

GÜNEŞ-RÜZGAR HİBRİD ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ENGİN*, Metin ÇOLAK**

*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Elektronik Bölümü, Bornova/İzmir

**Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 35100/Bornova/İzmir

Geliş Tarihi : 04.12.2003

ÖZET

Bu araştırmada güvenlik aydınlatması yapacak güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sistemi boyutlandırıldı. Boyutlandırılan sistem kurularak bir yıl boyunca güneş gözesi, rüzgar türbini, batarya gurubu, şarj regülatörleri ve invertörün performans değerleri ölçüldü. Ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak üretilen enerjinin kaynaklara göre dağılımı, sistemin verimi, güvenilirliği ve tüketilen enerjinin birim maliyeti hesaplandı. Elde edilen verilere göre hibrid enerji üretim sisteminin verimini arttırmak, ürettiği enerjinin birim maliyeti düşürmek ve güvenilirliğini yükseltmek için kurulu sistem üzerinde yapılması gereken yenilikler tartışıldı.

Anahtar Kelimeler : Hibrid enerji üretim sistemi, Güneş gözesi, Rüzgar türbini

ANALYSING SOLAR-WIND HYBRID POWER GENERATING SYSTEM

ABSTRACT

In this paper, a solar-wind hybrid power generating, system that will be used for security lighting was designed. Hybrid system was installed and solar cells, wind turbine, battery bank, charge regulators and inverter performance values were measured through the whole year. Using measured values of overall system efficiency, reliability, demanded energy cost per kWh were calculated, and percentage of generated energy according to resources were defined. We also include in the paper a discussion of new strategies to improve hybrid power generating system performance and demanded energy cost per kWh.

Key Words : Hybrid power generating system, Solar cell, Wind turbine

1. GİRİŞ

Geleneksel enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde eden sistemlerin çevreye verdikleri zararın her geçen gün daha açık bir şekilde ortaya çıkmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten sistemler daha önemli hale gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin önünde duran en önemli engel üretilen enerjinin yüke kesikli iletilebilmesidir. Güneş enerjisinin sadece gündüz saatlerinde elektrik üretimine izin vermesi nedeniyle gece saatlerinde

yükün enerjisiz kalmaması için depolama elemanı kullanılmalıdır. Depolama elemanı kullanıldığında günlük kesiklik ortadan kaldırılabılırken güneş enerjisinin mevsimlere göre de çok farklılık göstermesi, özellikle kış aylarında dönüştürülecek yeterli güneş enerjisinin olmamasından dolayı yük enerjisiz kalmaktadır. Küçük ve orta boyutlu yüklerin beslenmesi için kurulan enerji üretim sistemlerinde güneş gözesinin boyutları daha büyük seçilerek güvenilirlik yükseltilirken, büyük ölçekli yüklerin beslenmesi için kurulan sistemlerde dizel jeneratör gibi yardımcı kaynak kullanılarak güvenilirlik yükseltilmektedir. Birinci çözüm ilk

kurulum maliyetini yükseltirken, ikinci çözüm işletme harcamalarını arttırmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre birbirini tamamlayıcı özellik gösteren alternatif enerji kaynaklarının birlikte kullanımının sistem güvenilirliğini artıracığı belirlenmiştir (Bagul et al., 1996; Markvart, 1996; Beyer et al., 1996; Chedid et al., 1997). Eleman boyutlarının ve denetim stratejisinin iyi seçilmesi durumunda sistem maliyetinin çok az yükseleceği hatta kurulan bölgenin özelliklerine göre biraz düşebileceği belirtilmiştir (Kellogg et al., 1999). Hibrid enerji üretim sistemi olarak adlandırılan bu tür sistemlerde daha fazla eleman yer alacağı için sistemin yapısı karmaşık hale gelecektir. Hibrid enerji sisteminin diğer bir sorunu da ilk kurulum maliyetlerini minimumda, güvenilirliği maksimumda tutacak boyutlandırmanın zorluğudur. Boyutlandırma için en az bir yıl boyunca meteorolojik verilerin ölçülmesi gerekmektedir. Ülkemizin batı ve güney bölgelerinde nisan-kasım ayları arasında sadece güneşten elektrik enerjisi üreten sistem için gerekli güneş enerjisi bulunmasına rağmen kış aylarında yardımcı kaynak kullanılmalıdır. Rüzgar potansiyeli yüksek olan yerlerde bu açık rüzgar enerjisi ile tamamlanabilir (Engin ve ark., 2001).

Bu çalışmada Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından 4 yıl süreyle ölçülen güneş ışınımı, rüzgar hızı ve ortam sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda güneş ve rüzgardan elde edilebilecek enerjilerin birbirlerini tamamlayıcı özellik gösterdikleri belirlendi. Bu sonuçtan yola çıkarak Enstitü binasının gece güvenlik aydınlatmasını yapabilecek boyutta güneş-

rüzgar hibrid enerji üretim sistemi tasarlandı. Tasarlanan sistem kuruldu ve bir yıl süreyle temel değişkenler onar dakikalık aralıklarla ortalama değerleri alınarak kaydedildi. Elde edilen veriler kullanılarak hibrid sistemin performansı belirlendi, performansın iyileştirilmesi için yapılması gereken yenilikler tartışıldı.

2. GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİLERİNİN DEĞİŞİMİ

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından 1994-1999 yılları arasında ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızları ve güneş ışınım değerleri kullanılarak birim alanda güneş ve rüzgardan elde edilebilecek günlük ortalama elektrik enerjisinin aylık ortalamaları hesaplandı (Özdamar ve ark., 2000).

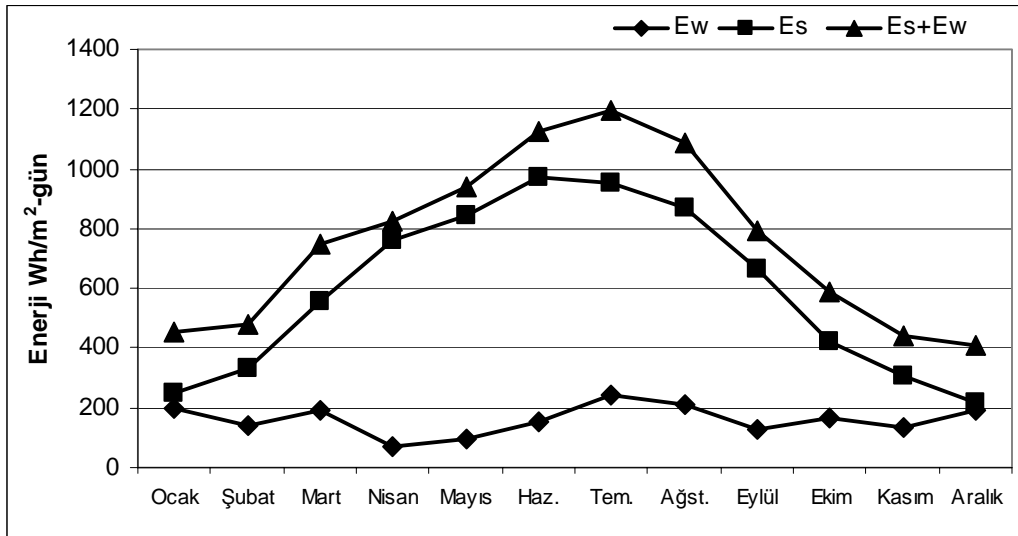
Birim alanda güneşten elde edilebilecek günlük toplam elektrik enerjisi eşitlik 1'den hesaplanır.

$$W_s = \eta S \quad (1)$$

Süpürme alanı 1 m^2 olan rüzgar türbininden elde edilebilecek günlük toplam elektrik enerjisi eşitlik 2'den hesaplanır.

$$W_w = 0.5 D C_p \rho_{\text{air}} v^3 \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve 2'den hesaplanan günlük enerji üretimlerinin aylık ortalama değerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Birim alanda rüzgar ve güneşten elde edilebilecek günlük elektrik enerjisinin aylık ortalamalarının yıllık değişimi

Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sistemin enerji denge denklemi eşitlik 3'teki gibi yazılabilir (Engin ve ark., 2001). Bu eşitlikte boyutlandırma aşamasında karar verilecek değişkenler A_s , A_w ve W_b değerleridir.

$$W_L \leq W_s A_s + W_w A_w \pm W_b \quad (3)$$

Boyutlandırma değişkenleri belirlenirken hedefimiz minimum sistem maliyetidir. Devir ömrü maliyeti (*Life-cycle costs*), olarak adlandırılan sistem maliyeti sistemin beklenen kullanım süresince harcamaları dahil ederinin bugünkü para ile değerini belirtir. Sistem maliyetini eşitlik 4'ten hesaplayabiliriz (Markvart, 1996).

$$LCC = [\text{Yatırım Maliyeti} + \text{İndirgenmiş Toplam İşletme Maliyeti}] \quad (4)$$

Enerjinin birim maliyetini eşitlik 5'ten hesaplayabiliriz (2).

$$EBM (\$/kWh) = \frac{ALCC (\$/\text{yil})}{\text{Yıllık enerji tüketimi (kWh/yil)}} \quad (5)$$

Eşitlik 5'i minimum yapacak boyutlandırma değişkenlerini belirlemede kısıtlama ise sistem güvenilirliğidir. Sistem güvenilirliği, yükün enerjisiz kalma oranı olarak tanımlanır. Alternatif enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten sistemlerde yük, sistemde kullanılan elemanların yıpranmalarına, arızalanmalarına veya dönüştürülecek yeterli enerjinin bulunmaması nedeniyle enerjisiz kalabilir. Enerji üreten sistemlerde güvenilirlik, yükün enerjisiz kalma süresi ile ölçülür. Loss-of-Load Probability, (LLP) olarak adlandırılan güvenilirlik eşitlik 6'dan hesaplanabilir (Çolak ve ark., 2002).

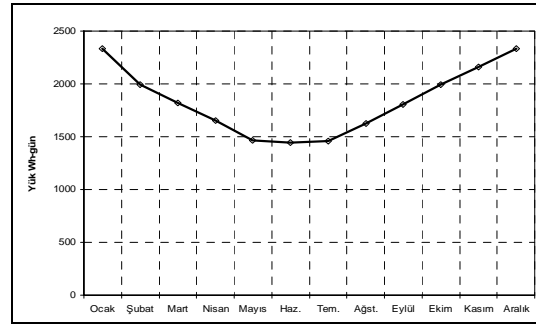
$$LLP = \frac{\text{Enerjisiz kaldığı süre}}{\text{Enerjilendiği süre}} \quad (6)$$

Hibrid sistemde kullanılan elemanların yıpranma süreleri bu tür sistemler için hedef seçilen 20 yıl kullanım süresine göre değerlendirilir. Güneş panellerinin yıpranma süreleri verimlerinin % 25 azaldığı süre olarak belirlenmiştir (Maish, 1997). Bu orana tek kristal yapılu güneş pillerinde 20 yılda ulaşılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin yıpranma süreleri de güneş pilleri gibi en az 20 yıldır. Şarj regülatörleri ve invertörün yıpranma süreleri üretici firmaya göre 5 ile 20 yıl arasında değişmektedir. Bataryaların yıpranma süreleri % 75 derin boşalma bir devir olarak kabul edildiğinde 1500 devirdir. Her gün bu orana ulaşıldığı varsayıldığında 5 yılda bir bataryaların yenilenmesi gerekir. LLP değeri

Aydınlatma uygulamalarında en büyük 0.01 değerini alabilir (Markvart, 1994).

2. 1. Yükün Değişimi

Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sistemi Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü binasının gece iç aydınlatması için boyutlandırılmıştır. Aydınlatma için enerji tasarrufu sağlayan PL lambalar kullanılmıştır. Bina içerisinde belirlenen yerlere 5 adet 21 ve 5 adet 17 Watt'lık lambalar yerleştirilmiştir. İntertör, batarya, şarj regülatörleri, ölçüm elemanları ve iletken kayıplarını karşılamak için boyutlandırma sırasında toplam yük toplam lamba gücünün % 30'u fazlası kabul edilmiştir. Sistemin değerlerini ölçecek veri toplama ünitesinin gücü ise 2.6 W'tır. Sistem yükünün aylara göre değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yükün aylara göre enerji tüketimi değişimi

3. BOYUTLANDIRMA DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİ

Karar verilecek boyutlandırma değişkenleri eşitlik 3'ün eşitlik 5'i minimum yapacak ve eşitlik 6'nın kısıtlaması altında çözümünü ile belirlenir. Bu eşitlik iterasyon yöntemiyle çözüldü. İterasyona başlama değerleri Bornova için enerji üretimi açısından en kötümser ay olan Aralık ayı değerleri kullanılarak $A_{s0} = 14.97 \text{ m}^2$, $A_{w0} = 17.98 \text{ m}^2$, olarak belirlendi. Batarya kapasitesi için başlangıç değeri olarak bir günlük tüketim olan $W_{B0} = 3.49 \text{ kWh}$ olarak belirlendi. Her yaklaşımda sistem tüm yıl boyunca eşitlik 7'ye göre simüle edildi. Yapılan her yaklaşımda eşitlik 6'nın değeri hesaplandı ve 0,01 değerinden küçük değerler çözüm olarak kabul edildi. Bu çözümler arasından eşitlik 5'i minimum yapan çözüm en uygun değer olarak belirlendi, $A_w = 9.8 \text{ m}^2$ ve $A_s = 8.5 \text{ m}^2$, $W_b = 10.08 \text{ kWh}$. Kısıtlı bütçeden dolayı hibrid enerji üretim sistemini eleman boyutları Tablo 1'deki gibi belirlendi. Sistem belirlenen boyutlara göre yeniden simüle edilerek

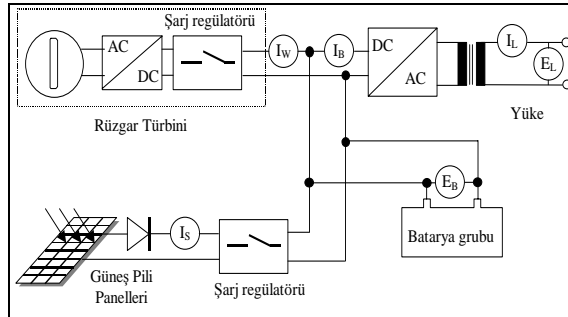
LLP değeri 0.048, enerji birim maliyeti 1.01 \$/kWh olarak elde edildi. Sistemin yükü 8 adet 17 W'lık PL lamba olarak belirlendi.

Tablo 1. Kurulacak Hibrid Sistemin Temel Elemanlarının Boyutları ve Özellikleri

Güneş Gözesi	
Alanı (m ²)	5.84
Çıkış gücü	720 W _p
Tipi	M65
Üretici firma	Arco Solar
Rüzgar Türbini	
Alanı (m ²)	1.07
Çıkış gücü	400 W
Tipi	AIR403
Üretici firma	Shouthwest
Batarya	
Toplam kapasite	10.08 (kWh)
Hücre gerilimi ve kapasitesi	2 V, 210 Ah, 24 adet akü
Tipi	Tüpçüklü, sabit tesis
Üretici firma	İnci akü

$$\Delta W = \Delta W_{(n-1)} + \sum_{n=1}^t \Delta T [P(n)_s + P(n)_w - P(n)_L] \quad (7)$$

Hibrid enerji üretim sisteminin blok şeması Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. kurulan hibrid sistemin elemanları ve ölçüm noktaları

Sistemde enerji kaynağı olarak güneş pilleri ve rüzgar türbini, enerji depolama elemanı olarak kurşun-asit sabit tesis bataryaları kullanılmıştır. Rüzgar türbini üzerinde birleşik olarak şarj regülatörü de yer almaktadır. Güneş pilleri için 24 Volt 30 A'lık ayrı bir şarj regülatörü kullanıldı. Sistemde enerji tüketimi düşük, ışık verimi yüksek olan elektronik ateşlemeli PL tipi lambalar kullanıldı. Lambalar 220 Volt AC ile çalışmaları için DC 24 Voltu 220 Volt AC'ye dönüştüren 400 W gücünde invertör kullanıldı. Sistemde yük olarak lambalara beraber 5 Volt DC ile çalışan ve gücü 2.6 W olan veri toplama ünitesi yer almaktadır. Sistem Haziran 2000'de kuruldu, 3 aylık deneme üretiminin sonunda Eylül 2000'de ölçümlere başlandı ve eylül

2001'in sonuna kadar ölçümlere devam edildi. Lambalar fotosel rölenin denetiminde sadece güneş batımından doğuşuna kadar geçen süre içerisinde çalıştırıldı. Şekil 3'de belirtilen değişkenler ölçülüp ortalama değerler 10'ar dakikalık aralıklar ile bellekte saklandı. Veriler 15 seri port yoluyla bilgisayara aktarıldıktan sonra Microsoft Excel formatına dönüştürülerek tüm hesaplamalar ve grafik çizimleri bu programda yapıldı.

4. BULGULAR

Ölçülen I_w , I_s , I_b , I_l , E_L ve E_B değerleri kullanılarak güneş gözesi ve rüzgar türbininden elde edilen aylık toplam enerji değerleri eşitlik 7'den hesaplandı ve 1 yıllık sonuçlar Şekil 4'de gösterildi. Kış aylarında yükün talep ettiği enerji sistemin ürettiği enerjiden daha fazladır. Bu aylarda yük enerjisiz kalmıştır. Tablo 2'de yükün enerjisiz kalma oranlarının (% LLP) aylara göre değişimi gösterilmiştir, yıllık ortalama 0,0428 olarak hesaplandı. Ortalama invertör verimi, ölçülen invertör çıkış akımı ve gerilimi ile giriş akımı ve batarya gerilimi değerleri kullanılarak $\eta_i = \% 82.6$ olarak hesaplandı. Güneş gözesi ile batarya arasında akım taşıyan 16 mm² kesitli 36 metre iletken ve şarj regülatörünün verimi ise $\eta_{iletken} = \% 97.3$ olarak hesaplandı. Hibrid sistemin ortalama verimi ise enerjinin doğrudan yüke verildiği durum ve enerjinin bataryada bir süre depolandığı durum olmak üzere iki farklı şekilde hesaplanabilir. Doğrudan yükün beslendiği durumda ortalama sistem verimi $\eta_{hibrid} = \% 80.01$ olarak hesaplanırken, bataryadan yükün beslendiği durumda ise $\eta_{hibrid} = \% 63.1$ olarak hesaplandı. Yıllık toplam üretilen enerji ve tüketilen toplam enerji değerlerinden hesaplanan ortalama sistem verimi ise, $\eta_{hibrid} = \% 69.3$ 'tür.. Tüketilen enerjinin birim maliyeti eşitlik 4 ve 5'ten, EBM= 0,89 \$/kWh olarak belirlendi.

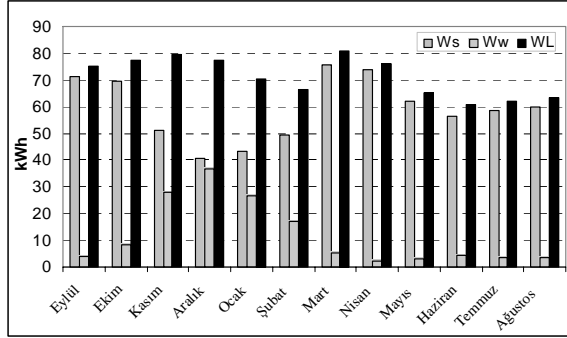
Tablo 2. Sistemin Güvenirliğinin Aylara Göre Değişimi

Aylar	% LLP
Eylül	0
Ekim	0
Kasım	8.7
Aralık	11.5
Ocak	15.3
Şubat	14.3
Mart	0
Nisan	0
Mayıs	0
Haziran	0
Temmuz	0
Ağustos	0

Ölçülen güneş gözesi akımı, batarya gerilimi, invertör giriş gerilimi ve rüzgar türbini çıkış akımı kullanılarak batarya veriminin aylık ortalama değişimi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Batarya Veriminin Aylara Göre Değişimi

Aylar	% η_B
Eylül	82.9
Ekim	81.6
Kasım	69.3
Aralık	75.7
Ocak	75.6
Şubat	69.1
Mart	78.8
Nisan	76.4
Mayıs	75.5
Haziran	74.8
Temmuz	74.2
Ağustos	73.2



Şekil 4. Aylık toplam güneş gözesinin ve rüzgar türbinin ürettikleri enerji ile yükün tükettiği enerjinin bir yıl süresince değişimi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Hibrid enerji sistemi tarafından üretilen enerjinin tüketiciye maliyeti 0.89 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Kellogg ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada teorik enerji birim maliyeti 0.49 \$/kWh, (Kellogg et al., 1999) NREL tarafından desteklenen araştırmalarda ise 0.56 – 0.72 \$/kWh aralığında elde edilmiştir. Sistemin bu haliyle ulusal elektrik dağıtım şebekesinin bulunduğu yerlerde kullanılması mümkün değildir (TEDAŞ tüketici fiyatı 0.72 \$/kWh). Elde edilen elektriğin maliyetin dünyadaki benzer sistemlere göre yüksek olmasının nedenlerini şöyle sıralayabiliriz.

- Sistemin ana elemanı olan rüzgar türbini ve güneş pillerinin yerli üretilmemesi veya yerli yerleşik satıcısının olmaması. Örneğin; Sistemde kullanılan rüzgar

türbininin ABD perakende satış fiyatı 495 US\$ iken Türkiye satış fiyatı 690 US\$.

- Yardımcı elektronik sistemlerin yerli üretimleri mümkün iken yeterli pazar olmadığı düşüncesiyle firmaların üretim yapmaması ve bu sistemlerin daha yüksek fiyatla yurt dışından satın alınması.
- ABD, Almanya, İspanya, Hollanda gibi alternatif enerji kullanımını teşvik eden ülkelerde bu tür sistemlerde kullanılan ürünlerde vergi indirimi veya vergi muafiyeti uygulanmaktadır. Ülkemizde de sistem ilk kurulum maliyetini düşürecek bu tür teşviklerin uygulanması.
- Sistemin veriminin düşük olması.
- Aydınlatma uygulamalarının özelliğinden dolayı depolama elemanının boyutunun büyük seçilmesi.
- Sistemde yer alan rüzgar türbinin küçük seçilmiş olması. Sistemin ortalama verimi % 69 olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektriğin tüketilmeden % 31’inin kaybedilmektedir. Verimin düşük olmasının sebeplerini şöyle sıralayabiliriz.
- Güneş gözesinin ürettiği enerjiyi batarya ve invertöre taşıyan iletkenlerde kaybedilen enerjinin yüksek olması.
- Invertörün veriminin düşük olması.
- Depolama kayıplarının yüksek olması.
- Aylara göre sistemin kapasite kullanımının düşük olması.

İletim kayıplarında oluşan kayıpları azaltmak için batarya gurubu ile invertörün güneş pillerine ve rüzgar türbinine daha yakın bir yere taşınması gerekir. Daha küçük kapasiteli invertör kullanılarak bu elemanın sebep olduğu kayıplar azaltılabilir. Sistemde kullanılan invertör zorunluluk nedeniyle 400 Watt gücünde seçilmişti, oysa lambaların toplam gücü 185 Watt’tır. 200 Watt’lık invertör kullanılması invertörün verimini % 90-95 değerlerine yükseltecektir.

6. SİMGELER

- η : Güneş modülü verimi
- v : Rüzgar hızı, m/s.
- ρ_{air} : Havanın yoğunluğunu.
- ALCC : Yıllık düzeye indirgenmiş devir ömrü maliyeti.
- A_s : Güneş modülü alanını, m^2
- A_w : Rüzgar türbini kanat süpürme alanını, m^2
- C_p : Rüzgar türbini verim katsayısı
- D : Süre/Saat
- EBM : Enerji birim maliyeti, \$/kWh.

LCC	: Devir ömrü maliyeti (Life-cycle costs)
S	: Birim alana bir gün boyunca gelen toplam güneş enerjisi, Wh/m ² .
W _b	: Batarya kapasitesi, Wh.
W _L	: Yükün tüketimi, Wh.
W _S	: Güneş modülünün birim alanda ürettiği enerji, Wh/m ²
W _w	: Rüzgar türbinin birim alanda ürettiği toplam enerji, Wh/m ²

7. KAYNAKLAR

Bagul, A. D., Salameh, Z. M., Borowy. B. 1996. Sizing of a Stand-alone Hybrid Wind-Photovoltaic System Using a Three-event Probability Density Approximation, *Solar Energy* Vol. 56, No. 4, pp. 323-335.

Beyer, H. G., Langer, C. 1996. A Method for the Identification of Configurations of pv/wind Ybrid Systems for the Reliable Supply of Small Loads, *Solar Energy* Vol. 57, No. 5, pp. 381-391.

Chedid R., Rahman, S. 1997. Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-Solar Power Systems, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 12, No. 1.

Çolak, M., Özdamar, A., Engin, M. 2002. "Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Binasının

Gece İç ve Dış Aydınlatmasının Rüzgar ve Güneş Enerjisinden Sağlanması", E. Ü. Araştırma Fonu Projesi, Proje No: 98/BİL/004, s. 71, İzmir.

Engin, M, Çolak, M. 2001. "PV-Wind Hybrid Energy Sytem for Lighting", *International Solar Energy Society 2001 Solar World Congress, Book of Abstracts* Page 255-256, 25-30 November 2001, Adelaide, Australia.

Kellogg, W. D., Nehrir, M. H. Venkataramanan, G., and Gerez, V. 1998. "Generation Unit Sizing Cost Analysis For Stand-Alone Wind, Photovoltaic, And Hybrid Wind/Pv Systems", *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 13, No. 1.

Maish, A. B., Atcitty, C., Hester, S., Greenberg, D., Osborn, D., Collier, D. 1997. "Photovoltaic system reliability", *Proceedings of the 26th IEEE Photovoltaic Conference*, Anaheim CA, September 29-October 3.

Markvart, T. 1994. "Solar Electricity", ISBN 0471941611, England, 320 p.

Markvart, T. 1996. "Sizing of Hybrid Photovoltaic-wind Energy Systems", *Solar Energy* Vol. 57, No. 4.

Özdamar, A., Özbalta, N., Yıldırım, E. D. 2000. "Rüzgar ve Güneş Enerjilerinin Birbirlerini Tamamlaması", III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 97-112, İstanbul.