

# KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ PINARHİSAR YERLEŞKESİ İÇİN OPTİMUM YENİLENEBİLİR GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

Bahtiyar Dursun<sup>1</sup>, Cihan Gökçöl<sup>2</sup>, Bora Alboyacı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırklareli Üniversitesi, Kavaklı Yerleşkesi, Kavaklı, Kırklareli,  
[bahtiyar.dursun@kirkclareli.edu.tr](mailto:bahtiyar.dursun@kirkclareli.edu.tr)

<sup>2</sup>Otomotiv Teknolojileri Bölümü, Kırklareli Üniversitesi, Lüleburgaz Yerleşkesi, Lüleburgaz, Kırklareli,  
[cihan.gokcol@kirkclareli.edu.tr](mailto:cihan.gokcol@kirkclareli.edu.tr)

<sup>3</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Yerleşkesi, Umuttepe, Kocaeli  
[alboyaci@kocaeli.edu.tr](mailto:alboyaci@kocaeli.edu.tr)

## ÖZET

Bu çalışmada Kırklareli Üniversitesi Pınarhisar Yerleşkesinin enerji talebi çeşitli yenilenebilir enerji tabanlı güç üretim sistemleri kullanılarak karşılanacaktır ve ele alınan bu güç üretim sistemleri için optimum (en uygun) hibrit güç üretim sistemi konfigürasyonu belirlenecektir. Bu çalışmada, 2008 -2010 yılları arasında ölçümü yapılan saatlik zaman serisi formatında rüzgar hızı ve güneş radyasyon verileri kullanıldı. Üç farklı yenilenebilir güç üretim sistemi (YGÜS) PV-Batarya, Rüzgar –Batarya ve PV –Rüzgar sistemleri, HOMER yazılımı kullanılarak analiz edildi ve enerji maliyeti (COE) ve Net şimdiki maliyet (NPC) ekonomik parametreleri dikkate alınarak birbirleri ile mukayese edildi. Ayrıca rüzgarın süreksizliğinden dolayı ortalamanın üstü ve altında olan farklı rüzgar hız değerleri (üç farklı rüzgar hız değeri) kullanılarak hassasiyet analizi gerçekleştirildi. Rüzgar hızındaki artma ya da azalma eğiliminin NPC ve COE'yi nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre en düşük toplam NPC ve COE'ye sahip optimum konfigürasyon, 3,94m/s rüzgar hızı ve 4.98 kWh/m<sup>2</sup>/d güneş radyasyon datası koşulları altında bir rüzgar türbini, 36 batarya, 6kW'lık konverter ve 14kW'lık PV panelden oluşmaktadır.

## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyel ölçüsünde yerli katkı sağlayan bir kaynaktır. Yenilenebilir enerji teknolojileri çevrenin korunması ve sürdürülebilir ekonomik gelişme hedeflerine ulaşmada stratejik bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları bazı dönüştürücü ekipmanlarla kolaylıkla elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Geleneksel enerji kaynaklarına nazaran çevresel birçok faydası bulunmaktadır. Dahası yenilenebilir

enerji kaynaklarının her biri kendine has özel avantajları bulunmakta ve hemen hemen hiç birinden işletme süresince emisyon gazı açığa çıkmamaktadır. (Saigh,1999; Wrixon, Rooney and Palz,1993; Boyle, 1998; Kaya,2006; Ulgen and Hepbasli,2003).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle rüzgar ve güneş diğer yenilenebilir kaynaklara nazaran daha popülerdir. Güneş ve rüzgar enerji sistemleri lokal güç üretiminde yerin topolojik avantajları ve kaynağın mevcudiyetinden dolayı gelecek vadeden güç üretim kaynaklarıdır. Tek başına rüzgar ya da güneş şebekeden bağımsız olarak mevsimsel ve periyodik değişimlerden dolayı enerjinin sürekliliğini sağlayamazlar. Bu kısıtların üstesinden gelebilmek için güneş ve rüzgar üretim birimleri temelli hibrit güç sistemleri batarya depolamalı sistemler ile kombine edilmelidir (Moharil and Kulkarni, 2009). Fotovoltaik, rüzgar ve hibrit PV - rüzgar sistemler üzerine yapılmış literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmektedir.

Hindistan'ın Batı Bengal bölgesindeki Sagadeep Adasında Kurulu fotovoltaik sistemin performans analizi Moharil ve Kulkarni tarafından gerçekleştirilmiştir. Al-Badi hibrit optimizasyon modeli kullanarak Al Hallaniyat Adasının yükünü karşılamak için hibrit rüzgar-PV-dizel güç sisteminin tekno-ekonomik fizibilite çalışmasını yaptı (Al- Badi, 2011). Balamurugan ve arkadaşları mevcut yük talebini karşılamak için biyokütle-rüzgar-PV hibrit enerji sistemini ele aldılar ve bir optimizasyon modeli geliştirdiler (Balamurugan et al., 2009). Karaki ve arkadaşları bir yükü besleyen birçok rüzgar türbini, bir çok pv modül ve bataryadan oluşan otonom güneş-rüzgar enerji dönüşüm sistemi için bir olasılık modeli

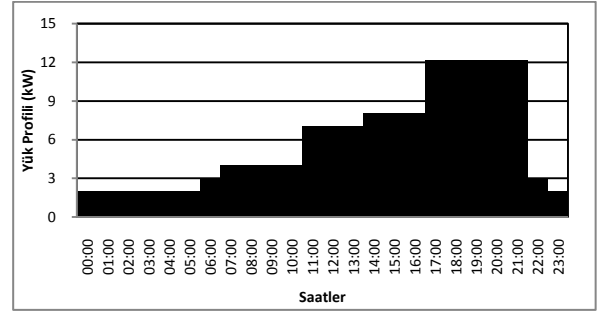
geliştirmiştir. Model birincil enerji dalgalanmaları ve donanım arızalarından dolayı oluşan kesintileri dikkate almaktadır (Karaki et al., 1999). Prasad ve Natarajan rüzgar ve PV hibrit sistemin optimizasyonu için yeni bir metot sunmuştur. Önerilen metot iteratif yöntem olup spesifik bir yer için kullanılabilir (Prasad and Natarajan, 2006). Çelik ön tanımlı kombinasyonlar kullanarak simüle edilen otonom PV - rüzgar hibrit enerji sistemlerinin yıllık sistem performansını ortaya koymuştur( Çelik, 2002).

Bu çalışmada, farklı tipte ve boyutlarda rüzgar ve güneş enerjisi temelli hibrit sistemler Kırklareli Üniversitesi Pınarhisar Yerleşkesi için araştırılmıştır. Bu yerleşke için Pik yükü ve ortalama günlük yükü 5.3 kWh ve 50 kW/gün olarak tespit edilmiştir. Rüzgar ve güneş datası değerleri kullanılarak güneş-rüzgar hibrit enerji sisteminin tekno-ekonomik fizibilite araştırmaları için Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarları (NREL) tarafından geliştirilen HOMER yazılımı kullanıldı. Ek olarak güneş, rüzgar ve depolama biriminin enerji üretimine, enerji maliyetine ve toplam sistem maliyetine katkısı değişik hibrit sistemler için incelendi. Dahası HOMER'den elde edilen ekonomik parametreler dikkate alınarak her bir sistem diğer hibrit sistemler ile karşılaştırıldı. Son olarak hibrit güneş -rüzgar enerji sisteminin hassasiyet analizi değişik muhtemel rüzgar hız değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Kırklareli Üniversitesi Pınarhisar Yerleşkesinin Yük Profili ve Enerji Potansiyeli

### 2.1. Yük Profili

Pınarhisar Yerleşkesi Marmara bölgesinin kuzeyinde yer alan Kırklareli ilinde yer almaktadır. Yerleşkede öğrenci nüfusu yaklaşık 1000 kişi olup yerleşke alanı 9000m<sup>2</sup>'dir. Yerleşkenin enerji gereksinimi elektrik şebekesinden karşılanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan yük datası TEIAS'dan elde edilmiştir. Yük datasına göre yerleşkenin günlük ortalama yük talebi ve pik yükü 50kW/gün, 5.3 kWh'tir. Yerleşkenin yük dağılım profili Şekil 1'de görülmektedir.

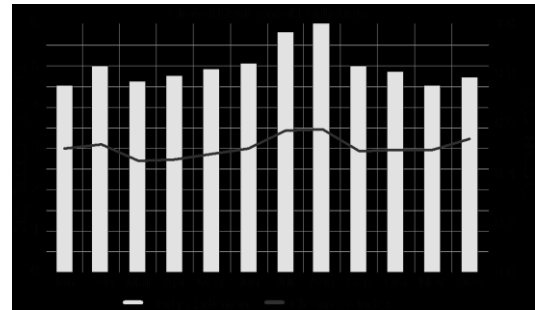


Şekil 1. Pınarhisar Yerleşkesinin Yük Profili

HOMER yılın her saati için enerji denge hesaplamaları yaparak sistemin işletilmesini simüle eder. Saatlik yük talepleri bir yıl için mevcut değilse bu durumda HOMER tipik bir gün için girilen değerleri rasgele sentezleme yaparak eksik veriyi tamamlar. Yük datasına göre minimum yük talebi 00:00 - 06:00 saatleri arasında iken maksimum yük talebi 12kW/h ile 17:00 - 22:00 saatleri arasında yerleşkede ikinci öğretim dersleri gerçekleştiğinden dolayıdır.

### 2.2 Pınarhisar Yerleşkesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

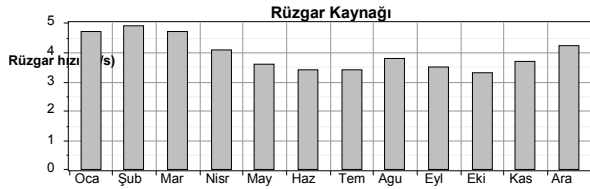
Yerleşkenin 2010 yılı güneş radyasyon dataları Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Şekil 2'de aylık ortalama güneş enerjisi yoğunluk değerleri görülmektedir. (TSMS, 2011). Yıllık ortalama güneş enerjisi yoğunluk değeri 4.98kWhm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> olarak hesaplanırken yıllık ortalama the clearness index'i 0.503 olarak tahmin edilmiştir. HOMER Graham algoritmasını kullanarak yılın her saatlik güneş datasını analiz etmektedir. Bu algoritma gerçek saatlik data üretir ve sadece enlem ve aylık ortalamalar gerektiği için oldukça kolay bir şekilde uygulanabilmektedir.



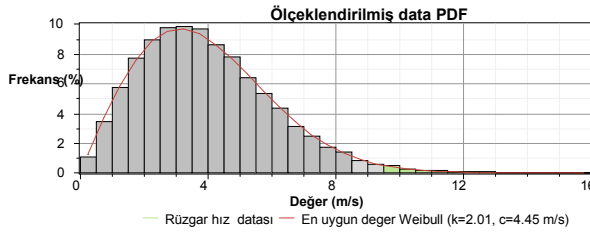
Şekil 2 Yerleşkeye en yakın bölgenin günlük radyasyon ve clearness index profilleri

## 2.3 Pınarhisar yerleşkenin rüzgar enerji potansiyeli

2008 -2010 yılları arasında saatlik zaman serisi formatında Pınarhisar Yerleşkesine en yakın bölgedeki istasyondan alınan ve 10 m yükseklikte Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından ölçülen rüzgar hızı değerleri kullanılmıştır. Yerleşkenin yıllık rüzgar hız dağılım profili Şekil 3’de görülmektedir. Rüzgar hız datalarına göre yerleşkenin rüzgar hız dağılımı 3m/s - 5m/s arasında değişim göstermektedir. Yerleşkenin ortalama rüzgar hız değeri 3.94 m/s’dir. Ayrıca en yüksek ve en düşük rüzgar hız değerleri Şubat ve Ekim aylarında görülmektedir.



Şekil 3 Yerleşkenin aylık rüzgar hız dağılım profili Weibull şekil faktörü, k ve skala parametresi, c sırasıyla 2.01 ve 4.45 m/s’dir. Bu katsayılar analitik olarak hesaplanabildiği gibi HOMER yazılımı tarafından da elde edilmektedir. Şekil 4’de rüzgar hızı olasılık yoğunluk fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 4 Rüzgar hızı olasılık yoğunluk fonksiyonu

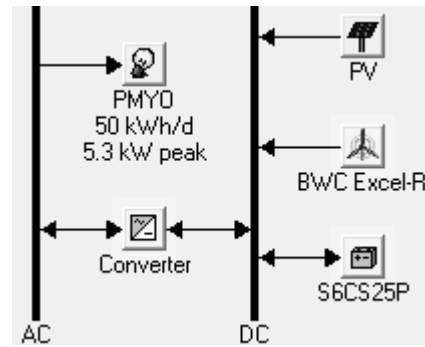
## 3. Yenilenebilir Güç Üretim Sisteminin Bileşenleri

Yenilenebilir Güç Üretim Sistemleri (YGÜS) temelde bir yenilenebilir kaynak (rüzgar, güneş v.b) depolama birimi ve dönüştürücülerden oluşmaktadır. Yerleşke için düşünülen YGÜS’te rüzgar türbini, güneş paneli, dönüştürücü, bataryadan oluşmaktadır. YGÜS’ün tüm bileşenleri Şekil 5’de görülmektedir.

**PV Panel** :Temel yükün karşılayacak kaynaklardan biri olup, her bir PV Modülü 100W anma gücünde ve 12V nominal gerilimdedir. PV paneller sadece günün 06:00 ile 18:00 saatleri arasında üretim

gerçekleştirdiği diğer saatlerde ise herhangi bir güç üretimi söz konusu olmamaktadır. Bu durumdan dolayı genellikle başka bir güç üretim kaynağı ile birlikte kullanılırlar. Ekonomik analiz için PV modülün özellikleri dikkate alınarak aşağıdaki varsayımlar yapılır. PV modülün kW başı maliyeti 7200\$ ve başlangıç maliyeti değişim maliyetine eşit alınır. İşletme ve bakım maliyeti çok küçük değerlerde olduğu için ihmal edilmiştir. 1kW’lık En uygun YGÜS konfigürasyonunu belirlemek için PV modüle sayısı 0-25 arasında seçilmiştir.

**Rüzgar türbini**:PV Panel gibi temel yükü karşılayacak ana kaynaklardan biridir. Bir bölgede AC yük talebi varsa ve rüzgar türbini yada güneş panelinden oluşan bir RGÜS söz konusu ise üretilen güç DC güçtür.



Şekil 5. YGÜS’ün tüm bileşenleri

Bu üretilen DC güç ilk olarak AC güce dönüştürücü kullanılarak dönüştürülür ve AC yük talebi karşılanır. Yerleşke yükünü karşılamak amacıyla seçilen rüzgar türbini 7.5kW çıkış gücü kapasitesine sahip, 20 yıl ortalama ömürlü BWC Excel-R seçilmiştir (BWC,2011). Rüzgar türbininin başlangıç maliyeti 19,000\$ iken değiştirme maliyeti 15,000\$ ve işletme ve bakım maliyeti ise 200\$ /yıl’dır. YGÜS’ün optimum konfigürasyonunu belirlemek için rüzgar türbin sayısı 0-10 arasında değiştirilmiştir.

**Depolama Birimi**: Yerleşke için YGÜS’de depolama birimi olarak batarya düşünülmüştür. Nominal kapasitesi 1156Ah ve nominal gerilimi 6V olan Surette 6CS25P seçilmiştir. Sadece bir bataryada depolanan enerji 6.94kWh olarak hesaplanmıştır. Ekonomik analiz için batarya sayısı 12’li batarya banklarından oluşan gruplar halinde devreye girecek şekilde batarya sayısı 12-60 arasında seçildi. Bataryanın başlangıç maliyeti, değişim maliyeti ve işletme ve bakım maliyetleri 1100\$, 1000\$ ve 10\$/yıl’dır. (DCSS, 2011).

**İnverter (Dönüştürücü):** Maksimum pik yükü 5.3kW/h olduğu için inverter'in anma gücü 6 kW olarak seçildi. Yük talebini karşılamak için hem panel gücü hem de rüzgar türbin gücünün birleştirilip karşılayacaktır. İnverter'in verimi %90'dır. Başlangıç maliyeti 900\$ olup değiştirme maliyeti başlangıç maliyetine eşittir. İşletme ve bakım maliyeti yoktur.

#### 4. YGÜS İşletme Prensipleri ve Varsayımlar

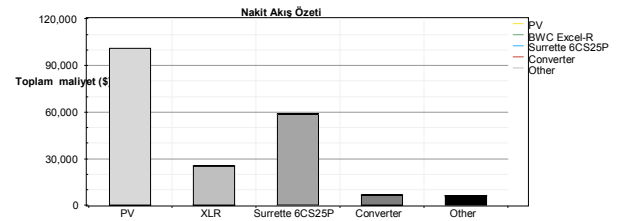
Sistem tasarlanırken aşağıdaki temel prensipler ve varsayımlar dikkate alınarak gerçekleştirilecektir.

- Rüzgar türbinleri ve PV modüller temel yükü karşılayacaklardır. Yükü karşıladıktan sonra kalan güç batarya banklarında depolanacaktır.
- Rüzgar türbini ve PV modülün çıkış gücü DC modda olduğundan dolayı AC yük talebini karşılamak için bir inverter kullanarak AC güç moduna dönüştürülmesi gerekir.
- PV modül ve rüzgar türbininin talebi karşılayamadığı durumda batarya grubu tarafından talep karşılanır.
- Yükün saatlik işletme rezervi %10'dur. İşletme rezervinin yenilenebilir çıkışının güneş çıkış gücü %25, rüzgar çıkış gücü %40'dır. Rüzgar güç kaynağı ve güneş güç kaynağı ve elektrik yükündeki değişkenlikten dolayı güvenli güç sağlamayı mümkün kılması açısından işletme rezervi önemlidir.
- Hassaslık analizi için rüzgar hız değeri aralığı belirlenirken ortalama rüzgar hızının %30 fazlası ve %30 az değeri alınarak 3-5m/s aralığı seçilmiştir. Bunun sebebi rüzgarın kararsız bir yapıya sahip olmasıdır.
- Proje ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir
- Yıllık faiz oranı %8 olarak alınmıştır.
- RGUS sistemin yenilenebilir oranı %100'dür. Bu, yerleşkenin enerji ihtiyacının tamamı yenilenebilir enerjiden karşılanacak anlamına gelmektedir.

#### 5. Değerlendirmeler ve Tartışmalar

Optimizasyonun amacı AC-DC konverter'in boyutu, batarya sayısı, rüzgar türbin sayısı gibi her bir karar değişkeninin optimal değerini belirlemektir. Optimizasyon sürecinde HOMER muhtemel tüm sistem konfigürasyonlarını belirlemekte ve en uygun olanı seçmemize olanak sağlamaktadır. Ekonomik parametreler olan NPC

ve COE dikkate alınarak PV panel, batarya, rüzgar türbini gibi hibrit sistem bileşenlerinin optimum değerini belirlemek ve aynı zamanda belirlenen hibrit sistemin tekno-ekonomik analizini gerçekleştirmek için HOMER yazılımı kullanıldı. Simülasyonun tamamlanması HOMER yazılımı kullanarak sadece 51 dakika sürmektedir. Rüzgarın değişkenliği ve kararsız yapısından dolayı rüzgar hız değeri aralığı 3 – 5m/s arasındaki değişimi dikkate alınarak hassasiyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonda rüzgar hızı değerleri değişiminin hibrit sistemde üretilen enerjinin maliyeti üzerine etkisi irdelenmiştir. Şekil 7'de belirtilen simülasyon sonuçlarına göre günümüz koşulları için tanımlanan ortalama rüzgar hızı ve ortalama güneş radyasyon değerleri sırasıyla 3.94 m/s ve 4.98 kWh/m<sup>2</sup>/d'dir. Optimal konfigürasyon Şekil 7'de renkli olarak işaretlenmiş olup en düşük NPC bir rüzgar türbini, 36 batarya, 6kW'lık konverter ve 14kW'lık PV'den oluşan sistemle sağlanmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7'de optimum konfigürasyonun toplam NPC'si \$197,139 ve COE'si yaklaşık 1.013\$/kWh olduğu kolayca anlaşılmaktadır.



Şekil 6 Hibrit sistem bileşenlerinin NPC değerleri

Sensitivity variables									
Global Solar (kWh/m <sup>2</sup> /d)		4.98		Min. Ren. Fraction (%)		30			
Double click on a system below for simulation results.									
	PV (kW)	XLR	S6CS25P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	14	1	36	6	\$ 170,800	2,467	\$ 197,139	1.013	1.00
	16		60	6	\$ 192,600	3,079	\$ 225,470	1.158	1.00
		10	60	6	\$ 267,400	8,825	\$ 361,605	1.856	1.00

Şekil 7 HOMER yazılımı kullanılarak elde edilen hibrit sistemin optimum konfigürasyonu

#### 6. Sonuçlar

Pınarhisar Yerleşkesi için %100 yenilenebilir enerji kaynağından karşılanacak şekilde optimum hibrit sistem tasarlanmıştır. Ortalama rüzgar hızı 3.94m/s ve ortalama güneş radyasyon değeri 4.98 kWh/m<sup>2</sup>/d değerleri dikkate alınarak elde edilen optimum hibrit sistem bir rüzgar türbini, 36 batarya, 6kW'lık konverter ve 14kW'lık PV'den oluşmaktadır.

En düşük rüzgar hız değeri 3m/s için, Pınarhisar Yerleşkesinin enerji ihtiyacının tamamının karşılanmasında sadece rüzgâr türbininden oluşan güç üretim sisteminde rüzgar türbin sayısı 25'e kadar artırılmasına rağmen HOMER yazılımı tarafından hesaplanan herhangi bir optimum konfigürasyon elde edilememiştir.

En yüksek rüzgar hız değeri 5m/s için bu durumda Pınarhisar Yerleşkesinin enerji ihtiyacının tamamının karşılanmasında sadece rüzgâr enerjisi jeneratörlü güç üretim sisteminin COE ve toplam NPC'si uygun değer konfigürasyon ile karşılaştırıldığında %38 daha fazladır.

## Kaynaklar

- Al-Badi, A.H. (2011). Hybrid (solar and wind) energy system for Al Hallaniyat Island electrification. *International Journal of Sustainable Energy*,30(4), 212–222.
- Balamurugan, P., Ashok, S., and Jose, T.L. (2009). Optimal Operation Of Biomass/Wind/ Pv Hybrid Energy System For Rural Areas. *International Journal of Green Energy*6,104–116.
- Boyle, G., (1998).Renewable energy: power for a sustainable future. Oxford University Press, 1–40.
- Celik, AN. (2002). The system performance of autonomous photovoltaic–wind hybrid energy systems using synthetically generated weather data. *Renewable Energy*27,107–21.
- CPVM, (2011). 100W Solar Panel -100W 12V Crystalline PV Module Available from [http://www.cdtsolar.com/100\\_watt](http://www.cdtsolar.com/100_watt)
- DCSS, Deep Cycle-Solar Series 5000, (2011). 6 Cs25ps Battery Available from [http://www.dcbattery.com/rollssurrette\\_6cs25ps.pdf](http://www.dcbattery.com/rollssurrette_6cs25ps.pdf)
- HOMER Software Version 2.67, National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA, <http://www.nrel.gov/Homer>.
- Karaki, SH., Chedid, RB., Ramadan, R. (1999). Probabilistic Performance Assessment of Autonomous Solar-Wind Energy Conversion Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*14(3),766-772.
- Kaya, D. (2006). Renewable energy policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*10, 152–163
- Markvart, T. (1996). Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy systems. *Solar Energy*57(4), 227–281.
- Moharil, RM., Kulkarni, PS. (2009). A case study of solar photovoltaic power system at Sagardeep Island, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*13,673–681.
- Prasad, AR., Natarajan, E. (2006). Optimization of integrated photovoltaic–wind power generation systems with battery storage, *Energy* 31,1943–1954.
- Sahin, AZ. (2000). Applicability of wind-solar thermal hybrid power systems in the Northeastern part of the Arabian Peninsula. *Energy Sources, Part A. Recovery, Utilization, and Environmental Effects*22,845–850.
- Sayigh, A. 1999. Renewable energy—The way forward. *Applied Energy* 64,15–30.
- Shaahid, S.M., El-Amin, I., Rehman, S., Al-Shehri A., Ahmad, F., Bakashwain J.,et al. (2010). Techno-Economic Potential of Retrofitting Diesel Power Systems with Hybrid Wind-Photovoltaic-Diesel Systems for Off-Grid Electrification of Remote Villages of Saudi Arabia. *International Journal of Green Energy* 7,632–646.
- TSMS, Turkish State Meteorological Service, (2011).The solar radiation dataof Kavakli Campus of Kırklareli University, <http://www.dmi.gov.tr/en-US/forecast-cities.aspx>
- Ulgen, K., Hepbasli, A., (2003). A Study on Evaluating the Power Generation of Solar-Wind Hybrid Systems in Izmir, Turkey. *Energy Sources, Part A. Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 25,241–252.
- Wrixon, G. T., Rooney, M. E., and Palz, W. (1993). *Renewable Energy*, Berlin, Germany:Springer-Verlag