

RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMINI ETKİLEYEN PARAMETRELER VE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Semih ÜZE¹, Soner ÇELEN¹, Aytaç MORALAR¹

¹Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü 59860 Çorlu/TEKİRDAĞ
Tel: 282 6529475-142, Fax: 282 6529372, e-mail: sonerc@corlu.edu.tr

Alınış: 25 Şubat 2008
Kabul Ediliş: 15 Eylül 2008

Özet: Bu projede rüzgâr enerjisinin Türkiye'deki potansiyel kullanım alanları ve uygulanabilirliği araştırılmıştır. Tasarlanan türbin için devreye giriş hızı 4 m/s, nominal hız 12,5 m/sn, devreden çıkış hızı ise 22 m/sn olarak seçilmiştir. Nominal güç 600kW, pala sayısı 3 kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapılan basitleştirmeler de göz önüne alınarak incelendiğinde, tasarım, mevcut türbinlerin verileri ve benzer çalışmaların yer aldığı makaleler ile kıyaslandığında uygun sonuçlar vermiştir. Ayrıca tasarım esnasında, türbinin kullanılacağı rüzgâr koşulları ile saha seçiminin en az türbin performansı kadar önemli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerjisi, Rüzgâr Türbini, Tasarım, Yenilebilir Enerji

INVESTIGATION OF EFFECTIVE PARAMETERS ON WIND TURBINE DESIGN

Abstract: In this study, the wind energy potential of Turkey and its applicability were investigated. A house type wind turbine with a 600 kW nominal power was designed by proper assumptions. For design turbine; cut-in wind speed, nominal speed, shut-down speed values and blade number were selected 4m/s, 12.5m/s, 22m/s and 3 respectively. The results of this study were compared with similar papers in literature. A good agreement was observed. Furthermore, it is concluded that the selection of wind conditions and area characteristics are important as much as turbine performance during a turbine design.

Keywords: Wind Energy, Wind Turbine, Design, Renewable Energy

Giriş

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerjiler arasındaki en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli enerji türüdür. Tamamıyla doğa ile uyumlu olup hem çevreye zarar vermeyen hem de tükenme ihtimali olmayan bir enerji kaynağıdır. Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu atmosferdeki CO₂ artışından ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmadır. Oysa, rüzgâr santralleri CO₂ emisyonu olmayan santrallerdir. Rüzgârın temiz kaynak olması, olumsuz çevre etkilerinin hiç bulunmaması demek değildir. Dünya nüfusunun yaklaşık % 80'i kırsal kesimde yaşamakta ve yaklaşık % 65'i şebekeden elektrik enerjisi temin edememektedir. Gelecek 30 yıl içinde şebekeden yararlanmayacak insan sayısının yaklaşık 2 milyar civarında olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle küçük ve şebekesiz yerlerde, rüzgâr yardımıyla enerji temini yüksek bir potansiyele sahip olabilecektir. Diğer taraftan, rüzgâr enerjisinin süresiz bir enerji olması, dolayısıyla mevcut enerji üretim sistemleriyle entegre çalışılması veya depolama için yöntemler geliştirilmesi gerekmektedir (Taşgetiren, 1998).

Rüzgâr türbini esas olarak, rüzgârdaki dönen bir rotor ve buna bağlı bir alternatörden oluşuyor. Teknolojideki verimi arttırmaya ve hareketli parçaların sayısını azaltmaya yönelik gelişmeler, etkin ve güvenilir türbinler ortaya koymuş durumdadır. Tasarım ayrıntıları, güç düzeyine ve rüzgâr hızına bağlı olarak, tip ve modele göre değişiyor. En uygun modelin seçilme kararı, türbin konumunun ve bu konumdaki, ortalama ve en yüksek rüzgâr hızlarının, önceden yapılan ölçümlerle belirlenmiş olmasını gerektiriyor. Ortalama hızlarda en iyi performansı verebilecek ve en yüksek hızın yol açacak kuvvetlere dayanabilecek olan tip ve model, ancak bundan sonra belirlenebiliyor (ALTIN, 2004). Aküner ve Kakilli (2004), yaptıkları çalışmada uygulamanın yapılacağı evin elektrik ihtiyacının belirlenmesi, kullanılacak enerji kaynağının belirlenmesi, enerji ihtiyacını karşılayacak sistem ekipmanlarının hesaplanması, ana sistem kontrolörünün özelliklerinin belirlenmesi gibi aşamalar incelendikten sonra en uygun sistem seçimi gerçekleştirilmişlerdir.

Bu projede amaç rüzgâr enerjisinin Türkiye'deki potansiyel kullanım alanları incelenip, ne tipte ve ne büyüklükte türbin kullanılabileceği belirlenmiştir. Yapılan kabullerle küçük ölçekte 600 kW'lık rüzgâr türbini tasarımı yapılmıştır.

Materyal ve Metot

Pala sayısı

Kullanım amacına uygun bir pala sayısı seçimi için Çizelge 1.'de verilen değerler yol gösterici olacaktır.

$$\text{Uç hız oranını şu şekilde tanımlarsak : } \lambda = \frac{\Omega r}{U} \quad (1)$$

U : Serbest akım hızı
 Ω : Rotorun açısal hızı
 r : Yerel pala yarıçapı, boyutsuz yerel pala yarıçapı
 λ : Uç hız oranı

Çizelge 1. Çeşitli uç hız oranlarına karşılık gelen uygun pala sayıları (Olivari, 1984)

Uç hız oranı	Pala sayısı
1	6-20
2	4-12
3	3-6
4	2-4
5-8	2-3
8-15	2

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi amaçlı türbinlerde, çalışılan uç hız oranlarında genel olarak üç palalı tasarımlar tercih edilmektedir. Çünkü tek ya da iki palalı türbinlerde yel kapan göbeklerinde aerodinamik açıdan büyük dengesizlikler söz konusudur. Ayrıca üç palalı pervane dinamik olarak simetrik; yani pervane merkezinden geçen ve dönme düzleminde yer alan her eksene göre aynı kütleli atalet momentine sahiptir.

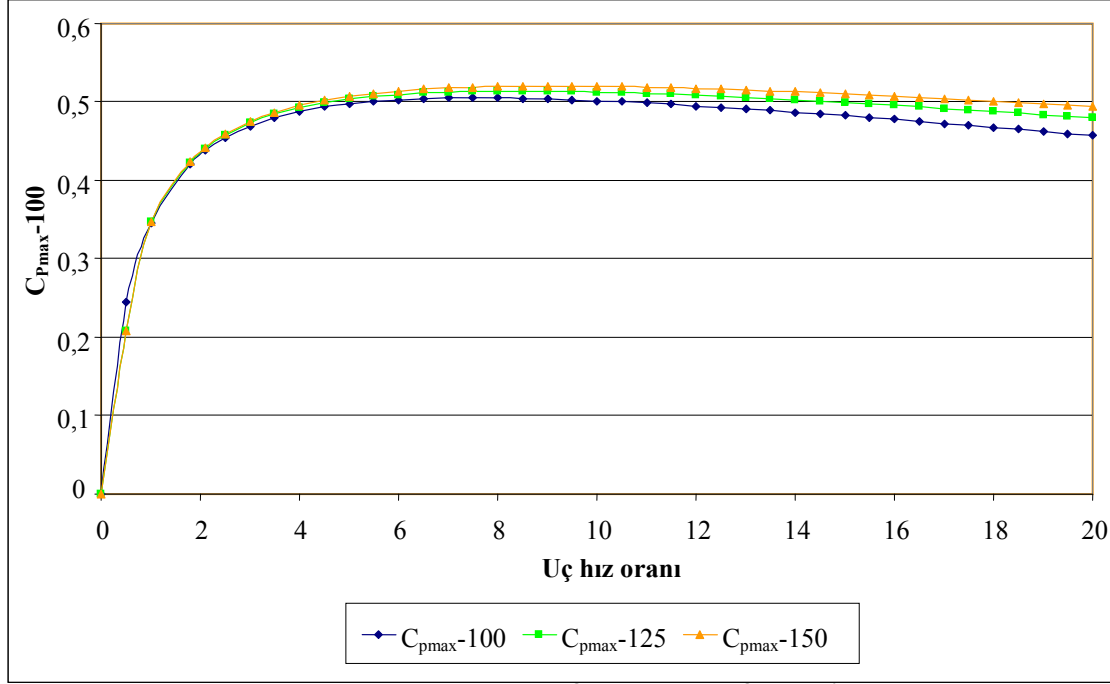
Uç hız oranı

Türbinin yüksek performans sağlaması amacıyla seçilebilecek bir uç hız oranını belirlemek için denklem (2)'de verilen ampirik ifadeden faydalanılabilir (Spera, 1994).

$$C_{p,max} = 0,593 \left[\frac{\lambda B^{0,67}}{1,48 + (B^{0,67} - 0,04)\lambda + 0,0025\lambda^2} - \frac{1,92\lambda^2 B D}{1 + 2\lambda B L} \right] \quad (2)$$

Yukarıdaki formül kullanılarak L/D oranı 100, 125, 150 değerlerinde olan 3 palalı bir türbin için çeşitli uç hız oranlarında $C_{p,max}$ - uç hız oranı grafiği Şekil 1.'de görülmektedir. L/D oranı 125 olan profil ile, $\lambda = 8$ 'deki $C_{p,max} = 0,515$ değeri yanında $\lambda = 6$ 'daki $C_{p,max} = 0,51$ değeri güç katsayısında önemli bir düşüş olmayacağını göstermektedir. Bu faktörler göz önüne alınarak uç hız oranı 6 olarak seçilmiştir.

C_p : Güç katsayısı
 B: Pala sayısı, veter dağılımı katsayısı
 L/D: Taşıma/Sürüklenme oranı



Şekil 1. Uç hız oranlarına karşılık gelen maksimum güç katsayıları

Dizayn hızı

Kesme hızı da 20-28 m/s arasında bir değer alır. Tasarlanacak olan türbin için devreye giriş hızı 4 m/s, nominal hız 12,5 m/sn, devreden çıkış hızı ise 22 m/sn olarak seçildi.

Tasarım Hedefleri Ve Kabuller

- Nominal Güç : 600 kW
- Devreye Giriş Hızı : 4 m/sn
- Devreden Çıkış Hızı : 22 m/sn
- Nominal Hız : 12,5 m/sn, Uç Hız Oranı : 6
- Pala sayısı 3, önden rüzgârlı (upwind) türbin
- Güç kontrolü : Aktif Stall, Rotor Hızı : İki Hızlı
- Göbek Yüksekliği : 50 m
- Kök Açıklığı : 0,1 R
- Dişli kutusu ve jeneratör verimlilikleri sabit ve nominal güçteki değerine eşit.
- %35 yarıçaptaki profil köke kadar uzanıyor, %95 yarıçaptaki profil uca kadar uzanıyor.
- Profillerin yerleştirildikleri kesitlerin arasındaki kesitlerde aerodinamik özellikler interpolasyon ile hesaplandı.
- Profil eğrilerinde, aralık dışında kalan değerler ekstrapolasyonla hesaplandı.

İdeal türbinin tasarımı

Tasarımın ilk adımı olarak, kullanılacak profillerin yerleştirilecekleri kesitler için optimum hücum açılarının (maksimum L/D oranına karşılık gelen açılar) ve bunlara karşılık gelen kaldırma katsayılarının belirlenmesidir. Optimum pala tasarımında profilin optimum koşulları göz önüne alınacağından ve bu koşullarda profiller 100-150 civarında L/D oranlarına sahip olacaklarından, optimum pala tasarımında C_D değeri ihmal edilecek kadar küçüktür. Kesitlerdeki profiller belirlendikten sonra bu noktadaki yerel hız oranları $\lambda_r = \lambda_r$ eşitliği ile bulunur.

Pala için optimum indüksiyon faktörleri (a , a') ve göreceli rüzgâr hızının dönme eksenine yaptığı açı (ϕ) momentum teorisinden belirlenir. Bu işlemden geleneksel yöntem bu değerleri iterasyon ile belirlemektir. Fakat bu değerler farklı bir yoldan analitik yöntemle aşağıdaki gibi de hesaplanabilir (Maalawi ve Badawy, 2001).

$$a'(1+a)\lambda_r^2 = a(1-a) \quad (3)$$

$$16a^3 - 24a^2 + 3(3 - \lambda_r^2)a - (1 - \lambda_r^2) = 0 \quad (4)$$

Bu denklemin çözümü de değişken dönüşümü yöntemiyle bulunabilir (Maalawi ve Badawy, 2001).

$$a = \frac{1}{2} (1 - \Lambda_r (\cos \theta^+ - \cos \theta^-)) \quad (5)$$

$$\Lambda_r = \sqrt{1 + \lambda_r^2} \quad (6)$$

$$\theta^\pm = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\pm \Lambda_r^{-1}) \quad (7)$$

a : Eksenel indüksiyon faktörü
 λ_r : Yerel hız oranı

a' : Açısal indüksiyon faktörü

Bulunan eksenel indüksiyon faktörü (a) değeri (8) ifadesinde yerine koyularak optimum pala için a' hesaplanır. Daha sonra hesaplanan bu iki değer (9) ifadesinde yerine koyularak göreceli hızın dönüş eksenine yaptığı açı (φ) bulunabilir. Bir önceki adımda momentum teorisini kullanarak elde edilen indüksiyon faktörlerine ulaşmamızı sağlayacak pala geometrisi için (10) denklemi kullanılarak kesitlerdeki katılık oranı (σ') değerleri belirlenip, buradan boyutsuz veter boyları bulunur.

$$a' = \frac{(1 - 3a)}{4a - 1} \quad (8)$$

$$\tan \varphi = \frac{U(1 - a)}{\Omega r(1 + a')} = \frac{1 - a}{(1 + a')\lambda_r} \quad (9)$$

$$4F \sin \varphi (\cos \varphi - \lambda_r \sin \varphi) - \sigma' (C_T + C_N \lambda_r) = 0 \quad (10)$$

$$\sigma' = \frac{4F \sin \varphi (\cos \varphi - \lambda_r \sin \varphi)}{C_T + C_N \lambda_r} \quad (11)$$

$$c = \frac{\pi \sigma' r}{B} \quad (12)$$

C_T : Teğetsel kuvvet katsayısı

C_N : Normal kuvvet katsayısı

c : Veter boyu, boyutsuz veter

σ' : Yerel katılık oranı

B : Pala sayısı, veter dağılımı katsayısı

Elde edilen φ açısı ile hücum açısı arasındaki fark ise Şekil 2'de görüldüğü gibi optimum oturma açısı dağılımını verir. Herhangi bir kesitteki oturma açısından %95 yarıçaptaki oturma açısı çıkartılarak söz konusu kesitteki burulma açısı bulunabilir.

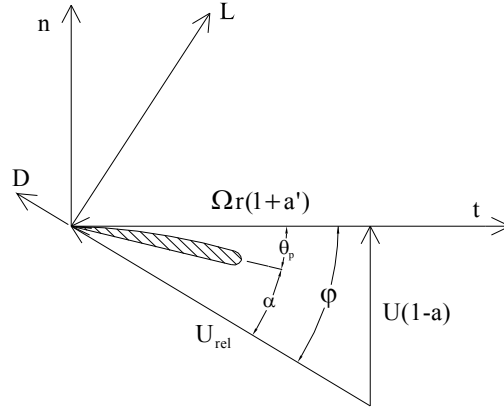
$$\theta_p = \varphi - \alpha \quad (13)$$

$$\theta_T = \theta_p - \theta_{p,0} \quad (14)$$

φ : Göreceli rüzgâr hızının dönme eksenine yaptığı açı θ_T : Kesit burulma açısı

θ_p : Kesit oturma açısı $\theta_{p,0}$: %95 yarıçapta oturma açısı

α : Hücum açısı U_{ref} : Referans yükseklikteki rüzgâr hızı



Şekil 2. Pala üzerinde bir kesitteki hız bileşenleri ve açıları

Kullanılan Rüzgâr Verileri Ve Elde Etme Yöntemleri

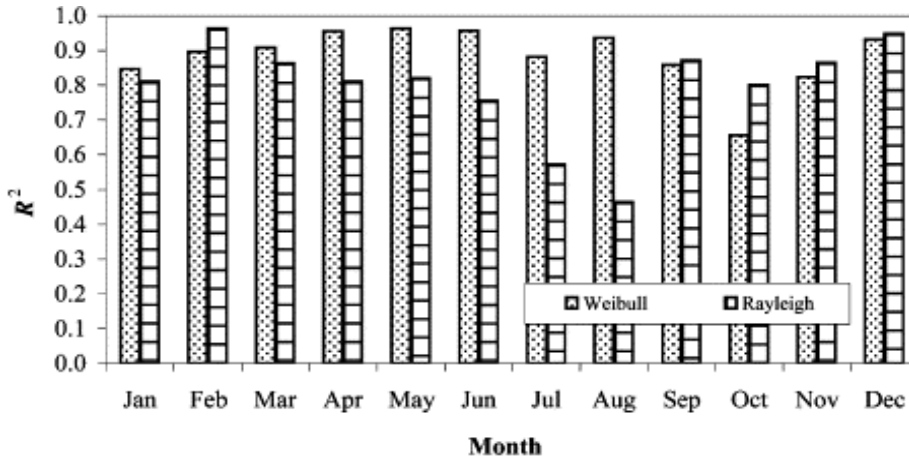
Rüzgâr verilerinin istatistiksel analizi

Bir bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde, ham verilerin işlenmesi yoluyla elde edilmiş olan istatistiksel veriler kullanılır. Bu amaçla kullanılan istatistiksel metotlar arasında en yaygın kullanılan iki tanesi Rayleigh ve Weibull dağılımlarıdır. Rayleigh dağılımı, frekans dağılımı hesabı için sadece ortalama hıza ihtiyaç duyan bir dağılım olduğu için kullanımı daha kolaydır fakat Weibull dağılımının sahip olduğu hassasiyet derecesine sahip değildir. Şekil 3.'de İskenderun yöresinde yapılan ölçüm sonuçları kullanılarak Weibull ve Rayleigh dağılımları ile elde edilmiş sonuçların hata kıyaslaması yapılmaktadır.

$$\text{Hata} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} |P_{W,R} - P_{\bar{O}}| \quad (15)$$

$P_{\bar{O}}$: Referans ortalama enerji yoğunluğu

$P_{W,R}$: Weibull veya Rayleigh dağılımı ile hesaplanan ortalama güç yoğunluğu



Şekil 3. Weibull ve Rayleigh modellerindeki hata yüzdeleri (Çelik, 2004)

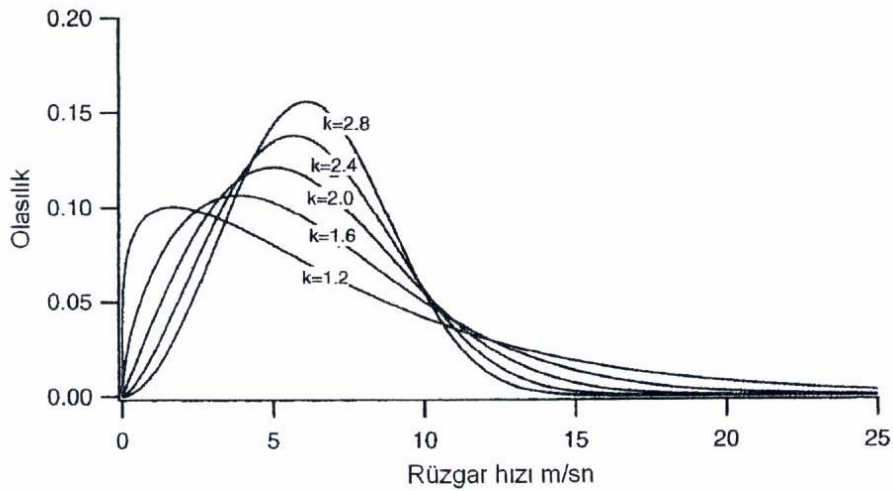
Bu örnekteki yıllık ortalama enerji hesabında, Weibull dağılımı kullanıldığında %4,9 hata yapılmakta iken Rayleigh dağılımı ile yapılan hesabın içerdiği hata %36,5'tir. Bu örnekte daha düşük hata yüzdesine sahip olduğu görülen Weibull dağılımı rüzgâr enerjisi konusundaki çalışmalarda tercih edilen metottur. Verilerin işlenmesi yoluyla elde edilen Weibull parametreleri kullanılarak herhangi bir rüzgâr hızının frekansı konusunda hassas bir tahminde bulunmak mümkün olabilmektedir. Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir:

$$J(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (16)$$

k : Weibull şekil katsayısı

c : Weibull büyüklük katsayısı

Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonu, rüzgârın herhangi bir hızda esme sıklığını gösteren bir fonksiyondur ve buna rüzgâr hızı frekansı adı da verilir. Olasılık yoğunluğu fonksiyonunun elde edilmesi, şekil katsayısı (k) ile büyüklük katsayısı (c)'nin bilinmesini gerektirir ve bu iki katsayı, ortalama hız ile standart sapmanın fonksiyonudur. Şekil 4.'ye baktığımızda şekil katsayısı (k), oluşacak olasılık yoğunluğu eğrisinin biçimi konusunda da bir fikir vermektedir. Bu katsayının büyümesi ile eğri daha fazla sivrilmekte ve hız değişimi aralığı daralmakta iken, değerin düşmesi eğrinin daha fazla hız değerini içerecek şekilde yayılması sonucunu vermektedir.



Şekil 4. Weibull şekil katsayısının hız dağılımına etkisi (Manwell ve Ark., 2002)

Sonuçlar ve Tartışma

Elde edilen sonuçlara göre potansiyeli yüksek olan yörelerde, 50 m yükseklik için maksimum enerji içeren hızların 11,5 - 13 m/sn aralığında olduğu görüldü. Rüzgâr koşulları ve türbin boyutu belirlendikten sonra türbinin genel konfigürasyonunun belirlenmesi için çeşitli sistemler kıyaslandı ve sonuç olarak türbinin iki-hızlı, aktif stall kontrollü olarak tasarlanmasına karar verildi. Sıradaki adım belirlenen amaca uygun, istenen gücü sağlayacak türbinin aerodinamik tasarımının yapılması ve çapının belirlenmesi oldu. Bu amaçla daha önce tasarlanmış türbinden sağlanan veriler kullanılarak uygun uç hız oranı, pala sayısı ve profiller belirlendi. Bu aşamalardan sonra adım adım bir iyileştirme yoluna gidildi. Önce tespit edilen profillerin, buldukları kesitlerde en iyi performansı vermelerini sağlayacak geometrik değerler hesaplandı. Burada elde edilen veter dağılımı lineerleştirildi ve burulma açısını en iyi şekilde temsil edecek eksponansiyel eğri tespit edildi. Elde edilen burulma açıları dağılımı incelendiğinde kök bölgesinde burulma açılarının yüksek olduğu görüldü, bu sebeple uç bölgesindeki dağılımda kayda değer bir değişikliğe yol açmadan, kök bölgesindeki burulma açılarını düşürecek benzer yeni bir eksponansiyel fonksiyon belirlendi. Elde edilen yeni burulma açısı dağılımı amaçlanan burulma azalmasının performansta kayda değer bir değişim olmadan elde edilmesine olanak verdi.

Çalışmada bazı ön kabuller basitleştirmeler altında, elektrik üretimi amaçlı kullanılacak bir rüzgâr türbi 103 genel yapısı ve tasarımının saptanmasına ve elde edilecek performans ile ilgili bir tahminde bulunulmasına çalışıldı. Tasarım, mevcut türbinlerin verileri ve benzer çalışmaların yer aldığı makaleler ile kıyaslandığında uygun sonuçlar verdi. Ayrıca tasarım esnasında, türbinin kullanılacağı rüzgâr koşullarının ve saha özelliklerinin iyi seçilmesinin en az türbin performansı kadar önemli olduğu görüldü. Bu sebeple rüzgâr türbinleriyle ilgili çalışmalar ile birlikte daha uzun süreli ve daha sık ölçümler yapılması yoluyla ülkemizdeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin daha geniş ölçekte ve daha kesin olarak tespit edilmesinin gerekli olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- AKÜNER C. ve KAKİLLİ A. Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Bir Evin Elektrik İhtiyacının Karşlanması, Otomasyon, 140, 2004.
- ALTIN V. Alternatif Kaynaklı Konut Güç Sistemleri 1, Bilim ve Teknik, 95, 2004.
- ÇELİK AN. A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models at the Soythern Region of Turkey, Renewable Energy, 29, 593-604, 2004.
- MAALAWI KY, BADAWY MTS. A Direct Method for Evluating Performance of Horizontal Axis Wind Turbines, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 5, 175-190, 2001.
- MANWELL JF, MCGOVAN JG, ROGERS AL. Wind Energy Explained, John Wiley and Sons, LTD., West Sussex, 2002.
- OLIVARI D. Von Karman Short Course, Windmills, Von Karman Institute For Fluid Dynamics, 1984.
- SPERA D. A. Wind Turbine Technology, ASME Press, New York, 1994.
- TAŞGETİREN S. Rüzgâr Enerjisi, ÇEV-KOR, 8, 29, 25-30, 1998.