

# DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDEKİ RÜZGAR ENERJİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA

Yılmaz ASLAN<sup>1</sup>

Celal YAŞAR<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 43100, Kütahya

<sup>1</sup>e-posta: [yaslan@dumlupinar.edu.tr](mailto:yaslan@dumlupinar.edu.tr)

<sup>2</sup>e-posta: [cyasar@dumlupinar.edu.tr](mailto:cyasar@dumlupinar.edu.tr)

*Anahtar kelimeler: Rüzgar Enerjisi, Türbin Teknolojisi, Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri*

## ÖZET

*Bu çalışmada Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampusta rüzgardan elektrik enerjisi üretilebilmesi için örnek bir model öngörülmüştür. Kampusta 2000 yılından beri yapılan rüzgar ölçümlerinde rüzgar hızı ortalamasının büyük güçlü rüzgar türbinlerinin başlangıç hızları civarında olması nedeniyle önerilen modelde düşük rüzgar hızlarında elektrik enerjisi üretebilen türbinler araştırılmıştır. Önerilen model ile rüzgar hızının düşük olduğu yerlerde küçük güçlü rüzgar türbinleri kullanılarak daha fazla elektrik enerjisi üretilebileceği gösterilmiştir. Küçük güçlü türbinler özellikle son yıllarda maliyetlerin düşmesiyle şebekeye uzak bireysel kullanıcılar için enerji üretiminde kullanılan hibrid sistemlerin vazgeçilmez bileşenlerinden biridir.*

koruması ve rüzgar hızlarındaki değişmeye aşırı duyarlı olmaları gibi problemleri bulunmaktadır [2,3].

Küçük güçlü rüzgar türbinleri, şebekeden bağımsız sistemlerde yakıt sarfiyatını azaltmak için mevcut bir dizel generatör varsa onunla birlikte kullanılabilirler. Rüzgar türbini ana ihtiyacı karşılamak üzere, dizel generatör ise daha yüksek güç ihtiyaçlarında veya rüzgar hızının düşük olduğu durumlarda sisteme destek için devreye sokulabilir [4,5].

Bu çalışmada Temmuz 2001'den beri Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüsünde 10 m. ve 30 m. yükseklikte kaydedilen veriler kullanılmıştır. Toplanan verilere göre uygun türbin ve generatör seçimi yapılarak örnek bir uygulama değerlendirilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları (özellikle rüzgar enerjisi) zararlı gazların çevre etkilerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, dünyanın tüm ülkeleri zararlı gazların bu etkilerini azaltmaya çalışmaktadır. Bu çerçevede 1992 yılında Rio'da imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konvansiyonu Çerçeve Anlaşmasında, sera gazı emisyonlarını 2000 yılında 1990 yılı seviyelerine çekilmesi kararı alınmıştır. Aralık 1997 Kyoto konferansında, dünyadaki gaz emisyonlarının 2008-2012 yılları arasında 1990 yılı seviyesinin %5.2 altına çekilmesi öngörülürken, Avrupa Birliği Ülkelerinde ise bu hedef %8 olarak seçilmiştir [1].

Rüzgar enerjisi kullanımının dünyadaki örneklerine bakıldığında iki bölümde ele alınmaktadır. Bunlar küçük güçlü türbinler olarak adlandırılan, bireysel veya küçük ölçekli uygulamalara yönelik sistemler ile büyük güçlü türbinler adını alan endüstriyel kullanıma yönelik sistemlerdir. Küçük güçlü türbinler 50 kW'ta kadar olan güçteki türbinler olup genellikle şebekenin bulunmadığı veya enerji iletim ve dağıtımının ekonomik olmadığı, ya da sorunlu olduğu yerlerde uygulanmaktadır. Temel aerodinamik ilkelerin türbin büyüklüğünden bağımsız olmalarına karşılık küçük güçlü türbinlerin ilk kalkınmadaki kararsızlığı, aşırı hız

## 2. TÜRBİN TEKNOLOJİSİ

Günümüzde kurulan büyük güçlü rüzgar santrallerinde üç türbin tipinden biri kullanılmaktadır. Bunlar; sabit hızlı, direkt şebekeye bağlı (asenكرون) sincap kafesli indüksiyon motorlu, değişken hızlı, çift rotor sargılı indüksiyon motorlu, değişken hızlı, direkt tahrikli senkron generatörlü olarak sınıflandırılabilir. Sabit hızlı türbin mekanizması, rotor ve rotora dişli kutusu üzerinden bağlanan sincap kafesli (asenكرون) indüksiyon generatörden oluşmaktadır. Generatörde stator sargıları direkt olarak şebekeye bağlanmaktadır. Bu türbinlerin hızlarında meydana gelen değişme %1-2 gibi çok düşük düzeydedir. Bu nedenle bu türbinler sabit hızlı olarak sınıflandırılmaktadır. Değişken hızlı rotoru sargılı indüksiyon generatörlü rüzgar türbininde, kullanılan çevirici (converter) rotor sargılarını beslerken, stator sargıları doğrudan şebekeye bağlanmıştır. Rotor frekansı bu çevirici aracılığı ile değiştirilerek elektriki ve mekanik frekans birbirinden bağımsız hale getirilmektedir. Böylece değişken rotor hızlarında statordan sabit frekanslı gerilim elde edilmektedir. Değişken hızlı direkt tahrikli senkron generatörlü türbinde ise şebeke ve generatör, kullanılan çevirici sayesinde tamamen ayrık durumdadır. Generatörden elde edilen değişken frekanslı alternatif akım (AA) çevirici ünitesinde

doğru akıma (DA) çevrilmekte ve daha sonra şebeke frekansında AA'ya çevrilerek şebeke ile senkronize çalışmaktadır [6,7].

Küçük güçlü rüzgar santrallerinde 1 kW'a kadar olan güçlerde sabit mıknatıslı generatör, 5 kW ve üzeri türbinlerde ise sabit mıknatıslı veya indüksiyon generatör kullanılmaktadır [2].

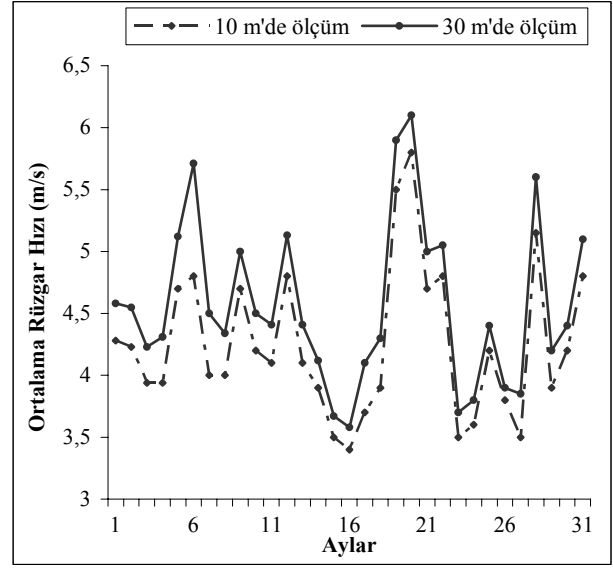
Türbin seçiminde türbinin performansı oldukça önemlidir. Türbin performansını olumsuz etkileyen faktörler aşırı hız koruması, şarj kontrol ünitesi, atmosferik türbülans ve kuvvetli rüzgarlar olarak sıralanabilir. Rüzgar hızı belirli bir sınır değerine üzerine çıktığında mekanik olarak otomatik aşırı hız koruması çalışarak kanatların pozisyonunu değiştirir ve türbini devre dışı bırakır. Bu olay 16m/s ile 20 m/s arasında rüzgar hızlarında oluşur. Bu aralıktaki kararsızlıkta türbin devreye girip çıkarak şebekede güç dalgalanmalarına neden olmaktadır. Rüzgar hızının 16m/s'nin altına düşmesiyle türbin tekrar eski konumuna dönmeye çalışır, fakat türbine ait sönümleyici amortisör bunu engeller. Bu engelleme rüzgar hızı 10m/s'ye düşünceye kadar devam eder. Türbinden elde edilen güç ile batarya şarj kontrol ünitesi uyumlu olmalıdır. Yüksek rüzgar hızlarında üretilen ihtiyaç fazlası güç, denge yüküne yönlendirilerek bataryaların zarar görmesi engellenir. Yüksek türbülanslı rüzgarlarda türbinin rüzgar yönünü sürekli takip etmesi olanaksızdır. Bu durumdan türbin performansı olumsuz etkilenebilir. Küçük güçlü rüzgar türbinleri, rüzgar hızlarındaki değişimlerden büyük güçlü türbinlere göre daha fazla etkilenmektedirler. Türbinin kuvvetli rüzgarlara maruz kalması durumunda türbin yönünü değiştirerek türbini koruyan mekanizma bazen görevini yapmamaktadır. Bu nedenle bu mekanizmanın çok iyi ayarlanması gerekmektedir [4,5].

### 3. RÜZGAR ÖLÇÜMLERİ

Dumlupınar Üniversitesi kampusuna yerleştirilen rüzgar ölçüm istasyonu Temmuz 2001'den beri 10. ve 30. m'deki sensörlerden alınan hız ve yön bilgileri (datalogger) verikaydedici tarafından kaydedilmektedir. Her 10 dakikalık aralıklarla ortalama, maksimum ve minimum değerler ile bunların standart sapmaları bulunmaktadır. Bu amaçla CALLaLOG 98 yazılımı kullanılmaktadır. Bu yazılım vasıtasıyla alınan ölçüm değerleri, kampusun bulunduğu bölgenin topografik özellikleri de dikkate alınarak ALWIN yazılımında değerlendirilmektedir [8].

Bir bölgenin rüzgar potansiyelini belirleyebilmek için o bölgede en az bir yıl boyunca ölçüm almak gerekir. Daha güvenilir sonuçlar için bir yıldan daha fazla ölçüm almak değerlendirme için daha sağlıklı sonuçlar verir. Kampusta Temmuz 2001'den beri ölçüm

alınmış ve bu ölçümlere ait ortalama aylık hız dağılımları Şekil 1'de verilmiştir [8].



Şekil 1. Aylık ortalama rüzgar hızı

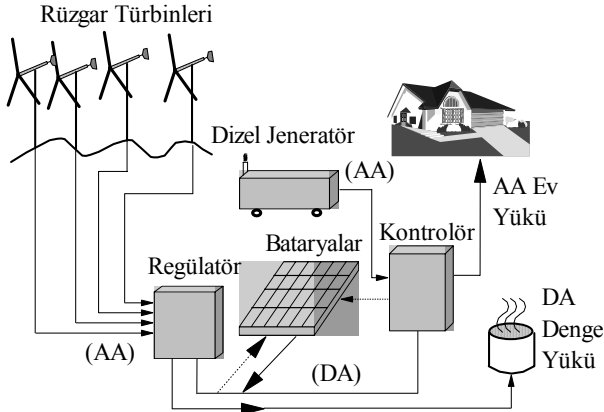
Şekil 1'deki bu sonuçlara göre 10 m yükseklikte ortalama hız 4,27 m/s, 30 m yükseklikte 4,60 m/s olarak hesaplanmıştır [8]. Kampusta ölçülen bu rüzgar hızı, halen üretilmekte olan büyük türbinlerin çalışma başlangıç hızına karşılık gelmektedir. Ancak modern türbinlerde başlangıç hızları daha da aşağıya çekilmeye çalışılmaktadır.

### 4. TÜRBİN SEÇİMİ

Rüzgardan elektrik enerjisi üretilmesinde kapasite faktörünün %25 ile %33 arasında değişmesi, bölgenin rüzgar potansiyelinin enerji üretimi için uygun olduğunu, %40 ve daha üst seviyelere ulaşması ise sonucun çok iyi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle rüzgar santralının ekonomik ve teknik olarak kurulup kurulmayacağı belirlenmesinde, santralin kapasite faktörü belirleyici bir etkidir [8]. Yapılan rüzgar hızı ölçümlerinde büyük türbinler için kapasite faktörü %12 ile %17 arasında hesaplanmıştır.

Kampustaki rüzgar hızının değişken oluşu ve rüzgar santrallerinin genel karakteristiği dikkate alındığında Şekil 2'de gösterilen sistem öngörülmüştür. Şekil 2'deki sistemde santralden elde edilecek akım doğrultularak akümülatörlerden oluşan havuzda depolanacak ve sonra tekrar alternatif akıma çevrilerek frekansının sabitlenmesiyle merkez kampusta belli bir alan aydınlatılacaktır. Elde edilen enerjinin aydınlatmada değerlendirilmek istenmesinin nedeni aydınlatma armatürlerinin sabit güçlü ve statik karakterli olmasındandır. Sistemde denge yükü kullanılmasının nedeni, bataryaların terminal gerilimleri istenilen değere ulaşınca, üretilen fazla enerji bu yüke yönlendirilerek bataryaların aşırı şarjdan zarar görmesi önlenecektir. Uygulamada denge yükü genellikle enerjinin su ısıtma işleminde

kullanılması şeklindedir. Şekil 2’de gösterilen sistem tasarlanırken, ileriye dönük olarak sisteme güneş panelleri ve dizel generatörün bağlanması da planlanmaktadır. Böylece elektrik enerjisi üretiminin sürekliliği sağlanırken maliyetide düşürülecektir.



Şekil 2. Örnek Uygulama

Şekil 2’de görülen sistemin şu anki fiyatlarla türbin, akümülatör grubu, çevirici ve bağlantılar dahil maliyeti, sistemin ürettiği enerjinin ürettiği enerjiyle yaklaşık 15 yılda ödemesi hesaplanmıştır. Bu durumda kurulan ünitelerin 40 yıl ömürleri olduğu düşünülürse 25 yıl daha ücretsiz enerji üretecekler demektir.

Uygun türbin seçimi yapabilmek için elektrik enerjisi üretiminde küçük güçlü rüzgar türbini uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Bergrey türbinlerinin üç farklı tipinin karşılaştırması yapılmıştır. Küçük güçlü rüzgar türbinleri üç kanatlı, mekanik aşırı hız korumalı, direkt tahrikli ve daimi mıknatıslı alternatörden oluşmaktadır. Türbinler  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $+60^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında çalışabilecek ve 54 m/s rüzgar hızlarına dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla pervane kanatlarında karbon lifler kullanılarak güçlendirilmiştir. Bergrey türbinlerinin 3 farklı güç ve tipte olanlarının teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu rüzgar türbinlerinin her üçünün boşa dönme rüzgar hızı 14.3 m/s maksimum tasarlanan rüzgar hızları ise 54 m/s’dir [9].

Tablo 1. Bergrey Rüzgar Türbini Özellikleri

Türbin Özellikleri	Türbin Modelleri		
	XL1	BWC 1500	Excel S 10
Kanat çapı (m)	2.5 m	3.0 m	7.0 m
Başlangıç rüzgar hızı (m/s)	3 m/s	3.6 m/s	3.4 m/s
Kesme rüzgar hızı (m/s)	2.5 m/s	3.6 m/s	3.1 m/s
Çıkış rüzgar hızı (m/s)	11 m/s	12.5 m/s	13.8 m/s
Çıkış formu	24 VDC	12-120 VDC	3 Faz AC & 48-240 VDC
Çıkış gücü (kW)	1,0	1,5	10,0

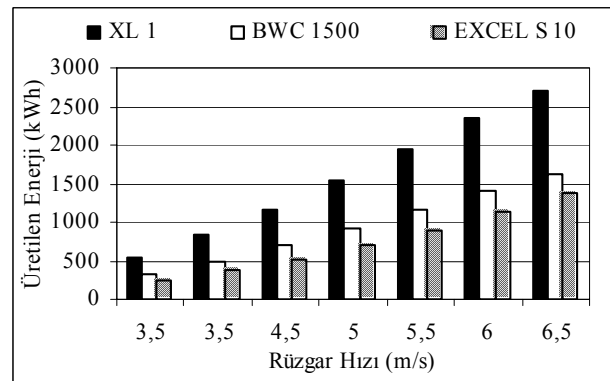
Tablo 1 incelendiğinde, XL1 tipi türbininin düşük rüzgar hızlarında enerji üretmeye başladığı ve normal çalışma hızının diğerlerine göre düşük olduğu gö-

rülmektedir. Nominal çıkış gücünün 1000 W olmasına karşılık maksimum çıkış gücü 1.6kW’a kadar çıkabilmektedir. BWC 1500 türbin tipinin özelliği ise başlangıç ve normal çalışma hızlarının 1kW’lık türbinden daha yüksek olmasıdır. Bu özellikleri bu türbini rüzgar hızı yüksek olan alanlar için avantajlı kılmasına karşılık, düşük rüzgar hızlarına sahip alanlar için dezavantajlı hale getirmektedir. Excel S 10 tipi rüzgar türbininin başlangıç ve normal çalışma hızları diğer türbinlerden daha yüksektir. Bu türbinin en büyük avantajı doğru akım dışında üç fazlı (AA) çıkışı da bulunmasıdır. Bu üç türbine ait 10 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızlarına göre ürettikleri aylık enerji miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Türbinlerin aylık enerji üretimi (kWh)

10 m Yükseklikteki Yıllık ort. rüzgar hızı (m/sn)	~4,0	~4,8	~5,4	~5,8	~6,2	
XL 1 ile Enerji Üretimi (kWh)	20 m direkte	125	195	250	285	320
	32 m direkte	160	235	295	330	160
BWC 1500 ile Enerji Üretimi (kWh)	20 m direkte	87	142	186	215	242
	32 m direkte	105	166	213	243	269
Excel S 10 ile Enerji Üretimi (kWh)	20 m direkte	450	770	1060	1290	1510
	32 m direkte	735	1200	1590	1890	2160

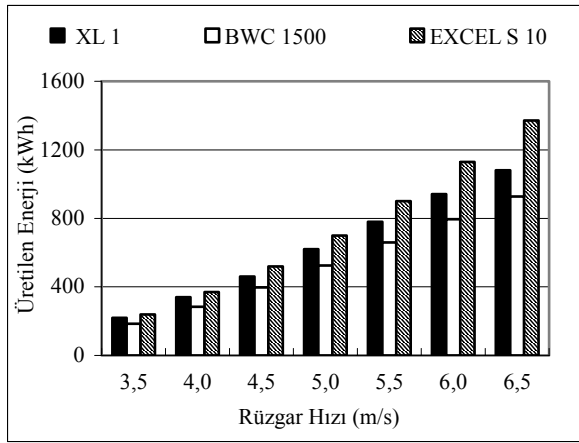
Rüzgar hızının 4.5 m/s civarında seyretmesi küçük güçlü rüzgar türbinlerini daha avantajlı kılmaktadır. Değişik rüzgar türbini kombinasyonları için üretilen enerji miktarları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Aynı kurulu güçteki türbinlerin ürettikleri enerji miktarları

Bu kombinasyonlar; (10x1 kW) XL 1, (7x1.5 kW) BWC 1500, (1x10 kW) Excel S 10 şeklindedir. Kombinasyonların bu şekilde olmasının nedeni türbinlerin farklı güçlere sahip olmalarıdır. Bütün türbinlerin 10kW kurulu güç için değerlendirilmesinin yapılabilmesi için 1kW’lıktan 10, 1,5kW’lıktan 7 ve

10kW'lıktan 1 adet alınmıştır. Şekil 3 incelendiğinde XL 1 kombinasyonunun düşük rüzgar hızlarında diğerlerine göre daha fazla enerji ürettiği görülmektedir. Enerji üretimi yapılacak yerde küçük güçlü rüzgar türbininin kapasite faktörünün yüksek olmasından dolayı XL 1 sistemin ürettiği enerjinin Excel S 10 sistemin yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Şekil 4'teki gösterimde kampustaki uygulama için düşünülen (4x1kW) XL 1, (4x1.5 kW) BWC 1500 ve (1x10 kW) Excel S 10 üç farklı konfigürasyon için üretilecek toplam aylık enerji miktarları verilmiştir.



Şekil 4. Farklı kurulu güçlerde türbinlerin ürettikleri enerji

Üretilen enerji miktarlarına bakıldığında 4x1kW'lık XL1 kombinasyonunun (4x1.5kW)'lık kombinasyondan daha fazla enerji ürettiği görülmektedir. 1 adet 10 kW'lık türbinin ise ürettiği enerji miktarının 4x1kW'lık kombinasyona oldukça yakın olduğu hız yükseldikçe ise beklenildiği gibi farkın açıldığı görülmektedir. Ancak enerji üretiminin yapılması planlanan alanda rüzgar hızının 4-4.5 m/s civarında olduğu ve nadiren 6 m/s'yi geçtiği düşünülürse 4x1kW'lık kombinasyonun hem enerji üretimi açısından hem de kurulum ve işletme maliyetleri açısından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada Dumlupınar Üniversitesi Kampusunda örnek bir uygulama ile küçük güçlü (4x1.0 kW) değişken hızlı rüzgar türbini kullanılarak 4~5 m/s'nin altındaki rüzgar hızlarında üretilebilecek elektrik enerjisi maksimize edilmeye çalışılmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada rüzgar hızının enerji üretimi için düşük olduğu bir bölgede düşük güçlü fakat yüksek kapasite faktörüne sahip türbin seçimi yapılarak elektrik enerjisi üretimi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Düşük güçlü rüzgar türbini seçilerek, büyük güçlü türbin için başlangıç değeri olan 4 m/sn'lik rüzgar hızında 20 metrede %17.3, 32 metrede ise %22'lik kapasite faktörü elde edileceği görülmüştür. Modellenen sistem

özellikle şebekeye uzak noktalardaki çiftlik, baz istasyonu, radyo vericileri gibi noktalarda enerji üretimini ekonomik hale getirmektedir. Özellikle bu noktalara enerji taşınmasındaki ilk yatırım maliyetleri ve kayıplar dikkate alındığında, sistemin avantajları daha da çarpıcı olacaktır.

Bölgedeki rüzgar potansiyelinin daha iyi değerlendirilmesi ve özellikle değişken hızlı rüzgar türbinlerinin geliştirilerek özellikle bölgedeki ağır kış şartlarında konutların rüzgardan elde edilecek enerjiyle ısıtılması planlanmaktadır. Böylece enerjide ekonomi sağlanmasının yanında bölgede kışın çok ciddi boyutlara varan hava kirliliğine kısmen de olsa çözüm bulunmuş olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Clulow, R., "Financing for Wind Energy", Renewable Energy, Pergamon, Vol.16, pp:858-862,1999.
2. Clausen, P.D., Wood, D.H., "Research and Development Issues For Small Wind Turbines", Renewable Energy, Pergamon, 1999, Vol. 16, pp: 922-927.
3. Mayer, C., Bechly, M.E., Hampsey, M., Wood, D.H., "The Starting Behaviour of a Small Horizontal Axis Wind Turbine", Renewable Energy, Pergamon, 2001, Vol. 22, pp: 411-417.
4. Bowen, A.J., Zakay, N., Ives, R.L., "The Field Performance of a Remote 10 kW Wind Turbine", Renewable Energy, Pergamon, 2003, Vol. 28, pp: 13-33.
5. Bowen, A.J., Cowie, M., Zakay, N., "The Performance of a Remote Wind-Diesel Power System", Renewable Energy, Pergamon, 2001, Vol. 22, pp: 429-445.
6. Neij, L., "Cost Dynamics of Wind Power", Energy, Pergamon, Vol.24, pp:375-389,1999.
7. Slootweg H, Vries E., "Wind Turbines Fixed vs. Variable Speed", Renewable Energy World, pp 31-40, Volume 6 Number 1, London. Jan – Feb 2003.
8. Köse, R., Özgür, M.A., Alakuş, B., "Kütahya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli", II.Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 26-28/Mayıs/2004, Kütahya, Sayfa: 229-237.
9. <http://www.alternatifenerji.com>, Alternatif Enerji Sistemleri, Türkiye, 2005.