in the meaning of accuracy and reliability. And we tried to recover the needed parts of the data. We made the comparisons with the national and international databases like GEPA, PVGIS and NASA. Solar radiation and sunshine duration measurements in Turkey are very unreliable and have deficiencies.

Keywords: Solar energy; Global solar radiation; Sunshine duration; Istanbul; Turkey

1. Introduction

Renewable energy planning studies mostly based on the resource assessment. For wind-based renewable energy production plants, the basic resource is the wind speed and for solar-based renewable energy production plants, the basic resource is the solar radiation. Solar energy which is source of the most energy resources used today is a promising one. There are many technologies for solar energy applications such as solar thermal system, photovoltaic, and passive solar design.

In solar energy studies, solar radiation and its components for a specific location are the main necessities. The solar data should be sufficient, reliable and contemporary. Solar energy data measurement is a difficult process: measurement devices need to calibration and maintenance continuously. Due to the difficulties in radiation measurements, scientists are developed many mathematical models to estimate the solar energy data. Menges et al. mentioned about the 50 mathematical models for radiation estimation [1]. Radiation can also be estimated by satellite images.

Turkey has a high potential on solar energy. The yearly average solar radiation is about 4.18 kWh/(m².day), and the daily average sunshine duration is about 7.50 h [2]. This potential is one of the best of Europe. Authority (EIE - General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration) calculates that Turkey can produce 380 GWh electricity per year on 4600 m² area which has a potential approximately of 4.52 kWh/(m².day).

In this study, we tried to analyze the ten years hourly measured (raw) global horizontal solar radiation and sunshine duration data, which was measured in the meteorological stations of DMI from 1997 to 2006, in the meaning of accuracy and reliability. And we tried to recover the needed parts of the data. We made the comparisons with the national and international databases like GEPA, PVGIS and NASA. Solar radiation and sunshine duration measurements in Turkey are very unreliable and have deficiencies. An example of a raw dataset is given in **Table 1**.

Table 1: Example of a raw dataset

Year	Month	Day	Hour	Horizontal Global Solar Radiation (cal/cm ²)	Sunshine Duration (h)
1997	10	3	1		
1997	10	3	2		
1997	10	3	3		
1997	10	3	4		
1997	10	3	5		
1997	10	3	6		
1997	10	3	7	1.8	
1997	10	3	8	6	
1997	10	3	9	12.6	
1997	10	3	10	22.8	0.2
1997	10	3	11	34.8	9.9
1997	10	3	12	28.8	
1997	10	3	13	44.4	0.5
1997	10	3	14	30.6	1
1997	10	3	15	25.8	0.9
1997	10	3	16	13.8	0.6
1997	10	3	17	2.4	0.1
1997	10	3	18	0.6	
1997	10	3	19		
1997	10	3	20		
1997	10	3	21		
1997	10	3	22		
1997	10	3	23		
1997	10	3	24		

2. Data Analysis Results And Comparisons

In this section, firstly we give the results of analysis of the global radiation and sunshine duration raw data, and then we make the comparisons with other databases. In this study, the hourly measured irradiation and sunshine duration data on horizontal surface between 1997 and 2006 of Istanbul are used to calculate the contemporary average values. Basic data for this study are presented in **Table 2**. The accuracy and calibration problems of the measurement devices are not mentioned in this paper. A detailed study can be found in Myers paper [3].

Global solar radiation on horizontal surface and sunshine duration are measured hourly in all the meteorological stations of State Meteorological Affairs, known as DMI, in Turkey. The unreliability of the measured data is mentioned in many studies [4-5-6-7-8]. Due to the difficulties of measurements many mathematical models are developed. These models are out of this paper's concept.

2.1.Global Solar Radiation

All the analyses are done with the help of programs written in MatLab Language. First of all raw data is fully examined. Missing data numbers are defined. Missing data are searched between the sunrise and sunset hours. Yearly sunrise and sunset times can be seen in **Figure 1**.

Solar radiometry devices don't have a minimum radiation capacity or threshold level that can be recorded. Therefore it should record a value after the sunrise and until the sunset time. Missing data numbers between sunrise and sunset hours are presented in **Table 3**.

The location of meteorological station and instruments are very important for solar radiometry. Any shadowing obstacle can cause wrong measurements. And also a lighting system near the device can result in unnecessary measurement which is not

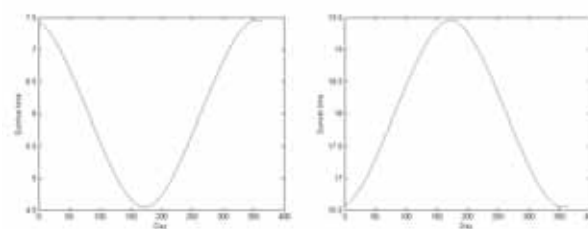


Figure 1: Daily sunrise and sunset times

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
JANUARY	37	64	60	39	39	39	41	53	33	41
FEBRUARY	21	35	36	25	27	24	28	28	23	21
MARCH	25	48	42	29	34	30	34	43	40	34
APRIL	27	38	39	28	25	31	31	34	29	22
MAY	8	42	29	12	18	18	29	29	34	11
JUNE	4	26	17	8	3	3	12	15	22	2
JULY	6	32	25	20	7	20	29	18	34	5
AUGUST	29	42	38	31	29	30	31	43	38	25
SEPTEMBER	7	31	25	17	10	22	21	28	37	8
OCTOBER	11	27	21	12	12	13	19	15	19	13
NOVEMBER	18	46	16	17	23	23	33	26	25	13
DECEMBER	37	82	36	38	47	31	65	33	36	48
TOTAL	230	513	384	276	274	284	373	365	370	243

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
JANUARY	7	4	4	14	11	13	8	14	0	13
FEBRUARY	20	21	18	30	28	27	26	29	27	31
MARCH	11	7	7	12	24	16	24	24	6	21
APRIL	8	10	10	12	13	10	21	22	14	13
MAY	17	9	11	13	28	26	33	23	16	21
JUNE	23	21	23	28	30	29	43	41	27	29
JULY	27	18	29	24	28	30	49	36	11	31
AUGUST	12	3	12	6	22	13	33	18	2	15
SEPTEMBER	22	11	16	18	30	19	30	29	3	18
OCTOBER	9	7	17	16	17	18	21	17	13	15
NOVEMBER	6	0	7	2	3	9	3	0	5	1
DECEMBER	1	0	0	3	1	1	1	0	0	0
TOTAL	163	111	154	178	235	211	292	253	124	208

radiation from the sun. The unnecessary measurement numbers can be seen as monthly and yearly in **Table 4**.

Table 2: Basic information about meteorological station

City	Station	Elevation (m)	Latitude	Longitude	Average Temperature (°C) ^a	Average Wind Speed (m/s) ^b	Average Total Radiation (cal/cm ² .day) ^a	Average Sunshine Duration (h) ^a
Istanbul	Goztepe	33	40.97°N	29.8°E	14.2	2.8	307	5.9
a: 1971-2000 period b: 1961-1996 period								

The rates of missing records are presented graphically in **Figure 2**. The rate is calculated by dividing the yearly total missing hours and total hours between sunrise and sunset times. The highest rate is seen in 1998 as % 10.8 and lowest rate is seen in 1997 as % 4.9.

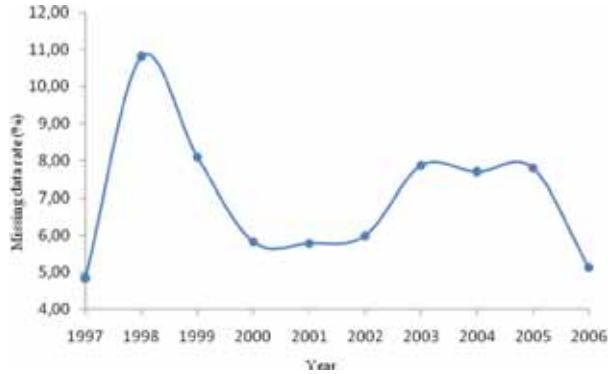


Figure 2. Yearly rate of missing data

We, firstly, correct the data out of the sunrise and sunset times by just changing the data to zero which aren't zero. Secondly, missing data between sunrise and sunset times is filled by the long term monthly-hourly data. Our modifications don't make much change on the averages (**Table 5**). The highest change is % 0.93.

Table 5. Raw and Processed Data Results

	Raw Data	Processed Data	Change
	cal/cm ² .day		(%)
JANUARY	121.49	122.51	0.83
FEBRUARY	197.79	196.21	-0.81
MARCH	297.14	297.27	0.04
APRIL	383.76	383.64	-0.03
MAY	507.17	507.05	-0.02
JUNE	559.15	557.61	-0.28
JULY	559.07	557.68	-0.25
AUGUST	462.86	462.71	-0.03
SEPTEMBER	372.76	372.27	-0.13
OCTOBER	247.66	247.75	0.04
NOVEMBER	151.49	152.05	0.36
DECEMBER	105.36	106.35	0.93

These results are 10 years' data averages. Finally we compare our results with other databases. Our basic database is DMI's long term averages. The most important reference study for us is the 'Solar Energy Potential Atlas', known as GEPA, which is prepared just for Turkey. It is contemporary and detailed. There are also two international public databases: PVGIS and NASA. Results are presented in **Table 6** and **Figure 3**.

Differences between raw data and other studies are shown monthly in **Figure 4**. Difference between GEPA and raw data is the largest one. This shows the unreliability of the raw data and databases clearly.

Table 6. Comparison of the results with other studies

	Raw Data	Processed Data	gepaa	pvgisb	nasac	DMId
	kWh/m ² .day					
JANUARY	1.41	1.42	2.00	1.67	1.45	1.33
FEBRUARY	2.30	2.28	2.57	2.31	2.01	1.99
MARCH	3.46	3.46	4.20	3.49	3.11	3.05
APRIL	4.46	4.46	5.28	4.46	4.29	4.30
MAY	5.90	5.90	6.30	5.91	5.33	5.34
JUNE	6.50	6.49	6.79	6.71	5.94	6.01
JULY	6.50	6.49	6.79	6.79	5.78	5.93
AUGUST	5.38	5.38	6.07	5.93	5.29	5.19
SEPTEMBER	4.34	4.33	5.09	4.69	4.23	4.22
OCTOBER	2.88	2.88	3.74	2.99	2.75	2.67
NOVEMBER	1.76	1.77	2.37	1.88	1.68	1.65
DECEMBER	1.23	1.24	1.80	1.39	1.22	1.17

a: Solar Energy Potential Atlas [2]

b: Photovoltaic Geographical Information System [9]

c: NASA Langley Atmospheric Science Data Center [10]

d: DMI long term (1971-2000 period) averages

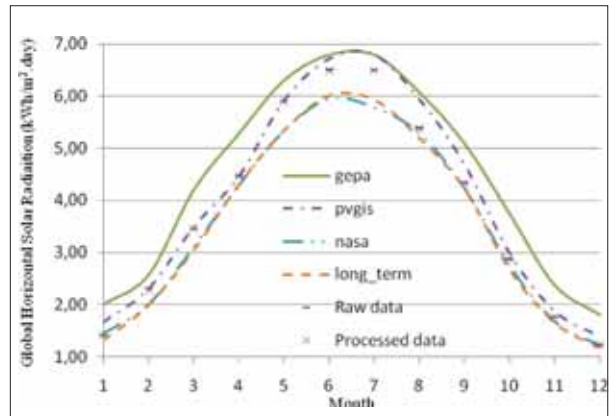


Figure 3. Comparison of the studies

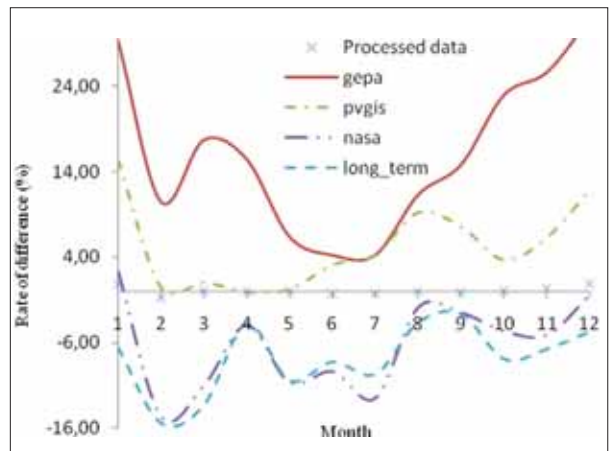


Figure 4. Monthly differences between raw data and other studies

2.2. Sunshine Duration

Firstly we worked on the raw data. Missing and wrong data numbers are obtained. Wrong data are seen as 9.9 in the dataset. Total number of wrong records is 663. There is only one data which is after sunset. The missing data numbers again is calculated between sunrise and sunset hours (**Table 6**).

The missing data numbers are seems too high. Sunshine duration measurement is different than solar radiation measurement. There is a threshold for sunshine duration. World Meteorological Organization defines the minimum measurement limit 120 W/m² direct solar irradiance [11]. Therefore it is not possible to measure the sunshine duration just after the sunrise. We have three analyses for sunshine duration raw data. The first modification is changing the wrong measurements with zero, the second one is correcting the wrong hours with long term monthly-hourly averages, and the third one is filling the non-measured hours between sunrise and sunset times with long term monthly-hourly averages. The modification results are presented in **Table 7**.

The monthly change rate between raw data and processed data are shown graphically in **Figure 5**. All the modifications show large

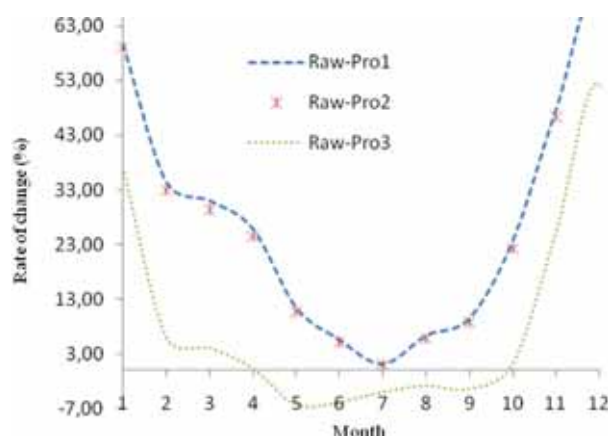


Figure 5. Monthly change rates

Table 8. Sunshine duration data analysis results

	Raw Data (h)	Processed Data 1 (h) ^a	Processed Data 1 (h) ^b	Processed Data 1 (h) ^c
JANUARY	5.34	2.15	2.18	3.36
FEBRUARY	5.52	3.61	3.70	5.19
MARCH	7.08	4.88	5.00	6.79
APRIL	7.75	5.74	5.85	7.72
MAY	9.38	8.30	8.38	9.98
JUNE	10.59	10.00	10.05	11.21
JULY	11.17	11.05	11.06	11.62
AUGUST	10.02	9.38	9.44	10.31
SEPTEMBER	8.29	7.50	7.56	8.58
OCTOBER	6.74	5.14	5.23	6.66
NOVEMBER	6.14	3.20	3.29	4.59
DECEMBER	6.46	1.99	2.02	3.08
MEAN	7.87	6.08	6.15	7.42

a: Wrong data are changed with zero

b: Wrong data are changed with monthly-hourly average values

c: Non-measured hours between sunrise and sunset times are changed with monthly-hourly average values

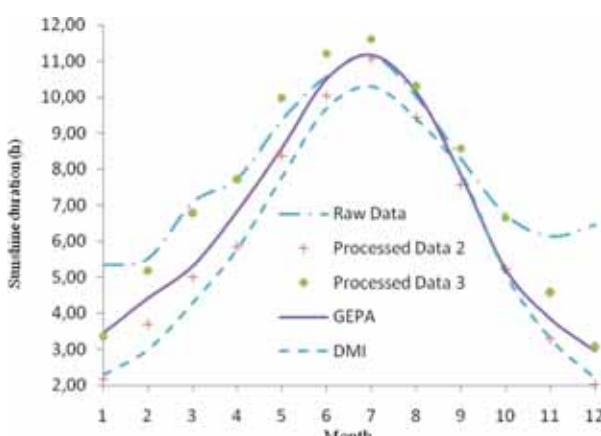


Figure 6. Comparison of the results

Table 7. Missing records between sunrise and sunset times

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
JANUARY	226	192	212	210	208	188	259	269	242	249
FEBRUARY	146	140	162	149	153	95	215	168	191	179
MARCH	251	258	177	172	170	220	174	175	198	220
APRIL	271	186	136	206	165	218	230	202	184	195
MAY	229	257	117	128	120	117	81	129	197	122
JUNE	168	75	119	92	65	78	38	112	104	68
JULY	108	73	65	79	69	73	44	54	85	59
AUGUST	178	103	118	111	136	126	88	160	102	104
SEPTEMBER	122	101	87	111	74	123	110	75	127	121
OCTOBER	200	129	166	124	98	122	143	127	169	190
NOVEMBER	193	191	180	121	190	139	185	176	242	190
DECEMBER	233	246	195	209	267	216	220	211	239	212
TOTAL	2325	1951	1734	1712	1715	1715	1787	1858	2080	1909

changes. To check whether they are significant, we should compare them with other studies.

The highest change rate is seen in processed data 1 as % 69.3 in December. There is not much difference between modification 1 and 2. In March the difference is about % 1.7. The last modification's change rate differs greatly with seasons. It takes higher values in the winter.

Finally, we compare our results with other studies. For sunshine duration there are just two studies. The first one is GEPA and the other one is DMI long term averages. The comparison results are presented in **Table 8** and **Figure 6**.

The difference rates between GEPA and other results are shown graphically in Figure 7. The processed data 3 results shows great difference from GEPA averages. They are mostly over the GEPA results. This means that filling the missing hours between the sunrise and sunset hour's results in overestimation. Our second modification seems the best choice which has the most approximate results to GEPA. However it is still not good enough.

Table 9. Comparison of the results with other studies

	Raw data (h)	Processed Data 2 (h)	Processed Data 3 (h)	GEPA (h)	DMI (h)
JANUARY	5.34	2.18	3.36	3.46	2.3
FEBRUARY	5.52	3.70	5.19	4.43	3.0
MARCH	7.08	5.00	6.79	5.32	4.3
APRIL	7.75	5.85	7.72	6.85	5.8
MAY	9.38	8.38	9.98	8.61	7.8
JUNE	10.59	10.05	11.21	10.51	9.7
JULY	11.17	11.06	11.62	11.17	10.3
AUGUST	10.02	9.44	10.31	10.14	9.4
SEPTEMBER	8.29	7.56	8.58	7.83	7.9
OCTOBER	6.74	5.23	6.66	5.22	5.1
NOVEMBER	6.14	3.29	4.59	3.85	3.3
DECEMBER	6.46	2.02	3.08	2.96	2.2
MEAN	7.87	6.15	7.42	6.70	5.93

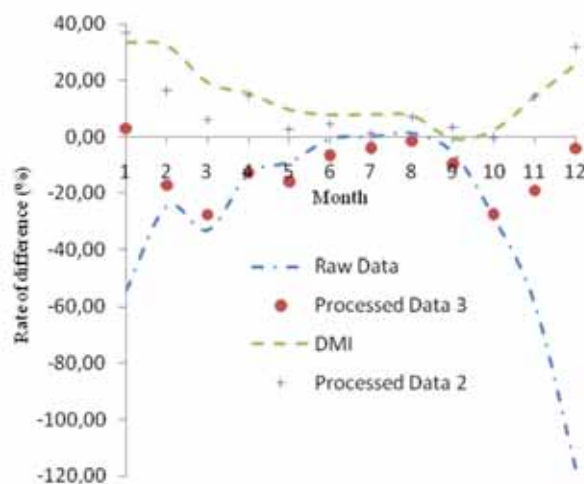


Figure 7. Difference rates between GEPA and other results

3. Conclusions And Recommendations

This study briefly says that there are no perfect measurements for solar energy in Turkey. The results show that measurements cannot be used directly for any analysis. They can include wrong and missing data parts. The solar radiometry science has some developments to increase the measurement quality and reliability [12]. However, today radiometric devices aren't much reliable. Therefore researchers should notice the uncertainty level of measurements and make the energy calculations concerning the inaccuracies.

The solar energy investments highly depend on the radiometric measurements. For this kind of energy investments, which are so expensive today, the feasibility studies should be done by professional persons. In this study we only used the data of DMI stations. Investors should have their own measurement station at the best location for the planned action. The measured data also should be analyzed by specialists.

Acknowledgements

The Turkish State Meteorological Service (DMI) is acknowledged for the supply of data. The authors are also grateful to Prof. Dr. Ismail EKMEKCI at Marmara University, Department of Mechanical Engineering, for his valuable comments and suggestions.

References

1. H.O. Menges, C. Ertekin and M.H. Sonmete, Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey, *Energy Conversion and Management* 47 (18–19) (2006), pp. 3149–3173.
2. EIE, www.eie.gov.tr
3. Myers, 2005 D.R. Myers, Solar radiation modeling and measurements for renewable energy applications: data and model quality, *Energy the International Journal* 30 (9) (2005), pp. 1517–1531.
4. A. Ecevit, B.G. Akinoglu and B. Aksoy, Generation of a typical meteorological year using sunshine duration data, *Energy* 27 (2002), pp. 947–954.
5. Turk Togrul I, Togrul H. Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data. *Renewable Energy* 2002; 25:55–67.
6. Trnka, M., Z' alud, Z., Eitzinger, J., Dubrovsky', M., 2005. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulae. *Agric. For. Meteorol.* 131, 54–76.
7. I. Supit and R.R. van Kappel, A simple method to estimate global radiation. *Solar Energy* 63 3 (1998), pp. 147–160.
8. Liu and Scott, 2001 D.L. Liu and B.J. Scott, Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations, *Agric. For. Meteorol.* 106 (2001), pp. 41–59.
9. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>
10. NASA Langley Research Center, <http://eosweb.larc.nasa.gov>
11. WMO (World Meteorological Organization), www.wmo.int
12. Gueymard C. A., Myers D. R., Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface, Springer, 2008

COMPARISON OF MEASURED AND ESTIMATED SOLAR RADIATION DATA: A CASE STUDY FOR ISTANBUL

Şaban PUSAT

Yıldız Technical University, Mechanical
Engineering Department, Istanbul

Erdal BAĞCI

Uzman Enerji – Renewable Energy and En-
ergy Efficiency Solutions, Istanbul

Abstract

The main objective of this study is to review the horizontal global solar radiation estimation models and compare the results with measured data and national database for Istanbul. The mathematical models used are based on the sunshine duration data as common in the world. For comparisons, the most common statistical methods (MBE, MPE and RMSE) are used. We came up with the result that solar radiation and sunshine duration measurements in Turkey are very unreliable and inaccurate.

Keywords: Solar energy; Global solar radiation; Sunshine duration; Istanbul; Turkey

1. Introduction

In solar energy studies, solar radiation and its components for a specific location are the main necessities. The solar data should be sufficient, reliable and contemporary. Solar energy data measurement is a difficult process: measurement devices need to calibration and maintenance continuously. Due to the difficulties in radiation measurements, scientists are developed many mathematical models to estimate the solar energy data. Menges et al. studied the 50 models [1] and Bakirci reviewed 60 models [2] for solar radiation estimation. Radiation can also be estimated by satellite images.

Turkey has a high potential on solar energy. The yearly average solar radiation is about 4.18 kWh/(m².day), and the daily average sunshine duration is about 7.50 h [3]. This potential is one of the best of Europe. Authority (EIE - General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration) calculates that Turkey can produce 380 GWh electricity per year on 4600 m² area which has a potential approximately of 4.52 kWh/(m².day).

In this study, we tried to evaluate the twelve solar radiation estimation models available in the literature for Istanbul. Models are based on different regression methods that use the sunshine duration data. Two different solar radiation and sunshine duration data are used for analysis: first one is ten years meteorological data taken from State Meteorological Affairs, known as DMI in Turkey, and second one is database of Solar Energy Potential Atlas, known as GEPA in Turkey. Statistical methods are used for comparisons of the results and selection of the best models.

2. Data and Models

a) Data and Methods of Comparison

In this study, the hourly measured irradiation and sunshine duration data on horizontal surface between 1997 and 2006 of Istanbul are used to calculate the contemporary average values. Basic data of the meteorological station are presented in **Table 1**.

Table 1. Basic information about meteorological station

City	Station	Elevation (m)	Latitude	Longitude	Average Temperature (°C) ^a	Average Wind Speed (m/s) ^b	Average Total Radiation (cal/cm ² .day) ^a	Average Sunshine Duration (h) ^a
Istanbul	Goztepe	33	40.97°N	29.8°E	14.2	2.8	307	5.9

a: 1971-2000 period
b: 1961-1996 period

Monthly averages of two databases are presented in **Table 2**. As seen from the Table, there are high differences between two databases. These differences are not scope of this study and are examined in another study [4].

Table 2. Monthly average daily radiation and sunshine data

	TYM ^a		GEPA ^b	
	Horizontal global solar radiation	Sunshine duration	Horizontal global solar radiation	Sunshine duration
	kWh/m ² .day	h	kWh/m ² .day	h
JANUARY	1,42	2,18	2,00	3,46
FEBRUARY	2,28	3,70	2,57	4,43
MARCH	3,46	5,00	4,20	5,32
APRIL	4,46	5,85	5,28	6,85
MAY	5,90	8,38	6,30	8,61
JUNE	6,49	10,05	6,79	10,51
JULY	6,49	11,06	6,79	11,17
AUGUST	5,38	9,44	6,07	10,14
SEPTEMBER	4,33	7,56	5,09	7,83
OCTOBER	2,88	5,23	3,74	5,22
NOVEMBER	1,77	3,29	2,37	3,85
DECEMBER	1,24	2,02	1,80	2,96
MEAN	3,84	6,15	4,42	6,70

a: Ten years database monthly average (TYM)
b: Solar energy potential atlas database (GEPA)

The performances of the models were evaluated by the statistical error analysis methods: mean bias error (MBE), mean percentage error (MPE) and root mean square error (RMSE). These are the most common statistical methods in solar radiation estimation models comparisons [1, 5, 6, 7 and 8]. MBE, MPE and RMSE formulas are given below:

$$MBE = \sum_{i=1}^N \frac{H_{i,c} - H_{i,m}}{N} \quad (1)$$

$$MPE = \sum_{i=1}^N \frac{\frac{H_{i,m} - H_{i,c}}{H_{i,m}}}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(H_{i,c} - H_{i,m})^2}{N}} \quad (3)$$

where N is the total number of observations, $H_{i,m}$ is the i_{th} measured value and $H_{i,c}$ is the i_{th} calculated value.

b) Basics of Estimation Models

The simplest and most known model developed for estimation of monthly average daily global solar radiation on horizontal surface is the Angström-type regression model. After this model, dozens of models developed on this base. Today, the basic model is based on the fraction of the measured and clear day monthly average sunshine hours at the location in question [9]:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad (4)$$

where H is the monthly average daily global solar radiation, H_0 is the monthly average daily extraterrestrial solar radiation, S is the monthly average daily bright sunshine hours, S_0 is the monthly average day length, and a and b are empirical coefficients.

The monthly average extraterrestrial daily radiation on a horizontal surface, H_0 , can be calculated by the following equation [9]:

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} f \left[\cos \varphi \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi}{180} w_s \sin \varphi \sin \delta \right] \quad (5)$$

where I_{sc} is the solar constant ($I_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$), f is the eccentricity correction factor, φ is the latitude of the location, δ is the solar declination angle, w_s is the mean monthly sunrise hour angle. The eccentricity correction factor, solar declination and sunrise hour angle can be computed by the following Equations (6)-(7)-(8), respectively [9]:

$$f = 1 + 0.033 \left[\cos \frac{360 D}{365} \right] \quad (6)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360 (284 + D)}{365} \right] \quad (7)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (8)$$

where D is the number of the days of the year starting from the first of January. The clear day monthly average daily sunshine duration (the maximum possible sunshine duration) can be calculated by the following equation:

$$S_0 = \frac{2}{15} w_s \quad (9)$$

c) Model 1

Bakirci proposed a linear exponential model for Istanbul [7]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.7380 + 1.5454 \frac{S}{S_0} - 0.6294 \exp \frac{S}{S_0} \quad (10)$$

d) Model 2

Bakirci also suggested the following exponential equation for Istanbul [7]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.6726 \left(\frac{S}{S_0} \right)^{0.5283} \quad (11)$$

e) Model 3

Ulgen and Hepbasli proposed the following linear equation for Ankara, Istanbul and Izmir [6]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.2671 + 0.4754 \frac{S}{S_0} \quad (12)$$

f) Model 4

Ulgen and Hepbasli also suggested the following third order polynomial equation for Ankara, Istanbul and Izmir [10]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.2854 + 0.2591 \frac{S}{S_0} + 0.6171 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 - 0.4834 \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (13)$$

g) Model 5

Tiris et al. obtained the following correlation from the experimental data measured in Gebze, Kocaeli [11]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.2262 + 0.418 \frac{S}{S_0} \quad (14)$$

h) Model 6

Yildiz and Oz proposed the following equation for Turkey [12]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.2038 + 0.9236 \frac{S}{S_0} - 0.3911 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (15)$$

i) Model 7

Tasdemiroglu and Server developed the following correlation for the six locations (Ankara, Antalya, Diyarbakir, Gebze, Izmir and Samsun) in Turkey [13]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.225 + 0.014 \frac{S}{S_0} + 0.001 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (16)$$

j) Model 8

Akinoglu and Ecevit proposed the following equation for Turkey [14]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.145 + 0.845 \frac{S}{S_0} - 0.280 \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \quad (17)$$

k) Model 9

Kilic and Ozturk have determined the regression coefficients a and

b as a function of the solar declination angle, latitude and elevation (km) [15]:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad (18a)$$

$$a = 0.103 + 0.017 Z + 0.198 \cos(\varphi - \delta) \quad (18b)$$

$$a = 0.533 - 0.165 \cos(\varphi - \delta) \quad (18c)$$

l) Model 10

Glover and McCulloch suggested the following model that depends on the latitude [16]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.29 \cos(\varphi) + 0.52 \frac{S}{S_0} \quad (19)$$

m) Model 11

Page proposed the following equation [17]:

$$\frac{H}{H_0} = 0.23 + 0.48 \frac{S}{S_0} \quad (20)$$

n) Model 12

Gopinathan has derived following correlation [18]:

$$\frac{H}{H_0} = -0.309 + 0.539 \cos(\varphi) - 0.0693 Z + 0.290 \frac{S}{S_0} + (1.527 - 1.027 \cos(\varphi) + 0.0926 Z - 0.359 \frac{S}{S_0}) \frac{Z}{S_0} \quad (21)$$

3. Results And Discussion

Twelve mathematical models have used for estimation of the monthly average daily global solar radiation data. Validation of the models has been performed by using the basic statistical methods (MBE, MPE and RMSE). As mentioned in the previous section we have used two different databases. So we have two different global solar radiation and sunshine duration data. Therefore we have made four different evaluations:

1. By using TYM sunshine duration data, we estimated the solar radiation data and compare with
 - a. TYM solar radiation data,
 - b. GEPA solar radiation data.
2. By using GEPA sunshine duration data, we estimated the solar radiation data and compared with
 - a. TYM solar radiation data,
 - b. GEPA solar radiation data.

According to the results, best models are defined as Model 10 for 1.a, Model 6 for 1.b, Model 1 for 2.a and again Model 1 for 2.b. Results are presented in Figure 1 and Table 3.

This study briefly says that there are no perfect measurements for solar energy. The results show that measurements cannot be used directly for any analysis. They can include wrong and missing data parts. The solar radiometry science has some developments to increase the measurement quality and reliability [19]. However, today radiometric devices aren't reliable. Therefore researchers should notice the uncertainty level of measurements and make the energy calculations concerning the inaccuracies.

Table 3. Comparison of the results

	Best for 1.a	Best for 1.b	Best for 2.a and 2.b	Databases	
	Model 10	Model 6	Model 1	TYM	GEPA
kWh/m ² .day					
JANUARY	1.301	1.521	1.521	1.425	2.000
FEBRUARY	2.156	2.577	2.308	2.282	2.570
MARCH	3.258	3.892	3.314	3.457	4.200
APRIL	4.155	4.957	4.459	4.462	5.280
MAY	5.820	6.788	5.770	5.897	6.300
JUNE	6.550	7.460	6.368	6.485	6.790
JULY	7.268	8.057	6.737	6.486	6.790
AUGUST	5.981	6.771	5.815	5.381	6.070
SEPTEMBER	4.288	4.963	4.234	4.330	5.090
OCTOBER	2.841	3.377	2.801	2.881	3.740
NOVEMBER	1.734	2.070	1.822	1.768	2.370
DECEMBER	1.212	1.412	1.338	1.237	1.800
MEAN	3.880	4.487	3.874	3.841	4.417

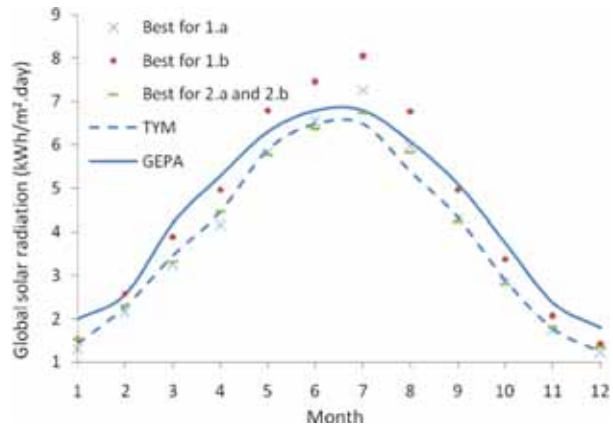


Figure 1. Comparisons of the results

The solar energy investments highly depend on the radiometric measurements. For this kind of energy investments, which are so expensive today, the feasibility studies should be done by professional persons. In this study we used the measured data from DMI station and GEPA database. Investors should have their own measurement station at the best location for the planned action, and the measured data also should be analyzed by specialists.

Acknowledgements

The Turkish State Meteorological Service (DMI) is acknowledged for the supply of data. The authors are also grateful to Prof. Dr. Ismail EKMEKCI at Marmara University, Department of Mechanical Engineering, for his valuable comments and suggestions.

References

1. Menges H. O., Ertekin C. and Sonmete M. H., Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey, Energy Conver-

- sion and Management 47 (18–19) (2006), pp. 3149–3173.
2. Bakirci K., Models of Solar Radiation with Hours of Bright Sunshine: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, (2009), pp. 2580–2588.
 3. EIE, www.eie.gov.tr
 4. Uzman Enerji, www.uzmanenerji.com
 5. Ulgen K, Hepbasli A. Comparison of diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Izmir, Turkey. Energy Source 2003; 25:637–49.
 6. Ulgen K, Hepbasli A. Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models. Energy Source 2004; 26:521–30.
 7. Bakirci K., Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, Energy 34 (4) (2009), pp. 485–501.
 8. Bulut H., Büyükalaca O., Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey, Appl Energy 84 (2007), pp. 477–491.
 9. Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes. New York: Wiley; 1991.
 10. Ulgen K, Hepbasli A. Comparison of solar radiation correlations for Izmir, Turkey. International Journal of Energy Research 2002; 26:413–30.
 11. Tiris M, Tiris C, Ture IE. Correlations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey. Energy Conversion and Management 1996; 37:1417–21.
 12. Yildiz M, Oz S. Evaluation of the solar energy potential of Turkey. In: Proceedings of the 6th National Energy Congress; 1994. p. 250–60 [in Turkish].
 13. Tasdemiroglu E, Sever R. An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey. Energy Conversion and Management 1991; 31(6):599–600.
 14. Akinoglu BG, Ecevit A. A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. Solar Energy 1990; 15:865–72.
 15. Dogniaux R, Lemoine M. Classification of radiation sites in terms of different indices of atmospheric transparency. Solar energy research and development in the European Community, Series F, vol. 2. Dordrecht, Holland: Reidel; 1983.
 16. Glover J, McGulloch JDG. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 1958; 84:172–5.
 17. Page JK. The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surface from sunshine records for latitudes 40N–40S. Proceedings of UN Conference on New Sources of Energy 1961; 4(598):378–90.
 18. Gopinathan KK. A general formula for computing the coefficients of the correlations connecting global solar radiation to sunshine duration. Solar Energy 1988; 41:499–502.
 19. Gueymard C. A., Myers D. R., Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface, Springer, 2008

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ELEKTRİĞİ DEPOLAMAK

Şevki DÜKKANCILAR

Özet

Dünya enerji çeşitlerinden, fosil enerji kaynakları, bünyelerinde potansiyel enerji barındırırlar. Depolanmış bu enerji kaynakları, istenen miktarlarda kullanıma alınarak enerji üretilebilmektedir. Bu potansiyel enerjilerin statik durumdan dinamik duruma geçirilmesi ile; ikincil, üçüncül enerji türlerine çevrilmesi sonrası büyük kapasitelerde yeniden depolanmaları oldukça zordur. Yani; ısı enerjisi, basınç enerjisi, elektrik enerjisi, yenilenebilir enerjiler, vb. enerji tiplerini depolamanın yapısal olarak zor olduğu bilinmektedir.

Bu nedenlere ek olarak aşağıdaki olumsuzlukları da sıralayabiliriz:

1. Dünya iklim dengesinin bozuluyor olması,
2. Fosil enerji kaynaklarının bitecek olması,
3. Yenilenebilir enerji kaynaklarının depolanamaz olması,
4. Enerji üretim ve tüketimlerdeki denge zorlukları,
5. Hızla nüfusu aratan dünyanın, enerji talebi,

Dünyanın artan enerji talebine karşılık, yakın gelecekte enerji arzında ciddi olumsuz gelişmeler ve problemler olacağı beklenmektedir. Bu görüşler ışığında, enerji sorununa çözüm ise, süreklilik sağlayacak fikirlerin değerlendirilmesidir. Bunlardan biri de, güneş ve rüzgar potansiyel sistemlerinin çevriminden faydalanılarak, depolanabilir hidrolik potansiyel oluşturmaktır. HES- SOLAR- RES çevrimli enerji sistemleri kurmaktır.

Bilindiği üzere, dünyanın yakın geleceği için enerji problemi gündemdedir. Bilimsel açıklamalara göre, fosil enerji kaynaklarının rezervleri 40-50 yıl sonra, bitme seviyelerine geleceği şeklinde ifade edilmektedir. Bu nedenle de fosil enerjilere sahip ülkeler üzerine, soğuk ve sıcak savaşlar yapılmaktadır. Güçlü ülkelerin birbirlerine güvensiz politikalar geliştirmeleri sonucu; dünyada tüketilen enerji toplamının yaklaşık %80'ini karşılayan fosil enerji kaynaklarının bölgeleri ve yolları tutulmaya çalışılmaktadır.

Gelecekte yaşanabilecek enerji problemlerinden en önemli üçünü aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

1. Dünya yaşamı için tehlike oluşturacak iklim ve doğa değişiminin sebeplerini önlenmesi ve böylece canlıların geleceğinin güvence altına alınması.
2. İnsanların ve tüm canlı yaşamın ihtiyaçları olan; elzem ihtiyaçlar ve enerji kullanımına bağlı olan diğer teknolojik ihtiyaçların tümüne gerekli enerjinin sağlanması.
3. Enerji piyasalarındaki mevcut ticari yapılanmalar ve istihdamların, değişen yenilenebilir enerji sistemlerine yönlendirilmesi,

hali hazırdaki ticari sistemi koruyarak, yeni ekonomik yapıların oluşumunun sağlanabilmesi.

Bu pencereden baktığımızda; konu ile uğraşan uzmanlar ve ulusal çıkarlarımızı şuurlandıran kişi ve kurumlar, Türkiye'nin enerji geleceğine ve ihtiyaçlarına cevap bulabilmek ve doğru kararları vermek için çalışmalar yapmaktadır.

Unutulmamalıdır ki; özellikle elektrik enerjisinin yokluğu yaşam için kabul edilemez duruma gelmiştir. Bu nedenle; geç kalınmadan yenilenebilir enerji kaynaklarının (son gelişme ve araştırmaları) özel ve kamusal yatırımlarla yapılandırılması gerekir. Ulusal enerji stratejisi bakımından kamusal payın dengeli tutulması gerekmektedir.

Araştırmalar, Türkiye'nin 723 Twh'lik yenilenebilir enerji kaynakları ile Avrupa'nın ikinci büyük gücü olduğunu ifade etmektedir. Bu kapasite; güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik, bio ve foto-voltaic kaynakların toplamıdır. Bu toplam içinde SOLAR enerjinin teorik değeri 131 Twh'dir.

Avrupa'nın 3300 Twh/yıl enerji tükettiği bilinmektedir. 2050 yıllarına gelindiğinde, Avrupa ülkeleri enerji tüketiminin 4000 Twh/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu enerji ihtiyacına karşılık, tüm Avrupa ülkelerinde yenilenebilir enerjilerin üretilebilir teorik kapasitesi, 5780 Twh/yıl olduğu hesaplanmıştır. Bu ciddi, ancak dağınık kapasiteli yenilenebilir enerji kaynakları akılcı yaklaşımlarla verimli kullanılabilir. Ülkeler arası üretim ve tüketim ortaklıkları prensibi enerji sorununa çare olarak düşünülmelidir. [1]

Türkiye'nin 2007 yılında, yaklaşık 40.000 Mw kurulu gücü ve 180 milyar Kwh/yıl elektrik tükettiği bilinmektedir. 723 Twh teorik yenilenebilir enerji kapasitesinin % 5'lik kısmının gerçekleştirilmesi halinde, Türkiye için çok uzun yıllar enerji sorunu çözülmüş olacaktır. Yenilenebilir enerji ihracatı ile de ekonomik kazançlar da sağlanacaktır. Burada önemli olan doğru kararlar verilerek, yenilenebilir enerji sistemlerinin, kalıcı ve verimli yapılarını kurmaktır.

Bilinmelidir ki; hayallerimiz, gerçekleştirmek istediğimiz hedeflerimizin kaynağıdır. Hedeflerimiz için bu kaynağı bilimsel konularda geliştirerek en verimli şekilde kullanabiliriz. Yenilenebilir enerjilerin, istenen seviyelerde kullanıma alınabilmeleri için çeşitli olumsuzluklar vardır. Bu olumsuzlukların önemli olanları aşağıdakiler gibi sıralayabiliriz:

- Sürekli üretim arzından yoksun olmaları (doğa şartlarına bağlılık)

- Ar-Ge çalışmalarının devam ediyor olması, teknolojik gelişmelere açık ve gelişmekte olmaları
- Ekonomik değer olarak maliyetli yapılar olmaları
- Verimli yapılanmak zorunda olmaları
- Mevcut enerji fiyat dengelerinin yakalanmasındaki zorlukları
- Yapılanmalarında, ülkeler arası ortaklıkların netleşmemiş ve belirlenmemiş olması ve stratejik etkilerinin devam etmesi

Her ülke için, elektriğin ulusal ve yerel kaynaklardan üretilmesi temel amaç olmalıdır. Ancak; yenilenebilir enerjilerin üretimlerindeki farklı zorluklar ve kesintili olmaları nedeni ile ortak paylaşım şarttır. Buna komşuluk alışverişi denilebilir.

Ülkeler arası uzak noktalardan taşınan (nakil olan) elektrik enerjisi, nakil sırasında, direkt olarak verimini kaybeden enerjidir. Bu nedenle; Sahra Çölü, Kuzey Afrika gibi uzak sıcak bölgelerdeki SOLAR enerjilerin Avrupa'ya nakli problem teşkil etmektedir. Bilindiği üzere, Avrupa'nın ekvatora yakın ve bol güneş alan ülkeleri SOLAR enerji kaynaklarına daha zengindir. Yapılan araştırmalar ve verilere göre, İspanya 1278 Twh teorik kapasite ile Avrupa birincisi ve Avrupa için en önemli SOLAR elektrik kaynağıdır. Aynı şekilde teorik kapasitelere göre, ikinci SOLAR güce sahip ülkeler ise, Portekiz (142 Twh) ve Türkiye (131Twh) olarak hesaplanmıştır. [1]

Bilindiği üzere; HES santralleri, yenilenebilir enerji kaynakları olmalarına rağmen, bölgesel eko dengede yarattıkları olumsuzluklar nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgar gibi %100 doğaya zarar vermeyen enerji kaynağı değildirler.

SOLAR ve RES gibi yenilenebilir enerji türlerinin, henüz enerji arzı için istenen kapasitelerde hayata geçirilmemiş olduğunu biliyoruz. Yapılanma zorlukları dikkate alınarak bakıldığında, (genel düşünce olarak) HES santrallerinde elektrik üretimi sırasında doğaya direk olarak zarar verilmemektedir. Bu nedenle de, HES santralleri, elektrik üretimindeki tercihlerden en gerçekçi kabul edilen yenilenebilir enerji kaynak sistemleridir.

HES santrallerinin elektrik üretimi için tercih edilme nedenleri aşağıda açıklanmıştır:

- Fosil yakıtların bitecek olması
- Doğa kirliliğini (hava emisyonunu) önlemesi, çevreci enerji sistemleri olmaları
- Devreye alma çalışmaları için, teknolojik yapılanma ve işletme tecrübelerine sahip olunması
- En iyi depolanabilir potansiyel elektrik kaynağı olması
- İşletme gideri açısından düşünüldüğünde, en düşük maliyetli (Kwh/TL) elektrik üretim şekli olması

Yenilenebilir enerjilerin güneş ve rüzgar çeşitleri, çok hızlı ve değişken olan doğa olaylarına direkt bağlıdır. Depolanamadıkları için güvenli arz kaynakları değildirler. Yakın gelecek için mevcut yenilenebilir enerji sistemleri dışında yeni enerji kaynakları geliştirilemez ise, dünyanın enerji ihtiyacı için, fosil enerjilerin bitimi ile hidrojen enerjisi gibi enerji kaynaklarının hayata geçirilmesi beklenmelidir. Doğaya zarar vermeyen, yenilenebilir enerji türleri, şu an ve yakın

gelecek için, beklendiği gibi insanların ihtiyaçlarına cevap verecek teknolojik yapıda değildirler. Ayrıca, istenen kapasiteye ulaşınca ya kadar zaman kazanmak şarttır. Zaman kazanmak, bu konu için önemle vurgulamak istediğim noktadır. Zamanı kazanmanın yollarından biri ise, kabul edilmiş ve uygulamaları yapılan enerji verimliliği çalışmalarıdır. Enerji verimliliği öncelikle, inanma ve toplumsal bilinçlenme ile kabul gören bir kavramdır ve tasarruf kültürünü de içine almaktadır. Verimlilikle tasarruf her konuda kazanç getirmektedirler. Enerjide verimlilik, bilimsel, teknik çalışmalar sonucu enerji kazanımı sağlamak, bir nevi enerji kaynağı yaratmaktır. Enerji verimliliği konusu, siyasi ve idari karar mekanizmaları tarafından kabul edilmelidir. Enerji verimliliği, çalışmaları, yenilenebilir enerji üretim politikaları içinde kabul edilmeli ve çalışmalara hız verilmelidir.

Enerji verimliliği çalışmaları yapıldığında, sanıldığından çok daha fazla enerji kaynağı sağlanmaktadır. Konuya önem veren ülkelere hedeflenmiş enerji verimliliği kapasiteleri, bu ülkelerin yıllık üretim artışlarına kaynak olabilmektedir. Artan enerji ihtiyaçlarının doğan ve yatırım gerektiren elektrik santrali yapılanmalarını öteleyebilmektedir. Enerji verimliliği ile kazanılan enerji kazancını yenilenebilir enerji "kaynağı" olarak da adlandırabiliriz.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretileceği alanlardan, transformasyonu, nakilleri ve enterkonnekte sisteme katılımları için, çevre ve yatırım sorunları çıkaracağı bilinmektedir. Ancak daha önemlisi, düşük güçteki yenilenebilir enerji yatırımları (evlerde, sitelerde vb. 500 Kw güç altı lisans mecburiyeti olmadan müsaade edilen yenilenebilir enerji kaynak yatırımları) denetim ve işletim zorlukları yaratacaktır. Ve maalesef düşük güçlerdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim yapamama hallerinde (güneş ve rüzgarın olmaması), çöktüklerinde (akü problemleri ve teknik arızalar vb.) ve yenilenebilir düşük güçlerin sisteme satışı için pompalanması sırasında (elektrik kirlilikleri ortaya çıkması) ortaya çıkacak ciddi problemler nedeniyle, fosil yakıtlardan elde edilen elektriğe ihtiyaç duyulacaktır ve enterkonnekte sistemden elektrik çekilmesine sebep olunacaktır. Ayrıca; gün içinde ve puant zamanlardaki, elektriğin pik olarak çekilme ihtiyaçlarında, fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjilerine muhtaç olunacaktır. Bu durumda ise, enterkonnekte sistemde, elektrik arzının hazır bulunması gerekecektir. Yani; düşük güçteki yenilenebilir enerjilerden elde edilen elektrik sistemlerinin problemleri, elektrik arz dengesini bozacak veya arz dengesinin sağlanmasını zorlaştıracak, ulusal elektriğin kalitesi bozulacaktır. Bu görüşlere göre, düşük güçlerdeki yenilenebilir elektrik üretim tesisleri, enterkonnekte sistemde enerji arzını hazır bulundurma şartını gerektirecektir. Bunun sonucu olarak, verimli enerji arzı olmayacak, enerji giderleri pahalılaşacaktır. En azından tahminler ve yaklaşımlar bu olumsuzlukları göstermektedir.

Yukarıdaki ifadelerden anlaşılacağı gibi, yenilenebilir elektrik enerjilerinin depolanma zorlukları vardır. Büyük kapasiteli akülerin üretim zorlukları, mevcut teknolojilerle gerçekleştirile boyutları, ekonomik maliyetleri, kimyasal çevre kirliliği gerçekleri, elektriği depolama kısırlığı yaratacaktır. Böylece; konuya bilingsiz kesimlerce çözüm olarak görünen, akü ile elektriğin depolanmasına çare olmayacağı kabul görecektir.

Önerim burada başlamaktadır ve amacım elektriği hidrolik potansiyel olarak depolamaktır. Hepimizin bildiği bu düşünce için olmaz demeden önce, olması ve handikapları kaldırmak için ne yapabiliriz diye düşünmemiz gerekmektedir.

Benim düşüncem, bilinen HES pompaları prensibinin benzeridir. Yani; HES santrallerindeki potansiyel enerjili suların, santral jeneratörlerinde enerjisini bırakıp, baraj alt seviyelere düşmeleri sonrası, birikim alt havzasında toplanmaları ve bu sulara tekrar potansiyel kazandırılması prensibidir. Prensip; gün içinde elektrik arzındaki dengelemelerden faydalanılarak, gündüzleri güneş ve rüzgardan (var ise) elde edilen yenilenebilir elektrik üretimleri, geceleri de rüzgar (var ise) santrallerinden elde edilen elektrik üretimlerinin, direkt olarak enterkonnekte sisteme aktarılması ve fazla olan elektrik ile yüksek debili amaca uygun pompalarla HES santral havzalarına hidrolik potansiyel yaratılmasıdır. Bu görüşün gerçekleştirilmesi ile çevrimsel su potansiyeli oluşturulması ve hidrolik potansiyel olarak elektrik enerji depolanmasıdır.

Ayrıca; enerji tüketim talepleri çerçevesinde, üretim ve dağıtım dengeleme hesapları yapılarak, gündüz SOLAR enerjiden elektrik üretimi, rüzgarlı havalarda rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ile elde edilen elektrik, direk olarak enterkonnekte sisteme verilebilecektir. Fazla elektrik enerjisi ise, pompalar vasıtasıyla HES santrallerinin üst su havzalarına basılarak, hidrolik potansiyel toplanabilecektir.

Bu fikrin uygulanması ile, RES ve SOLAR enerji santralleri mevcut HES santrallerinin yakınına kurulabilecek, böylece bu yapılanmalar ekonomik ve verimli olacaktır. Rüzgar ve güneş güçlerinin HES santral bölgelerinde veya yakınında olmaması halinde ise, güneş ve rüzgar haritalarına göre amaca uygun yerler belirlenip, suni ve düşük rezervli su havzaları yapılarak hidrolik potansiyeli yaratılabilir. Bu hidrolik potansiyeller de, HES santralleri gibi elektrik üretebilirler. Böylece; suni HES santralleri vasıtasıyla HES- RES- SOLAR elektrik üretim kardeşliği sağlanabilecektir.

Dünyada, yüksek güçlerde güneş ve rüzgar enerji santralleri kurulduğu bilinmektedir. Türkiye'nin toplam rüzgar gücü, teorik 40.000 Mw'dır. Bu toplam gücün kazanılabilir kısmının ise 20.000 Mw olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de RES santralleri için, çok ciddi büyük kapasiteli yatırım lisansları talep edilmektedir (3000 Mw gibi). Yüksek kapasitelerdeki rüzgar santralleri için lisans başvuruları bu düşüncemin gerçekleşmesini güçlendirmektedir. Aynı şekilde, SOLAR enerji yatırımları için büyük kapasiteli santraller kurulabilir. Örneğin; ABD'de 15.000 Mw gibi yüksek güçte rüzgar santrali (bir bölge için) var olduğu bilinmektedir. Bu büyük kapasiteli elektrik üretim güçleri, elektrik depolamak için ciddi potansiyel olmaktadır.

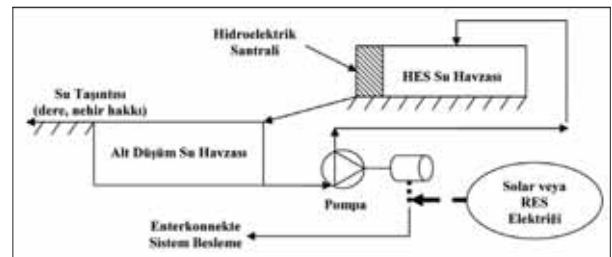
Bu tür yatırımlar, hem ulusal çıkarılara, hem de dünyanın iklim ve doğa denge çıkarlarına uyum göstermektedir. Bu sebepten dolayı da bu tür yatırımlara bilinçli ve sağduyu ile yaklaşılması doğa ve iklim dengesi için faydalı olacaktır.

Mevcut alt yapılardan faydalanılmadığı takdirde, RES ve SOLAR küçük kapasiteli elektrik enerji santrallerinin tesis edilme zorlukları yanında ekonomik kayıpları olabilecektir. Ayrıca, lokal ve dağıtık

bölgelerde yapılanmış yenilenebilir enerji santrallerinde üretilen elektriğin gereken nakil şartlarına getirilmesi, nakledilmesi (iletim, dağıtım) dağıtık yatırımlara ve kirliliklere sebep olacaktır.

Özetle, yazının ana fikrindeki yapılanmalar gerçekleştirildiğinde aşağıdaki olumlu sonuçlar alınabilecektir:

- Mevcut ve planlanan RES'lerin ve SOLAR enerji üretim santrallerinin lokal ve küçük birimler halinde yapılmalarının ve işletmelerinin getirdiği zorluklar ortadan kalkacaktır. Mevcut HES santralleri veya yapılacak suni HES santralleri ile, mevcut dağıtım merkezlerinden direkt olarak Türkiye'nin her yerine enterkonnekte sistemle elektrik nakil olabilecektir. Bu tür projelerin hayata geçirilmesi, devlet ve özel yapılanmalar ile dengelenebilecektir.
- Elektrik arzı için depolanamayan elektrik gücü, SOLAR veya RES'lerden elde edilen elektrik enerjileri ile hidrolik potansiyel olarak depolanabilecektir.
- Önerideki yatırımların, makro ve maliyetli olarak görünmesine rağmen, dağıtık elektrik elde edilen sistemlerden çok daha fazla verimli ve daha az maliyetli olarak elektrik üretimini sağlayacağı tahmin edilmektedir.
- Düşük güçlerde tesis edilmiş SOLAR ve RES santrallerinin elektrik nakil direkleri ve tel kirlilikleri enterkonnekte sistemde problemlere sebep olabilecektir. Ancak; bu önerinin uygulanması ile iletim hatları ve transformasyon merkezlerine gerek kalmayacak, böylece çevresel kirlilikler azaltılacaktır.
- Öneriye göre; enterkonnekte sistemde esneklik sağlanabilecek, yenilenebilir enerjilerin kombinasyonları yapılabilecek, yüksek elektrik güçlerini akülerde depolama düşünce yanlışlığı ise ortadan kalkabilecektir. Öneri uygulandığında, istenen elektrik üretim gücü, hidrolik potansiyel olarak depolanabilecektir.
- Doğa dengesi her yıl değişkenlik gösterdiğinden, yağışlar azalabilmektedir. Bu olumsuzluk ise, HES santrallerinde üretilen elektrik gücüne ve planlamalara olumsuz etki etmektedir. Bu öneri ve görüşlerde ifade edilenlerin gerçekleşmesi ile HES santrallerinin su rezerv sıkıntısında olumlu gelişme yakalanabilecektir. Öneride ifade edildiği gibi; suni HES santrallerinde kayıpsız kabul edilebilir su çevrimi sağlanabilecektir. Mevcut HES santrallerinin büyük su rezervleri ile ortaya çıkan ve olumsuzluk olarak kabul edilen eko sistem değişiminin ve tarımsal ve tarihi toprakların kaybının önüne geçilebilecektir.
- Bu öneri ve görüşler ışığında, suni HES santralleri yapılması ile, toprak erozyonuna maruz kalmamış alüvyonsuz kaliteli su çevrimi sağlanacaktır. Önerinin amacı olan sürekli yenilenebilir elektrik üretimi, SOLAR santralleri + RES rüzgar santralleri + HES santralleri kardeşliği ile sağlanmış olabilecektir.



Şema 1: Projenin Şematik Olarak Gösterilişi

Enerji arzında denge sağlayıcı, düşük işletme giderli ve uzun vadeli enerji üretimi olacağı Şema 1'den anlaşılmaktadır.

Yazıda ifade edilen HES – RES – SOLAR enerji çevrimi ve çok yönlü işletme şartlarının zorlukları olarak ortaya çıkabilecek problemler ve yapılanma kararlarına etkili olacak konular ise aşağıdaki maddelerde tahmin edildiği gibidir:

- Mevcut HES santrallerin yakınında SOLAR ve RES potansiyellerinin ve tesis alanlarının bulunması ile HES santralleri entegrasyonunun sağlanabilmesi
- SOLAR ve RES potansiyellerinin yoğun bulunduğu bölgelerde, suni HES santralleri için, aranan yükseklikteki su düşüşüne uygun doğa yapısının bulunabilmesi
- Su tutacak yerel topografik yapı bulunabilmesi
- Üretilen elektrik gücü için, ekonomik hesaplamalara uygun suni HES yatırım fizibilitesinin, yatırım geri dönüş dengesini sağlamış olabilmesi

Bu gibi görüşler projelerin gerçekleşmesi için gerekenler olarak sıralanabilir.

Summary

The most important topic indicated in the context is the endangered global life because of the spoiled climate balance. First of the main reasons of this unfortunate condition is the increase in human population, the second one is the humankind being more dependent on energy consuming technological structures and the increase in the production volumes of energy consuming devices. Unfortunately all these negative effects will develop and increase. The third negative condition is the extinction of the fossil fuels that meets the 80% of the world's energy production and yet, renewable energy resource capacities are not enough being constituted that would replace the energy sources that ruin the natural balance.

The most difficult one to be stopped from these negative conditions is the prevention of human population increase. Since it is not a technical topic will not be included in our context.

The second condition; the need for energy consuming technological structures and the increase in the needs and desires of the mankind and the demand to develop, are known to be almost impossible to be reduced. Within the natural and unpreventable 'life' expectancy and circle, to stop the demands for energy consumption is impossible and instead will increase and vary, in parallel to human evolution. The most effective solution is to develop the technologies where energy is being used efficiently, at the production, conduction and consumption stages. In order to use the energy in a productive and economical way, especially social awareness and knowledge of society are the most important aspects. As known the countries that considered the energy productivity, have gained energy resources. With the gain from the resources due to productivity studies in energy consumption, economical gains have been achieved in the production, consumption and conduction. Today the situation in the variety of energy sources

is that, there is still some time needed, in order to use the renewable energy sources in daily life. This time that is needed will be gained with the non-consumed resources with productivity studies in energy consumption. Thus, the need for possible new energy production structures might be reduced and investments might be prevented. In the energy production, conduction and consumption stages and in the industry and transportation sectors, 30 to 50% high potential gain is possible with productivity projects. Turkey, which is polluting the atmosphere less, compared to the World's total production, 80% of the energy resources are fossil fuels. 88% of this value is being imported. Strong political will and planning, and with serious projects targeting 10 to 25% energy productivity and saving, would decrease the import of fossil fuels, moreover would maintain a gain reaching 5.000 to 10.000MW established power. In this way, the damage given to nature from fossil fuel resources might be reduced. When we extrapolate this approach to the whole world, energy issue and negative climate effects will decrease and time needed for the construction of renewable energy production structures will be gained.

In the text, 'storing the electricity' approach is suggested. Renewable energy sources have been adapted to the structures that are known. With the electricity gained after transforming the renewable potential energy resources of wind and solar, hydro potential will be gained. Therefore, the excess electricity produced in the HPP (Hydroelectric Power Plant) will be stored with electricity gained from wind and solar. High capacities of hydro potential will be created in cycles, which might be used to produce electricity whenever needed.

For the suggestion the premise is the collaboration of HPP – WPP (Wind Power Plant) – SOLAR. There is a storage and transportation problem as electricity, in every renewable energy sources. To prevent these problems, the idea of storage as hydro potential is considerable.

As already known, in the last years the energy recycling logic in HPP's is carried with HPP pumps. In order to maintain the supply and demand balance out of prime times, electricity production should be flexible and has to be reduced. The idea is that, at the times when there is excess electricity production, the water that has fallen down will be transferred upwards and gained hydro potential with the pumps constructed near the HPP. In this approach even though there is a loss compared to the first electricity produced in the HPP, unused electricity will still be recovered and saved as hydro potential energy.

High capacities of solar energy collector structures have to be constructed near present HPP production areas. Moreover artificial HPPs should be constructed together with solar energy power plants. Artificial HPP's will not need high capacity water reservoir since water will be cycled continuously. One additional advantage of the idea is that, like the way storing hydro potential in HPP's, excess electricity from renewable energy sources will also be stored with pumping the waters to the upper reservoir and will be used to produce electricity whenever needed.

This is the idea of electricity produced from the collaboration of HPP – SOLAR – WPP potentials, which will be stored as hydro potential. Since structures in this suggestion have macro dimensions, there is a need for basic data and more than that financial support and co-operations. As my private point of view, this suggestion has been presented to you kindly as a probable solution to world's energy production problem.

Kaynaklar

- [1] Schreyer Dr. M., and Mez PD Dr. L., "ERENE European Community for Renewable Energy", Avrupa Serisi Cilt 3, Heinrich-Böll-Stiftung, 2008

RUTHENIUM(II) POLYPYRIDYL COMPLEXES AS SENSITIZERS IN DYE SENSITIZED SOLAR CELLS

Solen KINAYIĞİT

TUBITAK Marmara Research Center
Energy Institute

Vast consumption of fossil fuels, parallel to the increase in population and technological demand, contributes to the climate change and pollution. Knowing that fossil fuel resources will not last forever, the use of more renewable energy sources like solar energy is needed to take the burden off the current dependency on fossil fuels. Dye-sensitized solar cells, with their low cost, easy manufacture, and mechanical robustness, may compete in the future with conventional silicon based photovoltaic. But further improvement is necessary to increase the overall efficiency. This work summarizes current developments and investigates necessary improvements in photosensitizers based on Ru(II) polypyridyl complexes for solar cell technologies.

Introduction

In a depleting world of fossil fuel resources, renewables are the perspective for the future energy demand. Solar cells that directly convert sunlight to electrical energy are promising devices to obtain clean energy from the outmost renewable and abundant energy source, the sun. Utilization of large-bandgap oxide semiconductors such as TiO_2 for the absorption of solar light is an attractive and economic way to convert solar light into electrical energy. Dye sensitization of semiconductors has been a subject of research for many years [1]. After Grätzel and his co-workers reported the use of a Ru(II) metal complex-based dye as a sensitizer to achieve higher efficiency in a cell made of TiO_2 nanoparticles, research on dye sensitized solar cells (DSSCs) gained much more interest [2]. In this thin film dye sensitized solar cell, a monolayer of a cyano-bridged trinuclear ruthenium complex, $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{CN})_2]\text{Ru}(\text{bpy})(\text{COO})_2$ synthesized by Amarelli et al. was attached to the surface of nanocrystalline TiO_2 film successfully [3,4].

In a DSSC, nanocrystalline TiO_2 is coated with a dye that is capable of both absorbing the sunlight and sensitizing the semiconductor. When the dye absorbs photons in the visible (VIS) region, electrons are promoted to the excited state. The electrons are injected to the conduction band of TiO_2 that is lower in energy relative to the excited state of the sensitizer. They complete the circuit by passing to the back electrode while the oxidized dye is reduced to its original state at the counter electrode by the ion pair in the electrolyte solution (Figure 1).

Dye sensitization has many advantages over the direct band-to-band excitation in conventional p-n junction photovoltaic cells, made from silicon etc. In conventional solar cells, the semiconductor has two simultaneous functions; harvesting the incident sunlight and

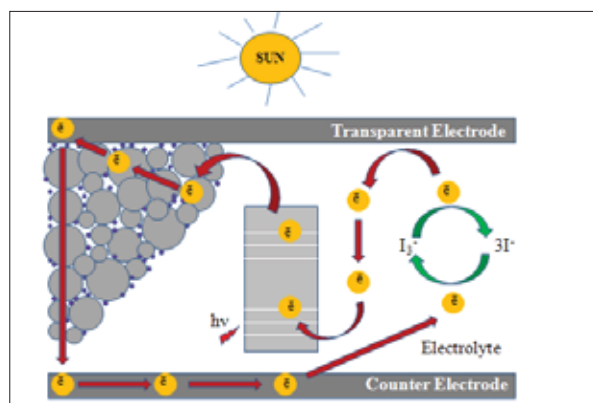


Figure 1. Scheme of a dye-sensitized solar cell (DSSC).

conducting the charge carriers upon excitation. On the other hand, in DSSCs, attached dyes on the surface are the absorbing species rather than the semiconductor itself and the semiconductor/sensitizer interface separates the light absorption and the charge separation processes, preventing the electron-hole recombination [5-8]. In addition, the use of dyes as photosensitizers renders the use of expensive solid state components in the system. Grätzel mentioned in his 2001 Nature article the advantages of nanostructured DSSCs compared to other photovoltaic and photoelectrochemical cells (Table 1) [2]. One drawback of DSSCs

Table 1. Performance of photovoltaic and photoelectrochemical solar cells [2].

Type of Cell	Efficiency (%) [*]		Research and Technology Needs
	Cell	Module	
Crystalline Silicon	24	10-15	Higher production yields, lowering of cost and energy content
Multicrystalline silicon	18	9-12	Lower manufacturing cost and complexity
Amorphous silicon	13	7	Lower production costs, increase production volume and stability
CuInSe ₂	19	12	Replace indium (too expensive and limited supply), replace CdS window layer, scale up production
Dye-sensitized nanostructured materials	10-11	7	Improve efficiency and high-temperature stability, scale-up production
Bipolar AlGaAs/Si photoelectrochemical cells	19-20	-	Reduce material cost, scale up
Organic Solar Cells	2-3	-	Improve stability and efficiency

^{*} Efficiency is defined as conversion efficiency from solar to electrochemical power

is that their performance could not exceed above 11.1% in efficiency compared to conventional solar cells. Therefore, development of dye-sensitized solar cells that have efficient sunlight to electricity conversions comparable to first and second generation photovoltaic devices remains to be a challenge.

To be an efficient photosensitizer, a selected dye needs to display strong absorption in the VIS region, high molar extinction coefficient, stability in the ground and excited states, strong adsorption onto the semiconductor surface and efficient electron injection into the conduction band of the semiconductor. In an ideal case, the sensitizer should absorb all the light below a wavelength of about 920 nm in a solar cell converting AM 1.5 standard sunlight to electricity. Increase of optical extinction coefficient of sensitizers is desired not only for strong absorption of light but also to reduce the transport losses in the nanoporous environment in the cell. In addition, the sensitizer, once oxidized, needs to be regenerated through a redox mediator couple to achieve the redox cycle and avoid the electron recombination. Preventing the losses and using more effective dyes as photosensitizers with the features mentioned above allow the construction of thinner and more efficient DSSCs in return [9].

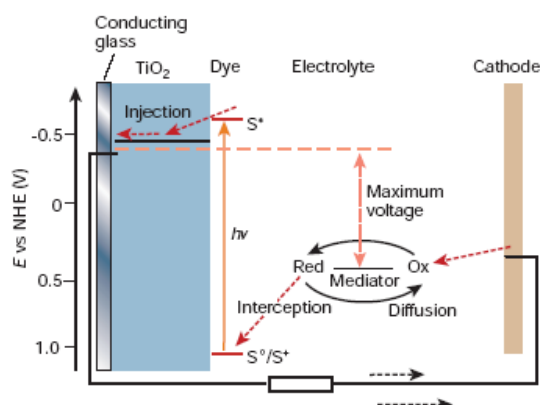


Figure 2. A detailed photo-initiated electron transfer cycle in the cell [2].

Transition metal complexes, in particular Ru(II) polypyridyl complexes with high light-to-electricity conversion efficiencies, are promising compared to a variety of organic compounds investigated as sensitizers [10-15]. Ru(II) polypyridyl complexes show intense metal to ligand charge transfer (MLCT) bands in the visible (VIS) region that enable the promotion of charge injection to the conduction band of wide band gap semiconductors such as TiO_2 . These complexes have intense emission with relatively long lifetime and high quantum yield, and a redox reactivity that can be tuned easily [16,17]. While tuning the properties, it is also important to maintain the lowest unoccupied molecular orbitals (LUMO) and the highest occupied molecular orbitals (HOMO) at energy levels where photo-induced electron transfer into the conduction band of the wide band gap semiconductors, such as TiO_2 , SnO_2 and ZnO , and the regeneration of the dye by the mediator that usually contains I_3^-/I^- couple take place effectively. Transition metal complexes used as sensitizers have anchoring and ancillary ligands. Anchoring ligands are chromophores that enable the

adsorption of the complex to the semiconductor surface. In order to be fully adsorbed to the oxide surface of the semiconductor, the anchoring ligands should bear attachment groups such as a carboxylate or a phosphonate. Modification of both anchoring and the ancillary ligands helps tuning the energy of MLCT states in these polypyridinyl d^6 metal complexes, which in return enables the preparation of different compounds for solar cell applications.

Modification Of The Ligands On Ruthenium(II) Polypyridine Metal Complexes

Ru(II) is a d^6 system with D_3 octahedral symmetry and the polypyridine ligands possess σ -donor orbitals localized on the nitrogen atoms and π donor and π^* acceptor orbitals mostly delocalized on aromatic rings. In octahedral symmetry, the ground and low lying excited states can be discussed in terms of d-orbitals of the metal ion and the π and π^* orbitals of the ligand. d-orbitals of Ru(II) consist of stabilized t_{2g} and destabilized eg d-orbitals (Figure 3). Ground state is t_{2g}^6 in a strong field configuration. Promotion of an electron (t_{2g} electron) from a π_M metal orbital to the π^*_L ligand orbitals give rise to $d \rightarrow \pi^*$ transitions labeled as MLCT excited states. Such transitions have significant absorptions in the visible region of the spectrum. Promotion of an electron from $\pi_M(t_{2g})$ to σ_M^* (eg) orbitals gives rise to $d \rightarrow d$ transition or metal centered (MC) excited states whereas the promotion of an electron from π_L to π_L^* will give ligand-centered (LC) excited states. For most of the Ru(II) polypyridine complexes, the lowest excited state is a $^3\text{MLCT}$ which undergoes relatively slow radiationless transitions and thus displays intense luminescence emission with a long lifetime [16,17].

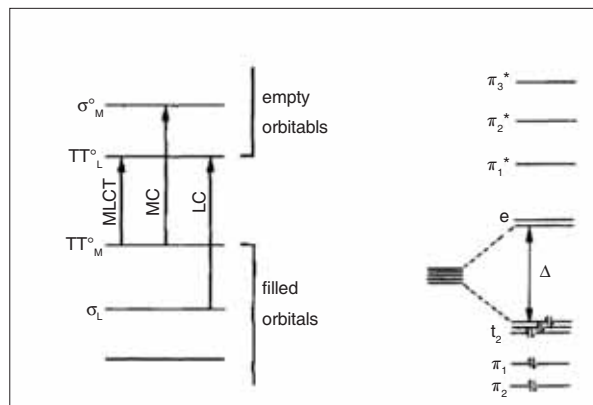


Figure 3. Molecular orbital diagram of Ru(II) polypyridine complexes where polypyridine is a bidentate ligand [16,17].

In an aqueous solution at room temperature, a typical $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ (bpy; 2,2'-bipyridine) has absorption bands at $\lambda = 185 \text{ nm}$, 208 nm and 285 nm that are assigned as ligand centered $\pi \rightarrow \pi^*$ transitions when compared to the free bpy ligand. The absorption peaks at 323 nm and 345 nm are assigned as d-d transitions. The intense absorption band at the visible region (452 nm) is due to the metal-to-ligand charge transfer. The luminescence from $[\text{RuL}_3]^{2+}$ type complexes where $L = \text{bpy}$, phen (phenanthroline) etc. at 77 K is of charge transfer type that is spin-forbidden in character. The emission of $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ is at 600 nm and at 579.9 nm at room temperature (298 K) and 77 K , respectively [17].

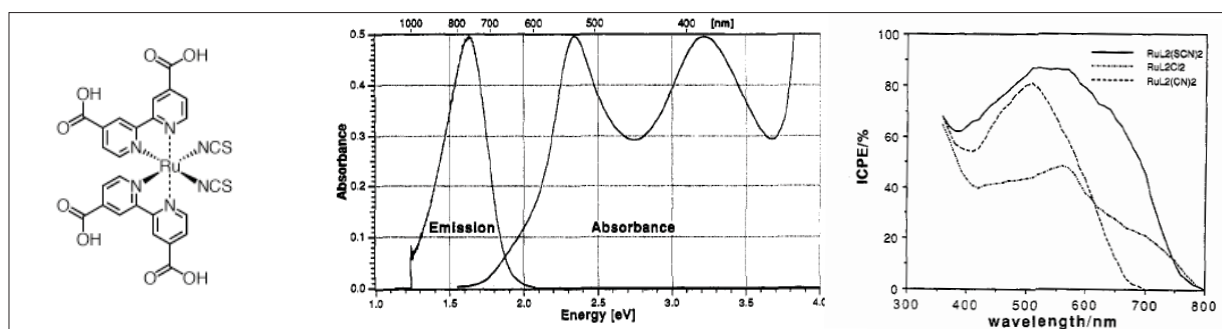
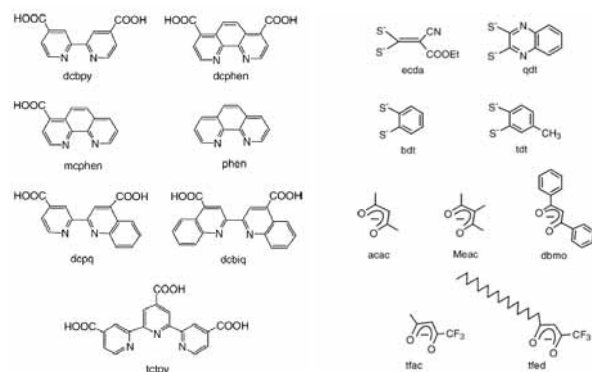


Figure 4 (a). Absorption and emission spectra of N3 dye, (b) IPCE curve of N3 dye [18].

Grätzel and his co-workers reported a very efficient photosensitizer, $\text{cis-[Ru(dcbpy)}_2\text{(NCS)}_2]$ (dcbpy; bis(4,4'-dicarboxylic acid-2,2'-bipyridine) that is more popularly known as N3 dye in 1993 (Figure 4). Incident photon to current efficiency (IPCE) was about 80% and it was the best photosensitizing dye ever synthesized [18]. Although it was an efficient dye, modifications were still needed as it lacked absorption in the red region of the visible spectrum and had a relatively low molar extinction coefficient. Since then, efforts have been made to improve the properties of the N3 dye by substituting different ancillary ligands.

Nazeeruddin and Rochy achieved a solar to power conversion efficiency of 10.4% with their compound of $\text{tri(cyanato)-2,2',2''-terpyridyl-4,4',4''-tricarboxylateRu(II)}$, also called black dye, in 2001 [19]. The improvement made to the dye compared to N3 dye was the extension of the absorption beyond 700 nm and high IPCE achieved at lower energies. By introducing strong field ligands such as terpyridines with cyano groups, the absorption spectra of such complexes shifted red to lower energies (Table 2).



Scheme 1. (a) Structures of polypyridine ligands and (b) nonchromophoric chelating ligands used in solar cell studies (dcbpy: 4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine; dcpq: 2-(2-(4-carboxypyridyl))-4-carboxyquinoline; dcbiq: 4,4'-dicarboxy-2,2'-biquinoline; qdt: quinoxaline-2,3-dithiolate; ecda: ethyl-2-cyano-3,3-dimercaptoacrylate; bdt: 1,2-benzenedithiolate; tdt: 3,4-toluenedithiolate; phen: 1,10-phenanthroline; dphen: 4,7-dicarboxy-1,10-phenanthroline; mcphen: 4-monocarboxy-1,10-phenanthroline; acac: acetylacetonate; Meac: 3-methyl-2,4-pentadionate; dbmo: 1,3-diphenyl-1,3-propanedionate; tctpy: 4,4',4''-tricarboxy-2,2':6',2''-terpyridine; tcfac: 1,1,1-trifluoropentane-2,4-dionato; tfed: 1,1,1-trifluoroicosane-2,4-dionato) [20].

Absorption properties of Ru(II) polypyridine complexes can be tuned to lower energy region by introducing ligands with low-lying π^* molecular orbitals. Destabilization of the t_{2g} orbital of the ruthenium metal center by a strong donor ligand will also raise the highest occupied molecular orbital (HOMO) energy levels and thus will tune the spectral response of the metal complex to more near-infrared (NIR) region. Such electron donating ligands are presented in Scheme 1. Cyclometallating ligands and sulfur-donor bidentate ligands have strong electron donating abilities but their Ru(II) metal complexes do not exceed above 800 nm. In Table 3, $\text{Ru(dcbpy)}_2\text{LL}$ compounds where LL are dithiolates point out that although these photosensitizers provide a wider coverage of the solar spectrum, they are yet not efficient in terms of overall efficiency nor IPCE. Changing the anchoring ligands from dcbpy to another carboxylated diimine and distinct positioning of the carboxylic group will also change the spectroscopic properties of the sensitizer. Ru(II) terpyridyl complexes with strong donor ligands usually present themselves as strong light harvesting compounds in near-IR region compared to Ru(II) bipyridyl complexes. However, there

Table 2. Absorption, emission, and electrochemical properties of Ru(II) terpyridyl complexes [19].

Ru(II) Complex ^a	Absorption λ_{max} (nm), MLCT _a	Absorption λ_{max} (nm), $\pi-\pi^*$ ^a	Emission λ_{max} (nm) at 298 K ^b	Emission Lifetime, τ (ns) at 298K	$E(\text{Ru}^{3+/2+})$ vs SCE _c	$E(\text{L/L}^-)$ vs SCE _{c,d}
$[\text{Ru}(\text{H}_3\text{tctpy})(\text{NCS})_3]$	625,556 _{sh} ,429	344 _{sh} ,330	950	18	+ 0.72 V	-1.10 V
$[\text{Ru}(\text{H}_2\text{tctpy})(\text{NCS})_3]$	620,542 _{sh} ,413	342,329	900	18	+ 0.71 V	-1.40 V
$[\text{Ru}(\text{Htctpy})(\text{NCS})_3]$	610,536 _{sh} ,411	339,328	854	30	+ 0.66 V	-1.60 V
$[\text{Ru}(\text{tctpy})(\text{NCS})_3]$	590,528 _{sh} ,400	338,326	820	38	+ 0.50 V	-1.65 V
$[\text{Ru}(\text{tpy})(\text{NCS})_3]$	570,532,386	318,280	812	45	+ 0.61 V	-1.50 V

^aMeasured in ethanol; sh=shoulder. ^bSpectra obtained by exciting into the lowest MLCT band at 298 K. ^cV vs Ag/AgCl. ^dL=ligand. ^etctpy=4,42,4''-tricarboxy-2,2':6',2''-terpyridine; tpy=2,2':6',2''-terpyridine.

is still room for improvement of Ru(II) terpyridyl compounds as it has relatively lower IPCE at shorter wavelengths due to their lower molecular extinction coefficients and sometimes faces insufficient free energies for electron injection from the excited-state of the sensitizer to the conduction band of TiO_2 . **Table 3** summarizes some of the development in the design of Ru(II) polypyridine complexes as dye sensitizers in DSSCs.

Microwave Synthesis Of Ruthenium(II) Polypyridyl Metal Complexes

Since the first report of microwave-assisted synthesis of $[\text{RuL}_3]^{2+}$ compounds where L was 2,2'-bipyridine, terpyridine, phenanthroline and 4,4'-di-*t*-butyl-2,2'-bipyridine ligands, synthesis of Ru(II) polypyridyl complexes in microwave reactors has proven to be very quick and effective [27]. The application of microwave-

assisted synthesis brings advantages compared to classical synthetic methods. Superheating of solvents in pressurized closed vessel reactions, maintaining the reaction temperature by varying microwave power, rapid temperature quenching of the reaction mixture through compressed air streams and last but not least the existence of the hot-spots in the mixture are some of these advantages. These features of microwave synthesis greatly lowers the reaction times to minutes, even seconds, as opposed to hours or days, increases the product yield with low or no side products at all and eliminates many reaction steps [28].

Since microwave radiations in pressurized closed vessels may destroy the carboxylic acid functionality, care must be taken during the synthesis of the metal complexes with such anchoring ligands. It is found out that ester moiety is not tolerant to microwave synthesis

Table 3. Absorption, luminescence and electrochemical properties of designed Ru(II) polypyridyl complexes.

Ru(II) Complex*	Absorption λ_{max} (nm) (E/104 M ⁻¹ cm ⁻¹)	Emission λ_{max} (nm) at 298 K	Emission Lifetime τ (ns) at 298	Quantum Yield, Φ at 125 K (%)	E(Ru3+/2+) vs SCE	E*(Ru3+/2+) vs SCE	ICPE (%)	Ref.
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{NCS})_2$	534(1.42), ^a 396(1.40), 313(3.12) 532c	755 ^a 718 ^c	50 ^b	0.40				[18]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{CN})_2$	493 (1.45), ^a 365 (1.20), 310 (3.90)	702	166 ^b	1.5				[18]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2\text{Cl}_2$	534 (0.96), ^a 385 (1.01), 309 (4.13)	800d		0.074				[18]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2\text{Br}_2$	530 (0.84), ^a 382 (0.80), 309 (2.30)	800 ^d		0.26				[18]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2\text{I}_2$	536 (0.68), ^a 384 (0.66), 310 (2.50)	800 ^d		0.15				[18]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{OH})_2$	500 (1.19), ^a 365 (1.09), 306 (4.90)	800 ^d		0.30				[18]
$\text{Ru}(\text{dcpq})_2(\text{NCS})_2$	586 ^b	780 ^b			+0.86	-0.9	55	[21]
$\text{Ru}(\text{dcbiq})_2(\text{NCS})_2$	627 ^b	873 ^b			+0.92	-0.6	5	[22]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{qdt})$	517 ^b	735			+0.84	-0.9	45	[23]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{ecda})$	582 ^b	770 ^b			+0.46	-1.14	30	[23]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{bdt})$	662 ^b				+0.30	-1.16	7	[23]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{tdt})$	670 ^b				+0.28	-1.18		[23]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{acac})$	525 ^b	733 ^b			+0.65	-1.12	52	[24]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{Meac})$	532	757 ^b			+0.63	-1.14		[24]
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{dbmo})$	517 ^b	722			+0.74	-1.03		[24]
$\text{Ru}(\text{dcphen})_2(\text{NCS})_2$	522 ^b	800 ^b			+0.84	-1.0	75	[25]
$\text{Ru}(\text{dcphen})(\text{phen})(\text{NCS})_2$	485 ^b	750 ^b			+0.89	-1.1	30	[25]
$\text{Ru}(\text{mcphen})_2(\text{NCS})_2$	500 ^b	770 ^b			+0.76	-1.2	42	[25]
$\text{Ru}(\text{mcphen})(\text{phen})(\text{NCS})_2$	493 ^b	770 ^b			+0.70	-1.3	7	[25]
$\text{Ru}(\text{tctpy})(\text{NCS})_3$	610 ^b	950 ^b			+0.66	-0.95	75	[26]
$\text{Ru}(\text{tctpy})(\text{tfac})(\text{NCS})$	606	940			+0.70	-0.95	70	[20]
$\text{Ru}(\text{tctpy})(\text{tfed})(\text{NCS})$	610	950			+0.70	-0.95		[20]

^aMeasured in $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. ^bMeasured in EtOH:MeOH (9:1 v/v) ^c in EtOH:MeOH (4:1) ^dVery weak and broad emission. ^eCalculated from $E^*(\text{Ru}^{3+/2+}) = E(\text{Ru}^{3+/2+}) - E^{0/0}$; $E^{0/0}$ values were calculated from the crossing point of the emission and the absorption spectra. ^f Measured in CH_3CN . ^gMeasured in H_2O at pH=4.8. ^hFor structures, see Scheme 1.

Table 4. Comparison of open vessel microwave methods with the conventional heating methods [31].

Complex	μ -wave synthesis	Yield (%)	Conventional synthesis	Yield (%)
$\text{Ru}(\text{DMSO})_4\text{Cl}_2$	180°C, 3 min	69	DMSO reflux, 5 min	72
$[\text{Ru}(\text{p-cymene})\text{Cl}_2]_2$	90°C, 15 min	65	EtOH reflux, 4 h	65
$\text{cis-Ru}(\text{bpy})_2\text{Cl}_2$	110°C, 5 min	72	Aqueous reflux, 30 min	61
$\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{dcbpy})\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	90°C, 30 min	93	AcOH/H ₂ O reflux, 5h	94
$\text{Ru}(\text{dcbpy})_2(\text{NCS})_2$	105°C and 115°C, 32 min total, one-pot reaction	69	DF reflux, ~2 days, two-step reaction	74
$\text{Na}_4[\text{Ru}(\text{dcbpy})_3]6\text{H}_2\text{O}$	110°C, 60 min	60	Aqueous reflux, 4 h	50
$[\text{Ru}(\text{deeb})_3](\text{PF}_6)_2$	110°C, 15 min + 60 min	18	EtOH reflux, 1 week	15

conditions, typically in the presence of RuCl_3 and ethylene glycol at a reaction temperature of 225 °C [29]. Solvent with a lower boiling point as well as milder reaction conditions should eliminate this problem. In open vessel microwave synthesis at atmospheric pressure, refluxing the mixture in methanol/water is proven to preserve the methyl ester moieties in a series of heteroleptic Ru(II) complexes bearing the 4,4'-dimethylester-2,2'-bipyridine ligand [30]. **Table 4** presents some of the microwave synthesis of dyes and their precursors and their yields relative to the conventional methods in literature.

Conclusion

Dye-sensitized solar cell presents itself as an emerging technology for this new century. Since the first report of solar cell based on a chemisorbed dye on nanoporous TiO_2 photoelectrode by O'Regan and Grätzel, the overall efficiency of DSSCs increased from the initial 7.1% to over 10%. In addition, new synthetic techniques like microwave synthesis emerged in the search of novel photosensitizers with enhanced spectroscopic properties. Microwave assisted chemistry is now a valuable tool and can likely be applied in the combinatorial synthesis of Ru(II) polypyridyl complexes as well as other new organometallic dyes bearing sensitive functionalities. With the improvement of stability and overall efficiencies as well as the manufacturing techniques of these third generation solar cells, commercial production by companies seeking clean energy business will be soon available.

REFERENCES

- [1] Meier, H., "Sensitization of Electrical Effects in Solids", J. Phys. Chem, Vol.69, pp.719-729, 1965.
- [2] Grätzel, M., "Photoelectrochemical Cells", Nature, Vol.44, pp.338-344, 2001.
- [3] Amadelli, R., Argazzi, R., Bignozzi, C. A., Scandola, F., "Design of Antenna-Sensitizer Polynuclear Complexes. Sensitization of Titanium Dioxide with $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{CN})_2]_2\text{Ru}(\text{bpy}(\text{COO})_2)_2^{2+}$ ", J. Am. Chem. Soc., Vol.112, pp.7099-7103, 1990.
- [4] O'Regan, B., Grätzel, M., "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films", Nature, Vol.353, pp.737-740, 1991.
- [5] Grätzel, M., "The Artificial Leaf, Molecular Photovoltaics Achieve Efficient Generation of Electricity from Sunlight", Coord. Chem. Rev., Vol.111, pp.167-174, 1991.
- [6] Moser, J. E., Bonnôte, P., Grätzel, M., "Molecular Photovoltaics", Coord. Chem. Rev., Vol.171, pp.245-250, 1998.
- [7] Garcia, C. G., de Lima, J. F., Murakami Iha, N. Y., "Energy Conversion: from the ligand field photochemistry to solar cells", Coord. Chem. Rev., Vol.196, pp.219- 247, 2000.
- [8] Bignozzi, C. A., Argazzi, R., Kleverlaan, C. J., "Molecular and supramolecular sensitization of nanocrystalline wide band-gap semiconductors with mononuclear and polynuclear metal complexes", Chem. Soc. Rev., Vol.29, pp.87-96, 2000.
- [9] Klein, C., Nazeeruddin, Md. K., Liska, P., Di Censo, D., Hirata, N., Palomares, E., Durrant, J. R., Grätzel, M., "Engineering of a Novel Ruthenium Sensitizer and Its Application in Dye-Sensitized Solar Cells for Conversion of Sunlight into Electricity", Inorg. Chem., Vol.44, pp.178-180, 2005.
- [10] Kamat, P. V., Ford, W. E., "Photochemistry on Surfaces: Triplet-Triplet Energy Transfer on Colloidal TiO_2 Particles", Chem. Phys. Lett., Vol.135, pp.421-426, 1987.
- [11] Kamat, P. V., "Photoelectrochemistry in Particulate Systems. 9. Photosensitized Reduction in a Colloidal TiO_2 System Using Anthracene-9-carboxylic Acid as the Sensitized", J. Phys. Chem., Vol.93, pp.859-864, 1989.
- [12] Kalyanasundaram, K., Vlachopoulos, N., Krishnan, V., Monnier, A., Grätzel, M., "Sensitization of TiO_2 in the Visible Region Using Zinc Porphyrins", J. Phys. Chem., Vol.91, pp.2342-2347, 1987.
- [13] Giraudeau, A., Fan, F-R. F., Bard, A. J., "Semiconductor Electrodes. 30. Spectral Sensitization of the Semiconductors n- TiO_2 and n- WO_3 with Metal Phthalocyanines", J. Am. Chem. Soc., Vol.102, 5137-5142, 1980.
- [14] Nazeeruddin, M. K., Humphry-Baker, R., Gratzel, M., Murrer, B. A., "Efficient near IR sensitization of nanocrystalline TiO_2 films by ruthenium phthalocyanines", Chem. Commun., p.719, 1998.
- [15] Rehm, J. M., McLendon, G. L., Nagasawa, Y., Yoshihara, K., Moser, J., Grätzel, M., "Femtosecond Electron-Transfer Dynamics at a Sensitizing Dye-Semiconductor (TiO_2) Interface", J. Phys. Chem., Vol.100, pp.9577-9578, 1996.
- [16] Juris, A., Balzani, V., Barigelletti, F., Campagna, S., Belser, P., van Zelewsky, A., "Ru(II) Polypyridine Complexes: Photophysics, Photochemistry, Electrochemistry, and Chemiluminescence", Coord. Chem. Rev., Vol.84, pp.85-277, 1988.
- [17] Kalyanasundaram, K., "Photophysics, Photochemistry and Solar Energy Conversion with Tris(bipyridyl)ruthenium(II) and Its Analogues", Coord. Chem. Rev., Vol.46, pp.159-244, 1982.
- [18] Nazeeruddin, M. K., Kay, A., Rodicio, I., Humphry-Baker, R., Müller, E., Liska, P., Vlachopoulos, N., Gratzel, M., "Conversion of Light to Electricity by cis- $\text{X}_2\text{Bis}(2,2'$ -bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II) Charge-Transfer Sensitizers ($\text{X} = \text{Cl}^-$, Br^- , I^- , CN^- , and SCN^-) on Nanocrystalline TiO_2

- Electrodes", J. Am. Chem. Soc., Vol.115, pp.6382-6390, 1993.
- [19] Nazeeruddin, M. K., Péchy, P., Renouard, T., Zakeeruddin, S. M., Humphry-Baker, R., Comte, P., Liska, P., Cevey, L., Costa, E., Shklover, V., Spiccia, L., Deacon, G. B., Bignozzi, C. A., Grätzel, M., "Engineering of Efficient Panchromatic Sensitizers for Nanocrystalline TiO₂-Based Solar Cells", J. Am. Chem. Soc., Vol.123, pp.1613-1624, 2001.
- [20] Islam, A., Sugihara, H., Arakawa, H., "Molecular design of ruthenium(II) polypyridyl photosensitizers for efficient nanocrystalline TiO₂ solar cells", J. Photochem. Photobiol. A: Chem., Vol.158, pp.131-138, 2003.
- [21] Yanagida, M., Islam, A., Tachibana, Y., Fujihashi, G., Katoh, H., Sugihara, H., Arakawa, H., "Efficient panchromatic sensitization of nanocrystalline TiO₂ films by beta-diketonato ruthenium polypyridyl complexes", New J. Chem., Vol.26, pp.966-968, 2002.
- [22] Islam, A., Sugihara, H., Singh, L. P., Hara, K., Katoh, R., Nagawa, Y., Yanagida, M., Takahashi, Y., Murata, S., Arakawa, H., "Synthesis and photophysical properties of ruthenium(II) charge transfer sensitizers containing 4,4'-dicarboxy-2,2'-biquinoline and 5,8-dicarboxy-6,7-dihydro-dibenzo[1,10]-phenanthroline", Inorg. Chim. Acta, Vol.322, pp.7-16, 2001.
- [23] Islam, A., Sugihara, H., Hara, K., Singh, L. P., Katoh, R., Yanagida, M., Takahashi, Y., Murata, S., Arakawa, H., "Sensitization of nanocrystalline TiO₂ film by ruthenium(II) diimine dithiolate complexes", J. Photochem. Photobiol. A, Vol.145, pp.135-141, 2001.
- [24] Takahashi, Y., Arakawa, H., Sugihara, H., Hara, K., Islam, A., Katoh, R., Tachibana, Y., Yanagida, M., Inorg. Chim. Acta, "Highly efficient polypyridyl-ruthenium(II) photosensitizers with chelating oxygen donor ligands: beta-diketonato-bis(dicarboxybipyridine)ruthenium", Vol.310, pp.169-174, 2000.
- [25] Hara, K., Sugihara, H., Tachibana, Y., Islam, A., Yanagida, M., Sayama, K., Arakawa, H., "Dye-sensitized nanocrystalline TiO₂ solar cells based on ruthenium(II) phenanthroline complex photosensitizers", Langmuir, Vol.17, pp.5992-5999, 2001.
- [26] Nazeeruddin, M. K., Péchy, P., Renouard, T., Zakeeruddin, S. M., Humphry-Baker, R., Comte, P., Liska, P., Cevey, L., Costa, E., Shklover, V., Spiccia, L., Deacon, G. B., Bignozzi, C. A., Grätzel, M., "Engineering of Efficient Panchromatic Sensitizers for Nanocrystalline TiO₂-Based Solar Cells", J. Am. Chem. Soc., Vol.123, pp.1613-1624, 2001.
- [27] Greene, D. L., Mingos, D. M. P., Transition Met. Chem., Application of Microwave Dielectric Loss Heating Effects for the Rapid and Convenient Synthesis of Ruthenium(II) Polypyridine Complexes, Vol.16, pp. 71-72, 1991.
- [28] Kingston, H. M., Haswell, S. J. (Eds.), "Microwave-enhanced Chemistry: Fundamentals Sample Preparation and Applications, American Chemical Society, Washington DC, 1997.
- [29] Anderson, T. J., Scott, J. R., Millett, F., Durham, B., Inorg. Chem., "Decarboxylation of 2,2'-Bipyridinyl-4,4'-dicarboxylic Acid Diethyl Ester during Microwave Synthesis of the Corresponding Trichelated Ruthenium Complex", Vol.45, pp.3843-3845, 2006.
- [30] Schwalde, M., Schäfer, B., Görls, H., Rau, S., Tschierlei, S., Schmitt, M., Popp, J., Vaughan, G., Henry, W., Vos, J. G., "Synthesis and characterization of poly(bipyridine) ruthenium complexes as building blocks for heterosupramolecular array", Eur. J. Inorg. Chem., Vol.21, pp.3310-3319, 2008.
- [31] Sun, Y., Machala, M. L., Castellano, F. N., "Controlled microwave synthesis of Ru^{II} synthons and chromophores relevant to solar energy conversion", Inorg. Chim. Acta, Vol.363, pp.283-287, 2010.

Tüm bunların sonucunda TEİAŞ, mesela 2013 yılında devreye girmek üzere 1000 MW güneş kapasitesine teşvik verilebileceğini ve bunun kWh'ine de 10 veya 20 sene için verilecek rakamı belirler ve bu verileri hesaplama yöntemi ile EPDK'ya sunar.

EPDK

EPDK lisans işlemlerinin temel sorumlusu olduğundan tasarımın tam ortasında yer almaktadır. EPDK kapasite ve teşvikleri yayınlar ve bu rakamlar için başvuruları 1 sene sonra açacağını ve başvurma imkânlarının belirli bir süre için (ör. 3 ay veya sene boyunca) açık kalacağını belirterek başvuruları alır. Örneğin:

“2013 yılında devreye girmek üzere kWh'i 26 eurocent'ten 1000 MW'lık güneş enerjisi kapasitesi için Aralık 2010-Kasım 2011 arası başvuruda bulunulması ilan edilir”

şeklinde bir açıklama üzerine teklifler toplanabilir. Tekliflerde ayrıca yatırımcıdan aşağıdaki bilgiler de istenir:

- ▶ 6ay- 1 senelik ölçüm
- ▶ 8-10 yıllık uydu verisi
- ▶ Teknoloji
- ▶ Verimlilik
- ▶ Arazi durumu, koordinatlar

Tüm bu veriler üzerinden bir hesaplama yapılarak, kWh başına ihale yapılmadan bir sıralama yapılır. Çoklu başvurular için ise ihale yönteminin de göz önünde bulundurulabileceği düşünülmektedir. Ama kWh başına katkı paylı bir ihalenin maliyetleri ve belirsizlikleri arttırma ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu politika tasarımında, EPDK lisansın verilmesi noktasına kadar tüm belgelerin tamamlanmasını, lisans verilmesi için son koşul olarak yatırımın finansmanını garanti eden banka kredisinin belgelerini talep eder.

Sonuç

Güneş enerjisi konusundaki tartışmalardaki temel sorunun teşvikten çok mekanizmanın olduğu düşünülmektedir. Önceki sayfada sunulan tasarım ile bu mekanizma konusundaki düşüncüler bir araya getirilmiştir. Sonunda amaçlanan, yatırımcıyı hazırlığına göre değerlendirerek, mağdur etmeyecek ve öngörülebilir bir nakit akışını da garanti etmektir.

Summary

In Turkey, most of the recent debate about solar power is about Feed-in-Tariffs. However, a generous tariff without a clear mechanism may be an inhibitor for investments due to chaotic crowding-in effect. In this article, a proposal for a possible mechanism has been designed with specific goals. The role for the institutions has been discussed. As a result the whole process has been presented.

GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ BELİRLEME ÖLÇÜMLERİ

Taner YILDIRIM

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Şeref Naci ENGİN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Mehmet Ali ÇİMEN

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Mustafa TIRIS

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü

Özet

Güneş enerjisi atmosfer dışında sabit olmasına karşın yeryüzüne gelen miktar birçok farklı parametreye bağlıdır. Güneşten gelen enerji miktarı, saat, gün, ay, yıl, on yıl ve asır mertebesinde zamana bağlı değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun yanında bulutluluk, çevre kirliliği ve nem oranı gibi bölgesel faktörlerle de değişkenlik sergileyebilmektedir.

Güneş enerjisi sistem kurulumları için bu amaca yönelik uygun ekipmanlar ile ölçümler alınmalı ve enerji üretimine yönelik analizler yapılmalıdır. Bu analizler sonucunda kurulacak bir güneş enerjisi sisteminin enerji çıktısı oldukça doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir.

Enerji üretim analizinin olabildiğince hatasız yapılabilmesi için, doğrudan ışıınım, yayınık ışıınım, küresel ışıınım, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bağıl nem, açık hava basıncı gibi değerlerin en çok saatlik aralıklarla, en az bir yıl süre ile ölçülmesi gerekmektedir.

Ölçüm için kurulan sistemler, diğer ölçüm sistemlerinin yanında monokristal, polikristal ve birkaç çeşit ince film panel örnekleri içerdiği takdirde bölgedeki ışıınım yapısındaki en uygun PV panel tipi de belirlenebilmektedir. Bu panel dizileri hem sabit açıda hem de güneş izler sistemler üzerinde olmak üzere iki adet yerleştirilerek bölgedeki en iyi sabit açılı panel performansı ve izleyicili sistem performansı net bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Bu yayında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü tarafından kurulacak olan Güneş Enerjisi Potansiyeli Ölçüm İstasyonları, kullanılacak donanım, elde edilecek veriler ve verilerin değerlendirilmesi konusunda bilgi verilecektir.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş potansiyeli belirleme, Fotovoltaik

1. Giriş

Bu yayında, güneş enerjisi potansiyeli belirlenmesinde kullanılan donanım ve yöntemler hakkında ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü tarafından kurulacak olan Güneş Enerjisi Potansiyeli Ölçüm İstasyonları, kullanılacak donanım, elde edilecek veriler ve verilerin değerlendirilmesi konusunda bilgi verilecektir.

2. Donanım

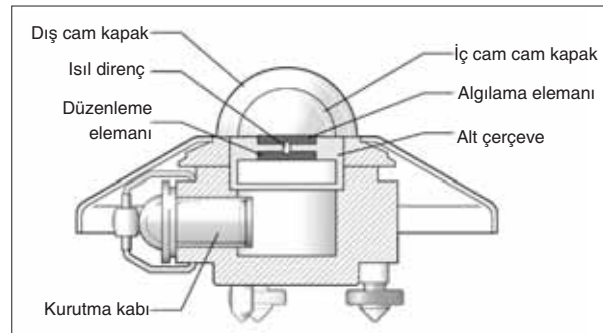
Belirli bir bölgeye gelen güneş enerjisi miktarı ve gelen enerjinin çevrim verimi birçok meteorolojik değışkene bağlıdır. Bu nedenle

sadece yüzeye düşen güneş enerjisi miktarının belirlenmesi o bölgeden elde edilecek kullanılabilir enerji miktarının belirlenmesi için yeterli değildir. Kesin olarak bölge şartlarının belirlenmesi için doğrudan ışıınım, yayınık ışıınım, küresel ışıınım, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bağıl nem, açık hava basıncı gibi değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin ölçümü için kullanılan donanım aşağıda irdelenmiştir.

2.1. Piranometre

Piranometre kullanılarak alınan güneş enerjisi ölçümleri sonuç olarak metrekaresine düşen küresel güneş enerjisi miktarını vermektedir. **Şekil 1**'de bir piranometrenin iç yapısı görülmektedir. Genellikle piranometre algılama elemanı olarak ısı enerjisini elektrik enerjisine çeviren termopil algıçlar kullanılmaktadır. Bu algıçlar güneş enerjisini soğurarak ısınır ve sıcaklığı ile orantılı bir gerilim üretir. Soğurmaya artırmak amacıyla termopil algıçlar siyaha boyanırlar veya siyah bir malzemeyle kaplanırlar. Dış ve iç cam kapak ise 300 – 5000 nm dalga boyu arasında olan güneş ışıınımlarını filtrelemek ve 2800 nm'den uzun dalga boylu ışıınların geçmesini engellemek amacıyla kullanılır.

Piranometrelerin birçok tipi üretilmektedir. Büyük çoğunluğu çeşitli aralıklarda örneksel çıkış vermektedir. Bu örneksel çıkışlar genellikle mV mertebesinde olmakta ve örneksel/sayısal dönüştürücülere bir yükselteçten geçirilerek bağlanmaktadır. Modern piranometrelerin bir kısmı bu yükselteçleri cihaz içinde gömülü vermeye başlamıştır.



Şekil 1. CM11 Piranometre iç yapısı

2.2. Pirheliyometre

Pirheliyometreler doğrudan gelen güneş enerjisi miktarını ölçen cihazlardır. Çalışmaları için güneş takip sistemleri gerekmektedir. Pirheliyometre ölçüm değerleri özellikle sadece doğrudan güneş ışıınımlarını kullanabilen odaklı sistemler için önemlidir. **Şekil 2**'de izleme sistemi üzerinde bir pirheliyometre görülmektedir.



Şekil 2. Pirheliyometre

2.3. Gölgelemiş Piranometre

Gölgelemiş piranometre aslında standart bir piranometre kullanılarak yapılmış bir düzendir. Güneş izleme sistemi ile birlikte çalışan bir bant veya topuz sürekli olarak piranometrenin alıcı kısmı ile güneş arasında kalarak doğrudan güneş ışınlarının algıya ulaşmasını engeller. Böylece algıya sadece yayınlık güneş ışınları ulaşır. Şekil_3.'te örnek bir gölgeli piranometre sistemi görülmektedir. Yayınlık ışınım ölçümleri özellikle kullanılacak sistem seçiminde önemlidir. Yayınlık ışınımın miktarı, bölgede düzlemsel toplaçlar ile odaklı sistemler veya kristalli silisyum fotovoltaiik modüller ile ince film fotovoltaiik modüller arasında yapılacak tercihte belirleyicidir.



Şekil 3. Gölgelemiş piranometre

2.4. Rüzgar Ölçüm Sensörleri

Rüzgar ölçümleri rüzgar hızı ve rüzgar yönünü içermektedir. Her iki ölçüm için ayrı algıç kullanılabileceği gibi birleşik algıçlarda kullanılabilir. Rüzgar verisi hem PV panellerde soğutma hem de termal sistemlerde konveksiyonla ısı kaybı bakımından önemli olduğu için bilinmesi gereklidir. Aynı zamanda geniş alan kaplayan güneş enerjisi sistemlerinin üzerindeki rüzgar yükünün tespiti içinde önemlidir. Çok yüksek rüzgar hızlarında güneş izleyen sistemler paneller üzerinde en az rüzgar yükünü oluşturacak şekilde döndürülebilmektedir. Bu işlem için de rüzgar yönünün bilinmesi gerekmektedir.

2.5. Sıcaklık Sensörü

PV sistemlerin verimleri sıcaklıkla ciddi oranda değişiklik göstermektedir. Güneş ışınımının çok iyi olduğu çöl gibi bölgelerde ortak sıcaklığından dolayı PV sistemler tercih sebebi olmayabilir. Bu nedenle Güneş enerjisi sistemlerinin değerlendirilmesi açısından sıcaklığın mutlaka bilinmesi gerekmektedir. Sıcaklık ölçümü algıcin doğrudan güneş ışınımından etkilenmemesi için radyasyon kalkanı içinde alınmalıdır.

2.6. Açık Hava Basıncı ve Bağlı Nem sensörü

Açık hava basıncı ve nem sensörü hava yoğunluğunun hesaplanabilmesi açısından önemlidir. Hava yoğunluğu atmosfer içinde soğurulan güneş enerjisi miktarını etkilediğinden yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı yoğunluk ile değişiklik göstermektedir. Ayrıca yoğunlaştırmalı sistemlerde yoğunlaştırma verimi havadaki nem oranıyla ciddi oranda değişmektedir.

2.7. Farklı Teknolojilerden panel grupları

Herhangi bir bölgedeki güneş ışınımı karakteristiğine göre kullanılacak panel teknolojisinin uzun dönem verimleri değişiklik göstermektedir. Örneğin doğrudan ışınım süresinin uzun olduğu bölgelerde kristal silikonlu PV modüller daha yüksek verim verirken, yayınlık ışınım süresinin belli bir değerin üzerine çıkması durumunda ince film PV panellerin yıllık verimleri daha iyi olmaktadır. Alınacak tüm verilerin analizi sonucunda hangi panelin bölge için daha iyi olacağı hesaplanabilecek olmasına rağmen en doğru seçim bölgeye yerleştirilecek farklı panellerinin üretim değerlerinin incelenmesi sonucu yapılacaktır. Bu nedenle meteorolojik ölçümler yanında kurulacak farklı teknolojilerle üretilmiş PV panellerden oluşan bir panel dizisi yerleştirip bu panellerin yıl boyunca maksimum güç noktalarının izlenmesi PV yatırımları için en doğru tercih olacaktır. Bir yıl boyunca alınacak ışınım şiddeti ölçümleri ile panellerin üretim verilerinin karşılaştırılması ile bölge genel ışınım karakteristiğinde farklı panellerden alınabilecek verimlere ilişkin uzun dönem öngörümürleri kolaylıkla yapılabilir.

3. Verilerin Değerlendirilmesi

Tüm algıçlardan dakikada bir alınan veriler saat başı ortalama alınarak standart sapmaları ile birlikte kaydedilir. Kaydedilen veriler kullanılan veri toplama cihazının yapısına göre cihaza bilgisayar bağlantısı yapılarak ya da cihaza uzaktan erişilerek alınabilir. Veriler uluslararası bir format olan TMY (Typical Meteorological Year Data) formatında saklanır. Veri değerlendirilmesinde kullanılan birçok yazılım bu formatta gelen verileri kullanabilme özelliğine sahiptir. Veriler güneş enerjisi sistemleri için hazırlanmış yazılımlarda değerlendirilebileceği gibi konuda uzman kişiler tarafından da yorumlanabilir.

Verilerin doğru analizi ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan güneş enerjisi sistemleri açısından önemlidir. İşletme maliyetleri oldukça düşük olan PV enerji üretim tesislerinde temel maliyeti ilk yatırım maliyetleri oluşturmaktadır. Bu nedenle tüm teknolojiler eldeki verilerle modellenmeli ve yatırım ömrü içerisinde tüm giderler göz önünde bulundurularak en etkin çözüm bulunmalıdır.

İyi hazırlanmış bir fizibilite raporu enerji yatırımlarını sağlayan finans kuruluşlarının değerlendirmeye kriterlerini içermelidir. Raporlar hem yatırımcı için yol gösterici hem de finans kuruluşları açısından tatmin edici olmalıdır.

4. Enerji Enstitüsü Örnek İstasyonu

Güneş enerjisi sistemlerinin fizibilite çalışmaları için TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nde örnek bir ölçüm istasyonu kurulmaktadır. İstasyon küresel ışınım algıci, radyasyon kalkanlı sıcaklık algıci, panel sıcaklığı algıci rüzgar hızı algıci, rüzgar yönü algıci, bağlı nem algıci ve açık hava basıncı algıci yer almaktadır. Gölge pi-ranometre ve pirheliyometre sisteme dahil edilmemiş olup direk ve yayınlık ışınım verileri, piranometreden alınan veriler ve bulutluluk oranları bir modele yerleştirilerek elde edilecektir.

Meteorolojik ölçüm donanımına ek olarak Monokristal, Polikristal, Amorf silisyum, Tandem, CIS ve Cd-Te olmak üzere altı panelden oluşan, biri en iyi sabit açıda, diğeri güneş izleyici sistem üzerinde olmak üzere iki grup panel tesis edilmektedir. Sabit paneller Gebze bölgesi için en iyi yıllık verimi sağlayacak açıda monte edilmektedir.

İzleyici sistem olarak Enerji Enstitüsü'nde geliştirilen Günebakan Sistemi kullanılmaktadır. İstasyon sayesinde bölge için yıllık güneşlenme verileri, farklı teknolojilerde panellerin bölge güneşlenme karakteristiğine olan tepkisi ve bu panellerde izleme sistemi kullanıldığı durumda sağlanabilecek verim artışını gözlemek mümkün olacaktır. Test panelleri, geliştirilen özel bir veri toplama sistemi sayesinde sürekli olarak en yüksek güç noktasında tutulacak böylelikle yük eksikliği veya akü doluluğundan kaynaklı eksik veri alımlarının önüne geçilecektir.

5. Sonuç

Güneş ve rüzgar gibi meteorolojik bağımlılığı olan enerji kaynaklarının kullanımına yönelik tesislerin kurulumunda potansiyel belirleme çalışmaları son derece önemlidir. Özellikle halen gelişmekte olan güneş-elektrik çevrim teknolojilerinin ilk yatırım maliyetleri diğer enerji üretim tekniklerine göre yüksek kalmaktadır. Henüz ülkemizde güneş enerjisi teknolojilerinin yerli üreticisi olmamasından dolayı bu teknolojiye yapılacak yatırımlar bir süre daha yurtdışına kaynak aktarımına sebep olacaktır. Tüm bu sebepler göz önüne alındığında yatırımları yönlendirecek olan potansiyel belirleme ölçümlerinin ve veri analizlerinin önemi açıkça ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

1. Solar Resource Assessment, D. Renné, R. George, S. Wilcox, T. Stoffel, D. Myers, and D. Heimiller, NREL, Şubat 2008,
2. How to get bankable meteo data? Robert Pitz-Paal, Norbert Geuder, Carsten Hoyer-Klick, Christoph Schillings, DLR(Institute of Technical Thermodynamics),2007
3. The Renewable Resource Data Center (RReDC), <http://www.nrel.gov/rredc>, 2010
4. Photovoltaic Systems, James P. Dunlop, 2009
5. Applied Photovoltaics, Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel E. Watt, Richard Corkish,2007

Solar Resource Assessment

Abstract

In spite of solar power density is constant outside of the atmosphere, it is bounded with a lot of factor on surface of the earth. Energy coming from the sun changes hourly, daily, monthly, decennially and centenary. Additionally, environmental factors like cloudiness, air pollution, humidity etc. changes solar power density at earth surface.

For solar power plants, meteorological data assessment should be done with correct equipment and data should be analyzed carefully. Outcome of these analysis, energy output of a solar power plant can be calculated with high accuracy.

For correct energy output calculation, global irradiation, direct irradiation, diffuse irradiation, temperature, wind speed and direction, relative humidity, barometric pressure parameters should be known with one hour interval.

In addition to the meteorological measurement equipments, a panel array including different type of panels like monocrystal, polycrystal, thin film etc. could be placed to determine the best technology for

optimum energy production at that region's conditions. And also a panel array on a sun tracking system can be used to determine the efficiency increase with tracking system.

In this paper, general information will be given about solar resource assessment and equipments, measurement station in TUBITAK, Marmara Research Center, Energy Institute, data types and analysis of the data.

Keywords: Solar energy, Solar resource assessment, Photovoltaics

ULUSLARARASI TİCARET ÇERÇEVESİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ, ÖNEMLİ ÜLKELER ve TÜRKİYE’NİN DURUMU

Tuğrul GÖRGÜN

İhracatı Geliştirme Merkezi-İGEME

Özet

YE kaynakları arasında ise en hızlı gelişen ve büyüyen alan güneş enerjisi teknolojileridir. Sürekli gelişen teknolojileri ve düşüş gösteren maliyetleri sayesinde geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olacaktır. Bu alanda ABD, Çin, Japonya, Almanya, Fransa, İspanya ve İtalya büyük yatırımlar yapmakta, önemli Ar-Ge ve satın alma teşvikleri vererek bir sanayinin kurulmasını ve teknolojinin sürekli yenilenmesini sağlamaktadırlar. Devlet desteklerine paralel olarak şirketlerin de YE kaynakları kullanmaya yönelik artan yatırımları orta ve uzun vadede enerji üretiminde ve kullanımında paradigma değişikliği gerekliliği yönündeki eğilimin önemli bir göstergesidir.

Tükenecek bir kaynak olan hidrokarbon yakıtlarda meydana gelen ekonomi-politik kaynaklı fiyat artışları ve küresel çevre sorunları Yenilenebilir Enerjilerin (YE) kullanımını sürdürülebilirlik prensibi çerçevesinde gündeme oturtmuştur. Başta Batılı gelişmiş ülkeler olmak üzere, ülkeler YE kullanımına ve bu alanda geliştirilecek teknolojilere çok büyük önem vermektedirler.

Günümüzde tüm YE kaynakları enerji talebinin % 2,5’lik bölümünü karşılamaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı 2015 yılında YE kaynaklarının toplam talebin % 3,3’ünü karşılamasını öngörmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın projeksiyonuna göre 2001-2030 yılları arasındaki dönemde YE kaynaklarına 10 trilyon dolarlık YE kaynakları arasında ise en hızlı gelişen ve büyüyen alan güneş enerjisi teknolojileridir. Sürekli gelişen teknolojileri ve düşüş gösteren maliyetleri sayesinde geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olacaktır. Nitekim fotovoltaik kaynaklı elektrik üretiminde de 2010-2030 yılları arasında 690 GW’lık bir artış olacağı ve 11GW’dan 701 GW’a çıkacağı öngörülmektedir. Bu alanda ABD, Çin, Japonya, Almanya, Fransa, İspanya ve İtalya büyük yatırımlar yapmakta, önemli Ar-Ge ve satın alma teşvikleri vererek bir sanayinin kurulmasını ve teknolojinin sürekli yenilenmesini sağlamaktadırlar. Büyük petrol şirketleri de gelecekte yenilenebilir kaynakların kullanımının önemini anlamış; günümüzdeki yüksek karlarını yatırıma dönüştürebilecek önemli bir alan olarak görmüşlerdir. Bu çerçevede devlet desteklerine paralel olarak şirketlerin de YE kaynakları kullanmaya yönelik artan yatırımları orta ve uzun vadede enerji üretiminde ve kullanımında paradigma değişikliği gerekliliği yönündeki eğilimin önemli bir göstergesidir.

Tüm bu gelişmeler çerçevesinde güneş enerjisi ile ilgili teknolojiler ve ekipmanlarının üretimi ve satımı da çok önemli bir hale gelmiştir. Nitekim dünya ticareti de her yıl önemli oranda artmaktadır. Elektrik üretimi için kullanılan fotovoltaik sistemlerde 2008 yılı dünya dış ticaret hacmi 42 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir ki bu değerler son 3 yılda 4 kat bir artışı temsil etmektedir. 2008 yılı termal güneş enerjisi sistemlerinin dış ticareti de 2 milyar doları aşmıştır.

Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında, dünyanın eko-sistemi için önemli bir sorun olan çevreyi kirlenici atıkların bulunmaması, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmaların yapıldığı bir konu olmuştur. Binaların ısıtılması, soğutulması, bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır.

Farklı gelişme aşamalarında, çeşitli güneş enerjisi elde etme teknikleri mevcuttur. Her teknolojinin kullanım ve uygulamalarına bağlı olarak avantaj ve dezavantajları vardır. Güneş enerjisi sistemlerinin başlıca tipleri şunlardır: a- Termal (Termodinamik) sistemler, b- Güneş Pili (Fotovoltaik) sistemleri.

1) Termal (Termodinamik) Sistemler

Termodinamik sistemler de kendi içinde pasif güneş toplama sistemleri ve aktif güneş toplama sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Pasif güneş sistemleri, güneş enerjisi kullanımı için geliştirilen eski sistemlerden biridir. Başlıca, binaların ısıtma ve soğutması için kullanılmaktadır. Güneş mimarisinde, güneş enerjisi yoğunluk ve süresinin ısı, ışık ve sağlığa yararlı, istenilen etkilerini elde edebilmek, buna karşın yüksek sıcaklık, aşırı aydınlık ve kişilere ve malzemelere zarar verecek, istenmeyen etkilerinden ise korunulacak şekilde kontrol edilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Binaların, kışın ısıtılmasında, yazın ise ısınmayı önleyecek koşulların sağlanması, seraların ısıtılması, zirai ürünlerin kurutulması, pasif güneş sistemlerinin başlıca kullanıldığı yerlerdir.

Güneş enerjisi binalarda, herhangi bir elektromekanik gereç kullanılmadan (normal olarak) ısıya dönüştürülür. Isı transferi ve sıcak akışkanın çevrimi doğal yolla olur. Pasif güneş ısı sistemleri, pencereler gibi enerji kolektör elemanları veya bina duvarları gibi depolama elemanlarını da içermektedir. Pasif güneş sisteminin optimizasyonunun ve performansının hesaplanabilmesi ve dolay-

ısıyla etkili bir şekilde kullanılabilmesi için, global güneş radyasyonu, uzun dalga “terrestrial” ve atmosferik radyasyon, güneşlenme süresi ve hareketli güneş datası (polar data) gibi bilgilere ihtiyaç vardır. Bunların yanında, sıcaklık, rüzgar yönü ve şiddeti, nem ve buharlaşmasının da bilinmesini gerekmektedir.

Aktif sistemler ise, ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi amaçlarla kullanılabilir. Güneş radyasyonunu ısıya dönüştüren aktif sistemler çok çeşitlidir. En basit güneş kolektörleri ile bir kaç yüz W, güneş güç istasyonlarıyla birkaç yüz MW'a kadar enerji elde edilebilir.

2) Güneş Pili Sistemleri (Fotovoltaik Sistemler)

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2 - 0,4 mm arasındadır.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç W'tan MW'lara kadar sistem oluşturulur.

Güneş enerjisi temiz, yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, kolayca taşınır kurulumu gerektğinde enerji ihtiyacına bağlı olarak basitçe değiştirilebilen sistemlerdir. Ancak günümüzdeki teknolojiler çerçevesinde düşük verimlidir ve kurulum maliyetleri yüksektir; ancak her geçen yıl gelişen teknolojiye paralel güneş enerjisi sistemlerinin verimlilikleri artmakta ve maliyetleri düşmektedir. Bu nedenle güneş enerjisi sistemlerinin önümüzdeki yıllarda ekonomik rasyonelitesinin artması ile birlikte enerji üretiminde kullanımının hızla artacağı beklenmektedir.

3) Güneş Enerjisi Sistemleri Dünya Ticareti

Termal Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (PV) Sistemler İhracatı

Termal sistemlerde Almanya 486 milyon dolarlık değerle en önemli ihracatçı ülke konumundadır. Meksika (315 milyon), Avusturya (279 milyon), Fransa (199 milyon) ve Çin (133 milyon) diğer önemli ihracatçı ülkelerdir. Önemli bir üretici olan Türkiye de 2008 verileri çerçevesinde yaklaşık 21 milyon dolarlık ihracat gerçekleştirmiştir. Ayrıca 2004-2008 döneminde Türkiye'nin ihracatında yıllık ortalama % 57'lik oranda yüksek bir büyüme sağlanmıştır. 2008 yılında da artış bir önceki yıla göre %93 düzeyinde gerçekleşmiştir. (Tablo1)

Fotovoltaik sistemler çerçevesinde yaklaşık 12 milyar dolarlık ihracat rakamıyla Çin birinci sıradadır. İhracatının son 4 yıllık ortalama artış oranı % 106 olan Çin'de 2008 yılında da bir önceki yıla göre %

124 artış olmuştur. Almanya (6,3 milyar dolar), Japonya (6,2 milyar), Tayvan (4,3 milyar) ve ABD (2,3 milyar) diğer önemli ihracatçı ülkelerdir. (Tablo 2)

Termal Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (PV) Sistemler İthalatı

Termal güneş enerjisi sistemlerinin ithalatında ülkelere baktığımızda yine Almanya'yı yarım milyar dolara yakın değerle birinci sırada görmekteyiz. ABD 400 milyon dolara yaklaşan ithalatıyla en büyük ikinci ithalatçı ülkedir. Fransa, Avusturya, İtalya ve İspanya da 100 milyon doları aşan değerlerle diğer önemli ithalatçı ülkelerdir. (Tablo 3)

Fotovoltaik sistemler ithalatında ise İspanya ve Almanya yaklaşık 8,5'ar milyar dolarlık değerle en önemli iki ithalatçıdır. Bu ülkeleri Çin (4,4 milyar), ABD (2,7 milyar), Hong Kong (2 milyar) ve İtalya (1,9 milyar) takip etmektedir. (Tablo4)

Tablo 1

İhracatçı Ülkeler (Termal Sistemler)	2008 (000 ABD doları)	2004-2008 ortalama büyüme (%)	2007-2008 dönemi büyüme oranı (%)	Dünya ihracatındaki payı (%)
Dünya toplam	2.308.314	26	38	100
Almanya	485.500	30	41	21
Meksika	315.068	10	5	13,7
Avusturya	279.356	49	93	12,1
Fransa	199.214	21	48	8,6
Çin	132.583	86	120	5,7
ABD	128.518	27	21	5,6
İtalya	96.497	36	52	4,2
Polonya	96.389	37	14	4,2
Birleşik Krallık	66.951	13	58	2,9
Hollanda	58.766	20	13	2,6
Yunanistan	49.016	44	35	2,1
İsrail	41.774	32	-36	1,8
Belçika	39.573	9	21	1,7
Danimarka	38.888	36	25	1,7
İsviçre	37.064	23	7	1,6
G. Kore	35.547	57	307	1,5
İspanya	24.483	6	105	1
Portekiz	20.862	89	200	0,9
Türkiye	20.564	57	93	0,9
İsveç	16.685	17	31	0,7
Malezya	16.445	79	403	0,7
Çek Cumhuriyeti	16.017	32	41	0,7
Macaristan	12.679	50	88	0,5
Japonya	12.516	-3	444	0,5

4) Türkiye'nin Güneş Enerjisi Sistemleri Dış Ticareti Termal Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (PV) Sistemler İhracatı (Tablo 5)

Termal amaçlı güneş enerjisi sistemlerinde en büyük ihracat pazarımız 2009 verileriyle İspanya olmuştur. Portekiz, İtalya, Fas, Romanya ve Almanya da Türkiye'nin diğer önemli pazarlarıdır. (Tablo 6)

Fotovoltaik gözeler Türkiye'de ticari amaçlı üretilmesi de, montaj yapılarak fotovoltaik panel ihracatımız söz konusudur. Bu çerçevede 2009 yılında da yarım milyon ABD doları değerle en baştaki ihrac pazarımız Irak olmuştur.

Termal Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (PV) Sistemler İthalatı

Ülkemizde de üretilen termal sistemlerde maliyet gerekçeleriyle ithalat da yapılmaktadır. İthalatımızdaki en büyük pay 2009 yılının ilk on ayında 7 milyon doları aşan bir değerle Çin'e aittir. Almanya ve Danimarka da ithalat yaptığımız ülkelere aittir. (Tablo 7)

Fotovoltaik sistemler ithalatımız 2009 Ocak-Ekim verileriyle 28 milyon ABD doları seviyesindedir. Çin 9 milyon dolara yaklaşan değerle ithalatımızda birinci sıradadır. ABD'den de yaklaşık 5 milyon dolarlık ithalat gerçekleştirilmiştir. İthalatımızdaki diğer önemli ülkeler ise Almanya, Tayvan ve Japonya olmuştur. (Tablo 8)

Kanunda belirtilen 5,5 Euro cent/kWs üst limitinin Yenilenebilir Enerji (YE) kaynakları ayrımı gözetmeksizin sabitlenmesi yüksek

Tablo 2.

İhracatçı Ülkeler (PV Sistemleri)	2008 (000 ABD doları)	2004-2008 ortalama büyüme (%)	2007-2008 dönemi büyüme oranı (%)	Dünya ihraca- tındaki payı (%)
Dünya toplam	42.407.250	35	57	100
Çin	11.788.610	106	124	27,8
Almanya	6.314.016	61	79	14,9
Japonya	6.189.832	7	13	14,6
Tayvan	4.305.723	38	61	10,2
ABD	2.364.209	13	24	5,6
Hong Kong	1.459.362	15	1	3,4
Birleşik Krallık	1.046.597	46	41	2,5
Belçika	801.309	55	63	1,9
Çek Cum- huriyeti	750.916	189	124	1,8
Malezya	749.421	1	-30	1,8
Singapur	737.247	23	47	1,7
İsveç	634.314	56	125	1,5
G. Kore	622.115	29	35	1,5
Hindistan	528.794	56	148	1,3
Hollanda	515.380	34	7	1,2
Avusturya	496.148	79	38	1,2
Fransa	432.687	25	61	1

kurulum maliyeti gerektiren fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerine yatırımların yapılmasını güçleştirmektedir. Daha yüksek destek vermesi beklenen yeni Kanun ise Türkiye'nin doğalgaz yükümlülükleri nedeniyle Meclis'ten geçememiştir. Ancak geri alım garanti fiyatlarının tek başına yükseltilmesi de yeterli olmayacaktır. Sana-yi altyapısının gelişimine yönelik destekler tasarlanmadan yapılan artışlar öncelikle tüketime yönelik avantaj sağlayacağından diğer YE malzemelerinde olduğu gibi güneş enerjisi sistemlerinde de ithalata bağımlı bir yapıya girmemize de neden olacaktır. Ayrıca; yatırımların artmasına paralel olarak güneş enerjisi alanında istihdam edilebilecek nitelikli işgücünün de yetiştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde sermaye gücü ne olursa olsun nitelikli insan gücünün azlığı sektörün büyümesi önünde engel teşkil edecektir.

Enerji hem ülkemiz hem de tüm dünya için stratejik bir faaliyet alanıdır. Bu anlamda geleceğin enerji üretim teknolojilerinin gelişmiş ülkelere devredilmeden önce üretimini ve kullanımını sağlamak gerekmektedir. Böylece hem kullanımında hem de katma değer yaratabilmede önemli bir noktaya gelebilme-

Tablo 3

İthalatçı Ülkeler (Termal Sistemler)	2008 (000 ABD doları)	2004-2008 ortalama büyüme (%)	2007-2008 dönemi büyüme oranı (%)	Dünya ih- racatındaki payı (%)
Dünya toplam	2.122.648	27	37	100
Almanya	468.371	18	66	22,1
ABD	387.320	22	6	18,3
Fransa	116.892	34	34	5,5
Avusturya	109.506	36	55	5,2
İtalya	107.557	42	46	5,1
İspanya	107.389	54	25	5,1
Kanada	90.258	41	37	4,3
İsviçre	61.814	24	45	2,9
Birleşik Krallık	58.212	22	7	2,7
Katar	52.979	103	180	2,5
Rusya Fed.	49.996	47	44	2,4
Polonya	40.142	26	37	1,9
Belçika	39.931	17	20	1,9
Meksika	23.815	14	22	1,1
Portekiz	20.676	54	68	1
İsveç	20.425	67	61	1
Tayland	19.682	71	20	0,9
Çek Cum- huriyeti	19.391	18	16	0,9
Hollanda	18.603	39	22	0,9
Romanya	17.314	47	62	0,8
İrlanda	15.291	68	45	0,7
Macaristan	13.863	16	23	0,7

nin yolu açılacaktır. Güneş enerjisi başta olmak üzere YE kaynaklı ürün ve teknolojilere yatırım yapmak ülkemiz firmaları için üretim ve ürün teknolojilerinde söz sahibi olunmasını, batılı üreticilerle rekabet edebilecek önemli bir ihracat alanı elde edilebilmesini ve temel sorunlarımızın en başında gelen enerji bağımlılığımızın azaltılmasını sağlayacaktır.

Yerli, yeni ve YE kaynaklarımızın kullanımının özendirilmesi, yaygınlaştırılması ve bu kaynakların kullanımı ile elektrik enerjisi üretim sistemlerini oluşturan malzeme, cihaz ve ekipmanın yerli üretim koşullarının oluşturulması ve bu alanda teknoloji üretebilir bir seviyeye ulaşmamız enerjide dışa bağımlı olan ülke ekonomisinin sürdürülebilir büyümesi için çok büyük önem arz etmektedir.

Kaynakça

- [1]. Peter. S, ve Lehmann. H, "Renewable Energy Outlook 2030", Energy Watch Group, s. 37. <www.energywatchgroup.org>
[2]. "Güneş Enerjisi", Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE), <www.eie.gov.tr>
[3]. Güneş enerjisi sistemleri dünya ticareti ile ilgili istatistiklerin kaynağı: Uluslararası Ticaret Merkezi (ITC-Trade Map)

Tablo 4

İthalatçı ülkeler (PV Sistemleri)	2008 (000 ABD doları)	2004-2008 ortalama büyüme (%)	2007- 2008 dönemi büyüme oranı (%)	Dünya ih- racatındaki payı (%)
Dünya toplam	41.512.980	35	59	100
İspanya	8.423.515	207	128	20,3
Almanya	8.345.974	40	72	20,1
Çin	4.422.229	21	16	10,7
ABD	2.760.189	22	28	6,7
Hong Kong	1.983.785	14	9	4,8
İtalya	1.858.166	76	107	4,5
G. Kore	1.583.519	21	84	3,8
Japonya	1.412.342	7	25	3,4
Fransa	1.024.829	44	93	2,5
Belçika	1.008.526	56	94	2,4
Birleşik Krallık	898.316	39	45	2,2
Çek Cum- huriyeti	785.066	95	146	1,9
Tayvan	727.419	11	28	1,8
Singapur	559.134	15	11	1,4
İsveç	511.689	51	95	1,2
Macaristan	506.199	47	48	1,2
Meksika	487.913	14	10	1,2
Hollanda	469.840	13	51	1,1
Avusturya	431.456	44	53	1
Hindistan	420.040	74	149	1

[4] Türkiye'nin güneş enerjisi sistemleri dış ticareti ile ilgili istatistiklerin kaynağı: Türkiye İstatistik Kurumu-TÜİK

[5] 2009 verileri ilk on aylık (Ocak-Ekim) dönem değerleridir.

[6] Görgün. T, "Yenilenebilir Enerjiler ve Teknolojileri", s. 84, İGE-ME, Ankara, 2008.

Özet (İngilizce)

Environmental technology is the application of the environmental sciences to conserve the natural environment and resources, and to curb the negative impacts of human involvement. The core con-

Tablo 5

Termal Sistemler	2006	2007	2008	2009
Toplam	6.600.586	10.647.779	20.564.404	14.872.067
İspanya	671.509	1.136.460	3.082.710	2.211.286
Portekiz	338.782	454.231	885.172	1.623.398
İtalya	394.640	835.034	1.558.603	1.101.069
Fas	905.137	1.251.975	1.964.931	1.045.868
Romanya	206.600	158.174	140.486	1.011.369
Almanya	284.416	261.416	1.176.978	989.933
Suriye	149.726	251.485	1.880.958	711.170
Lübnan	308.910	410.070	1.175.712	676.854
Avustralya	360.819	567.179	1.055.434	648.075
İngiltere	64.700	403.917	386.114	609.626
Tunus	26.922	348.434	451.071	535.851
A.B.D.	116	139.185	576.503	322.748
Polonya	30.163	10.787	96.029	240.350
Ürdün	95.172	24.088	278.437	231.506
Danimarka	328.768	225.658	243.153	217.654
Hollanda	4.926	294	11.358	202.154

Tablo 6

Fotovoltaik sistemler	2006	2007	2008	2009
Toplam	8.206.931	2.008.962	1.606.508	1.557.961
Irak	4.362	1.291	530.164	404.586
Türkmenistan	0	29.400	25.016	263.980
Fas	0	1.789	160	136.278
Rusya Fed.	48.527	60.901	113.437	119.829
Nijerya	0	0	84.730	76.878
Kazakistan	10.418	69.368	9.780	69.043
Almanya	591.434	107.394	82.367	52.041
Libya	2.422	1.199	1.774	42.572
Mısır	8.381	45.118	72.121	40.412
İran	9.624	68.018	25.651	29.942
Hollanda	530	572	13.943	26.828
Tunus	0	0	0	25.209
Romanya	1.331	7.749	17.064	23.977

cept of the environmental technologies is sustainable development; within the sustainable development concept, the improvement of the environmental technologies and services especially in the renewable energy sector, will provide socially equitable, economically viable, and environmentally sound socio-economic system.

Rising energy prices and increasing environmental problems have given rise to the necessity and importance of using environment-friendly technologies. The current level of dependence of fossil fuels, the need of reducing the carbon emissions associated with energy use and the needs of developing a new innovative technology sector make solar energy systems increasingly attractive. In the last years the solar energy market expanded extensively, especially in Germany, China, Spain, USA and Japan. Several incentives have stimulated the expansion, rendering the solar energy industry ready to expand. However, the high production cost of electricity, due to the significant capital investment cost, is the main barrier to large-scale deployment of photovoltaic systems. Nevertheless, in the next decades it is expected a huge increase in using renewable energies, particularly in electricity generation from the solar energy systems. Among the solar energy systems photovoltaic industry will be the main part of this industry.

Solar energy technologies are easy to introduce and implement all over the world, in both developed and developing countries. In addition, solar energy systems are already associated with a fast-growing and dynamic industry. This success story has been driven both by national support schemes and first-class research and demonstration. Many developed and developing countries strongly supports the development of the solar energy sector in its policy measures, and also in its research and demonstration activities. Solar energy technology costs are becoming more competitive in recent years and year by year the production and installation costs are decreasing. A stronger effort towards further development and technological innovation will make the sector more productive and competitive, and accelerate its evolution. Within these developments Turkey will also benefit from the contribution of the solar energy in its electricity generation and demand.

In the context of economic, renewable and environmental friendly energy sources, Turkey's geographic location has several advantages for extensive use of most of the renewable energy sources: solar, wind, biomass, hydro and geothermal. Among these renewable energy sources, probably the production and use of solar energy technologies and equipment will gain significance in both the domestic and export markets.

Tablo 7

Termal sistemler	2006	2007	2008	2009
Toplam	3.528.414	5.019.861	8.271.605	7.101.619
Çin	2.360.230	2.862.825	6.268.411	4.555.598
Almanya	584.224	535.933	877.919	1.351.047
Danimarka	0	54.949	875.873	587.007
Fransa	8.441	0	0	163.369
Avusturya	61.035	285.233	69.435	138.992
Portekiz	0	12.801	0	87.876
İsviçre	151.901	406.169	20.635	53.319
Polonya	5.072	0	43.044	44.542
İngiltere	38.045	102.533	4.995	32.015
İtalya	48.822	22.058	12.647	29.585
İspanya	410	294	9.488	16.474
G. Kore	5.080	35.937	3.678	12.355

Tablo 8

Foto-voltaik sistemler	2006	2007	2008	2009
Toplam	24.994.331	29.212.081	34.366.920	28.046.349
Çin	4.937.017	8.490.038	12.843.324	8.764.465
ABD	1.280.471	2.817.658	1.191.155	4.494.953
Almanya	8.512.909	4.204.899	3.586.707	2.679.671
Tayvan	1.354.150	1.778.948	2.239.050	2.344.925
Japonya	1.495.150	2.235.070	2.636.739	2.030.673
G. Kore	987.161	1.511.936	2.388.715	1.687.862
Filipinler	163.638	840.516	1.785.918	1.453.302
Malezya	510.612	625.682	1.807.120	1.094.744
İtalya	715.449	1.101.904	2.206.465	620.537
İngiltere	201.224	592.493	453.375	402.182
İspanya	278.764	94.606	18.177	345.218
Hong Kong	1.161.344	692.628	649.076	317.566
Hindistan	568.659	89.812	390.490	312.629
Tayland	54.104	125.038	275.591	271.916
Kanada	5.526	21.285	32.025	169.494
Belçika	118.655	147.457	351.136	157.388
Hollanda	216.426	452.164	166.720	148.088
Macaristan	217.934	165.615	58.628	123.206
Avusturya	761.483	1.854.658	473.498	120.295

A NUMERICAL INVESTIGATION OF THE OBSTACLE GEOMETRY EFFECT ON THERMAL STRATIFICATION IN HOT WATER STORAGE TANKS

Yusuf TEKİN

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri 38039, Turkey

Sibel GUNES

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri 38039, Turkey

Veysel OZCEYHAN

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri 38039, Turkey

Necdet ALTUNTOP

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri 38039, Turkey

Abstract

In this study the effect of obstacle geometry and dimensions on thermal stratification in solar powered domestic hot water storage tanks are numerically investigated. Numerical analysis have been carried out for both mantled and non mantled tank. The goal of this study is to obtain higher thermal stratification in the tank and supply hot water for usage as long as possible. The numerical method is validated using experimental results available in the literature. The temperature distributions are presented for 4 obstacle geometries at a distance from the bottom surface of the hot water storage tank ($h=0.5$ m) in order to select the best obstacles which provide higher thermal stratification. The selected four obstacles (A, B, C and D) are used in the study in order to investigate the obstacle geometry and dimensions on thermal stratification. Consequently, it is observed that the obstacle C and D provides the best thermal stratification among the other obstacles.

Keywords: Thermal stratification, hot water storage tank, tank obstacles

1. Introduction

The daily and seasonal variation of the solar radiation is a significant problem in solar energy applications. Direct usage of the solar energy is limited with sunny hours so direct usage of the solar energy is not continuous. The thermal energy should be stored in sunny hours in order to use in sunless hours. Although there exists various methods for storing energy in hot water solar energy systems, thermal energy is generally stored as sensible heat in water. The thermal stratification and water temperature inside the tank significantly affect the efficiency and performance of the hot water storage system. Thermal energy storage system and its theory are explained detailed by Altuntop et al. (2006).

Thermal storage tanks are necessary components of many energy conservation programs, in industry, in commercial building, and in solar energy utilization. Thermal stratification in thermal storage tanks has a major influence on the thermal performance of the thermal heating system (Shah et al., 2005). It is fundamentally known that the thermal storage system is an energy saving device to use available sensible heat energy by the temporary storage in a specially designed tank. The principal operational logic of the system is the

minimization of the mixing effect of hot loading water into cold water reservoir by the use of thermal stratification, which is caused by the thermal buoyancy induced by the difference of temperature between cold and hot water. A simple and inexpensive test method to determine the thermal behavior of solar domestic water heating systems is proposed by Garcia-Valladares et al. (2008). Mawire and McPherson, (2008) studied the experimental characterisation of a thermal energy storage system using temperature and power controlled charging.

The thermal performance increases with thermal stratification in the heat storage tanks. The thermal stratification is explained detailed by Han et al.(2009). There exist numerous studies on thermal stratification under different operating conditions and for design parameters in literature (Andersen et al., 2007; Hegazy, 2007; Osman et al.2008; Chung et al.2008; Mazman et al., 2009). Hegazy (2007) investigated the effect of inlet design on the performance of storage-type domestic electrical water heaters. Three different side-inlet geometries; namely wedged, perforated, and slotted pipe-inlets; were tested and it is seen that the three inlet designs are successful in promoting good thermal stratification inside the storage tank. Thermal performance is evaluated in terms of discharge efficiency, extraction efficiency, and fraction of heat recoverable. Consequently, the slotted inlet indicated the best performance. The relationship between tank size and good thermal stratification is numerically investigated by Osman et al. (2008). Three dimensional simulations with different tank height-todiameter ratio, inlet Reynolds number and the effect of the number of diffuser holes are also investigated. Finally they reported that doubling and halving the number of diffuser holes show no significant effect on the thermocline behavior. Chung et al.(2008) systematically analyzed the effect of various kinds of design factors on the stratification performance of a rectangular storage tank. As a result, the Reynolds number is found to be the most dominant parameter. Moreover, the diffuser shape plays a significant role on the performance of a stratified thermal storage tank.

Altuntop et.al., (2004a; 2004b;2005; 2006) and Arslan et. al., (2004; 2006) performed numerical studies in order to investigate the effect of some parameters (obstacle geometry, dimension, position and flow rate) on thermal stratification in a hot water tank. This study differs from those that the obstacles A and B are added recently and the

others C and D are revised in terms of dimensions for investigating the effect of obstacles on thermal stratification. Consequently the optimum obstacle geometry was determined in order to obtain higher thermal stratification and supply hot water for usage as long as possible.

2. Numerical Modeling

The tank dimensions that appear in Fig. 1 are taken as $d = 0.02$ m, $h = 0.5$ m, $D = 1$ m, $d_1 = 0.2$ m, $f = 0.04$ m and $H = 1.5$ m. The tank is assumed to contain water and the pressure in the tank is taken 1 atm. There is an exit channel for hot water use (T3), an inlet channel for water coming from the heater (T2), and they are both located at the top section of the tank. There is an inlet channel for cold-water entrance (T4) and a symmetrically placed exit channel for cold-water exit (T1) at the bottom section of the tank. According to the temperature of the water going to the heater from the tank, the temperature of the water coming from the heater to the tank varies, but this state is neglected in this study. So initially, the water temperature and the water velocity are taken as 320 K and zero, respectively. The water velocity and temperature coming from the main line to the tank are assumed as 1 m/s (V4) and 285 K (T4). The water temperature coming from the heater to the tank is assumed as 333 K (T2). The hot water inlet velocity and cold water outlet are assumed to be 0.2 m/s (V2). From the beginning to the end of hot water usage time is considered to be the calculation period, which is taken 120 min. The temperatures are obtained at $r=21.7$ cm at every 5 cm along the tank height. The purpose of using obstacle is to supply hot water with high thermal stratification between the temperatures T4 (cold water inlet to the tank) and T2 (hot water inlet to the tank supplied by heater). Different obstacle geometries are placed in the tank to decrease contact area between cold and hot water in the tank. Cold water entering the tank may not destroy hot water gradient. However, the hot water entering the tank would destroy the stratification. The rate of the hot water drawn from the tank would be equal to the rate of the cold water entering the tank from the main line. Considering this, the cold water velocity from the main line is taken 1 m/s. The cold water inlet and exit pipes in radial direction are in the same axis satisfying the symmetrical condition. Because of this condition, higher percentage of the cold water entering to the tank would be directed towards the cold water exit channel (T1) from the tank. Consequently, the cold water does not produce vortex inside the tank and destroying effects into thermal stratification inside the tank would be decreased. The hot water exit

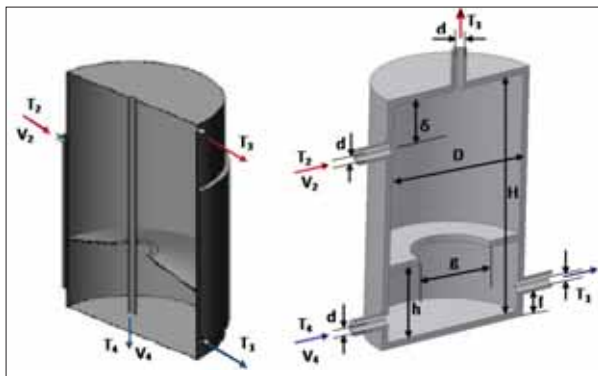


Figure 1. Mechanical model for hot water storage tank.

channel (T3) is generally located at the top of the tank to make sure that water remains as hot as possible during usage.

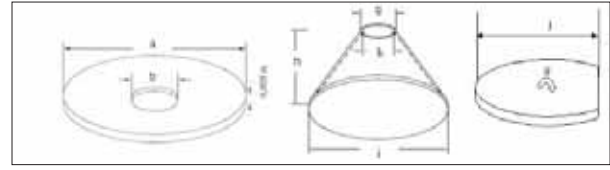


Figure 2. The geometry of obstacles placed in the tank

Table 1.								
Obstacle	a	b	g	h	i	j	θ	k
A	-	-	155	100	1000	-	-	150
B	-	-	155	150	1000	-	-	150
C	1000	150	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-	900	0	-

The numerical analyses are conducted for 4 cases in this study. The obstacle geometries and the dimensions of these geometries are shown in Figure 2 and Table 1, respectively. The thermal conduction originates from obstacle material is neglected in this study. So, the obstacles are assumed as adiabatic.

Three-dimensional continuity, momentum and energy equations are solved numerically. Vortexes occur in the tank because of the mixing of the fluids and the hitting of these two fluids to the wall and obstacle surfaces. Therefore, calculations are carried out by using wall functions method and standard $k-\epsilon$ turbulent model. The upwind and central difference methods are used for convections and diffusions, respectively (Suhas, 1980). FLUENT 6.1.22 code is used for numerical calculations. Solution of the problem is obtained using implicit method in segregated solver. The discretization is achieved by using standard method for pressure and second upwind method for momentum, energy, turbulent kinetic energy, and turbulent dissipation rate equations. The SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equations) algorithm is used for flow computation. The convergence criterion is selected 10-7 for energy and 10-4 for other residuals.

In this study, the used numerical method to obtain results is validated using experimental results. For this purpose, we modeled the tank of Zachar et al. 2003 and the analyses are performed with our numerical method in similar conditions. The comparison of the results by our numerical model and the numerical and experimental results of Zachar et al. 2003 shows very good agreement as given in detail Altuntop et.al.,2005.

4. Results and Discussion

First of all, the numerical analyses are carried out for no obstacle case in order to show that placing obstacle in the tank provides better thermal stratification in comparison with the no obstacle case. The temperature distribution is presented for no obstacle case in Figure 3. It is observed from this figure that the thermocline region enlarges by increasing time. For no obstacle case, a small thermal stratification is observed at the top of the tank, which is far from desired levels.

The hot water (T2) and cold water (T4) contact each other in all axial cross-sectional area when they enter the tank. The rotations of the hot and cold water velocity vectors occur because they hit the tank wall. The thermal stratification is destroyed by mixing of the cold and hot water suddenly inside the tank. In order to keep higher thermal stratification, the axial contact area between the cold and hot water must be decreased and the cold water should not be directed towards upper part of the tank. This may be achieved by placing obstacles inside the tank.

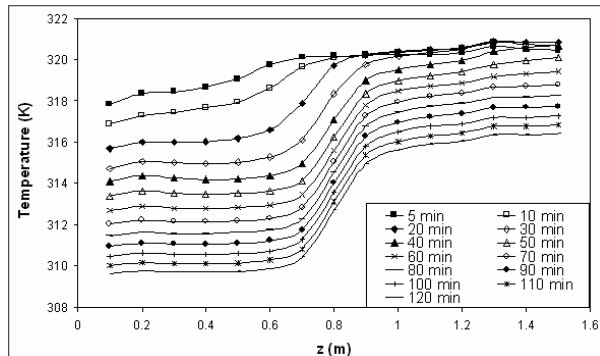


Figure 3. The temperature distribution for no obstacle case

The temperature distribution in the tank for all investigated cases after 120 min of operation period is given at Figure 4. There is good thermal stratification occurs between upper and lower part of the tank for all 4 cases at the end of the operation. The temperature distribution for all investigated cases during 120 min operation period is given at Figure 5.

The difference of T3 (hot water exit for usage) and T1 (cold water exit from tank to collector) temperatures for all obstacles are shown in Fig. 6. It is desired to keep (T3-T1) temperature difference as high as possible for higher thermal stratification and also supply hot water for usage as long as possible. Moreover, if T1 (the water temperature enters to the collector) is as low as possible, the collector efficiency will increase.

As illustrated in Fig.6, all of the obstacles provide better thermal stratification after 120 minute in comparison with the no obstacle case. These obstacles supply colder water towards to the heater and enhance the collector efficiency in this way these obstacles provide higher thermal stratification. There will occur more heat transfer to the water from the same type collector having the same surface area and water with higher energy will go back to the tank from collector. Thus, it will be possible utilizing from solar energy more efficiently. It is obvious that the obstacle C and D provides the best thermal stratification among the other obstacles.

First of all, the numerical analyses carried out for $f=0.5$ m in order to determine the best obstacle which provide higher thermal stratification. The surface average temperature distributions were obtained for investigated 4 obstacles and for these obstacles, the average temperature distributions in axial direction during different operation time periods were presented in Fig. 5. In these figure, the obstacles are at $f=0.5$ m position.

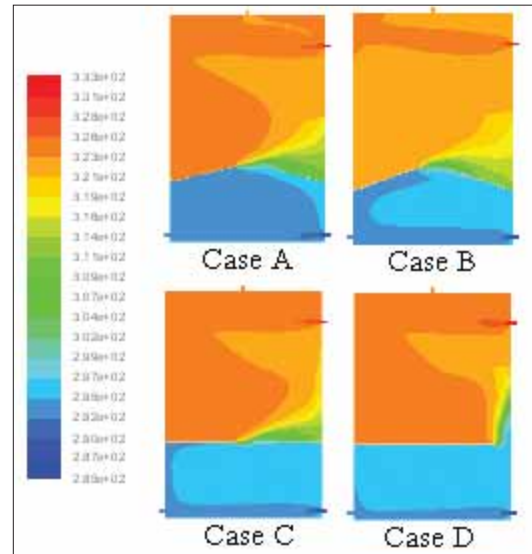


Figure 4. The temperature distribution for all investigated cases after 120 min operation period.

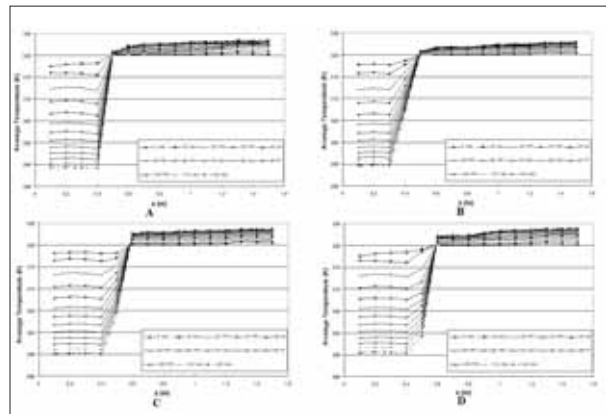


Figure 5. The temperature distribution for all investigated cases during 120 min operation period.

As shown in Fig. 4 and Fig. 5, the water temperature suddenly increases after $f=0.5$ at which the obstacle exists. Initially, the water temperature is 320 K in all over of the tank meanwhile, at the end of 120 minute, it is observed that the water temperature reaches to 323 K above the obstacle A position and drops to 294.5 K below the obstacle A position. In this way, a temperature difference of 28.5 K is provided between the upper and lower parts of the obstacle A. It can be concluded that the obstacle placed in the tank improves the thermal stratification. Similarly temperature difference between the upper and lower parts of the obstacle B, C, D are respectively 27.7 K, 28.9 K, 28.9 K.

The difference of T3 (hot water exit for usage) and T1 (cold water exit from tank to collector) temperatures in the mantled solar storage tank are shown in Fig. 7 to obstacle A and C.

As illustrated in Fig.7 thermal stratification is presented for mantled hot water storage tank. These obstacles provide better ther-

mal stratification after 120 minute in compared with the no obstacle case. The different temperature of T3 and T1 temperatures in the mantled tank is smaller than the tank without mantled. The reason for this is thermal resistant between tank and mantle. The temperature distributions ($f = 0.5$ m) of the mantled tank for A and C cases after 120 min of operation period is given at Figure 8. There is good thermal stratification occurs between upper and lower part of the mantled tank for 2 cases at the end of the operation.

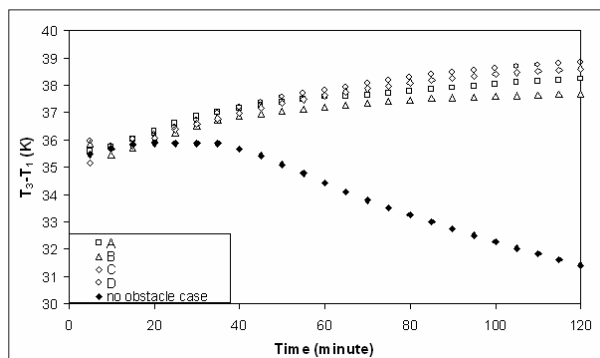


Figure 6. The comparison of T3-T1 distribution for all obstacles

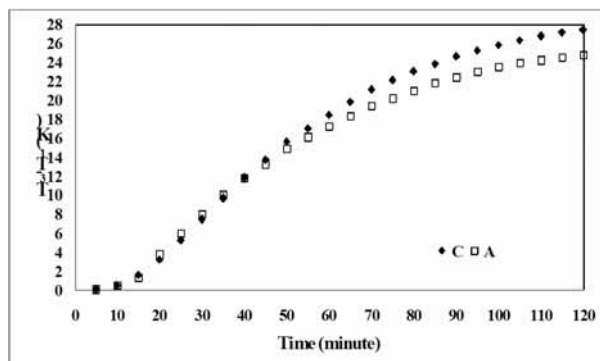


Figure 7. The comparison of T3-T1 distribution in mantled storage tank after 120 min operation period for obstacle A and C.

As shown in Figure 8, temperature of the water exit from tank to collector is higher from without mantle tank. It is obvious that the obstacle C has better thermal stratification than A.

5. Conclusions

The fundamental objective of this study is to investigate the effect of obstacle type on thermal stratification in solar powered domestic both mantled and non mantled hot water storage tanks. A numerical study is performed to determine the best obstacle geometry in order to obtain higher thermal stratification and supply hot water for usage as long as possible. It appears that placing obstacles in the tank provides better thermal stratification in comparison with the no obstacle case. It is obvious from the results that the obstacle C and D provides the best thermal stratification among the other obstacles in the tank.

Acknowledgments

Authors would like to thank for the financial support of the TU-

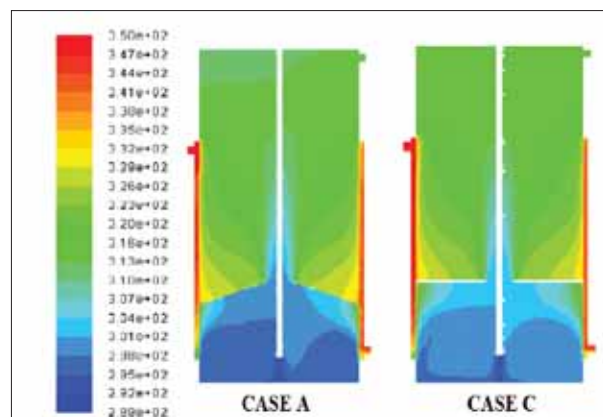


Figure 8. The temperature distribution in mantled storage tank after 120 min operation period.

BİTAK (The Scientific & Technological Research Council of Turkey) under the contract: 106M469.

References

- Altıntop, N., Kilik, Z., Özceyhan, V., Kincay O., 2006. Effect of water inlet velocity on thermal stratification in a mantled hot water storage tank. *Int. J. Energy Res.* 30:163–176. [doi: 10.1002/er.1134]
- Altıntop, N., Arslan M., Özceyhan V., 2004a. Numerical Analysis of the Effect of Using Some Obstacles into Thermal Stratification in Hot Water Tank with Natural Convection. The 5th ISES Europe Solar Conference, Freiburg, Germany.
- Altıntop, N., Arslan, M., Özceyhan, V., 2004b. The Effect of the Water Flow Rate Into Thermal Stratification in Hot Water Storage Tanks. The 5th ISES Europe Solar Conference, Freiburg, Germany.
- Altıntop, N., Arslan, M., Özceyhan, V., Kanoglu, M., 2005. Effect Of Obstacles On Thermal Stratification In Hot Water Storage Tanks. *Applied Thermal Engineering* 25:2285–2298. [doi:10.1016/j.applthermaleng.2004.12.013]
- Andersen, E., Furbo, S., Fan, J., 2007. Multilayer fabric stratification pipes for solar tanks. *Solar Energy* 81:1219–1226. [doi:10.1016/j.solener.2007.01.008]
- Arslan, M., Altıntop, N., Özceyhan, V., 2004. The Effect of Using Different Obstacles Into Thermal Stratification in Hot Water Storage Tank With Forced Convection. The 5th ISES Europe Solar Conference, Freiburg, Germany.
- Arslan M, Altıntop N, Özceyhan V, Kanoglu M., 2006. Optimum Dimensions of an Obstacle Placed in a Hot Water Tank for Thermal Stratification. *Energy Exploration & Exploitation* 23:357–374. [doi: 10.1260/014459805775992708]
- Chung, J.D., Cho, S.H., Taec, S.C., Yoo, H., 2008. The effect of diffuser configuration on thermal stratification in a rectangular storage tank. *Renewable Energy* 33:2236–2245. [doi:10.1016/j.renene.2007.12.013]
- FLUENT 6.1.22, 2001. Fluent Incorporated, Centerra Resource Park, 10, Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, USA.
- Garcia-Valladares, O., Pilatowsky, I., Ruiz, V., 2008. Outdoor test method to determine the thermal behavior of solar domestic

- water heating systems. *Solar Energy* 82:613–622. [doi:10.1016/j.solener.2008.01.005]
- Han, Y.M., Wang, R.Z., Dai, Y.J., in press. Thermal stratification within the water tank. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [doi:10.1016/j.rser.2008.03.001]
- Hegazy, A.A., 2007. Effect of inlet design on the performance of storage-type domestic electrical water heaters. *Applied Energy* 84:1338–1355. [doi:10.1016/j.apenergy.2006.09.014]
- Mazman, M., et al., 2009. Utilization of phase change materials in solar domestic hot water systems. *Renewable Energy* 34:1639–1643. [doi:10.1016/j.renene.2008.10.016]
- Mawire, A., McPherson, M., 2008. Experimental characterisation of a thermal energy storage system using temperature and power controlled charging. *Renewable Energy* 33:682–693. [doi:10.1016/j.renene.2007.04.021]
- Osman, K., Muhammad, S., Al Khairied, N., Ariffin, M.K., Senawi, M.Y., 2008. Dynamic modeling of stratification for chilled water storage tank. *Energy Conversion and Management* 49:3270–327. [doi:10.1016/j.enconman.2007.09.035]
- Shah, L.J., Andersen, E., Furbo, S., 2005. Theoretical and experimental investigations of inlet stratifiers for solar storage tanks. *Applied Thermal Engineering* 25:2086–2099. [doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.01.011]
- Suhas, P.V., 1980. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Pub. Co., New York, pp. 79–109.
- Zachar, A., Farkas, I., Szlivka, F., 2003. Numerical analyses of the impact of plates for thermal stratification inside a storage tank with upper and lower inlet flows. *Solar Energy* 74:287–302. [doi:10.1016/S0038-092X(03)00188-9]

NEW AND EMERGING DEVELOPMENTS IN SOLAR ENERGY

D. Yogi GOSWAMI

John & Naida Ramil Professor and
Co-Director, Clean Energy Research Center

Abstract

Solar Energy can potentially play a very important role in providing most of the heating, cooling and electricity needs of the world. With the emergence of solar photocatalytic oxidation technology, solar energy also has the potential to solve our environmental problems. The photocatalytic technology may also provide security against Chem-Bio attacks on buildings. This presentation describes some of the new and emerging developments, with special emphasis on: (1) Nanoscale antennas for direct conversion of sunlight to electricity with potential conversion efficiencies approaching 80%; (2) New thermodynamic cycles for solar thermal power, that have the potential to reduce capital costs by 50%; and (3) Solar photocatalytic oxidation for cleanup of industrial wastewater, drinking water, soil and for disinfection of indoor air..

(1) Nanoscale Antenna Solar Energy Conversion

The current photovoltaic technologies rely on the quantum nature of light and semiconductors which are fundamentally limited by the band-gap energies. A revolutionary new approach uses the wave nature of light utilizing broadband rectifying antennas for solar radiation to DC conversion. These rectifying antennas (rectennas) would not have the fundamental limitation of semiconductor band-gap limiting their conversion efficiencies. Rectennas for solar conversion would have dimensions of the order of the wavelengths of solar radiation which falls mostly in the sub-micron range. The challenges in actually achieving the objectives are many, however, significant progress has been achieved making the concept viable.

(2) New Thermodynamic Cycles for Solar Thermal Power

It is recognized that the capital costs of solar thermal power will have to be reduced by about 50% in the near future in order to make it competitive with fossil fuels based power systems. Potential exists for meeting this goal by reducing the costs and improving the thermodynamic performance of power cycles by hybridization and combined cycle approaches and by employing new and innovative ideas in thermal power cycles. This presentation describes the new thermodynamic approaches with an emphasis on an innovative new thermodynamic cycle using ammonia and water mixtures as the working fluids.

(3) Solar Photocatalytic Detoxification and Disinfection of Water and Air

Although the potential of solar radiation for disinfection and environmental mitigation has been known for years, only recently has this technology been scientifically recognized and researched. Solar photocatalytic oxidation has been demonstrated to effectively treat groundwater, drinking water, and industrial wastewater. In some applications such as decoloration and reduction of COD it may be the only effective method of treatment. Treatment of indoor air by the photocatalytic method has been demonstrated as the most effective technology for that application. Recent developments have shown its effectiveness against bio-terrorism. This presentation describes the recent developments and identifies challenges and future research opportunities.

A REVIEW ON PROPER WORKING PAIRS FOR SOLAR ADSORPTION HEAT PUMPS

Zeynep Elvan YILDIRIM

Energy Engineering Program, Izmir Institute of
Technology, Urla 35410 Izmir, Turkey

Semra ÜLKÜ

Chemical Engineering Department, Izmir Institute of
Technology, Urla 35410 Izmir, Turkey

Moghtada MOBEDİ

Mechanical Engineering Department, Izmir Institute of Technol-
ogy, Urla 35410 Izmir, Turkey

Abstract

*Rising comfort needs and technological developments lead wide appli-
cation of air-conditioning systems. Solar adsorption heat pumps (SA-
HPs) are devices which can meet design requirements of our century.
The pairs used in SAHPs affect the performance of the device. There-
fore, the selection of proper working pair is an important investigation
topic. In this paper after brief information on working principle of solar
AHP, a review on studies performed on SAHP is done. Adsorption
heat pumps can operate at low pressure by using working pairs such
as silica gel - water or zeolite – water; however the use of active car-
bon - ammonia for high working pressure is also possible. Structures,
thermal and physical properties of the proposed adsorbent-adsorbate
pairs are explained in the paper. The heat of adsorption quantities,
isoster and isotherm equations of these pairs are also presented.*

Keywords: Solar cooling, solar adsorption air-conditioning,
adsorption heat pump, adsorbent – adsorbate pairs

Nomenclature

- P system pressure (Pa)
 P_s saturation pressure (Pa)
q adsorbed amount per adsorbent weight (kg/kg)
 q_0 maximum amount of adsorbate per adsorbent weight (kg/kg)
T temperature (K)
D affinity coefficient of the pair

1. Introduction

The interest in adsorption heat pump was firstly started in the 1970s due to the oil crisis. Later, AHP gained more interest because of ecological problems related to the use of CFC and HCFC refrigerants which deplete the ozone layer and contribute to the greenhouse effect. AHP can recover waste heat at low temperature levels and provide cooling effect [1]. AHP has advantages such as the use of waste heat or solar energy, being environmentally friendly, having no vibration etc, and they have lower operation costs when it is compared with mechanical vapor compression systems.

A basic AHP consists of four main parts: an adsorber, which is a container filled with an adsorbent, a condenser; an evaporator; and

an expansion valve. Basically, AHP operates by cycling adsorbate between adsorber, condenser, and evaporator [2]. In the adsorption heat pump cycle, adsorption phenomena play the same role of mechanical power, and the working fluid can be circulated in the cycle without any mechanical power.

In solar adsorption heat pump, solar energy heats the adsorbent bed, which was saturated with adsorbate beforehand during the day and it reaches to the maximum cycle temperature. This process is called as isobaric desorption process. When the adsorbent bed reaches to condenser pressure, adsorbate leaves the adsorbent bed and it condenses in the condenser. During the condensation, heat is released in the condenser. The condensed adsorbate in SAHP, which is in liquid phase, flows down by the gravity into a liquid receiver or directly into the evaporator. During the night cycle, the adsorbent bed is cooled and therefore its pressure reduces down to the pressure in the evaporator. When the adsorbent bed pressure equals to the saturated vapor pressure of the adsorbate, the evaporation of adsorbate starts in evaporator. This process is called as isobaric adsorption process. The evaporator takes heat from environment during isobaric adsorption process and generates cooling effect for the environment. The cycle will be repeated by sun rise of the following day.

Adsorption heat pump should operate with high coefficient of performance (COP), specific cooling power (SCP) and specific heating power (SHP) values in order to be used in practice. Decision of proper working pair is an important parameter to improve COP and SCP quantities of AHP.

The heat of adsorption released during isobaric adsorption process, latent heat of adsorbate during evaporation, the highest and lowest working temperatures and pressures highly depend on adsorbent-adsorbate working pair. That's why studies on the properties of applicable adsorbent-adsorbate pairs were performed by researchers and reported in literature. In the context of determination of isotherms of adsorbent-adsorbate pairs, San and Lin [3] have studied three working pairs used in AHPs. Among three pairs, the activated carbon – methanol pair was found to lead the highest specific cool-

ing power and coefficient of performance. Silica gel – water pair was found to have a better SCP and COP values than zeolite – water pair. Comparison among the common adsorbent-adsorbate pairs used in adsorption heat was reviewed by Wang et. al [4]. They concluded that silica gel – water pair has advantages such as having low desorption temperature. Activated carbon – methanol pair can be used for freezing processes. Activated carbon – ammonia pair works at high pressures and its cycle time is short. Zeolite – water pair was found to be suitable for high temperatures. Afonso and Silveira [5] investigated the equilibrium conditions of the pair silica gel – water. Gravimetric method was used in the experiments and the maximum amount adsorbed was found as 30.6%. Dawoud and Aristov [6] presented an experimental investigation for the kinetics of water vapor sorption on silica gel and alumina in comparison with the two composites SWS-1L and SWS-1A formed by impregnating these two host matrices with CaCl_2 . They concluded that SWSs had higher adsorption capacity than host materials. However, adsorption time of SWSs was longer. El-Sharkawy [7] et. al. experimentally investigated adsorption uptake of ethanol onto a highly porous activated carbon (AC) based adsorbent, namely Maxsorb III, using a thermo-gravimetric analyzer unit with adsorption temperatures ranging from 20 to 60 °C. They resulted that AC can adsorb up to 1.2 kg of ethanol per kilogram of adsorbent. Their theoretical calculations showed that the AC–ethanol adsorption cycle could achieve a specific cooling effect of about 420 kJ/kg. As a result of the study, the AC-ethanol pair is recommended for solar cooling applications.

Solar energy is widely used to produce hot air or water for using in domestic or industrial applications. However cooling of air or water by solar energy has not found wide application. Due to the advantages of AHP, solar cooling by AHP has gained attentions of researchers in recent years. Some theoretical and experimental studies on SAHP for cooling purposes reported in the literature. Li et. al. [8] performed an experimental study and they constructed a flat-plate solid-adsorption refrigeration ice maker with a solar adsorbent bed collector of 1.5 m². The active carbon-methanol pair was used in their study. The adsorbent bed was constructed of two flat-plate collectors. They simulated solar radiation by quartz lamps. The device produced 7–10 kg of ice after receiving 28–30 MJ of radiation energy. The average refrigeration COP value of the device was found as 0.13. Sumathy and Zhongfu [9] performed an experimental study on a solar-powered ice-maker with adsorbent-adsorbate pair of activated carbon-methanol. They used a collector having an exposed area of 0.92 m² to produce ice of about 4-5 kg/day. Device could achieve solar refrigeration COP of about 0.1-0.12. Lemmini and Errougani [10] performed experiments with a solar adsorption refrigerator built using the pair activated carbon–methanol. The refrigerator could perform successfully even in rainy and cloudy days and the temperatures achieved by the unit could be less than -11 °C. The COP ranges were around 5-8% for a solar input between 12 and 28 MJ/m² at an average ambient temperature around 20 °C. Lou et. al. [11] performed experiments with a solar adsorption chiller consisting four subsystems, which are a solar water heating unit with 49.4 m², a silica gel–water adsorption chiller, a cooling tower and a fan coil unit. Chiller could produce 14–22 °C

chilled air. Its daily solar cooling COP was found to be 0.1–0.13. Chang et. al. [12] studied on design and performance of a solar powered system for heating and cooling working with silica gel–water pair. Adsorber, evaporator and condenser sections were plate fin and tube heat exchangers. By the experimental study; 9 kW of cooling power, 72 W/kg of SCP and 0.37 of COP values were achieved. Zhai and Wang [13] designed and performed a solar adsorption cooling system which can be switched between a system with heat storage and a system without heat storage. In the system with heat storage, a heat storage water tank was employed as the link between the solar collector circulation and the hot water circulation for the adsorption chillers. They resulted that system with heat storage operated durably because of the regulating effect by the heat storage water tank. The cooling effect of the system without heat storage was similar to that of the system with heat storage. The system without heat storage was found to have the advantages of higher solar collecting efficiency as well as higher electrical COP.

The studies on SAHPs are going on in order to achieve better results all over the world. Since the main component of the device is the adsorbent bed, the adsorption pair performance and properties should be investigated in details. The aim of this study is to overview the properties of pairs which may commonly be used in SAHPs in order to select the proper pair according to the duty of the device.

2. Adsorption Phenomena

Adsorption is the selective transfer of solute from a fluid to a fluid-solid interphase, where the solute (adsorbate) molecules are held by the forces that emanate from the solid (adsorbent) surface. Adsorption process creates a film of the adsorbate around the adsorbent particle surface. The interaction between two phases occurs mostly by Van der Waals forces and electrostatic interactions.

Adsorbents are described as the substances, usually porous in nature and with a high surface area that can adsorb a fluid onto their surfaces by intermolecular forces. Since adsorption is a surface phenomenon, solids with very large specific surface areas are likely to be useful; this high surface area can be provided by solid particles having porous structure [14]. Adsorbents may be categorized into three main groups considering their pore sizes (by IUPAC). Macroporous adsorbents are the ones having pore diameter smaller than 20 Å (10^{-10} m). Mesoporous adsorbents have an average pore diameter between 20 and 500 Å. Microporous adsorbents have pore diameter greater than 500 Å [15].

After flow through external film layer, the mass transfer of adsorbate flow through the porous adsorbent particle is approached as diffusion process since convective flow through the pores is negligible. Diffusion process may be controlled by macropore diffusion, micropore diffusion or surface diffusion mechanisms. Polarity of adsorbent and adsorptive, molecular structure of adsorptive, pore structure of adsorbent and process conditions may affect these mechanisms.

Adsorption is an exothermic process and while adsorption is going on, heat, called as heat of adsorption, is evolved. With adsorbents having ionic structure and with polar adsorbates, heat of adsorption is considerably high. This is related to the contribution of electrostatic interactions in addition to Van der Waals forces. For a given pair, heat released is subject to change with adsorbate loading, temperature and pressure [16]. Heat of adsorption is an important parameter on selection of the proper pair. High heat of adsorption is an advantage especially for the energy storage purposes.

Adsorption equilibria between adsorbents and adsorbates can be estimated by various theoretical and empirical approaches proposed. Experimental adsorption equilibria can be represented by equilibrium plots such as; adsorption isotherms, isosters and isobars. The plot of amount adsorbed as a function of pressure at constant temperature represents the adsorption isotherm. Adsorption isoster is the plot of pressure as a function of temperature when the adsorbed amount is constant. On the other hand, the plot of adsorbed amount as a function of temperature at constant pressure illustrates the adsorption isobar. For AHPs, the most common method of presenting data is the form of plotted isosters.

3. Requirements For Adsorbent-Adsorbate Pairs

The selection of appropriate adsorbent-adsorbate pair is vitally important for a SAHP system. The adsorbent and adsorbate requirements should be known well in order to achieve high performance. Besides, to decide on the pair that can be used in a SAHP, the adsorbent and adsorbate properties should be known well. Thermo-physical requirements for an adsorbent in order to be used in an AHP can be listed as; high adsorption capacity, high thermal conductivity and diffusivity, quick response of adsorption capacity to temperature change, thermal stability, good compatibility with adsorbate, high mass diffusivity. The thermo-physical properties of a proper adsorbate which should be considered are latent heat, freezing and boiling point, saturation vapor pressure, viscosity, toxicity, and thermal stability [17].

After decision on adsorbent and adsorbates, the behavior of pair and interaction between them due to adsorption should be investigated. The adsorption and desorption temperatures and maximum adsorption capacity as well as evaporation and condensation temperatures, hysteresis upon thermal cycling, cyclic repeatability, heat of adsorption, diffusion rate of adsorbate in adsorbent particle and isotherm type should be the considering features for selection of a proper adsorbent-adsorbate pair [18].

4. Common Adsorbent-Adsorbate Pairs Used In Sahp

4.1 Structure and Properties of Common Adsorbents and Adsorbates

Most common commercial adsorbents used in SAHPs are zeolite, silica gel, active carbon and activated alumina. Silica gel is a rigid, continuous net of colloidal silica, connected to very

small grains of hydrated SiO_4 . The hydroxyl in the structure is the adsorption center because it has a polar structure and can form hydrogen bonds with polar oxides, such as water and alcohol [19]. The adsorption ability of silica gel increases when the polarity increases. It is available in various pore sizes, and the smaller the pore size the greater is the surface area per unit mass [20]. Its average pore diameter is 30 Å. It has an average surface area of 600 m^2/g . It has 0.180 W/mK of thermal conductivity. The structure and adsorption mechanism of an adsorbent are based on its type. So, the selection of type of adsorbent is also important. Type A and type RD silica gels are more suitable for SAHPs. They have larger specific surface area and their thermal conductivity is greater. [21, 22]. Silica gel retains chemically bonded traces of water (about 5%). If it is overheated and loses this water, its adsorption capacity is completely lost and therefore it is generally used in temperature applications under 200 °C [23]. Zeolite molecular sieves are microporous adsorbent and the pore sizes are uniform throughout the particle. The regularity of their pore size structure makes them especially convenient for adsorption applications. They have high surface area such as 800-1000 m^2/g . They can adsorb polar and non-polar molecules if appropriate conditions are provided; and they can adsorb water vapor with high heat of adsorption even at very low concentrations [14, 18]. Zeolite 13X is used mostly in case of its high adsorption capacity and heat of adsorption which is about 4400 kJ/kg when it is used with water. The zeolites are usually employed in adsorption air conditioner systems with a heat source between 200-300 °C. Activated carbons are produced through the activation of carbonaceous materials such as coal, wood, nut shell and high polymers. Powdered or granular forms, convenient for different commercial purposes, are available. Activated carbons mostly have a microporous structure. The average specific surface area of activated carbon is approximately 1000 m^2/g . [14, 24].

Most common adsorbates used in SAHPs are water, ammonia, methanol and ethanol. Ammonia is a positive pressure adsorbate having boiling point below -10 °C at 1 atm. It can be used with active carbon and AC fiber. The other adsorbates are vacuum refrigerants. Methanol is mostly used in ice making applications due to its low freezing point. It has low adsorption heat and high latent heat of vaporization. Methanol is a highly toxic material; this property makes its usage harder. Water vapor could be considered as a perfect refrigerant, except for the impossibility to produce temperatures below 0 °C. Water is generally employed as a pair with silica gel or zeolite.

4.3 Common pairs

The structures and properties of common adsorbents and adsorbates are presented in details in previous section. The affinity of the pair for each other should be high in order to provide an efficient adsorption. The most common pairs used in SAHPs are AC-methanol, AC-ammonia, zeolite-water, and silica gel-water.

4.3.1 Active Carbon – Methanol

Active carbon-methanol pair is the most common pair used in so-

lar adsorption applications because of its high cyclic adsorption capacity. The pair possesses a high vapor pressure in the adsorbent bed. A higher vapor pressure would result a larger overall heat transfer coefficient. As soon as the heat transfer coefficient increases, cycle time decreases. The desorption temperature of this pair is low. It has been reported that maximum COP for the devices using activated carbon is achieved when it is paired off with methanol [17]. The working temperature range of AC-methanol pair is small. Over 150°C, activated carbon would catalyze methanol to decompose into dimethyl ether. Activated carbon has a very low thermal conductivity which is near to thermal conductivity of insulation materials.

4.3.2 Active Carbon – Ammonia

AC – ammonia pair works at high pressure such as 1.6 MPa, unlike other pairs. Systems using this pair should be designed bearing high pressures. Working at high pressure has an advantage as shortening the adsorption time due to increasing mass transfer. This pair was not preferable previously, because of toxicity of ammonia and its irritant smell. And even at low concentrations, ammonia is a corrosive chemical. But recently, activated carbon – ammonia is a promising pair due to the high cooling capacity of ammonia, good heat and mass transfer performance and suitability for high temperature heat sources [17].

4.3.3 Silica Gel – Water

Since early 1980s, the work on silica gel – water systems have been popular and a lot of work was carried out. Silica gel-water is a low temperature working pair, which can be driven by about 75 °C heat source. Under low pressures, the water uptake in silica gel is small. Therefore the evaporating temperature should not be too low. Silica gel-water refrigeration system is better to be applied in the air-conditioning with large circulation flow rate of chilled water, where a higher evaporating temperature can be used [17]. The heat of adsorption for this pair is about 2500 kJ/kg and the desorption temperature is lower than other pairs. The maximum adsorption capacity is about 25%, as an average quantity, which is a small amount. And there is an impossibility to work at temperatures below 0 °C [19].

4.3.4 Zeolite – Water

The adsorption heat for zeolite – water pair is higher than that of silica gel – water pair, and is about 2700-4200kJ/kg. The zeolite – water pair is stable at high temperatures. Hence, this pair can be used to recover heat above 200°C. The disadvantages of this pair are similar to the disadvantages of the pair silica gel/water: impos-

sibility to produce evaporation temperatures below 0 °C and bad mass transfer performance due to the low working pressure. Due to the high value of adsorption heat and high desorption temperature, for a heat source with same power, the cycle time for the pair zeolite/water is longer than that of other pairs [20].

Table 1. Thermo-physical Properties of Common Adsorbent-Adsorbate Pairs [25]

Adsorbent – Adsorbate	Maximum Adsorption Capacity (kg/kg)	Average Heat of Adsorption (kJ/kg)	Adsorbent Specific Heat (kJ/kg)	Energy Density (kJ/kg)	Temperature Range (°C)
Zeolite 4A – Water	0.22	4400	1.05	1250	30-350
Zeolite 5A – Water	0.22	4180	1.05	1200	30-350
Zeolite 10A – Water	0.20	4000	-	897	50-250
Zeolite MgA – Water	0.29	3400	1.06	800	60-250
Zeolite 13X – Water	0.27	-	0.84	930	20-300
Zeolite 13X – Water	0.27	3400	1.06	1200	30-350
Zeolite 13X – Water	0.30	4400	0.92	1290	30-350
Activated Carbon – Methanol	0.32	1400	0.9	590	20-140
Silica Gel – Water	0.27	2560	0.88	1000	30-150
Silica Gel – Water	0.20	2500	1.045	600	20-130

The thermo-physical properties of common adsorbent -adsorbate pairs used in SAHPs are shown in **Table 1**.

As an overview of Table 1, it could be seen that the maximum adsorption capacity among all pairs is achieved by AC-methanol pair. Zeolite-water pair has high heat of adsorption quantities. The working temperature range is small for silica gel-water pair due to structure of silica gel. The properties for the pair vary according to the type of adsorbent selected. Even the same type of an adsorbent may vary according to the manufacturer. Silica gel-water or zeolite 13X-water pairs are presented with different thermo-physical properties in the table. This is due to the change on structure of adsorbent in case they are produced by different manufacturers.

5. Equilibria Equations For Common Adsorbent-Adsorbate Pairs

As it was mentioned before, the equilibrium characteristic of adsorbent-adsorbate can be mathematically presented by isotherm, isoster and isobar equations. Although isoster is widely used to show the cycle of an AHP, isotherms may be easier to represent the behavior of pair at even very low or high pressure and temperatures.

There is no doubt that isosteric and isobaric behavior of adsorbent-adsorbate pairs can be determined from isotherm equation. The equilibrium characteristic of various adsorbent-adsorbates is different with each others. That's why a general equilibria equation has not been found to be applied to all pairs. Generally, a convenient model, which represents equilibrium characteristic of pair by the best way, is adapted to obtained experimental re-

sults. Among different models, Dubinin-Astakhov, Langmuir, and Freundlich models are the commonly used equations to calculate equilibria for SAHP pairs. Henry's law and Toth's equation models are also used to represent adsorbed amount quantities in adsorption. Adsorption in micropores is usually calculated by Dubinin-Astakhov equations. Since zeolite and activated carbon have microporous structures, the mentioned equation is mostly used for these pairs. Freundlich equation is commonly used to describe the equilibria of the pair silica gel-water. There are several models used in literature to represent the equilibria state of pairs. The equations mostly used in adsorption pairs are listed in Appendix section. The coefficients of the equations were estimated by the data taken from experimental studies, in the literature.

6. Conclusions

Adsorption heat pump is a thermal driven heat pump and requires heat energy to transfer heat from low level to high level temperature. Solar energy sourced AHP is an improving research topic since it is an environmental friendly device and has advantages such as: simple control, no vibration and lower operation costs. The performance of SAHP is influenced by the working pair used. In order to choose an adsorbent-adsorbate pair, the thermo physical properties, and equilibrium characteristic of adsorbent-adsorbate and should be known well. Thus, properties of adsorbents such as thermal conductivity, thermal diffusivity, and structural features such as pore size, surface area, and pore volume as well as properties of adsorbates such as latent heat, freezing point, toxicity, and viscosity should be known.

The behaviors of common pairs are reviewed in this paper. The study shows that the activated carbon-methanol pair can be used for ice-making applications, due to low freezing point of methanol. Its maximum adsorption capacity is lower than zeolite-water pair, but higher than silica gel-water pair. It is a suitable pair for SAHP since its working temperature range is low. The heat of adsorption of this pair is lower than others. So, AC-methanol pair is applicable except the SAHP applications with energy storage. It is reported in the literature that activated carbon-methanol pair has the highest COP quantities in ice-making applications. Due to the toxicity of methanol, ethanol is used instead of methanol in some studies. However the efficiency of the device was found to be approximately five times lower than the activated carbon-methanol pair. Silica gel-water pair has advantages such as availability of the refrigerant: and it is preferable due to its low desorption temperature. It is a suitable pair for low temperature sources. It is widely used in solar air-conditioning. It has low adsorption capacity when compared with other pairs. The pair, unfortunately, is not suitable for applications under 0 °C, because of water's freezing point. Zeolite-water pair is effective at high temperatures. Since it has high heat of adsorption, it is preferable for energy stored solar heat pump applications. It has similar disadvantages with silica gel-water pair as impossibility to work at sub-zero conditions. The solar cooling systems using silica gel- water, activated carbon-methanol or zeolite-water pairs should work under vacuum conditions. In the construction of these devices, it is essential that the system must be completely leak-proof. Activated carbon-ammo-

nia pair works at high pressures such as 1.6 MPa, the construction is the refrigerator is easier than those with other pairs. But the high toxicity and irritant smell of ammonia makes the pair harder to use in all applications. There are also new working materials for using in SAHP applications being investigated in recent years. The composite or consolidated adsorbent technologies are being studied. The consolidated adsorbents are produced by impregnating salt based chemicals into host materials such as silica gel or activated carbon. All these studies are performed in order to produce better adsorbents and thus to increase the performance of solar adsorption devices.

7. References

1. Ülkü, S., "Adsorption Heat Pumps", Journal of Heat Pumps, Journal of Heat Recovery Systems, Vol. 6, pp. 277-284, 1986
2. Demir H., Moghtada M., Ülkü S., "A review on adsorption heat pump: Problems and solutions", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007
3. San J., Lin W., "Comparison among three adsorption pairs for using as the working substances in a multi-bed adsorption heat pump", Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 988-997, 2008
4. Wang L. W., Wang R.Z., Oliveira R. G., "A review on adsorption working pairs for refrigeration, Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 13, pp. 518-534, 2009
5. Afonso M. R. A., Silveira J. V., "Characterization of equilibrium conditions of adsorbed silica gel-water bed according to Dubinin-Astakhov and Freundlich", Thermal Engineering, Vol. 4, pp. 3-7, 2005
6. Dawoud B., Aristov Y., "Experimental study on the kinetics of water vapor sorption on selective water sorbents, silica gel and alumina under typical operating conditions of sorption heat pumps", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 46, pp. 273-281, 2003
7. El-Sharkawy I. I., Saha B. B., Koyama S., He J., Ng K. C., Yap C., "Experimental investigation on activated carbon-ethanol pair for solar powered adsorption cooling applications", International Journal of Refrigeration, Vol. 31, pp. 1407-1413, 2008
8. Li M., Wang R. Z., Xu Y. X., Wu J. Y., Dieng A. O., "Experimental study on dynamic performance analysis of a flat-plate solar solid-adsorption refrigeration for ice-maker", Vol. 27, pp. 211-221, 2002
9. Sumathy K. and Zhongfu L., "Experiments with solar-powered adsorption ice-maker", Renewable Energy, Vol. 16, pp. 704-707, 1999
10. Lemmini F., Errougani A., "Experimentation of a solar adsorption refrigerator in Morocco", Renewable Energy, Vol. 32, pp. 2629-2641, 2007
11. Luo H.L., Dai Y.J., Wang R.Z., Wu J.Y., Xu Y.X., Shen J.M., "Experimental investigation of a solar adsorption chiller used for grain depot cooling", Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 2100-2105, 2009
12. Chang W. S., Wang C. C., Shieh C. C., "Design and performance of a solar-powered heating and cooling system using

- silica gel-water adsorption chiller", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 2100-2105, 2009
13. Zhai X. Q., Wang R. Z., "Experimental investigation and performance analysis on a solar adsorption cooling system with/without heat storage", *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 824-835, 2009
 14. Ülkü S., "Heat and mass transfer in adsorbent beds", *Convective Heat and Mass Transfer in Porous Media*, Kluwer Academic Pub., pp.719-748, 1991
 15. Suzuki M., "Adsorption Engineering", Kodansa, Tokyo, 1990
 16. Ülkü S., "Solar adsorption heat pumps", *Solar Energy Utilization Fundamentals and Applications*, Martinus Nijhoff Pub. Netherlands, Vol.129, pp. 424-434, 1987
 17. Wang D.C., Li Y.H., Li D., Xia Y. Z., Zhang J. P., "A review on adsorption refrigeration technology and adsorption deterioration in physical adsorption systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, 344-353, 2009
 18. Gregg S.J., Sing K. S. W., "Adsorption surface area and porosity", Academic Press, London, 1982
 19. Rouquerol F., Rouquerol J., Sing K., "Adsorption by powders and porous solids", Academic Press, London, 1999
 20. Wang L.W., Wang R.Z., Oliveira R.G., "A review on adsorption working pairs for refrigeration", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, pp. 518-534, 2009
 21. Srivastava N.C., Eames I.W., "A review of adsorbents and adsorbates in solid-vapor adsorption heat pump systems", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 18, pp. 707-714, 1998
 22. Ng K. C., Chua H. T., Chung C. Y., Loke C. H., Kashiwagi T., Akisawa A., Saha B. B., "Experimental investigation of the silica gel-water adsorption isotherm characteristics", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, pp. 1631-1642, 2001
 23. Chua H. T., Ng K. C., Chakraborty A., Oo N. M., Othman M. A., "Adsorption characteristics of silica gel - water systems", *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 47, pp. 1177-1181, 2002
 24. Sumathy K., Yeung K.H., Yong L., "Technology development in the solar adsorption refrigeration systems", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 29, Issue 4, pp. 301-327, 2003,
 25. Ülkü S., Mobedi, M., "Adsorption in Energy Storage", *Energy Storage*, Kluwer Academic Pub., Vol. 167, pp. 487-507, 1989
 26. Amar N. B., Sun L. M., Meunie F., "Numerical analysis of adsorptive temperature wave regenerative heat pump", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 16, pp. 405-418, 1996
 27. San J. Y., Lin W. M., "Comparison among three adsorption pairs for using as the working substances in a multi-bed adsorption heat pump", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 28, pp. 988-997, 2008
 28. Liu Y., Leong K. C., "Numerical study of a novel cascading adsorption cycle", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, pp. 250-259, 2006

Summary

Rising comfort needs and technological developments lead wide application of air-conditioning systems. A basic adsorption heat pump consists of four main parts: an adsorber, which is a container filled with an adsorbent (such as zeolite, active carbon,

silica gel, etc.); a condenser; an evaporator; and an expansion valve. It is a thermally driven heat pump and requires heat energy to transfer heat from low level to high level heat reservoirs. The heat energy supplied to the adsorption heat pump can be waste heat of an industrial process, heat of geothermal energy sources or solar energy. It can be a useful equipment to increase the performance of thermal systems in industry. Solar adsorption heat pump has advantages such as the use of solar energy, being environmental friendly, having no vibration and lower operation costs when it is compared with mechanical vapor compression systems. The pairs used in solar adsorption heat pumps affect the performance of device. So, the selection of proper working pair is an important investigation topic. As the pair behavior, the adsorbent and adsorbate properties are also important separately. In this paper after brief information on working principle of solar adsorption heat pump, a review on studies performed on solar adsorption heat pump is done. The review showed that the activated carbon-methanol pair can be used for ice-making applications, due to low freezing point of methanol. It is a suitable pair for SAHP since its working temperature range is low. The heat of adsorption of this pair is lower than others. So, AC-methanol pair is applicable except the SAHP applications with energy storage. Silica gel-water pair has advantages such as availability of refrigerant and it is preferable due to its low desorption temperature. It is a suitable pair for low temperature sources. It is widely used in solar air-conditioning. It has low adsorption capacity when compared with other pairs. The pair, unfortunately, is not suitable for applications under 0 °C, because of water's freezing point. Zeolite-water pair is effective at high temperatures. Since it has high heat of adsorption quantities, it is preferable for energy stored solar heat pump applications. It has similar disadvantages with silica gel-water pair as impossibility to work at sub-zero conditions. The solar cooling systems using silica gel- water, activated carbon-methanol or zeolite-water pairs should work under vacuum conditions. In the construction of these devices, it is essential that the system must be completely leak-proof. Activated carbon-ammonia pair works at high pressures such as 1.6 MPa, the construction is the refrigerator is easier than those with other pairs. However the high toxicity and irritant smell of ammonia makes the pair harder to use in all applications.

APPENDIX

Appendix A.. Equilibria equations used for common pairs

Zeolite NaX – Water [26]	Three-term Langmuir Equation $q = \frac{q_{s_1} b_1 P}{1 + b_1 P} + \frac{q_{s_2} b_2 P}{1 + b_2 P} + \frac{q_{s_3} b_3 P}{1 + b_3 P}$ $q_{s_1} = \sum_{i=0}^3 \frac{a_i}{T^i}; \quad q_{s_2} = \sum_{i=0}^3 \frac{c_i}{T^i}; \quad q_{s_3} = 0.276 - q_{s_1} - q_{s_2}$ $b_i = b_{0i} \exp\left(\frac{E_i}{T}\right); \quad (i = 1, 2, 3)$ <table><tr><th colspan="4">Coefficients of zeolite NaX-water</th></tr><tr><td>$a_0 = 0.070$</td><td>$c_0 = -0.687$</td><td>$b_{01} = 1.508 \times 10^{-10}$</td><td>$E_1 = 7726.58$</td></tr><tr><td>$a_1 = -1.199 \times 10^2$</td><td>$c_1 = -7.757 \times 10^5$</td><td>$b_{02} = 5.417 \times 10^{-10}$</td><td>$E_2 = 6074.71$</td></tr><tr><td>$a_2 = 6.369 \times 10^4$</td><td>$c_2 = -2.542 \times 10^5$</td><td>$b_{03} = 1.707 \times 10^{-10}$</td><td>$E_3 = 5392.17$</td></tr><tr><td>$a_3 = -8.450 \times 10^6$</td><td>$c_3 = 2.775 \times 10^7$</td><td></td><td></td></tr></table>	Coefficients of zeolite NaX-water				$a_0 = 0.070$	$c_0 = -0.687$	$b_{01} = 1.508 \times 10^{-10}$	$E_1 = 7726.58$	$a_1 = -1.199 \times 10^2$	$c_1 = -7.757 \times 10^5$	$b_{02} = 5.417 \times 10^{-10}$	$E_2 = 6074.71$	$a_2 = 6.369 \times 10^4$	$c_2 = -2.542 \times 10^5$	$b_{03} = 1.707 \times 10^{-10}$	$E_3 = 5392.17$	$a_3 = -8.450 \times 10^6$	$c_3 = 2.775 \times 10^7$		
Coefficients of zeolite NaX-water																					
$a_0 = 0.070$	$c_0 = -0.687$	$b_{01} = 1.508 \times 10^{-10}$	$E_1 = 7726.58$																		
$a_1 = -1.199 \times 10^2$	$c_1 = -7.757 \times 10^5$	$b_{02} = 5.417 \times 10^{-10}$	$E_2 = 6074.71$																		
$a_2 = 6.369 \times 10^4$	$c_2 = -2.542 \times 10^5$	$b_{03} = 1.707 \times 10^{-10}$	$E_3 = 5392.17$																		
$a_3 = -8.450 \times 10^6$	$c_3 = 2.775 \times 10^7$																				
Zeolite 13X – Water [27]	$\ln(P) = a(q) + [b(q) / T] \quad (P \text{ in mbar, } T \text{ in K}) \quad (Eqn. 2)$$a(q) = a_0 + a_1 q + a_2 q^2 + a_3 q^3$$b(q) = b_0 + b_1 q + b_2 q^2 + b_3 q^3$<table><tr><th colspan="4">Coefficients of zeolite 13X-water</th></tr><tr><td>a_0</td><td>a_1</td><td>a_2</td><td>a_3</td></tr><tr><td>13.4244</td><td>110.854</td><td>-731.76</td><td>1644.8</td></tr><tr><td>b_0</td><td>b_1</td><td>b_2</td><td>b_3</td></tr><tr><td>-7373.78</td><td>6722.92</td><td>5624.47</td><td>-3486.7</td></tr></table>	Coefficients of zeolite 13X-water				a_0	a_1	a_2	a_3	13.4244	110.854	-731.76	1644.8	b_0	b_1	b_2	b_3	-7373.78	6722.92	5624.47	-3486.7
Coefficients of zeolite 13X-water																					
a_0	a_1	a_2	a_3																		
13.4244	110.854	-731.76	1644.8																		
b_0	b_1	b_2	b_3																		
-7373.78	6722.92	5624.47	-3486.7																		
Active Carbon –Methanol [26, 27]	$\ln(P) = a(q) + [b(q) / T] \quad P \text{ in mbar, } T \text{ in K}) \quad (Eqn. 2)$$a(q) = a_0 + a_1 q + a_2 q^2 + a_3 q^3$$b(q) = b_0 + b_1 q + b_2 q^2 + b_3 q^3$<table><tr><th colspan="4">Coefficients of active carbon-methanol</th></tr><tr><td>a_0</td><td>a_1</td><td>a_2</td><td>a_3</td></tr><tr><td>203.305</td><td>653.035</td><td>-166.841</td><td>523.793</td></tr><tr><td>b_0</td><td>b_1</td><td>b_2</td><td>b_3</td></tr><tr><td>-6003.58</td><td>6315.16</td><td>-26058.7</td><td>40537.9</td></tr></table> Dubinin-Astakhov Equation $q = q_0 \exp\left[-D\left(T \ln \frac{P_0}{P}\right)^n\right] \quad (Eqn. 3)$ $q_0 = 0.549 \quad D = 1.617 \times 10^{-6} \quad n = 2$	Coefficients of active carbon-methanol				a_0	a_1	a_2	a_3	203.305	653.035	-166.841	523.793	b_0	b_1	b_2	b_3	-6003.58	6315.16	-26058.7	40537.9
Coefficients of active carbon-methanol																					
a_0	a_1	a_2	a_3																		
203.305	653.035	-166.841	523.793																		
b_0	b_1	b_2	b_3																		
-6003.58	6315.16	-26058.7	40537.9																		

Active Carbon – Ammonia [19]	Dubinin-Astakhov Equation $q = q_0 \exp \left[-k \left(\frac{T}{T_s} - 1 \right)^n \right]$$q_0 = 0.29 \quad k = 3.57 \quad n = 1.38$ (Eqn. 4)															
Silica Gel –Water [26]	Freundlich Equation $q = q_0 \left(\frac{P}{P_s} \right)^{1/k}$$q_0 = 0.346 \quad k = 1.6$ (Eqn. 5)															
	$P / P_s = (2.112q)^{[1+0.2843 \exp(-10.28q)]} x (29.91P_s)^{[0.2843 \exp(-10.28q)]}$ (Eqn. 6) P in atm															
Silica Gel –Water [19]	Dubinin-Astakhov Equation $q = q_0 \exp \left\{ -D \left[T \cdot \ln \left(\frac{P_s}{P} \right) \right]^n \right\}$$q_0 = 0.35 \quad D = 6x10^{-6} \quad n = 1.7$ (P in kPa) (Eqn. 6)															
Saturation Pressure [27, 28]	$\ln(P_s) = a + b(T_s)$ (Eqn. 7) <table><tr><th colspan="3">Constants for saturation pressure equation</th></tr><tr><th></th><th>a</th><th>b</th></tr><tr><td>Water</td><td>25.1948</td><td>5098.26</td></tr><tr><td>Ammonia</td><td>23.03</td><td>2748.39</td></tr><tr><td>Methanol</td><td>20.84</td><td>4696</td></tr></table>	Constants for saturation pressure equation				a	b	Water	25.1948	5098.26	Ammonia	23.03	2748.39	Methanol	20.84	4696
Constants for saturation pressure equation																
	a	b														
Water	25.1948	5098.26														
Ammonia	23.03	2748.39														
Methanol	20.84	4696														

PLANLAMADA VE YAPILAŞMADA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI VE GÜNEŞ ENERJİSİ: MEVCUT YASAL DÜZENLEMELER, İLAVE TEDBİRLER

Osman İYİMAYA

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü

Zümrüt KAYNAK

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü

Bu bildiri ile planlamada ve yapılaşmada, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından üstlenilen sorumluluklar ve yetkiler tanımlanmakta, yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin kullanımını sağlamak amacıyla oluşturulan mevcut olan yasal ve yönetsel yöntemler tarif edilmektedir. Ayrıca; enerjinin etkin ve verimli kullanımını sağlamak amacıyla oluşturulmuş olan enerji kimlik belgesine ilişkin bilgiler verilmektedir. Güneş enerjisinin yerleşmelerde ve yapılarda etkin ve verimli kullanılması için gerekli yöntemler tarif edilmekte, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesinde büyük önem taşıdığı değerlendirilen "Sıfır Karbon Kentler" için gerekli donanımlar ile ulusal ve uluslararası uygulama örneklerine yönelik açıklamalarda bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Planlama, Yapılaşma, Güneş Enerjisi, Mevzuat, Uygulama

Enerji arz ve güvenliği konularının yanı sıra, enerjinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için geleneksel enerji kaynakları olan petrol, kömür ve hatta doğal gaz kullanımının yerini temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgâr, dalga ve hidrojen enerjileri almaya başlamıştır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği; ekolojik dengeleri derinden sarsan, insanların olağan yaşam alanlarını daraltan, hızlı bir şekilde mücadele edilmesi zorunlu olan, çevrenin ve enerjinin sürdürülebilirliğinin birlikte ele alınmasını gerektiren diğer bir küresel olay olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji ve çevrenin sürdürülebilirliğinin sağlanmasına ilişkin önlemler, bu güne kadar uygulanan yöntemlerin yeniden ele alınmasını, önceliklerin ve tercihlerin gelişen olaylara göre şekillenmesini, yaşamın yeni koşullar da dikkate alınarak biçimlenmesini gerektirmektedir.

Birleşmiş Milletler "Dünya Kentleşme Beklentileri" Raporuna göre 2008 yılı sonunda kentlerde yaşayanların toplam dünya nüfusunun yarısına ulaşacağı öngörülmekte, 2050 yılında ise dünya nüfusunun yaklaşık %70'nin kentlerde yoğunlaşacağı tahmin edilmektedir [1]. 1950'li yıllardan itibaren hızlı bir kentleşme sürecine giren Türkiye'de, ülke fiziki planı ve bölge planlarının olmayışı da, sektörlerin ülke genelindeki dağılımını ve kaynak kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

Planların; sadece fiziksel plan olarak algılanması ve yapılması, enerji-ulaşım-su-kanalizasyon gibi altyapı elemanlarının mekansal planlar ile birlikte bütüncül olarak planlanmaması ve planların yapım ve onaylanması süreçlerinde birden fazla kamu kurumunun yetkili olması, kaynakların dengeli kullanılmasına engel olmaktadır.

Ülkemizde; ulusal, bölgesel ve yerel düzeyde yerleşmelere yönelik mekânsal politikaların üretilmesinde, kamu kurum ve kuruluşları arasında eşgüdümün sağlanmasında, sektörlerin yönlendirilmesinde, yerleşmelere özgü politikaların üretilmesinde ve yerleşmelerin mevcut durumlarını gösteren envanterin hazırlanması, izlenmesi ve periyodik olarak raporlanmasında sorunlar bulunmaktadır. Yerel yönetimlerin artan görev ve sorumluluklarına rağmen, gerek nitelikli eleman, gerekse proje üretimi açısından yetersiz olan yerel yönetimlerin özellikle planlama, imar ve mühendislik alanlarında görev alan personelin bilgi ve becerilerinin artırılmasında ve verilen hizmet kalitesinin iyileştirilmesinde de sorunlar yaşanmaktadır.

Sadece kentsel alanların değil aynı zamanda kırsal alanlarında etkin ve verimli biçimde bütünlük olarak planlanması temel ihtiyaçlar arasında yer almaktadır. Nitekim "Güneş Enerjisi Araştırma Merkezi Proje Koordinatörü Prof. Dr. Raşit Turan; 900 kilometre karelik bir alanın güneş panelleri ile kaplanması halinde Türkiye'nin bütün enerji ihtiyacının karşılanacağını ifade etmektedir [2].

Bildirinin bundan sonraki bölümünde; Enerji Politikaları kapsamında Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yürütülen enerji verimliliğine ve güneş enerjisine ilişkin çalışmalar, Bakanlığın görev, yetki ve uygulamaları kapsamında aktarılmaya çalışılacaktır.

Enerji Politikaları Kapsamında, Planlama ve Yapılaşmada, Bayındırlık ve İskân Bakanlığının Enerji Verimliliğine İlişkin Görev, Yetki ve Uygulamaları

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca çalışmalarına hız verilen alternatif enerji modelleri arasında, güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılmasına ilişkin modellere yer verildiği görülmektedir. Söz konusu Bakanlık tarafından, "Güneş Enerjisi Yasası" düzenlemelerinin yapılacağı belirtilmekte, çatılarda kiremit kullanımı yerine kullanılacak olan Güneş Panelleri ile üretilen enerji 500 megavata kadar kısmının, sitenin kendi kullanımına imkân sağlayacağı ifade edilmektedir. Üretimden artı kalan kısım ise devlete satılabilecektir [3]. Belediyeler ile işbirliğine gereksinim olan bu uygulamada, yapı projelerinin hazırlanmasına esas teşkil eden ruhsat aşamasında Bakanlığımızca da yeni düzenlemeler yapılması gerekebilecektir.

Enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması

için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacıyla 2 Mayıs 2007 tarih ve 26510 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Enerji Verimliliği Kanununda, Enerji yöneticisi ve sertifikası tanımlarına yer verilmektedir.

180 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile kurulan Bayındırlık ve İskân Bakanlığının görevlerinden bazıları;

- Çeşitli özellik ve ölçekteki imar planlarının, şehircilik yapı tesislerinin ve sığınakların projeye esas standartlarını hazırlamak,
- Konut politikası ilkelerine göre konut yapmak, yaptırmak,
- Ülkenin şart ve imkânlarına göre, en gerekli ve faydalı yapı malzemesinin ekonomik ve standartlara uygun imalini ve kullanılmasını sağlayacak tedbirleri almak, aldırmasıdır.

2010–2014 Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Strateji Planında; Bayındırlık ve İskân Bakanlığının Misyonu; “ülke çapında sürdürülebilir yerleşme, kentleşme ve güvenli yapılaşmayı temin etmek üzere; planlama, projelendirme ve yapım hizmetlerine ilişkin hizmetleri teknolojik ve bilimsel gelişmelerden faydalanarak düzenleyici, denetleyici ve katılımcı bir anlayışla yapmak, yaptırmak” olarak tanımlanmıştır. Vizyonu ise, “yüksek kurumsal kapasiteyle çağdaş yerleşme, kentleşme ile güvenli yapılaşmaya yönelik politika ve stratejileri belirleyen uygulamalara yön veren ve denetleyen bir kurum olmaktır.”

Bayındırlık ve İskân Bakanlığında; yukarıda tanımlanan görev, yetki, sorumluluk, misyon, vizyon ve bilinç dahilinde yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması amacıyla çalışmalar yürütülmektedir. Yürütülen çalışmaların kapsamı içinde;

- Sürdürülebilir planlama ve yapılaşmayı sağlayacak olan yerleşme planı, kentsel tasarım projeleri, vaziyet planı, mimari ve diğer projeler gibi araçların nasıl hazırlanıp kullanılacağını belirlenmesi ve
- İklim değişikliği, yerleşmelerin ekolojik ve coğrafi yapıya uyumu, enerji etkinliğine yönelik faktörlerin tanımlanması gibi Kriterlerin dikkate alınması hususları öncelikli olarak yer almaktadır.

Söz konusu öncelikler çerçevesinde, Enerji Verimliliği Kanununun 7. maddesi ne dayanılarak, 05 Aralık 2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmi Gazetede “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği” yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Anılan Yönetmelikte ısı yalıtım, mekanik tesisat yalıtımı, asgari hava sirkülasyonu ve sızdırmazlık, ısıtma ve soğutma sistemleri, havalandırma ve iklimlendirme, sıcak su hazırlama, elektrik tesisatı ve aydınlatma gibi konuların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji kimlik belgesine yönelik hükümlere de yer verilmiştir.

Bina içerisinde sürekli kullanılacak yaşam alanlarında ve binaların mimari tasarımında güneş etkisinin dikkate alınması, iklim bölgesindeki güneş, rüzgar, nem, yağmur, kar ve benzeri meteorolojik veriler dikkate alınarak oluşturulan mimari çözümler aracılığı ile istenmeyen binalarda güneş enerjisinden kaynaklanan istenmeyen ısı kazanç ve kayıplarının önlenmesi, bu amaçla pencere sistemlerinde ısı ve güneş kontrollü yalıtım camlarının seçilmesi, yeni yapılacak olan ve 1.000 m²'nin üzerinde kullanım alanına

sahip binalardaki ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklı sistem çözümlerinin tasarımcılar tarafından rapor halinde ilgili idarelere sunulmasına ilişkin hükümlere yer verilmektedir.

Ayrıca; söz konusu Yönetmelik uyarınca yeni yapılacak olan ve kullanım alanı 1.000 m²'nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar ve benzeri konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerindeki merkezi ısıtma ve sıhhi sıcak su sistemlerinde güneş enerjisi toplayıcıları ile sistemin desteklenmesi zorunludur. Toplam kullanım alanı 1.000 m² ve üzerinde olan mevcut binalar ve işletmeye alınan yeni binalar için de Enerji Kimlik Belgesi düzenlenmesi zorunludur. Söz konusu belgenin hazırlanmasında, binaların kullanım alanı başına düşen yıllık birincil enerji tüketiminin, A ile G arasında değişen bir referans ölçeğine göre sınıflandırılması öngörülmektedir.

Mevcut ve yeni yapılacak birden fazla bağımsız bölüme sahip merkezi veya bölgesel ısıtma sistemli ve sıhhi sıcak su sistemli binalarda, ısıtma ve sıhhi sıcak su giderlerinin, bağımsız bölüm kullanıcılarına paylaştırılmasına ilişkin usul ve esasları belirlemek amacıyla 14 Nisan 2008 tarihli ve 26847 Sayılı Mükerrer Resmi Gazetede; “Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik” yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Diğer yandan; Bakanlığımızca “Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı Hazırlama Projesi (KENTGES)” başta olmak üzere, ilgili kurum ve kuruluşların çalışmalarına temel teşkil etmesi amacıyla 27 Mayıs 2008 tarihinde hazırlık toplantıları ile Kentleşme Şûrası başlatılmış, söz konusu Şûra 04-07 Mayıs 2009 tarihlerinde düzenlenen Genel Kurul çalışmaları ile tamamlanmıştır.

Şûra sonunda; çalışma komisyonları arasında yer alan “İklim Değişikliği, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Denge ve Enerji Verimliliği” konulu komisyon raporu hazırlanmış olup, toplam 151 kurum ve kuruluştan katılan 356 üyenin katılımıyla toplanan Kentleşme Şûrasının Sonuç Bildirgesinde enerji verimliliği ve güneş enerjisi ile ilgili olarak aşağıda yer verilen hususlara dikkat çekilmiştir.

“Yerleşmelerde enerjinin aktif ve pasif kullanımında etkinliğin ve verimliliğin yükseltilmesi için yerleşme ve yapı ölçeğinde plan ve projeler hazırlanmalı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ağırlık verilmelidir. Yerleşmelerin planlanmasında yerel enerji kaynakları araştırılmalı, enerji bütçesi yapılmalı, yerel sera gazı envanteri oluşturulmalı, sera gazı salınım oranlarının azaltılmasına yönelik eylem planları yapılmalı, kent ekolojisi ve yerel iklime uygun planlama, tasarım ve mimari geliştirilmelidir. Güneş enerjisinin yaygın ve etkin biçimde kullanımının teşvik edilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır [4].”

Ayrıca Bayındırlık ve İskân Bakanlığında İklim Değişikliği ile ilgili olarak Çalışma Grubu oluşturulmuştur. Söz konusu çalışma grubu, yaklaşık 30 kişilik bir ekipten oluşmaktadır. Anılan çalışma grubu

tarafından, "Bayındırlık ve İskân Bakanlığı İklim Değişikliği Eylem Planı" hazırlık çalışmaları yürütülmektedir. Söz konusu Eylem Planı çalışmaları; güneş enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, enerji verimli ve iklim duyarlı yerleşme ve yapılaşma stratejilerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynaklarından ve özellikle güneş enerjisinden faydalanmayı ve güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılmasını içeren konu başlıkları özetle aşağıdaki gibidir:

- ▶ Yerleşme ve planlama sisteminin iklim değişikliği ile mücadele kapasitesinin artırılması
- ▶ Yapı yaklaşma mesafeleri belirlenirken yapı yüksekliği, meteorolojik, topografik ve arazi morfolojisinin dikkate alınması
- ▶ Kentsel saçaklanma (urban sprawl) oluşumunun denetim altına alınması
- ▶ Sürdürülebilir/enerji etkin yapı form ve tekniklerinin geliştirilmesi
- ▶ Sürdürülebilir, enerji etkin, doğal enerjili, yeşil binaların yapımının özendirilmesi ve yapı malzemelerinin kullanılması
- ▶ Kent planlama ile ulaşım planlaması arasında eşgüdüm sağlanması ve ulaşımdan kaynaklanan emisyonların azaltılmasıdır.

Bakanlığımızca ayrıca, güneş enerjisinin kentlerde, planlamada ve binalarda kullanımının yaygınlaştırılmasının sağlanması için Bakanlık içi araştırmalar ve incelemeler de yapılmakta ve her türlü gelişme takip edilmektedir. Yapılan takipler kapsamında, sonuç ve önerilere geçilmeden önce, aşağıdaki bölümde aktarılan uluslararası uygulama örneklerine göz atmak faydalı olacaktır.

Ulusal ve Uluslararası Uygulama Örnekleri

Çin'in 3. büyük adası olan Dongtan'da enerjinin; rüzgârdan, güneşten, biyolojik yakıtlardan ve kent atıklarından elde edilmesi öngörülmektedir. Kentsel tasarım, planlama, sürdürülebilir enerji yönetimi, kültürel planlama, atık yönetimi, yenilenebilir enerjilerin işletimi ve uygulanması, ekonomi ve ticari planlaması, sosyal kalkınma, sürdürülebilir yapı tasarımı, mimarlık, altyapı, peyzaj tasarımları ile ekolojii içinde barındırarak yapılan Eko-Kent Dongtan kent planı [5]; "bütünleşik kentsel" olarak adlandırılmakta, kişileri yürümeye, bisiklet kullanmaya veya toplu taşıma sevk edecek, gürültünün azalacağı, hava kalitesinin yükseleceği tasarım elemanlarını içermektedir. Yaşayanların, çevreye verdikleri olumsuz etkilerin de farkında olabilmeleri için evde kullanılan suyun ve enerjinin miktarını ve karbon gazı üretimine olan etkilerini ölçebilecekleri bir sistemin olacağı kentte elektrik, rüzgar tribünlerinden üretilmektedir [6].

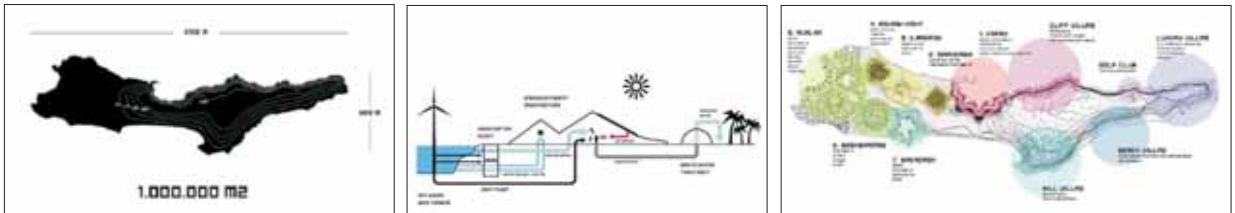
Petrol yerine güneş enerjili piller ile çalışan bireysel hızlı ulaşım taşıtlarının kullanılacağı Birleşik Arap Emirlikleri'nin Masdar [7] Kent Planı; enerji verimliliği, ulaşım ve yeşil bina üzerine kuruludur. Bütünleşik "Yeşil Topluluk" olarak adlandırılan kent planında, kentte her bina ve yapının sürdürülebilir yaşama ve çalışmaya hizmet etmesi temel olarak alınmaktadır [8]. Masdar Yerleşkesi'nde; güneşin, fotovoltaik pillerin, rüzgârın ve hidrojen enerjisinin, yenilenebilir temiz enerji olarak kullanılması öngörülmektedir [9].



Resim 1. Dongtan Eko-Kent [5]



Resim 2. Masdar Yerleşkesi [7]



Resim 3. Zira Adası Master Planı [10]

Yalnız rüzgâr ve güneş enerjisinden faydalanılacak olan Azerbaycan'ın Zira Adası master planı "sıfır karbon yerleşmesi" olarak adlandırılmaktadır [10].

Estonya'nın Talin kenti yakınlarındaki Paljassaare Yarımadası, kent içinde yeni bir kent yaratılmasını öngören "eko-körfez projesi" kapsamında yeniden planlanmış ve projede; aynı boyutlardaki geleneksel evlere göre ısı kaybını %70 oranında azaltan yapı tasarımları, Baltık Denizi'nden gelen sert rüzgârlara karşı korunak sağlamak amacıyla kullanılan yapay tepeler, rüzgâr koridorlarının oluşma olasılığını azaltan izgara sistem, kış boyunca uzun, karanlık bir dönem geçiren alanın güneş enerjisini maksimize edebilmek için birbirinin önünü kapatmayacak bina yükseklikleri belirlenmiştir [11].



Resim 4. Estonya Eko Körfez [11]

İsveç'in Gothenburg kenti de "Süper Sürdürülebilir Kent" olarak yeniden tasarlanmıştır. Kentte yapılan master plan, yeşil çatı bahçelerinden su ve enerji tasarrufu sağlayan yollar, yüksek güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerine kadar her şeyi içermektedir. Gothenburg'un mimari mirasından ilham alınan planda tasarlanan güneşe bakan teraslar; panellerle güneş enerjisi kullanma imkânı sağlayacak çatılar şeklinde tasarlanmıştır. Bu çatıların bir diğer özelliği binaların ısıtma ve soğuma ihtiyaçlarını azaltıyor olmalıdır [12].

Geçmiş 1939 yılına dayanan San Francisco'daki Calif Adası'ndaki yapıların, Enerji ve Çevre Tasarımında Lider (LEED) Sertifikası alan yapılar olması öngörülmüştür. Diğer yandan 2020 yılında arazinin %70'nin güneş enerji panelleri ile donatılması, güneş ve rüzgâr enerjisi üretimine yönelik olarak güneşten yıllık 30 milyon kilovat/saat elektrik üretilmesi hedeflenmektedir [13].

Kanada'nın Vancouver Adası'nın güneyindeki Victoria Kenti, 2012 yılında nötr karbon kenti hedefi kapsamında yapılarda, ulaşım, enerji ve atıkta yeşil çözümler ile planlanmıştır [13].

İngiltere'de Güney Devon'daki –Sherford, Prens Charles'in eco-projesidir ve yapıların büyük çoğunluğunda güneş enerjili sistemlerden ve rüzgâr enerjisinden faydalanılmaktadır [13].

Avustralya'nın ilk "sıfır karbon doğal plajı" olan ve 1982'de kurulan Saklı Vadi, güneş enerjisi ile çalışmakta ve yılda 78 ton karbondioksit tasarruf etmektedir [14].



Resim 5. Saklı Vadi [14]

Phoenix'e kurulacak olan dünyanın ilk Güneş Kenti sayesinde, gündüz güneş enerjisinden elde edilen enerjinin bir kısmı depolanacak, bir kısmı ise gece kullanılacaktır. Söz konusu Güneş Kent Projesinde, evlere kurulacak güneş sistemleri ve güneş tarlalarının yanı sıra, jeneratörlerin de güneş ısıyla çalışması öngörülmektedir [15].

Vatikan'da yaklaşık 300 hektarlık bir alanda kurulması planlanan güneş enerjisi santrali ile üretilen enerjinin, kentin ihtiyacından fazla olacağı ifade edilmektedir [16].

Kuzey Afrika'nın güneşinden faydalanmak amacıyla çöle yerleştirilecek aynalar vasıtasıyla ısıtılacak olan su sayesinde, enerji elde edimi söz konusudur [17].

Tayvan'ın Kaohsiung Kenti'ndeki stadyumun çatısı ise güneş pilleri ile kaplanmıştır. Tamamen güneş enerjisi ile çalışan ilk stadyum özelliği taşıyan yapıda, müsabakaların olmadığı zamanlarda üretilen enerjinin, kentin ana enerji şebekesine aktarılması öngörülmektedir [18].

Singapur'da binalarda uygulanan Yeşil Damga uygulaması, hem yeni hem de mevcut binalara uygulanabilmektedir. Yeni binalar için bu uygulamanın yapılmasında 5 ölçüt dikkate alınmaktadır. Bunlar;

- ▶ Enerji verimliliği,
- ▶ Su verimliliği ,
- ▶ Arsa ve proje geliştirilmesi ve yönetimi - (yapı yönetimi ve işletmesi),
- ▶ İç mekân çevre kalitesi ve
- ▶ Çevresel korumadır [19].

Yukarıda aktarılan uluslararası uygulama örneklerine ilave olarak ülkemizde de bazı uygulama örneklerini görmek mümkündür.

Harran Üniversitesi Osmanbey Kampusu'nun belirli bölümleri güneş enerjisi ile çalışan lambalarla aydınlatılmaktadır. Anılan Üniversitede ayrıca güneş enerjisi konusunda çalışmalar yapılmak üzere Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi kurulmuştur. [20].

İstanbul'da "Akıllı Ulaşım Sistemleri Projesi" kapsamında araçlara güneş enerjisi ile çalışan ekranlar yerleştirilmiştir. Ayrıca güneş

enerjisi ile çalışan trafik sinyalizasyonları kurulması için “Solar Kavşak” Projesi, Atatürk Havalimanı kavşağında pilot uygulamasına geçmiştir [21].

Yine İstanbul Esenyurt’ta yapımına başlanan “Solarkent”te kullanılacak enerjinin ise, site içindeki güneş santrallerinden elde edilmesi öngörülmektedir [22].

Zonguldak’ta orman ürünlerinin kullanımının azaltılması amacıyla gerçekleştirilen proje kapsamında, evlerde güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi geliştirilmiştir [23].

Çanakkale’nin Ayvacık İlçesi’ne bağlı Balabanlı Köyü’nde de bazı aileler güneş ve rüzgar enerjisi kullanarak kendi elektriklerini kendileri üretmektedirler [24].

Kocaeli’nde Doğu Kışla Parkı, Ankara Yenimahalle ilçesindeki Güneş Eğitim Parkı ve Kayseri’de bazı parklar güneş enerjisi ile aydınlatılmaktadır [25].

Sonuç ve Öneriler

Yukarıda aktarılan açıklamalar ve örneklemeler; enerji dengelerinin yeniden biçimlendiğini, enerji politika ve önlemleri ile insanların yaşam biçimlerinin ve alışkanlıklarının hızla değişmeye başladığını, konunun çok sektörlü, çevresel, sosyo-kültürel, ekonomik ve politik kararları birlikte ele alan uygulamalarla genişletildiğini ve uygulamaların özellikle gelişmiş ülkelerde bütüncül bir yaklaşımla ve kent ölçeğinde ele alındığını göstermektedir.

Mekânsal ve fiziksel strateji kararlarının, güneş enerjisi başta olmak üzere tüm yenilenebilir enerji politika ve önlemleri ile birlikte eşgüdüm içinde yürütülmesi için gerekli olan uygulama araçları, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından kuvvetle desteklenmekte, yaşam alanlarının sağlık, güvenlik ve refah düzeyinin en üst düzeyde tutulmasında önemli yere sahip olan düzenlemeler konusunda özen gösterilmektedir.

Enerji verimliliğinin ve enerjinin etkin ve verimli kullanımının ve bunun bir yaşam biçimi haline dönüşümünün sağlanmasında; konunun sadece yapı ve tesis/santral ölçeğinde değil, kırsal ve kentsel alanlarda yapılar arası ilişkisinin sağlanması, doğal kentsel klima dikkate alınarak yapı adası ve parsellerin konumlandırılması, peyzaj alanlarının belirlenmesi, yol ve benzeri teknik altyapı kararlarının verilmesi konularının planlama aşamasında değerlendirmeye alınması ve tedbirlerin de planlama aşamasından itibaren alınmaya başlanması gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır.

Adı ister “Güneş Kent”, ister “0 Emisyon Kent”, isterse “Ekolojik Kent”, her ne olursa olsun, dünyadaki iyi uygulama örneklerinin referans alınarak yeni bir planlama ve yapılaşma anlayışına ve uygulamalarına geçilmesi gerekmektedir. Gelecekte kentsel ve kırsal alanlarda yapılacak olan Planlarda, Uygulama Projelerinde ve Binalarda, güneş enerjisinden maksimum derecede faydalanmayı sağlamak ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için dikkate alınması gerektiği düşünülen Gökkuşağı renginde 7 temel husus aşağıda sıralanmıştır:

1. Enerji verimliliğini artıracak ve Güneş Enerjisi dahil mevcut tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım ve değerlendirme kriterlerini içine alacak ulusal planlama ve strateji geliştirme belgesi/master planı ile güneş, rüzgar ve dalga gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yer seçimine ilişkin kararlar, barajlar ile diğer enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve kullanımını sağlayıcı tedbirler yer almalıdır.
2. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları dahil Güneş Enerjisinin etkin ve verimli kullanımı konusunda yerel idareleri yönlendirici planlama ve koruma-kullanım stratejileri, mekansal planlamaya dair mevzuat ile beslenmeli ve bu stratejiler ivedilikle uygulamaya geçmelidir.
3. Plan ve projenin uygulamaya geçilmesinde katalizör etkisi yaratacak paydaşlar, proje içinde yer alan faaliyetlerin bir faydalanıcısı ve ortağı haline getirilmelidir.
4. Doğanın içinde var olan ve bize sunulan tüm şartlar (güneş, toprak, su, rüzgâr, ısı değişimleri, hava akımı), yaşam kalitesinin artırılmasını sağlayıcı biçimde plan ve projeler ile bütünleştirilmeli, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, jeotermal, rüzgâr) herhangi birinden veya bir kaçından faydalanmayı sağlayan sistemler plan içinde kurgulanmalıdır.
5. Yapı kümelerinin yön, yükseklik, çatı eğimleri ve yapılar arası mesafelere, güneş enerjisinden en iyi derecede faydalanmayı ve yaşam kalitesinin artırılmasını sağlayıcı doğru yönelme, mekan organizasyonu ve pasif tasarım öğelerine yer verilmeli, iklim ve enerji verimliliğine uyumlu tasarım kriterleri belirlenmelidir.
6. Binalarda toprak ısısından, gün ışığından ve güneş enerjisinden maksimum derecede yararlanmayı sağlayıcı, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını yapının genel sitemine entegre edici, yapılarda kullanılan enerjinin etkinliğinin ve verimliliğinin yüksek düzeyde olacağı yapı adaları sınıflandırılmalı ve buna uygun plan ve projeler üretilmelidir.
7. Ekolojik kent ve yerleşmeler, uluslararası uygulama örnekleri referans alınarak ülkemizde de uygulamaya geçmeli ve uygulama aşamasında bütünlük ve sektörler arası uyum dikkate alınmalıdır.

Uygulama örneklerini ve yöntemlerini geliştirmek mümkündür. Ancak önemli olan, plan ve projelerin enerji verimli ve etkin, çevreye hassas ve iklim duyarlı olmasını sağlamaktır.

Kaynaklar

1. “World Urbanization Prospects: The 2005 Revision”, <http://www.un.org/esa/population/publications/WUP2005/2005wup.htm>
2. “Odtü’de Güneş enerjisi araştırma merkezi (GÜNAM) Kuruluyor” <http://www.enerjiburada.com/odtude-gunes-enerjisi-arastirma-merkezi-kuruluyor.html>
3. “Güneş Enerjisi Yasası Geliyor”, <http://haber.ok.net/8216gunes-enerjisi-yasasi-geliyor/>
4. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, <http://www.bayindirlik.gov.tr>
5. Wood, R., “Dongtan Eco-City, Shanghai”, http://www.arup.com/_assets/_download/8CFDEE1A-CC3E-EA1A-25FD80B2315B50FD.pdf
6. Francesca de Châtel for CNN, “Chinese eco-city heralds revolution in urban living”, <http://www.cnn.com/2007/TECH/08/14/dongtan.ecocity/>

7. Palca, J. "Abu Dhabi Aims to Build First Carbon-Neutral City", <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=90042092>
8. "Masdar Institute of Science and Technology", <http://www.masdar.ac.ae/campus/>
9. "Masdar City", http://en.wikipedia.org/wiki/Masdar_City
10. "BIG Architects: ZIRA Island Master Plan", <http://www.designboom.com/weblog/cat/9/view/5273/big-architects-zira-island-masterplan.html>
11. "Danimarkalı mimardan Estonya'ya eko-kent", <http://www.mimdap.org/w/?p=10278>
12. "Sürdürülebilir Ekotopya", <http://www.mimdap.org/w/?p=16982>
13. Colenso, M.. "5 Green Cities of the Future", <http://science.howstuffworks.com/5-green-future-cities1.htm>
14. "Avustralya'da 'karbon sıfır' plaj", <http://www.mimdap.org/w/?p=8664>
15. "Güneş şehri" kuruluyor", <http://www.mimdap.org/w/?p=2448>
16. "Papa Çevreci Oldu", <http://www.cocacoke.com/dunya/38-dunya-haberleri/8611-papa-cevreci-oldu-haberi.html>
17. <http://www.radikal.com.tr/Radikal.aspx?aType=RadikalDetay&Date=30.8.2009&ArticleID=952148>
18. "Bustadyum 'dişardan' elektrik almıyor", <http://www.haberkaradeniz.net/haber-12465-bu-stadyum-disardan-elektrik-almiyor.htm>
19. "Public Utilities Board-PUB", <http://www.pub.gov.sg/Pages/default.aspx>
20. http://eng.harran.edu.tr/?name=lab_show&veri=2
21. "İstanbul'da Solar Kavşak Projesi", <http://www.vatanbir.org/haber/787/istanbulda-solar-kavsak-projesi> , Anasayfa > Haberler > Bilim - Teknik >
22. "Solarkent'te 520 TL Taksitle", http://www.emlakkulisi.com/16960_solarkent_te_520_tl_taksitle_taksitler_dustu
23. "Karadeniz ormanlarını güneş enerjisi koruyacak", <http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/465758.asp>
24. http://www.7g24s.com/test/haber_ara.php?anahtar=m%FCd%FCr%FC%F0%FC
25. Turkuaz Enerji, "Belediyeler Park ve Caddeleri Güneş Enerjisiyle Aydınlatıyor", <http://www.turkuazenergy.com/?p=149>

Renewable Energy Usage And Sun Energy In Planning And Building: The Existing Legal Structure, Additional Policies

There is a great need to handle methodologies, priorities and choices of the policies on sustainable energy and environment. With this respect, life styles should be formulated regarding to new earth conditions. This paper aims to describe the responsibilities and duties of The Ministry of Public Works and Settlement in regard to clean and renewable energy sources, especially about sun power. Another objective of this paper is to explain existing legal and regulatory framework of the Ministry about the usage of renewable energy sources on Planning and Building & Construction Process. While doing this, Energy Certificate of Identity for Buildings is clarified. The necessary models for planning and building are defined to make energy effective and efficient. The examples from international Eco-Cities and National practices are given with the objective of sun energy.

While preparing this paper, besides the internet information network, the Startegy Plan and Summit on Urbanization done by the Ministry of Public Works and Settlement is given as a reference.

The key words of this paper are: Planning, Building, Construction, Sun Energy, Legal Structure and Implementation.

According to the National and international definitions, explanations and examples done in this paper, life styles, life quality and habits have been changing. As sun energy and renewable energy usage are environmental, multi sectoral, cross sectoral, economic and social aspect, implementation methods should be determined in an integrated manner under the urban scale. That integration means, integration with energy, environment, policy making, implementation for all sectors with coordination.

Whether there is a must for the energy efficiency and effectiveness and whether that should be turned in a life style, then, such an important and crutial object would not be taken in a consideration as a plant construction. The relationship between buildings, climatic conditions, transportation and other infrustructure elements should be taken into account in rural and urban areas. At that point, all the decisions and policies should be taken with the beginning of planning process.

At the end of this paper, it is concluded that, it does not matter whether its name is Sun City, 0 Emmission City or Eco-City. The matter is giving reference to best practices in the world there is a great need for the planning and building vision and implementations. The future settlements' plans, projects and buildings in urban and rural Areas should be planned to maximize the benefits of Sun Energy and to minimize the Green House Emmisions. To do so; seven proposels are suggested like rainbow colors.

Notlar

Notlar