

Rüzgâr – Fotovoltaik Otonom Hibrid Güç Sistemlerinin Optimum Maliyetle Boyutlandırılması Üzerine Paket Bir Yazılım

¹F.Salmanoğlu, ²N.S. Çetin

^{1,2} Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, 35100 Bornova İZMİR

¹ firatsalmanoglu@gmail.com

² numan.sabit.cetin@ege.edu.tr

Özet:

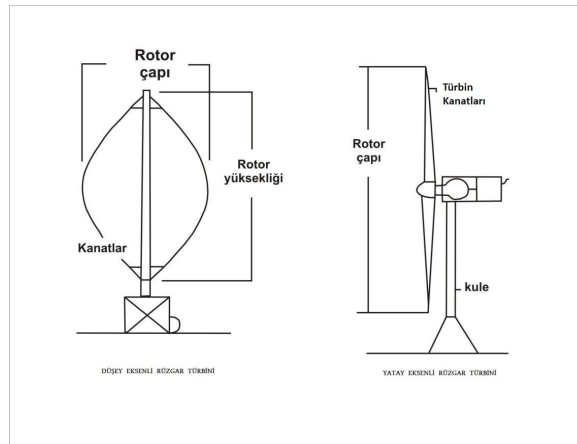
İnsanoğlu var olduğu günden bu yana sürekli olarak artan bir şekilde enerjiye ihtiyaç duymuştur. Günümüzde enerji talebinin küresel olarak hızla artması, fosil yakıt rezervlerinin giderek tükenmesi, enerji maliyetlerindeki hızlı artış ve insanlarda çevre bilincinin giderek oturması yenilenebilir enerjilere olan talebi hızla arttırmaktadır.

Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de yenilenebilir enerjilere olan ilgi son yıllarda gözle görülür bir şekilde artmıştır. Önümüzdeki birkaç yıl içinde Türkiye’de olgunlaşacak olan bu sektörde şu an itibariyle yetişmiş eleman ve eğitim eksikliği göze çarpmaktadır. Bu eksiklikten hareketle hazırlanmış olan bu yazılım paketi ile rüzgâr ve fotovoltaik otonom hibrid güç sistemlerinin optimum maliyet ve boyutlarda tasarlanması sorununa bir bakış açısı geliştirilmiştir. Hazırlanan paket yazılım sayesinde, Türkiye’de ki 81 il ve bu illere ait toplam 921 ilçe merkezi için, belirlenen enerji ihtiyacına göre rüzgâr enerjisi sistemi, fotovoltaik sistem ve rüzgâr-fotovoltaik hibrid güç sistemi optimum maliyet ve boyutlarda tasarlanabilmektedir. Böylece, zaten pahalı olarak nitelendirilen bu sistemlerin maliyetleri doğru boyutlandırma ile kısmen daha makul mertebelere çekilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Rüzgâr Enerjisi, Fotovoltaik, Hibrid Sistem, Yazılım Geliştirme, Optimum Boyutlandırma, Optimum Maliyet

1. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi dünyada çok eski zamanlardan beri kullanılan enerjilerden birisidir. İnsanlar bu enerjiyi yüzyıllar boyu su pompaları ve tane öğütme işlemlerinde kullanmışlardır, ancak 1900’lü yılların başında rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi fikri ortaya çıkmış olup o dönemlerden günümüze oldukça mesafe almıştır [1].



Şekil 1. Düşey ve yatay eksenli rüzgar türbinleri

1.1 Rüzgâr Enerjisi'nden Elektrik Enerjisi Üretimi

Rüzgâr, sürekli değişken bir davranış sergilediği için, rüzgâr enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisi de zamana ve mekâna bağlı olarak farklılıklar gösterecektir.

Genel kinetik enerji denkleminde hareketle;

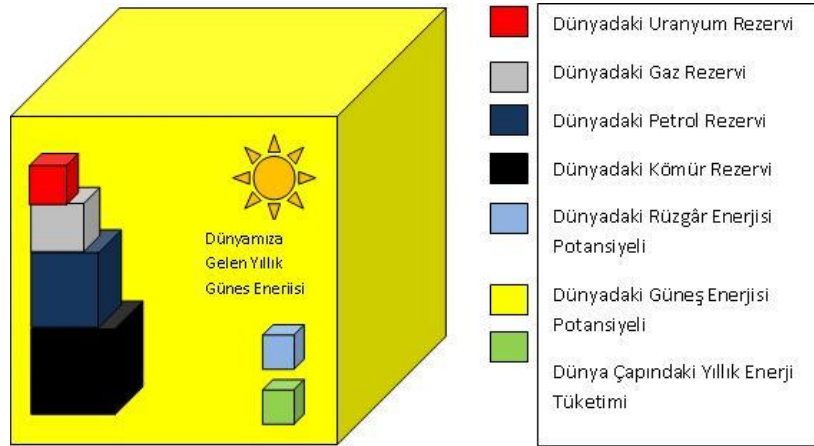
$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot t \cdot (V_r)^3 \quad \text{denklemi elde edilmiş olur.} \quad (1.1.1)$$

Bu denklemde $t = 1$ ve $A = 1$ alınacak olursa, birim zamandaki ve birim alandaki rüzgâr enerjisi elde edilmiş olur [1].

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \quad (1.1.2)$$

Havanın özgül kütle (ρ) deniz seviyesinde ve atmosfer şartlarında ortalama olarak $1,223 \text{ kg / m}^3$ tür.

2. Güneş Enerjisi

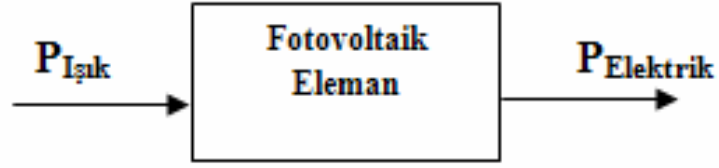


Şekil 2. Dünya'daki kullanılabilir Rüzgâr ve Güneş Enerjisinin büyüklüğü.

Güneş'in merkeziyle Dünya'nın merkezi arasındaki uzaklık $149,6$ milyon km 'dir. Güneş'in yaydığı enerji, Güneş'in çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci ile açığa çıkan çok büyük bir enerjidir. Güneş'ten Dünya'ya saniyede yaklaşık 170 milyar MW enerji gelmektedir. Bu değeri m^2 başına hesaplayacak olursak birim alana ulaşan güneş ışınları, güneşe dik bir yüzey üzerinde ölçüldükleri zaman 1.366 W/m^2 olduğu görülmektedir. Bu değer güneş enerjisi sabiti olarak da anılır. Atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtır, %16'sını da sönümler ve böylece deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek güneş enerjisi ortalaması 1.020 W/m^2 'dir [2].

2.1 Güneş Enerjisi'nden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş'ten gelen ışığın taşıdığı enerjiyi, iç fotoelektrik (fotovoltaik) olaydan yararlanarak direk olarak elektrik enerjisine çeviren dönüştürücülere fotovoltaik eleman adı verilir [3].



Şekil 3. Fotovoltaik Eleman



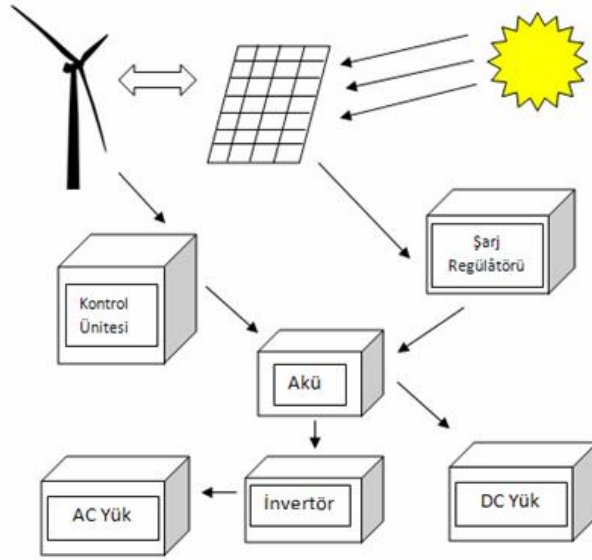
Şekil 4. Fotovoltaik Güç Sistemi

3. Rüzgâr-Fotovoltaik Hibrid Güç Sistemleri

Rüzgâr ve Güneş enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin gün içinde süreksiz olmasından dolayı, hibrid güç sistemi düşüncesi ortaya çıkmıştır [1]. Hibrid sistemde enerji üreticisi olarak bulunan bileşenler, birbirini tamamlayarak sistemin süreksizliğini ortadan kaldırır.

Rüzgâr – Fotovoltaik hibrid güç sisteminin bileşenleri;

- Rüzgâr Türbini
- Fotovoltaik Paneller
- Aküler
- Şarj Regülâtörü
- İnvertör
- Yük
- Kontrol Ünitesi
- Diğer bileşenler



Şekil 5. Rüzgar-Fotovoltaik Hibrid Güç Sistemi Şematik Gösterimi [4]

Hibrid sistem tasarımında en önemli noktalardan bir tanesi, sistemin doğru boyutlandırılmasıdır. Tasarlanan sistem doğru bir boyutlandırma yapılmadan kurulursa, yıl içinde bazı dönemlerde enerji talebine cevap veremediği görülebilir

4. Hazırlanan Paket Yazılım ve Yöntem

Hazırlanan yazılım, kullanıcının belirlediği bir konumda öncelikle enerji ihtiyacının belirlenmesini sağlamaktadır. Bunun sonrasında kullanıcı tasarlamak istediği sistem dâhilinde kullanmayı planladığı sistem bileşenlerini kendisi tanımlayabilmekte ya da önceden tanımlanmış olan sistem elemanlarını kullanabilmektedir.

Sistem için hazırlanan veri tabanı, Türkiye'deki 81 il ve bu illere ait 921 yerleşim bölgesinin bilgilerini içermektedir. Kullanıcı isteğe bağlı olarak, yeni yerleşim merkezi tanımlayabilmektedir.

	Ust_mrk_adi	alt_mrk_adi	hop_t_oc...	hop_t_subat	hop_t_mart	hop_t_nisan	hop_t_mayis	hop_t_haziran	hop_t_temmuz	hop_t_agustos	hop_t_eylul	hop_t_ekim	hop_t_kasim	hop_t_aralik
431	İZMİR	Balçova	3100	3740	4690	5450	5900	6350	6370	6160	5670	4830	3430	2720
432	İZMİR	Bayındır	3150	3850	4790	5480	5880	6310	6310	6210	5880	4880	3520	2810
433	İZMİR	Bergama	2710	3370	4410	5260	5830	6170	6230	6080	5530	4460	3080	2350
434	İZMİR	Beydağ	3040	3780	4760	5440	5810	6220	6240	6160	5810	4850	3440	2680
435	İZMİR	Bornova	3060	3730	4680	5440	5900	6300	6350	6240	5590	4760	3400	2690
436	İZMİR	Buca	3130	3770	4720	5470	5910	6350	6380	6210	5660	4840	3480	2750
437	İZMİR	Çeşme	3080	3710	4670	5540	6000	6490	6490	6370	5830	4830	3390	2680
438	İZMİR	Çiğli	3050	3710	4680	5420	5910	6320	6360	6210	5670	4760	3390	2670
439	İZMİR	Dikili	2850	3450	4480	5310	5860	6240	6280	6140	5620	4560	3190	2450
440	İZMİR	Foça	2990	3630	4610	5420	5920	6330	6390	6240	5760	4710	3350	2630
441	İZMİR	Gazemir	3140	3790	4750	5500	5940	6380	6410	6270	5770	4860	3460	2750
442	İZMİR	Güzelbahçe	3110	3740	4680	5490	5920	6400	6430	6240	5770	4850	3440	2720
443	İZMİR	Karaburun	2810	3660	4600	5520	6020	6440	6470	6310	5850	4650	3250	2400
444	İZMİR	Karşıyaka	3080	3730	4680	5420	5890	6310	6350	6170	5610	4780	3420	2720
445	İZMİR	Kemalpaşa	3040	3710	4670	5420	5870	6290	6350	6180	5530	4780	3400	2660
446	İZMİR	Kınık	2770	3410	4470	5250	5790	6150	6210	6070	5540	4510	3140	2390
447	İZMİR	Kiraz	3000	3740	4740	5390	5750	6180	6230	6130	5700	4790	3360	2700
448	İZMİR	Konak	3080	3730	4680	5430	5880	6320	6340	6150	5610	4790	3430	2710
449	İZMİR	Menderes	3060	3790	4750	5420	5790	6190	6220	6130	5780	4830	3440	2720
450	İZMİR	Menemen	3010	3670	4640	5390	5890	6290	6350	6190	5640	4720	3330	2650
451	İZMİR	Narlıdere	3070	3730	4680	5460	5900	6360	6390	6190	5720	4830	3420	2680
452	İZMİR	Özlemiş	3100	3810	4740	5400	5780	6170	6220	6150	5680	4870	3520	2740

Şekil 6. Veri tabanına işlenen 921 yerleşim merkezinden bir bölüm. [10]

4.1 Fotovoltaik Paneller ile Oluşturulan Sistem

Gerekli Fotovoltaik Panel Alanı
[5,6,9]:

$$A_{pv}(m^2) = \frac{E_g(Wh)}{I\left(\frac{Wh}{m^2}\right) \times \eta_{sist.}} \quad (3.1.1)$$

şeklinde hesaplanır.

A_{pv} : Toplam Fotovoltaik Panel Alanı (m^2)

E_g : Günlük Enerji İhtiyacı (Wh)

I : Işınım (Wh/m^2)

Gerekli Fotovoltaik Panel Sayısı
[5,6,9] :

$$N_{pv} = \frac{A_{pv}(m^2)}{A_{1pv}(m^2)}$$

(3.1.2)

şeklinde hesaplanır.

N_{pv} : Fotovoltaik Panel Sayısı (adet)

A_{1pv} : Birim Fotovoltaik Panel Alanı (m^2)

Gerekli Toplam Akü Kapasitesi [5,6,9]
:

$$C_{bat}(Wh) = \frac{E_g(Wh)}{\eta_{bat}} \times t_{oto.}(gün)$$

(3.1.3)

C_{bat} : Toplam Batarya Kapasitesi (Wh)

t_{oto} : Otonomi Süresi (gün)

Gerekli Batarya Sayısı [5,6,9] :

$$N_{bat} = \frac{C_{bat}(Wh)}{C_{1bat}(Ah) \times V_{bat}(V)} \quad (3.1.4)$$

N_{bat} : Batarya Sayısı (adet)

C_{1bat} : Birim Batarya Kapasitesi (Ah)

V_{bat} : Batarya Gerilimi (V)

Ayrıca boyutlandırmanın yanı sıra sistem için kapasite faktörü de hesaplanmaktadır.

Kapasite Faktörü

$$KF = \frac{\text{Gerçek Üretilen Enerji (kWh)}}{\text{Nominal Güç (kW)} \times 8760 (h)}$$

(3.1.5)

KF : Kapasite Faktörü

4.2 Rüzgâr Türbinleri ile Oluşturulan Sistem

Elektrik İşleri Etüt İdaresi rüzgâr ölçüm istasyonlarından elde edilen rüzgâr hızları 10m yükseklikte ölçülmüştür. Rüzgâr hızları sistemde kullanılacak olan rüzgâr türbini kule yüksekliğine göre Hellman yükseltme bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır [1,8].

$$V_r\left(\frac{m}{s}\right) = V_{ref}\left(\frac{m}{s}\right) \times \left(\frac{H(m)}{H_{ref}(m)}\right)^\mu \quad (3.2.1)$$

V_r : Rüzgâr Hızı (m/s)

V_{ref} : Referans Rüzgâr Hızı (m/s)

H : Kule Yüksekliği (m)

H_{ref} : Referans Yükseklik (m)

μ : Yüzey Pürüzlülük Katsayısı

Rüzgâr hızı gün içinde farklılık göstermektedir. Yıl boyunca rüzgâr hızı esme sürelerini hesaplamak için "Rayleigh Dağılım Fonksiyonu" kullanılmıştır [1,8].

$$h_r = 8760 \times \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{V_i}{V_{ort}}\right) \times e^{-\frac{\pi}{4}\left(\frac{V_i}{V_{ort}}\right)^2}$$

(3.2.2)

h_r : Esme Süresi (saat)

V_i : İstenen Rüzgâr Hızı (m/s)

V_{ort} : Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)

5. İzmir-Bornova Örneği

Sistem tasarlanırken işe ilk olarak, sistem tasarımı yapılacak noktadaki gerekli enerji ihtiyacını belirlemekle başlanır. Aşağıda görüldüğü gibi İzmir-Bornova yerleşim merkezinde kurulacak olan bir sistem için, günlük enerji ihtiyacı 4kWh olarak belirlenmiştir.

Şekil 7. Yerleşim merkezi ve yük belirleme ekranı.

Yerleşim merkezi ve yük belirlendikten sonra sıra, sistemde kullanılması düşünülen elemanları belirlemeye gelir. Tasarlanan örnek sistemde 150Wp gücünde fotovoltaik paneller, 1kW gücünde rüzgâr türbini, bir invertör ve 12V 100Ah kapasiteli aküler seçilmiştir.

Şekil 8. Sistem elemanları belirleme ekranı.

Sistem elemanları seçildikten sonra “Tasarla” butonuna basılarak, sistemin yıl boyunca aylar bazında ihtiyaç duyacağı fotovoltaik güç, sistemde bulunması gereken fotovoltaik panel sayısı,

sistem için gerekli akü kapasitesi, sistem için gerekli akü sayısı, deklinasyon açısı ve sistemde bulunan fotovoltaik panellerin optimum duruş açısı hesaplanmakta ve tablo şeklinde kullanıcıya sunulmaktadır.

TANIMLAMALAR ANALİZ						
Yerleşim Merkezi ve Yük Belirleme Sistem Bileşenleri PV Hesaplama Sonuçları Rüzgâr Hızı Esmeye Süreleri Hesaplama Sonuçları Rüzgâr Hesaplama Sonuçları PV Hesaplama Grafikleri Ort. Ri						
	Gerekli Toplam PV Gücü (Wp)	Sistemdeki PV Panel Sayısı (Adet)	Sistem İçin Gerekli Toplam Akü Kapasitesi (Wh)	Sistem İçin Gerekli Akü Sayısı (Adet)	Deklinasyon Açısı (o)	Sistemdeki PV Panellerin Duruş Açısı (o)
▶ OCAK	2038,5	13,59	8000	6,67	-20,92	59,16
ŞUBAT	1672,34	11,15	8000	6,67	-12,95	51,19
MART	1332,87	8,89	8000	6,67	-2,42	40,66
NISAN	1146,66	7,64	8000	6,67	9,41	28,83
MAYIS	1057,26	7,05	8000	6,67	18,79	19,45
HAZİRAN	990,13	6,6	8000	6,67	23,09	15,15
TEMMUZ	982,33	6,55	8000	6,67	21,18	17,06
AĞUSTOS	999,65	6,66	8000	6,67	13,45	24,79
EYLÜL	1115,89	7,44	8000	6,67	2,22	36,02
EKİM	1310,47	8,74	8000	6,67	-9,6	47,84
KASIM	1834,65	12,23	8000	6,67	-18,91	57,15
ARALIK	2318,89	15,46	8000	6,67	-23,05	61,29

Şekil 9. Fotovoltaik sistem hesaplamaları ekranı.

Bir sonraki tabloda ise, rüzgâr enerjisine dair hesaplamaların sonuçları kullanıcıya sunulmaktadır. 25m/s rüzgâr hızına kadar gerçekleşen esme süreleri aylar bazında hesaplanmaktadır.

TANIMLAMALAR ANALİZ						
Yerleşim Merkezi ve Yük Belirleme Sistem Bileşenleri PV Hesaplama Sonuçları Rüzgâr Hızı Esmeye Süreleri Hesaplama Sonuçları Rüzgâr Hesaplama Sonuçları						
	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN
▶ Türbin Kule Yüksekliğindeki Rüzgâr Hızı (m/s)	5,73	6	6,11	4,41	4,83	6,01
1 m/s Esmeye Süresi (saat)	1,12	1,02	0,99	1,86	1,56	1,02
2 m/s Esmeye Süresi (saat)	2,09	1,92	1,86	3,3	2,82	1,91
3 m/s Esmeye Süresi (saat)	2,78	2,58	2,51	4,04	3,58	2,57
4 m/s Esmeye Süresi (saat)	3,13	2,95	2,88	4,06	3,77	2,95
5 m/s Esmeye Süresi (saat)	3,16	3,03	2,98	3,53	3,48	3,03
6 m/s Esmeye Süresi (saat)	2,91	2,86	2,84	2,72	2,89	2,86
7 m/s Esmeye Süresi (saat)	2,49	2,52	2,52	1,88	2,17	2,52
8 m/s Esmeye Süresi (saat)	1,99	2,07	2,1	1,17	1,5	2,08
9 m/s Esmeye Süresi (saat)	1,49	1,61	1,65	0,66	0,95	1,61
10 m/s Esmeye Süresi (saat)	1,05	1,18	1,23	0,34	0,56	1,19
11 m/s Esmeye Süresi (saat)	0,7	0,82	0,87	0,16	0,3	0,83
12 m/s Esmeye Süresi (saat)	0,44	0,54	0,59	0,07	0,15	0,55
13 m/s Esmeye Süresi (saat)	0,26	0,34	0,38	0,03	0,07	0,34

Şekil 10. Rüzgâr enerjisi hesaplamaları ekranı.

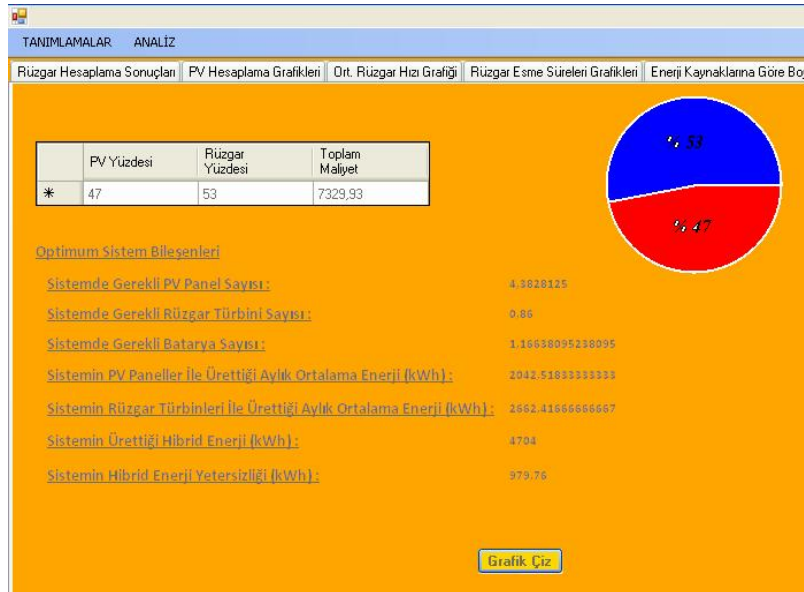


Şekil 11. Sistem hesaplamaları grafiksel ekranı.

Daha sonra bu hesaplamalar grafiksel olarak ortaya koyulmakta ve sistemin genel karakteristiğini okumayı kolaylaştırmaktadır.

Sonuç olarak sistemin, rüzgâr ve güneş enerjileri birlikte kullanılarak tasarlanması durumunda, optimum boyut ve maliyeti yakalamak için, olması gereken sistem dengesi yüzdesel ve rakamsal olarak ifade edilmektedir.

İzmir Bornova yerleşim merkezi için tasarlanan bu sistemde, %53 rüzgâr ve %47 güneş dengesi en iyi sonuç olarak belirlenmiştir. Bu değerler, sistemde kullanılan elemanların maliyetleri ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 12. Optimum sonuç ekranı.

6. Kaynaklar

[1] Pattel, M. R., (1999), Wind and Solar Power Systems, Ph. D., P.E, U.S. Merchant Marine Academy Kings Point, New York, 50-84p.

[2] Messenger, R. A. ve Ventre J., (2004), Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, London-New York -Washington DC, 21-45p.

- [3] Çolak, M., (2003), Fotovoltaik Sistemler Ders Notu, İzmir.
- [4] Salmanoğlu, F., Çetin, N. S., (2009), Rüzgâr - PV Otonom Hibrid Güç Sistemlerinin Optimal Maliyetle Boyutlandırılması, 2.Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu (RÜGES), Samsun.
- [5] Borowy B. S. and Salameh Z. M., (1994), Optimum Photovoltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System, IEEE Transactions on Energy Conversion, University of Massachusetts Lowell, 482-488p.
- [6] Borowy B. S. and Salameh Z. M., (1996), Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System, IEEE Transactions on Energy Conversion, University of Massachusetts Lowell, 368-372p.
- [7] Ata, R. ve Çetin, N.S., (2007), 3 kW Otonom Bir Rüzgâr Türbini Kurulumu ve Enerji Eldesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Ankara, 43-45s.
- [8] Abouzahr, I., Ramakumar, R., (1990). Loss of power supply probability of stand-alone electric conversion systems: a closed form solution approach. IEEE Transactions on Energy Conversion 5, 445-452p.
- [9] Muneer, T., (2004), Solar Radiation and Daylight Models, Elsevier Ltd. All rights reserved, Napier University, Edinburgh, 36-52p.
- [10] JRC European Commission Photovoltaic Database, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>