

PAPER DETAILS

TITLE: TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMI

AUTHORS: Önder ÖZGENER

PAGES: 159-173

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/590883>



TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMI

(WIND ENERGY UTILIZATION IN TURKEY AND THE WORLD)

Önder ÖZGENER*

ÖZET/ABSTRACT

Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü yaklaşık olarak 18 000 MW'dır. Dünya elektrik enerjisi ihtiyacı her yıl 34,5 milyar kWh artmaktadır. Bu sebeple yeni ve temiz enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada rüzgar enerjisinin Türkiye'de ve dünyada kullanımı incelenmiştir.

Installed capacity of wind energy is about 18000 MW on world. Electricity consumption of world is increased 34,5 billion kWh per year. Therefore, man is needed clean and new energy sources. In this study, utilize of wind energy is investigated in Turkey and on world.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Rüzgar Enerjisi, Türkiye, Yenilenebilir enerji, Rüzgar türbinleri, Çevre
Wind Energy, Turkey, Renewable energy, Wind turbine, Environment

1.GİRİŞ

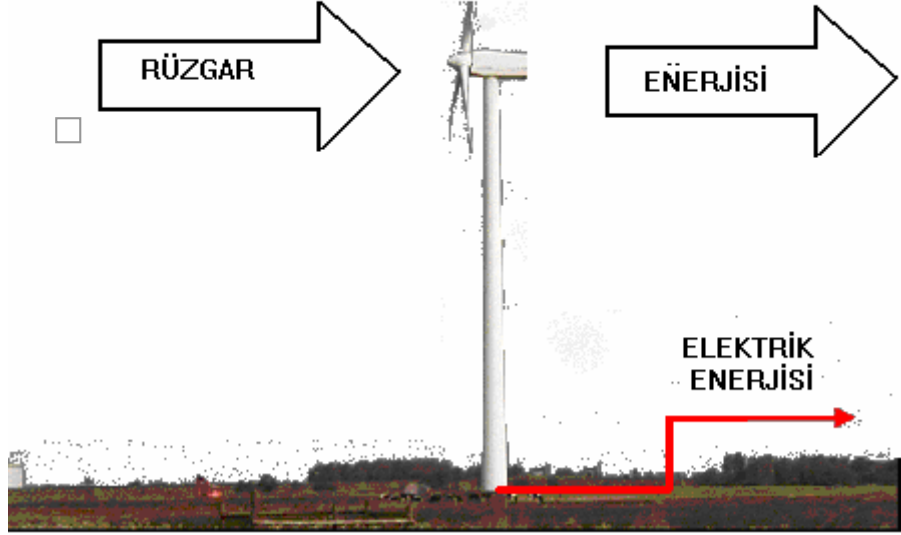
Rüzgar türbinleri tarihçesiyle ilgili değişik dokümanlara rastlanmakla birlikte, en eski rüzgar kuvvet makinesi olan yel değirmeninin, bundan 3000 yıl önce İskenderiye yakınlarında yapıldığı tahmin edilmektedir. Türkler tarafından ilk defa M.S. 640 yılına doğru imal edilen yel değirmeni tipleri, haclı seferleri sırasında Avrupa'ya geçmiştir. Yel değirmenleri, 1105 tarihinde Fransa'da görülmeye başlanmış ve 1143'de İngiltere'de ilk yel değirmeni yapılmıştır. XIX. yüzyıl sonlarına doğru Almanya'da rüzgar ile çalışan kuvvet makineleri görülmeye başlandı. Hollanda'da ise çatısı dönen yel değirmenleri XVIII. yüzyıl başlarında kullanılmıştır (Aubert, 1955; Lalik, 1957; Yavuzcan, 1961). Yazılı belgeli ilk yel değirmeni, M.S. 644 yılına ait İran-Afganistan sınırındaki Seistan'dadır. Yel değirmenleri, Çin'de M.S. 750-850 yıllarında pirinç tarlalarının sulanmasında kullanılmıştır. İlk olarak Doğuda kullanılan düşey eksenli yel değirmenleri, Batılılar tarafından geliştirilmiş ve yatay eksenli hale getirilmiştir. Yatay eksenli ilk yel değirmeni örneği, 1180 yılında Normandiya Krallığı zamanına aittir. Yatay eksenli ve mekanik enerji amaçlı yel değirmenlerinin gelişimi; ayaklı yel değirmeni (Almanya), kule tipi yel değirmeni (Akdeniz Ülkeleri, Alaçatı), döner çatılı Hollanda tipi yel değirmeni (Hollanda) ve 1850 yılında Daniel Halladay tarafından rüzgar yönü yönlendiricisi takılan çok kanatlı Amerikan tipi yel değirmeni olarak sıralanabilir. 1882 yılında New York'da elektrik santrali kurulmuş ve daha sonra da elektrik enerjisi kullanımı yaygınlaşmıştır. İlk rüzgar elektriği de, Danimarkalı Profesör Paul La Cour tarafından 1891 yılında üretilmiştir. Doğru akım elde eden Paul La Cour, elektroliz yoluyla hidrojen gazı elde etmiş ve bu şekilde rüzgar enerjisini depolamıştır. 1918 yılı sonrasında büyük şehirler elektriğe kavuşmuş ve dizel yakıtların ucuzluğu nedeniyle rüzgar enerjisini değerlendirme çabaları, bir kenara bırakılmıştır. Rüzgar enerjisinin bu bir kenara itilmişliği, enerji sıkıntısı nedeniyle 2. Dünya Savaşı'na kadar sürmüştür. Rüzgar enerjisi kullanımının tarihsel gelişimine; 1942 yılında üretilen 17,5 m pervane çaplı ve 50 kW nominal güçlü Smidth rüzgar türbini ve 1957 yılında üretilen 24 m pervane çaplı ve 200 kW nominal güçlü Gedser rüzgar türbini örnek verilebilir (Hau, 1996; Özdamar, 2000).

2. RÜZGAR ENERJİSİNİN ÇEVRE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Rüzgar enerjisi, temiz enerji kaynaklarından ve yaşadığımız çevre üzerinde olumlu etkileri gözlemlenmektedir. Şöyle ki; 500 kW lık bir rüzgar türbini, 57 000 ağacın yapacağı CO₂ temizleme işine eşdeğer iş yapar (Anonim, 2001c).

BTM consult tarafından geliştirilen senaryolara göre de, şayet dünya genelinin elektrik ihtiyacının %10'u 2025 yılına kadar rüzgar enerjisinden sağlanabilirse, yılda 1,41 Gton CO₂ emisyonu azaltılabilecektir. Bu değere ulaşılabilmesi için bazı kabuller yapılmış olup, bunlar 2002 yılı sonuna kadar 20 000 MW kümülatif tesis, 2012 yılına kadar büyüme ilk on yılda her yıl %25 ve sonrasında büyüme %20 ve %15 olduğu takdirde, kümülatif kapasite 2028 yılında 1,07 milyon MW'a ulaşabilecektir (Anonim, 2001d). Avrupa Birliği çalışmalarına göre ise, elektrik enerjisinin %10'luk kısmı rüzgar enerjisinden sağlanabildiği takdirde, Avrupa kıtası 170 milyon ton CO₂ ve ayrıca 2 milyon ton da kükürt ve azot oksitlerinin (SO_x ve NO_x) atmosfere atılmasından kurtulabilecektir. Bunun hırslı, fakat gerçekleştirilecek bir hedef olduğu ilgililerce belirtilmektedir (Anonim, 1995).

RÜZGAR ENERJİSİ DÖNÜŞÜMÜ



Şekil 1. Rüzgar enerjisi dönüşümü (Klug, 2001; Ozgener, 2002a)

Ortalama büyüklükte (200-300 kW'lık) bir türbinin pervane göbeğinin yüksekliğinde, yıllık 7,5–8 m/s rüzgar hızı mevcut olduğu takdirde; bu türbin yıllık 580 MWh/Yıl elektrik enerjisi sağlayabilmekte, böylelikle yılda 250 ton kömür yakan modern bir santralin ürettiği enerjiye eşdeğer elektrik enerjisi üretebilmektedir (Anonim, 1995). Böyle bir türbin, kule dahil 20 ton kadar ağırlıkta olup, kendisinin üretilmesi için tüketilen enerjinin tamamını, altı ay kadar bir sürede doğadan geri kazanmaktadır.

Rüzgar türbinlerinin atmosfere yayılan gazlardan dünyamızı koruması, en yararlı çevre dostu özelliğidir. Örneğin, sadece Danimarka'da 1989'da rüzgar türbinleri 460 000 tonun üzerinde CO₂'in, bunun yanında 5000 ton SO_x ve NO_x (kükürt ve azot oksitlerin) atmosfere yayılımını önlemiş bulunmaktadır (Şener, 1996).

36,5 milyon kWh enerjinin temiz enerjiden karşılanması durumunda, her yıl 2300 ton CO₂ ve emisyonlarından korunulabilir. Bu değerin önemli bir kısmı azot oksitler, karbon monoksit ve diğer zararlı emisyonları içerir. Bu kirlilik başka bir şekilde ifade edilirse, 5100 adet arabanın gelecek on yıl boyunca vereceği emisyon değerine eşit bir değerden korunmak olarak izah edilebilir (Anonim, 2001e).

3. RÜZGAR OLUŞUMU

Rüzgar oluşumu ve tanımında farklı anlatımlar, aşağıda verilmiştir. Gerekli enerjisini güneşten alan bir ısı makinesi olarak nitelenebilecek olan atmosferde; ısı potansiyel farklara sahip olan hava kütleleri, daha soğuk ve yüksek basınç alanı olan bir noktadan, daha sıcak ve alçak basınç alanına hareket ederler. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü bu doğa olayındaki hava kütlesi hareketine, rüzgar adı verilir (Özdamar, 2000). Bir başka ifadeyle, rüzgarlar, yer yüzündeki farklı güneş ısı dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklarının dengelenmesi ile oluşan hava akımlarıdır. Dünyanın bir kısmında hava, kara ve deniz ısınırken, diğer yüzeyinde soğuma görülür. Dünyanın günlük dönüş hareketiyle bu ısınma ve soğuma periyodik şekilde devam eder. Dünyanın güneşe bağlı ekseninin eğiminin mevsimlere göre değişimi, ısı enerjisinin günlük dağılımının mevsimden mevsime farklılık

göstermesine neden olmaktadır (Sadhy, 1995; Avşar vd., 2001). Atmosferin toplam enerjisi, kinetik ve potansiyel enerji olarak ikiye bölünmüştür ve temel olarak basınç kuvvetlerinin etkisiyle potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün bir sonucudur. Ekvator civarında yerle temas halinde bulunan sıcak ve nemli hava konveksiyonla yükselir, yükseldikçe soğur, belli bir seviyeye yükseldikten sonra daha soğuk olan kuzey enlemlere yükselir ve 30° Kuzey enlemlerine yaklaşıncaya kadar tekrar yeryüzüne doğru alçalır. Burada nispeten daha soğuk ve kuru olan hava ekvatora doğru yönelir. Buna ‘Hadley Sirkülasyonu’ adı verilir. Dünyanın dönüşüyle meydana gelen ‘Coriolis Kuvveti’ nedeniyle havanın hareketi, hareket yönünün sağına doğru saptırıldığından 0°-30° enlemleri arasında yer yüzeyinde oluşan rüzgarlar temel olarak Kuzey-Doğu karakterli olurlar. Benzer yapıda ancak bu kez dalgalar şeklinde bir karakteristik arz eden ve ‘Rossby Sirkülasyonu’ diye adlandırdığımız bir sirkülasyonda 30°-90° enlemleri arasında gerçekleşir. Bu sirkülasyon sonucunda, 30°-60° enlemleri arasında Güney- Batılı ve 60°-90° enlemleri arasında ise Kuzey-Doğulu rüzgarlar oluşur. Çizelge 1’de Kuzey ve güney yarımküre için atmosferik güney sirkülasyonuna göre rüzgar yönleri sunulmaktadır.

Çizelge 1. Enlemlere göre genel hakim rüzgar yönleri (Türksoy, 2001)

Enlem	90-60° K	60-30° K	30- 0° K	0-30° G	30-60° G	60-90° G
Yön	KD	GB	KD	GD	KB	GD

Rüzgarlar, sürekliliklerine göre bütün bir yıl boyunca esen sürekli rüzgarlar ve belli zamanlarda esen harikayn, tayfun, tornado ve girdaplar gibi süreksiz rüzgarlar olarak iki grupta incelenebildikleri gibi, rüzgar hızı, yönü ve hamlesinin aletlerle ölçülemediği durumlarda kestirilerek de incelenebilir (Çizelge 2). Şöyle ki; rüzgar hızı 0,3-1,5 m/s iken dumanın hafif esintisiyle yükseldiği ve rüzgar yönünün belirsiz olduğu, rüzgar hızının 1,6 ile 3,3 m/s olduğu durumlarda yaprakların kırırdığı esintinin insan yüzünde hissedildiği, yaprakların ve ince dalların hareket ettiğinin 3,4-5,4 m/s rüzgar hızlarında olduğu gözlemlenebilir. Bunun yanında, 5,5-7,9 m/s orta rüzgar hızı denilen esintilerde ince dal hareketleri, kağıt ve tozların yükseldiği, 8-10,7 m/s hızlarda ağaçların sallandığı, 10,8-13,8 m/s hızlarda açık iletkenlerin sallandığı, şemsiye kontrolünün zorlaştığı, 13,9-17,1 m/s’de yürümenin zorlaştığı, 17,2 –20,7 m/s hızlarda ağaçlarda ince dalların kırıldığı, yürümenin zorlaştığı, 20,8-24,4 m/s’de çatı kiremitlerinin uçtuğu hafif bina hasarlarının oluştuğu, 24,5-28,4 m/s’de büyük ağaçların söküldüğü, 28,5-32,6 m/s’de geniş ölçekli hasarların oluştuğu, 32,7 m/s den büyük hızlarda da aşırı derecede hasarların meydana geldiği gözlenir (Karadeli, 1999). Bunların dışında Alizeler; her mevsim kuzey ve güney yarımkürede 30° enlem üzerinde bulunan yüksek basınç kuşağından ekvator üzerindeki alçak basınç kuşağına doğru eserler. Kontralize rüzgarları ise, atmosferin yüksekliklerinde ‘Alize’ rüzgarlarının ters yönünde eserler ve oluşmalarının nedeni; ekvator da ısınan hava kütlelerinin yükselmesi ve ekvator dan uzaklaşacak şekilde hareket etmeleridir. Meltem rüzgarları; karaların denizlerden ve dağların vadilerden daha çabuk ısınıp soğuması sonucu, üzerlerinde bulunan hava kütlelerini etkilemesi nedeni ile oluşurlar. Gündüzleri; denizlerden, çabuk ısınan karalara doğru deniz meltemleri, geceleri de; çabuk soğuyan karalardan, denizlere doğru kara meltemleri eser. Deniz ve kara meltemleri, sahilden 40 km içlere kadar etkili olurlar. Aynı şekilde, gündüzleri; vadilerden çabuk ısınan dağlara doğru vadi meltemleri, geceleri de; çabuk soğuyan dağlardan vadilere doğru dağ meltemleri eserler. Hareket halindeki bir hava kütlelerinin; yüksekçe bir dağa çarparak her 100 m’de 0,5 °C soğuyarak yükselmesi, daha sonra da dağın diğer yamacına her 100 m’de 1 °C ısınarak inmesi hareketine “Föhn” rüzgarları adı verilir.

Çizelge 2. Genel olarak rüzgarların sınıflandırılması (Özdamar, 2000).

Sürekli Rüzgarlar					Süreksiz Rüzgarlar	
Alize R.	Kontr- Alize R.	Muson R.	Meltem R.		Föhn R.	Siklon R.
			Kara ve Deniz M.	Dağ ve Vadi M.		
						Antisiklon R.

3.1 Türkiye’de Rüzgar Oluşumu

Anadolu; kışın, Sibiryaya yüksek basıncının etkisinde bir yüksek basınç alanı, Karadeniz ve Akdeniz ise bir alçak basınç alanıdır. Bu nedenle; kışın, rüzgarların karalardan denizlere doğru esmesi beklenir. Yazın ise Anadolu, güneyden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisindedir ve Kuzeybatı Avrupa üzerinde yerleşen yüksek basınç alanından Basra alçak basınç alanına yönelmiş rüzgarların etkisinde kalır. Nitekim, yazın; eteziyen adı verilen kuzey batıdan esen rüzgarlar, Marmara ve Ege’yi etkilerler. Türkiye’deki rüzgarların, bu genel beklentiye tam olarak uymadığı görülmektedir. Bunun nedeni; meltem ve föhn rüzgarlarını da oluşturan yerel etmenler ve Sibiryaya yüksek basınç alanının yıllara göre zayıf veya güçlü olmasıdır (Özdamar, 2000).

3.2 Rüzgar Oluşumundaki Kuvvet Faktörleri

Havanın dünya yüzeyi üzerinde hareket edebilmesi için, ona bir takım kuvvetlerin uygulanmasına gerek vardır. Rüzgarı meydana getiren ve rüzgarın hızına etki eden atmosfer içindeki belli başlı kuvvetler şunlardır:

Basınç gradyan kuvveti,

Coriolis kuvveti,

Merkezkaç kuvveti,

Sürtünme kuvveti.

Basınç gradyan kuvveti, havayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru akıtmaya çalışacak şekilde etki eder.

Coriolis kuvvetine, yer dönmesinin saptırıcı kuvveti de denir.

Rüzgarlar, genel olarak bir merkez etrafında dolanırlar. Bu hareketin neticesi olarak da, kendilerini dolanım merkezlerinden uzaklaştırmak isteyen bir kuvvet etkisi altında bulunurlar. Bu kuvvete, merkezkaç kuvveti denilmektedir. Merkezkaç kuvvetinin birim kütleye etki eden ivmesi, a

$$a = V_r^2 / r \quad (1)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntıda, V_r Rüzgarın hızı (m/s), r Rüzgarın dolanım yarıçapıdır (m). Rüzgarın meydana getirilmesinde etkili olmayan sürtünme kuvveti, rüzgar hızını yavaşlatmaya çalışır. Bu kuvvet, yer yakınında en büyüktür ve türbülanslar tarafından yukarıya taşınır. Rüzgarın sürtünmesinden doğan bu kuvvet, yer üstünde 450-600 m’ yüksekliğe kadar rüzgarı yavaşlatmaktadır.

Sürtünme katsayısını K gösterirse, V_r hızıyla esmekte olan rüzgara tesir eden sürtünme kuvveti değeri iki parametrenin çarpımına eşittir ($=K \cdot V_r$) (Yavuzcan, 1961; Haynes, 1958).

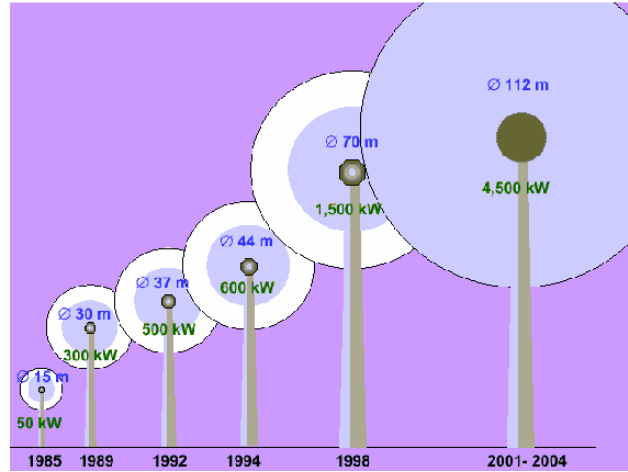
4. RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE RÜZGAR GÜLLERİ

Tahrik edilen kısmı dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makinalara, türbin denir. Türbinler, en genel halde; buhar, gaz, su ve rüzgar türbinleri olarak dört grupta incelenirler. Rüzgar türbinleri ile ilgili tanımlamalar, değişik kaynaklarda birbirleriyle çelişmektedirler. Bu konudaki en genel tanımlama aşağıdaki gibidir: Pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane miline rotor veya türbin denilir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu jeneratöre bağlayan mile ise, jeneratör mili denir. Bunların tümü, kule tarafından taşınır. Kule ile yer bağlantısı da temel aracılığıyla sağlanır. Tüm bu elemanlara, en genel halde rüzgar enerjisi tesisi adı verilir. Bu gerçeğe rağmen, yerli ve yabancı literatürde, rüzgar enerjisi tesisi yerine, rüzgar türbini denilmesi alışkanlık olmuştur (Özdamar vd., 2001).

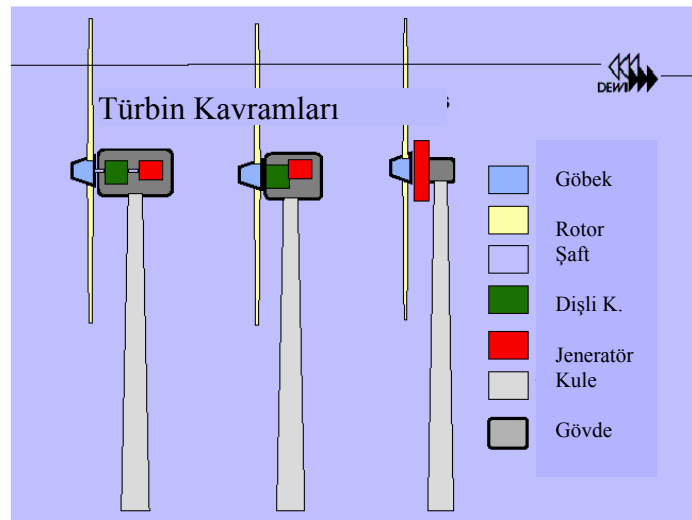
Rüzgar türbinleri; direnç veya kaldırma kuvvetinden yararlanmalarına göre, pervane ekseninin yatay ya da düşey olmasına göre veya aynı rüzgar hızındaki devir sayılarına (devirlilik sayılarına) göre sınıflandırılabilirler. Direnç kuvvetinden yararlanan türbinlerde, rüzgara karşı bir yüzey tutulur ve rüzgar basıncından dönme hareketi oluşur. Örnek olarak; kepçe tipi anemometreler, Fars çarkı ve Savonius türbini gösterilebilir. Bu türbinlerde (daha doğru bir ifadeyle rüzgar çarkı) akışkan; iç bükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve dönel akışlar oluşur. Bu dönel akışlar Savonius rüzgar çarkının performansını düşürür (Fujisawa ve Shirai, 1987). Savoniuslerde, perdelemenin kullanılmasıyla rüzgar yönünde hareket eden iç bükey kanadın yüzeyi üzerinde oluşan dönel akışların oluşması engellenir ve böylece güç performansına olumsuz etki eden bu olay azaltılarak güç performansı artırılır. Bu sebeple, direnç kuvvetinden yararlanan türbinler, pistonlu pompalar ile su pompalanması gibi yüksek moment gereken yerlerde kullanılırlar ve elektrik üretimi gibi yüksek güç gereken alanlarda kullanılmazlar. Kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinlerde; rüzgar yüzeye belli bir açıyla gelir ve yüzeye etkiyen hava hızının doğrultusuna dik olarak oluşan kaldırma kuvveti, dönme hareketine dönüşür. Yüzey öncesinde yüksek basınç, yüzey arkasında ise alçak basınç oluşmaktadır. Örnek olarak, düşey eksenli Darrius türbini ve kanatlı yatay eksenli rüzgar türbinleri gösterilebilir. Rüzgar türbinleri, nominal güçlerine göre de; 5 kW' a kadar küçük güçlü, 5 kW' ın üstünde ise büyük güçlü rüzgar türbinleri olarak sınıflandırılırlar (Özdamar vd., 2001). Bunların dışında da, yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri gibi, hava hareketindeki kinetik enerjiden yararlanan türbinler vardır. Enerji dönüştürücüsü yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri (güneş enerjisi konveksiyon bacası), güneş ışınları enerjisi tarafından ısıtılan havanın yükselmesi ve yükselen havadaki kinetik enerjinin de rüzgar türbinini tahrik etmesi prensibine göre çalışır. Isınarak yükselmesi istenen hava, üstten cam veya plastik malzemeden yapılmış geçirgen bir çatı ile örtülüdür ve bu çatının ortasında yer alan betonarme bacada yükselir. Yükselen hava akımlı rüzgar türbinlerinde elde edilen güç; kolektör verimi, kolektör enine kesit alanı, havanın sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, dış ortam sıcaklığı, güneş sabiti ve bacanın yüksekliği parametrelerine bağlıdır. Buradaki baca yüksekliği arttıkça, elde edilen güç de artmaktadır. Bu baca, alttan ankastre mesnet, üstten ise serbest bir çubuk olarak idealleştirilmektedir. Bacanın boyu, yapım ve montajdaki teknik kısıtlamalardan dolayı burkulma problemi ile de sınırlandırılmaktadır.

Yatay eksenli kanatlı rüzgar türbinlerinden daha fazla enerji alabilmek için, tarih boyunca öneriler yapılmıştır. Bunlardan birincisi, iki pervanenin arka arkaya yerleştirilerek, aynı jeneratör milinin döndürülmesidir. Arkadaki pervaneye, öndeki pervaneye gelen rüzgar hızının optimum durumda ancak üçte biri geleceğinden, bu öneri verimli olmamıştır. Pervanenin önüne bir lüle yerleştirilerek, rüzgar hızının artırılması önerisi de, hava debisinin küçük kesit tarafından belirlenmesi ve rüzgar yönüne ters hava sirkülasyonu oluşması nedeniyle, beklenileni verememiştir. Rüzgar türbini pervanesinin bir difüzör içine

yerleştirilmesi sonucunda, rüzgar yönünde hava sirkülasyonu oluşması ve bunun da hava hızını artırması nedeniyle, serbest pervaneye nazaran 3,5 kat daha fazla enerji elde edilmiştir. Fakat, bunun için difüzör boyunun pervane çapının 2-3 katı olması gerekmektedir. Difüzörün ağırlığı, hem ek bir yükür, hem pervane düzleminin rüzgar hızına dik konuma getirilmesi daha zor olmaktadır. Bu gibi nedenlerle, difüzörden elde edilen ek kazanç, sistemin serbest pervaneye göre daha ekonomik olması için yeterli olmamaktadır (Özdamar vd., 2001). Rüzgar gülleri, rüzgar türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalanmasında kullanılan rüzgar gülleri, su pompalanması işlemindeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmektedirler. Rüzgar güllerinin kanatları, Türkiye'de belli bir eğrilik verilmiş ince levhalardan üretilmektedir. Rüzgar gülü kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım göstermektedir. Rüzgar gülü pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılmaktadır. Jeneratör olarak da, otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılmaktadır. Rüzgar gülleri, rüzgar gülü pervane düzleminin rüzgar hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, rüzgar gülü yönlendiricisi taşımaktadırlar. Ege Bölgesi'nde üretilen rüzgar gülleri, genellikle, yüksek rüzgar hızlarına karşı koruma sistemi içermemektedirler.



Şekil 2. Rüzgar türbinleri kurulu güçlerinin yıllara göre değişim evresi (Klug, 2001; Ozgener, 2002a)



Şekil 3. Rüzgar türbini elemanları şematik gösterimi (Klug, 2001; Ozgener, 2002a)

5. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİ

Türkiye’nin karasal alanlardaki yıllık rüzgar enerjisi doğal potansiyeli 400 milyar kWh ve teknik potansiyeli de 110 milyar kWh olarak hesaplanılmıştır. Bunun yanında, Türkiye yıllık deniz üstü rüzgar enerjisi teknik potansiyeli de, 180 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir (Ültanır, 1998). Buradan hareketle Türkiye’nin dalga enerjisini de içeren toplam yıllık teknik rüzgar enerjisi potansiyeli yaklaşık olarak 308 milyar kWh olmaktadır. Türkiye karalarının yıllık rüzgar enerjisi teknik potansiyeli için, kabullere dayanan ve her zaman tartışılabilir olan aşağıdaki hesaplama yapılabilir:

Yeryüzünün gerek duyduğu enerjinin tümü güneşten gelir. Güneş yeryüzüne her saat 100.000.000.000.000 kWh’lik enerji yayar. Başka bir deyişle, yeryüzü güneşten 10^{17} Watt gücünde enerji alır (Karadeli, 1999).

Yurdumuzda ise yıllık ortalama güneş enerjisi yoğunluğu, bir saat için 0,149 kWh/m² olarak verilmektedir. Güneş enerjisinin yaklaşık % 2’lik kısmının rüzgar enerjisine dönüştüğü varsayılmaktadır (Demirci ve Yıldırım, 1986). Bir başka kaynağa göre ise bu değer % 1’dir (Erdallı vd., 1995; Avşar vd., 2001). Bu enerjinin de, Betz Kriteri uyarınca teorik olarak en çok % 59’luk, pervanede, jeneratörde ve dişli kutusundaki gibi kayıplar dikkate alındığında ise uygulamada ancak % 40’lık kısmı elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Diğer yandan ülkemizin ancak % 2’lik bölümünde genel anlamda rüzgar enerjisinden elektrik üretmek mümkündür (Anonim, 1984). Türkiye yüzölçümünün 780.576 km² olduğu gerçeğinden hareketle, kara alanlarda Türkiye rüzgar enerjisi yıllık teknik potansiyeli güneş enerjisinin yaklaşık % 2’lik kısmının rüzgar enerjisine dönüştüğü varsayımıyla;

$E_{Türkiye} = 0,149 \text{ [kWh/m}^2] \times 7,8 \cdot 10^{11} \text{ [m}^2] \times 8760 \text{ [h/Yıl]} \times 0,40 \times 0,02 \times 0,02 = 163 \text{ milyar kWh/Yıl}$

olarak bulunur (Özdamar, 2000). Ülkemizde rüzgar elektriği üretim başvuruları Tablo 3’deki gibidir. Şekil 4’de ise rüzgar ölçümü yapılan alanlar gösterilmiştir.

Çeşme–Alaçatı rüzgar çiftliğinde 12 adet rüzgar türbini vardır. Bunların karakteristikleri; güçleri 600 kW, çapları 44 m ve jeneratör Vestas V 44 tür.

Çeşme–Germiyan rüzgar çiftliğinde 3 adet rüzgar türbini vardır. Bunların karakteristikleri; güçleri 500 kW, çapları 40,3 m ve jeneratör Enercon- 40’dır.

Çanakkale–Bozcaada rüzgar çiftliğinde 17 adet rüzgar türbini vardır. Bunların karakteristikleri; güçleri 600 kW, çapları 44 m ve jeneratör Enercon- 40’dır.

Çizelge 3. Türkiye’de 1998 yılı sonu itibarıyla rüzgar elektriği üretim başvuruları (Anonim, 1999a; Özgener, 2002a)

Proje Adı	Kurum Alanı	Kurulu Güç (MW)
Faaliyette Olanlar		
1. Çeşme Germiyan RS	İzmir-Çeşme	1,74
2. Çeşme-Alaçatı RS	İzmir-Çeşme-Alaçatı	7,20
3. Bozcaada RS	Çanakkale-Bozcaada	10,20
Fizibilite Raporları Değerlendirilmekte Olanlar		
1. Bozcaada RS	Çanakkale-Bozcaada	5,00
2. Çanakkale RS	Çanakkale	30,00
Fizibilite Raporunda Düzeltme İstenenler		
1. Akhisar RS	Manisa-Akhisar	12,00
2. Gökçeada RS	Çanakkale-Gökçeada	1,62
Fizibilite Raporu Beklenenler		
1. Akhisar RS	Manisa Akhisar	30,0
2. Datça RS	Muğla-Datça	30,0
3. Mazıdağ RS	İzmir-Çeşme-Alaçatı	39,0
4. Hacıömerli RS	Aliağa-İzmir	45,0
5. Bodrum RS	Muğla-Bodrum-Yalıkavak	19,8
6. Kocadağ R.S.	İzmir-Çeşme-Kocadağ	50,4
7. Yaylaköy RS	İzmir-Karaburun	15,0
8. Şenköy RS	Hatay-Şenköy	12,0
9. Çeşme RS	İzmir-Çeşme	12,0
10. Yalıkavak RS	Muğla-Bodrum-Yalıkavak	15,0
11. Beyoba RS	Manisa-Akhisar-Beyoba	15,0
12. Lapseki RS	Çanakkale-Lapseki	15,0
13. Bandırma RS	Balıkesir-Bandırma	15,0
14. Datça RS	Muğla-Datça	15,0
15. Karaburun RS	İzmir-Karaburun	22,5
Başvuru Raporu Değerlendirilmekte Olanlar		
1. Karabiga	Çanakkale-Karabiga	15,0-30,0
2. Kapıdağ RS	Balıkesir-Erdek	20,0-35,0
3. Belen RS	Hatay-Belen	20,0-30,0
4. İntepe RS	Çanakkale-İntepe	30,0
5. İntepe RS	Çanakkale-İntepe	13,2
Başvuru Raporu Sunulan ve Değerlendirilmek İçin Ölçümleri Beklenenler		
1. Karabiga RS	Çanakkale-Karabiga	5,0-7,0
2. Karabiga RS	Çanakkale-Karabiga	12,0
3. Yellice RS	İzmir-Karaburun	70,0-100,0
TOPLAM		604-676



Şekil 4. Türkiye’de rüzgar ölçümü yapılan alanlar (Klug, 2001; Ozgener, 2002a)

Türkiye’nin 2025 yılı hedefi olan 25,2 milyar kWh rüzgar elektriğine ulaşabilmek için, kapasite faktörü % 18 alındığında, 600 kW nominal güçlü 2664 adet rüzgar türbininin kurulması gerekmektedir. 1 rüzgar türbini yatırım giderine göre hesap yapıldığında; bu, 3,7 milyar DM yatırım demektir (Özdamar, 2001a).

Kapasite faktörü, türbinlerin bir yılda ürettikleri elektrik enerjisinin, bir yılda (8760 saat) nominal güçte üretebilecekleri elektrik enerjisine oranı k (=kapasite kullanım oranı) olarak tanımlanabilir (Şener, 1986 a; Şener, 1986 b):

$$k = (\text{Yıllık Fiili Üretim}) / (\text{Nominal Güç (kW)} \times 8760)$$

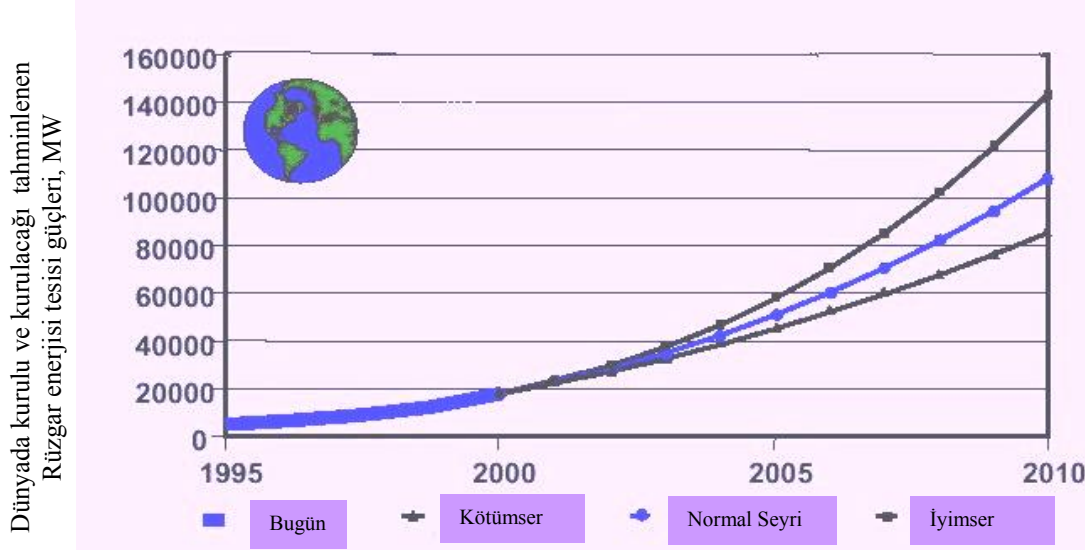
Buradan da rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri ve teknik performansları göz önüne alındığında, türbinlerin kapasite faktörlerinin iyi rüzgar potansiyeline sahip bölgelerden, direkt etkilendikleri sonucuna varılır. Bu da türbin yatırımlarının daha kısa sürede geri ödenmesine olanak sağlar. Bu açıdan bakıldığında, Türkiye’deki rüzgarların genellikle 1,5-7,4 m/s arasında esmesi bakımından zengin olduğu iddia edilebilir. Ancak, Türkiye rüzgarlarının çok kuvvetli ve elektrik enerjisi üretmek bakımından çok elverişli oldukları iddia edilemez. Çok kuvvetli rüzgar karakterleri 7,5-14,5 ve 14,5-21,4 ve >21,4m/s olduğu için ülkemiz coğrafyası üzerinde elektrik üretmeye yönelik rüzgar potansiyeli yüksek bölgeler Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarıdır. Bu bölgeler dünya üzerinde rüzgar gücü en yüksek olan ilk %30 alana girmektedir (Anonim, 1962). Bu bakımdan konu ele alındığında, daha düşük rüzgar hızlarında 4-5 m/s hatta, 2 m/s hızla çalışan lülesiz ve lüleli Savonius türbinleri kullanmak, güç faktörlerin küçük olmalarına karşın daha akılcı olacaktır.

Savonius türbinlerin tercih nedeni, çalışmaya düşük hızlarda başlayıp, hız artırıcı lüle konfigürasyonu tasarlanarak verimleri artırılabilmesidir (Çolak vd., 2001). Bu konuyla ilgili bir başka çalışmadaki görüş, Savonius türbinlerinin 5 m/s rüzgar hızlarında ideal çalışacağı yönündedir (Avşar vd., 2001). Özellikle tarımda kullanıla gelen su pompalama amaçlı rüzgar güllerinin, özellikle kanat yapılarının iyileştirilerek kullanılması verimlilik açısından daha kazançlı olacaktır. Kırsal bölgelerdeki enerji ihtiyaçlarının; pahalı olan elektrik enerjisi yerine, tasarımı basit ve bakımı oldukça kolay olan bir rüzgar jeneratörü ile karşılanması enerji tasarrufu açısından önemli alternatiftir. Özellikle küçük çiftlik ve bahçe sulama işlemlerindeki enerji ihtiyacının karşılanmasında, Savonius rüzgar jeneratörlerinin kullanımı da uygun görülmektedir (Kayansayan, 1992).

Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü yaklaşık olarak 18 000 MW'dır. Dünya elektrik enerjisi ihtiyacı her yıl 34,5 milyar kWh artmaktadır. Bu nedenle yeni enerji kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır. Bu yeni kaynaklardan olan rüzgar enerjisi 1990'ların en hızlı gelişen enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar enerjisi kullanımındaki yıllık artış % 25 iken, bu yıllarda % 35'e çıkmıştır. 2000 yılında dünya genelinde, rüzgar enerjisi kurulu gücü 3500 MW artmıştır. Rüzgar çiftlikleri, 18 aylık bir sürede diğer enerji santrallerinin inşasından daha kısa bir sürede inşa edilebilirler. Rüzgar enerjisine yapılan yatırımlara bir örnek; Amerika'da bu yılın sonunda 750 000 kişinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacağı düşünülen 3 yeni rüzgar çiftliğidir. Bunlardan ikisi, dünyanın en büyük rüzgar çiftlikleri olacaktır. Bu çiftlikler, Washington-Oregon ile Washington'un güneybatısında yer almaktadır. Proje gerçekleştirildiğinde, 450'nin üzerinde rüzgar türbini 70 000 evin yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacaktır (Anonim, 2001a; Anonim, 2001b; Özgener ve Buğakapatan, 2001).

Dünya elektrik arzında, tüm gelişmelere rağmen 2020 yılında, 450.000 MW kurulu rüzgar gücü ile, 900 TWh/yıllık bir erişim düzeyine ulaşılacağı tahmin edilmektedir (Şener, 1996).

Dünya genelinde kurulu, 2010 yılına kadar kurulması düşünülen ve yapımı süren rüzgar enerjisinden elektrik üretmeye yönelik tesislerin yayılımına ait grafiksel gösterim, Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Dünyada kurulu ve kurulacağı tahminlenen rüzgar enerjisi tesisi güçlerinin yıllara göre değişimi (Klug, 2001; Ozgener, 2002a)

Rüzgar çiftliklerinin sayısı, günümüzde hızla artmaktadır. Öyle ki, rüzgar potansiyeli yüksek kıyılarda ve denizde dahi uygulamaları görülmektedir. Bu konuyla ilgili olarak, tamamlanması düşünülen yeni bir proje örneği de 2003 yılında Danimarka'da kıyıdan uzakta 60 ila 90 rüzgar türbinin yer alacağı bir rüzgar çiftliği projesidir. Bu rüzgar enerjisi tesisi toplam 200 milyon \$'a mal olacaktır. Danimarka enerji şirketi, projenin % 50'sini ve bakım ve işletmesini üstlenecektir. Danimarka petrol ve enerji grubu, tesisin %30'una sahip olacak ve toplam 57 milyon \$ yatırım yapacaktır. İsveç enerji şirketi Sydkraft, 37 milyon \$'la Danimarka'da ilk kez rüzgar enerjisi üzerinde yatırım yapmakta olup; Danimarka dahil, Polanya, Norveç'de de yeni yatırım projeleri aramaktadır. Bunun yanında bu şirketin İsveç'de 12 adet rüzgar türbini bulunmaktadır. Bu proje tamamlandığında, İsveç kıyılarındaki mevcut rüzgar enerjisi tesislerinden % 25 daha büyük olacaktır (Anonim, 2001e).

Çizelge 4 ve 5'te rüzgar enerjisinden elektrik üretmeye yönelik yapılan kısa ve orta vade Amerika, Asya ve Avrupa tahminleri birer tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 4. Amerika ve Asya kıtalarındaki kurulu veya 2001-2005 yılları arası kurulması beklenen rüzgar enerjisinden elektrik üretmeyi amaçlayan santrallerin kapasite tahminleri (Klug, 2001; Anonim, 2001d; Ozgener, 2002a)

	Kümülativ Kapasite 2000 sonu (MW)	2000 yılı Kurulu Kapasite (MW)	2001-2005 Tahmini (MW)					2001-2005 arasında Kurulacak kapasite (MW)	2005 Sonunda Kümülativ Kurulu Kapasite (MW)
AMERİKA			01	02	03	04	05		
Kanada	139	13	40	75	100	150	200	565	704
USA	2610	165	1350	800	1000	800	800	4750	7360
Güney Amerika	98	1	50	75	100	150	200	575	673
Tüm Amerika	2847	180	1440	950	1200	1100	1200	5890	8737
ASYA									
Çin	352	84	100	150	250	300	400	1200	1552
Hindistan	1220	169	150	250	300	400	500	1600	2820
Japonya	142	74	80	100	100	100	150	530	672
Diğer Asya Ülkeleri	15	3	30	30	30	30	30	150	165
Tüm Asya	729	180	360	530	680	830	1080	3840	5208

Çizelge 5. Dünya genelinde kurulu veya 2001-2005 yılları arası kurulması beklenen rüzgar enerjisinden elektrik üretmeyi amaçlayan santrallerin kapasite tahminleri (Klug, 2001; Anonim, 2001d; Ozgener, 2002a; Özgener, 2002b)

	Kümülativ Kapasite 2000 sonu (MW)	2000 yılı Kurulu Kapasite (MW)	2001-2005 Tahmini (MW)					2001-2005 arasında Kurulacak kapasite (MW)	2005 Sonunda Kümülativ Kurulu Kapasite (MW)
			01	02	03	04	05		
Tüm Amerika	2847	180	1440	950	1200	1100	1200	5890	8737
Tüm Avrupa	13630	3893	4335	5135	5710	6000	7050	28230	41860
Tüm Asya	1728	330	360	530	680	830	1080	3480	5208
Diğer Kıta ve Alanlar	244	93	120	270	425	550	800	2165	2409
Her yıl ki toplam yeni kapasiteleri (MW)		4496	6255	6885	8015	8430	10130	39735	58214
Toplam Kapasite (MW)	18449		24704	31589	39604	48084	58214		

Çizelge 6. Avrupa genelinde kurulu veya 2001-2005 yılları arası kurulması beklenen rüzgar enerjisinden elektrik üretmeyi amaçlayan santrallerin kapasite tahminleri (Klug, 2001; Anonim, 2001d; Özgener, 2002a; Özgener, 2002b)

	Kümülatif Kapasite 2000 sonu (MW)	2000 yılı Kurulu Kapasite (MW)	2001-2005 Tahmini (MW)					2001-2005 arasında Kurulacak kapasite (MW)	2005 Sonunda Kümülatif Kurulu Kapasite (MW)
Avrupa			01	02	03	04	05		
Avusturya	69	35	15	20	40	50	50	175	244
Belçika	19	8	10	60	60	20	20	170	189
Danimarka	2341	603	250	300	400	150	400	1500	3841
Finlandiya	39	0	10	20	50	50	50	180	219
Fransa	63	38	75	300	400	600	600	1975	2038
Almanya	6107	1665	1700	1600	1500	1400	2000	8200	14307
Yunanistan	274	116	100	120	150	150	150	670	944
İrlanda	122	49	25	40	150	200	100	515	637
İtalya	424	147	250	300	300	300	300	1450	1874
Hollanda	473	40	65	150	200	200	200	815	1288
Norveç	13	0	20	150	200	250	300	920	933
Portekiz	111	50	30	30	40	50	50	200	311
İspanya	2836	1024	1600	1600	1600	1800	1800	8400	11236
İsveç	265	45	40	75	150	150	300	715	980
İsviçre	3	0	10	20	20	30	30	110	113
Türkiye	19	10	20	50	100	100	200	470	489
İngiltere	425	63	75	250	300	400	400	1425	1850
Diğer Avrupa ülkeleri (Çek Cum., Polonya, Slovakya)	28	1	40	50	50	100	100	340	368
Tüm Avrupa	13631	3894	4335	5135	5710	6000	7050	28230	41861

6. SONUÇ

Türkiye'deki özellikle rüzgar enerjisindeki yatırımların artırılması rüzgar potansiyelinden faydalanması bir zorunluluk haline gelmektedir. Çünkü,

Mevcut ve yeni kaliteli petrol rezervlerinin, kömür rezervlerinin sınırlı olması

Türkiye'nin enerji üretiminde dışa bağımlılığının azaltılması / kaldırılması,

Termik santrallerin elektrik üretimi veriminin % 35 gibi düşük verimlerde çalışması ve çevreye verdiği zararlar,

Türkiye'de nükleer enerjiden elektrik üretmesi durumunda da uranyum rezervlerinin yaklaşık 40 yıl süreyle 2 santral kapasitesini karşılayacak düzeyde seyretmesi, çevreye vereceği olası muhtemel zararlar,

Türkiye'nin 2010 yılında yaklaşık 60000 MW kurulu elektrik santrali kapasitesine ihtiyacı olması,

Elektrik üretimi için kurulan santrallerin ve çevre etkileri de göz önünde bulundurulduğunda

Rüzgar enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları alanında Türkiye'de ve dünyada yapılan yatırımlar kadar, mevcut sistemlerin iyileştirilmesi ve kayıpların azaltılması da önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim (1962): “Ortalama ve Ekstrem Kıymetler Meteorolojisi Bülteni”, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını.
- Anonim (1984): “EIEI Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü”, Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli, Yayın No:85-1, Ankara.
- Anonim (1995): “Wind Directions”, Volume XV. No:1, October 1995, EWEA, İngiltere.
- Anonim (1999a): "Enerjiye rüzgar takviyesi yakın", Başlıklı Haber, Sabah Gazetesi.
- Anonim (2001a): WIND ENERGY WEEKLY, Vol. 19, 928, Publisher by the American Wind Energy.
- Anonim (2001b): WIND ENERGY WEEKLY, Vol. 19, 929, 19 January.
- Anonim (2001c): Clean Energy Foundation Broşür, www.temev.org.tr
- Anonim (2001d): www.btm.dk.
- Anonim (2001e): WIND ENERGY WEEKLY, Vol. 20, 961, Publisher by the American Wind Energy.
- Aubert E. (1955): “De la Rue: Man and the Winds”, Hutchinson's Scientific and Technical Publications, London.
- Avşar H., Çetinkaya K., Gökkaya H. (2001): “Afyon Yöresi Rüzgar Potansiyeli ve Elektrik Enerjisi Üretimi için Savonius Tasarımı”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi kitabı, Kayseri, s.171-178.
- Çolak O., Dombaycı Ö.A., Üçgül İ. (Mart 2001): “Değişken Rüzgar hızlarına Uygun Savonius Rüzgar Türbin Modelinin İyileştirilmesi”, Termodinamik Dergisi.
- Demirci B., Yıldırım E. (1986): “Elektrik Enerjisi Üretiminde Özel Sektörün Yeri”, Türkiye 4. Enerji Kongresi, İzmir, 255-265.
- Erdallı Y., Türe İ.E., Türksoy F. (1995): “Rüzgar Enerji Sistemleri”, Termodinamik Dergisi, sayı 30, s.49-52.
- Fujisawa N., Shirai H. (1987): “Experimental Investigation on the Unsteady Flow Field Around a Savonius Rotor at the Maximum Power Performance”, Wind Engineering, Vol.11(4), Tokyo, 195-206.
- Hau Erich. (1996): “Windkraftanlagen”, Springer Verlag, Berlin.
- Karadeli S. (1999): “Rüzgar Enerjisi”, Temiz Enerji Vakfı Kitapçık Serisi, s.6-12, No:11, Ankara.
- Kayansayan N. (1992): “Savonius rüzgar jeneratörü ve performans deneyleri”, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi Cilt 15, Sayı 1, s.21-26.
- Klug H. (2001): VI. Deutsch-Türkisches Energiesymposium, Konferans.
- Lalík S. (1957): “Rüzgar motorları”, Mesleki ve Teknik Öğretim Dergisi, Yıl 5 Sayı 50-51.
- Özdamar A. (2000): Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6. Cilt, 2.-3. Sayı, s.133.145.
- Özgener, Ö., Buğakaptan, B. (2001): Bir evin elektrik enerjisinin rüzgar enerjisinden karşılanmasının analizi, Termodinamik Dergisi, sayı :109, s.74-78.
- Özgener, Ö. (2002a): “Rüzgar gülü ve güç eldesi üzerine bir araştırma”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,
- Sadhy D. (1995): “The Application of wind power to irrigation in Brazil, Wind Engineering”, Vol. 9, No:3, Brazil.
- Şener Y.A. (1986a): “Türkiye’de rüzgar enerjisinden yararlanma imkanları”, s.365-382.
- Şener Y.A. (1986b): “Türkiye 4. Enerji Kongresi”, Teknik Oturum Tebliğleri I, İzmir.
- Şener Y.A. (1996): “Rüzgar enerjisinin 2000’li yıllara doğru gelişimi, uygulamaları ve sosyo-ekonomik yarar potansiyeli”, Ankara, s.26-30.

- Türksoy F. (2001): “Rüzgar verisi ölçümü ve analizi”, Rüzgar Enerjisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s 87-103.
- Ültanır M.Ö. (1998): “21. Yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi”, TÜSİAD Yayınları, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul.
- Yavuzcan G. (1961): “Türkiye rüzgar enerjisi ve Türkiye’de kullanılan rüzgar türbinleri üzerinde bir araştırma”, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zirai Kuvvet Makineleri Kürsüsü, Ankara.