

4. Rüzgar enerjisi

4.1 Giriş

Rüzgar enerjisinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmamasından dolayı oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgarı yaratmaktadır. Rüzgar, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına yer değiştiren havanın dünya yüzeyine göre bağlı hareketidir. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin çok küçük bir kısmı rüzgar enerjisine çevrelebilmektedir. Bu enerji yerel coğrafi farklılık ve homojen olmayan ısınmaya bağlı olarak zamansal ve yöresel değişiklikler gösterir. Rüzgar enerjisinde; rüzgarın hızı, yönü ve esme saat sayısı gibi özellikleri değerlendirilir. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı biçimde artar. Rüzgarın yönü, günlük hava şartlarına ve iklim özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Meteorolojik ve topografik açıdan rüzgarın olabileceği yerler aşağıda sıralanmıştır:

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yerler
- Yağışların sürekli esen rüzgara paralel olduğu vadiler
- Yüksek, engebesiz tepe ve platolar
- Yüksek basınç gradyanlı düzlükler ve sürekli rüzgar alan az eğimli vadiler
- Güçlü jeostrofik rüzgar alanlarının etkisinde kalan tepe ve zirveler
- Jeostrofik rüzgar ve termal gradyan alanına sahip kıyı şeritleri

Topografya rüzgarın yönü, hızı ve dağılımında önemli bir rol oynar. Dağ silsileleri, tepe ve kayalıklar, rüzgar profillerini büyük ölçüde etkiler. Dağ silsileleri eğer denize paralel, hakim rüzgar yönüne dik, orta eğimli (10-22°) ve özellikle çıplak ise enerji üretimine uygun yerlerdir. Zirvede rüzgar hızı, eğim ve dağ grubunun büyüklüğüne bağlı olarak artar. Bu nedenle, tepenin üst ön kısmı tesis için uygundur. Fakat tepenin üst arka kısmı türbülans nedeniyle göz önüne alınmaz [EİEİGM, 1992]

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi, seçilecek bölgenin meteorolojik özelliklerine ve en önemlisi de kullanılacak türbinin tasarımına bağlıdır. Seçilen bölgeden ekonomik olarak enerji üretebilmek için rüzgar hızı ve yön ölçümleri, topoğrafik yapı ve arazi pürüzlülüğü çok iyi belirlenmelidir. Rüzgar türbinlerinin kurulması tasarlanan bölgede türbin tarafından üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanabilmesi için, meteorolojik ve bölge verilerinin çok iyi analiz edilmesi gerekir. En yaygın olarak kullanılan hesaplama yöntemi Danimarka'da RISO Laboratuvarlarında geliştirilmiş bulunan "Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı (WASP)" 'dir. Rüzgar çiftliği kurulmadan önce seçilen araziye en az 10 m veya mümkünse 30 m yüksekliğinde bir çubuk üzerine anemometre yerleştirilerek 6 ay süre ile ölçüm yapılmalıdır. Eğer seçilen alanda yükseklik farkları varsa birden fazla anemometre dikilmesi daha yararlı sonuçlar verecektir. Arazi seçiminden sonra kapasiteyi belirleyen en önemli unsur üretilen elektriğin nereye verileceğidir. Ulusal dağıtım sistemine verilecekse araziye en yakın iletim hattı belirlenerek gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Bölge seçimini kısıtlayan bir faktör de rüzgar çiftliği için (bir çok rüzgar türbininin bir arada bulunduğu yerler) geniş arazi gerektirmesidir. Bu santral alanlarında türbinlerin birbirlerine çok yakın yerleştirilmesi birbirlerinin rüzgarlarını keseceği için uygun değildir. Santral alanının efektif olarak kullanıldığı alan %1'i geçmez ve geri kalan arazi tarım ve hayvancılık amacıyla kullanılabilir. Rüzgar santralleri için ileri sürülen gürültü kirliliği de çok yüksek düzeyde değildir. Rüzgar santralında türbinlerin bulunduğu ortamın gürültü seviyesi 80 dB 'dir. Bu değer trafiğin yoğun olduğu bölgelerdeki gürültü düzeyine eşittir. Bundan dolayı rüzgar santralleri ile yerleşim birimleri arasındaki mesafe 500m'den az olmayacak şekilde dizayn edilir.

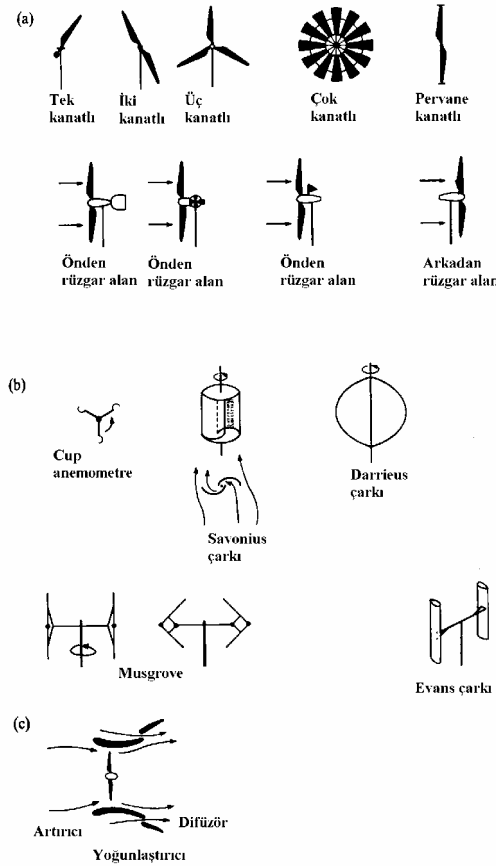
4.2 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgar makinalarında kullanılan türbinler farklı tiplerdedir:

- a) Yatay eksensizler: Dönme eksenini rüzgarın akım çizgilerine paralel olan türbinlerdir (Şekil 4.1a).
- b) Dikey eksensizler: Dönme eksenini rüzgarın akım çizgilerine dik olan türbinlerdir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savonius tipinde olanlardır (Şekil 4.1b). Bunlardan birincisi ilk hız alamaması ikincisi ise

veriminin düşük olması en olumsuz yanlarıdır. Nispeten daha pratik olan yatay eksenli türbinlerden çok kanatlılar düşük devirlerde tek ve birkaç kanatlılar ise yüksek devirlerde çalıştırılmaktadır.

c) Yoğunlaştırıcı yapıdakiler (Şekil 4.1c).



Şekil 4.1 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması: (a) Yatay eksenli (b) dikey eksenli (c) Yoğunlaştırıcı tip

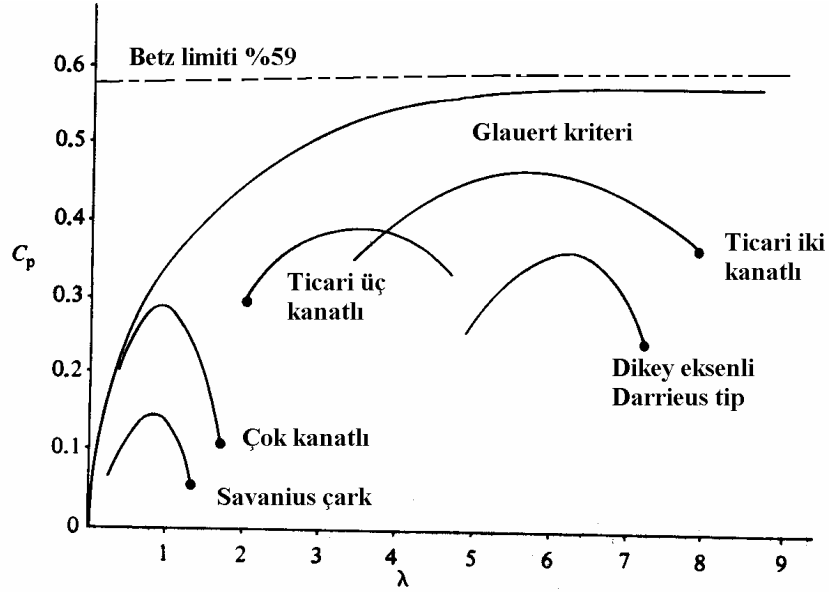
Bir rüzgar türbin-jeneratör sistemi kurmadan önce seçilen yöre nin rüzgar enerjisi potansiyelinin ve buna ait teorik hesapların yapılması gerekmektedir. Sağlıklı bir hesaplama için; rüzgar hızı ölçümleri, türbin kanat çapı, kanat sayısı, türbinin yerden yüksekliği, kanat ucu hız oranı, ve katılık oranı gibi parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Rotorsuz durumda rüzgarın akış yönüne dik herhangi bir A alanı içinden birim zamanda taşınan güç şu şekilde verilir:

$$P = (A \rho V_o^3) / 2$$

Burada ρ havanın yoğunluğunu, A kanat alanını ve V_o ise rüzgar hızını göstermektedir. Bu gücün tamamı rüzgar türbini tarafından faydalı güce dönüştürülemez. Faydalı rüzgar gücü P_T şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$P_T = (C_p A \rho V_o^3) / 2$$

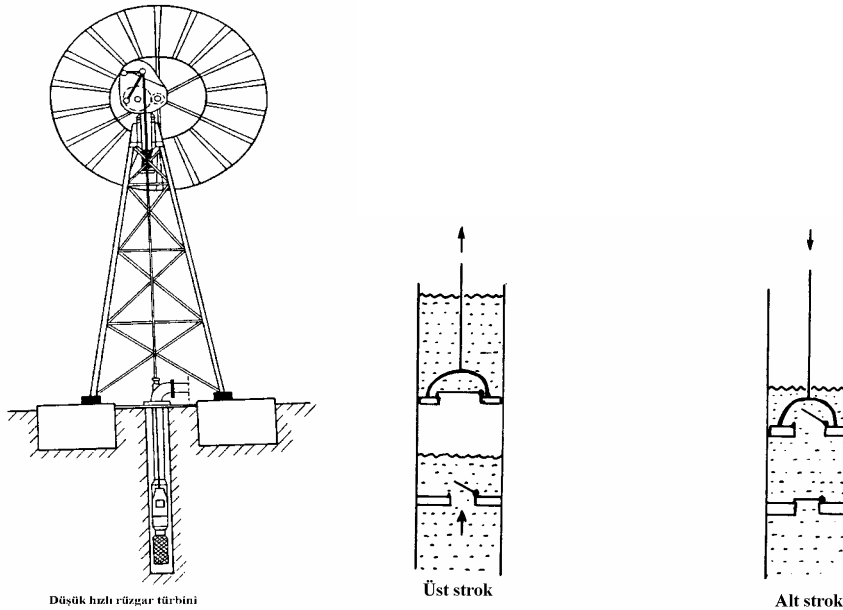
Burada C_p , güç faktörü veya verim olup maksimum değeri %59.3 dür. Bu değere Lanchester Betz limiti denir. Bu limit değer, rüzgar enerjisi elektrik santrallerinin en fazla %59.3 verime sahip olacaklarını göstermektedir. Şekil 4.2'de farklı rüzgar türbinleri için kanat uç hız oranı olan λ 'nin ($\lambda = \omega R/V_o$) C_p 'ye göre değişimi verilmiştir.



Şekil 4.2 Güç katsayısı C_p 'nin kanat uç hız oranı λ 'ya göre değişimi

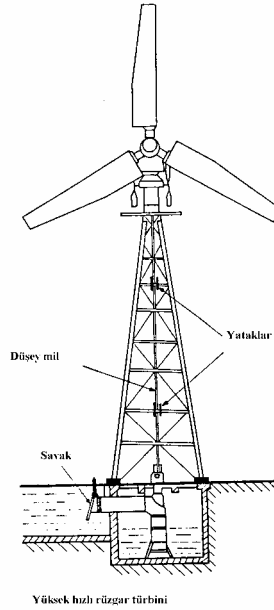
4.3 Rüzgar enerjisinden faydalanma yolları

Rüzgar enerjisinden genel olarak mekanik enerji üretimi ve elektrik enerjisi üretimi şeklinde yararlanılmaktadır. Rüzgar enerjisinin shaft gücünden faydalanılarak elde edilen mekanik enerji, su pompalama, tahıl öğütme, kesme, sıkıştırma ve yağ çıkarma alanlarında kullanılmaktadır. Rüzgar enerjili pompalama sistemlerinin elektrik veya dizelli pompalara göre bir çok avantajları vardır. Rüzgar enerjisi doğada bol miktarda bulunan bedava bir enerji kaynağıdır. Karmaşık bir yapıya sahip olmadıkları için bakım ve onarım masrafları da yok denecek kadar azdır. Rüzgar enerjili su pompalama sistemlerinde hem düşük hem de yüksek hızlı türbinler kullanılabilir. Çok kanatlı rüzgar türbinleri düşük hızda çalışırlar. Şekil 4.3'de düşük hızlı bir su pompalama sistemi görülmektedir. Bu sistemde genellikle tek hareketli pompa kullanılır. Rüzgar türbini milinden hareket alan bir krank sistemiyle pistonun aşağı yukarı hareketiyle su pompalama işlemi gerçekleşir.



Şekil 4.3 Düşük hızlı rüzgar türbini ve su pompalama sistemi

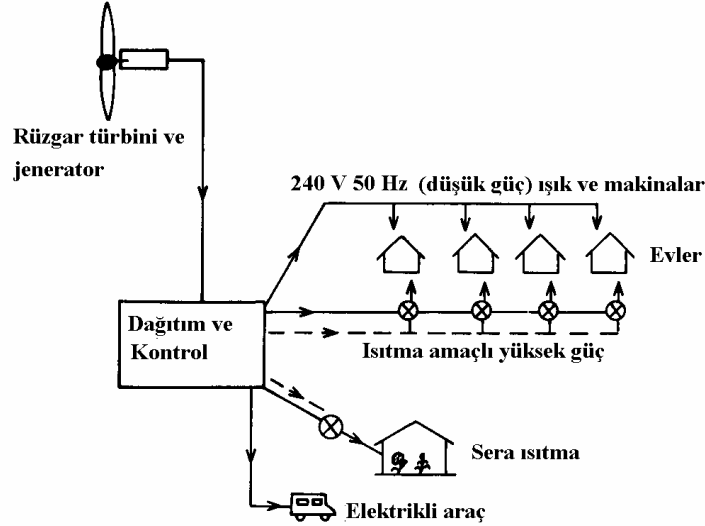
Şekil 4.4'de ise yüksek hızlı bir sistem görülmektedir. Başlangıç momentinin düşük olması nedeniyle bu sistemlerde direkt olarak pistonlu pompa kullanılmaz. Yüksek dönme hızına sahip oldukları için ya santrifuj ya da helisel pompa kullanılır.



Şekil 4.4 Yüksek hızlı rüzgar türbinine sahip su pompalama sistemi

Gerekli su, arzu edilen zamanda ve yeterli miktarda temin edilemediği takdirde, su depolama tesislerinin yapılması gerekmektedir. Fazla suyun araziden uzaklaştırılması için kurulan rüzgar türbinleri de aynı sisteme dayanmaktadır. Rüzgar enerjisinin değirmenlerde kullanılması da pompalama ve depolama yoluyla olmaktadır.

Rüzgar enerjisinden faydalanarak üretilen elektrik özellikle; enterkonnekte sistemin ulaşamadığı uzak yerleşim merkezlerinde, kırsal alanlarda, ormanlık ve dağlık bölgelerde, adalarda, deniz fenerlerinde, çiftliklerde, yangın kulelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde büyük güçlü rüzgar santralleri, elektrik şebekesine bağlı ve birden fazla türbin içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir. Rüzgar santrallerinin ana yapı elemanı rüzgar türbinidir. Bir rüzgar türbini, çevredeki engellerin rüzgarı kesemeyeceği yükseklikte bir kule ve bunun üzerine yerleştirilmiş bir gövde ve rotordan oluşmaktadır. Kulenin yüksek olması, ayrıca yeryüzüne yakın rüzgar profilinin yüksek hızdaki kısmını kullanmaya da yarar. Rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak, gövdedeki jeneratöre aktarılır. Elektrik üretim amaçlı modern rüzgar türbinlerinin çoğunluğu yatay eksenli olup rotor kanat sayıları bir ile üç arasında değişmektedir. Rotor çapları 1–75 m arasındadır. Rüzgar doğrultusuna yönelmeyi bir rüzgar gülünün kumanda ettiği bir servo mekanizma sağlar. Aerojeneratörlerin gücü 100 W ile birkaç MW arasında değişir. Danimarka başta olmak üzere Japonya, İspanya ve Amerika markalı türbinler 300, 450, 500, 600, 650, 750 kW güçlerinde sıkça kullanılmaktadır. Yüksek rüzgar gücüne sahip vadilerde 1 MW ile 1.5 MW gücünde türbinler kullanılmaktadır. Normal arazi şartlarında ise hem üretim hem de fiyat açısından 600 kW'lık türbinler tercih edilmektedir. Şekil 4.5'de rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi görülmektedir.



Şekil 4.5 Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi [Twidell, 1990]

4.4 Dünyada ve Türkiye'de rüzgar enerjisi çalışmaları

Rüzgar enerjisinden elektrik elde edilmesinin yaygınlaşmaya başlamasının başlıca nedeni; dönüşüm sistemlerinin ve elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin yeni fosil-yakıtlı güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye inmiş olmasıdır. Rüzgar enerjisi sistemlerinin geliştirilmesi üzerindeki araştırmalar; türbin sistemlerinin aerodinamik ve mekanik performanslarının artırılması, dayanıklılıklarının ve yorulma ömürlerinin geliştirilmesi, rüzgar alanlarının modellenmesi ve simule edilmesi ve ayrıca açık denizde kurulması düşünülen türbinler üzerinde yoğunlaşmıştır. Danimarka'nın ilk deniz rüzgar çiftliği uygulaması kıyından 6 km açıktaki kurulmuştur. Her biri 500 kW'dan oluşan bu çiftliğin toplam gücü 5 MW olup yaklaşık 4000 evin elektrik gereksinimini karşılayacak düzeydedir. Bu çiftlikten elde edilen elektrikle 6000 ton kömürün yakılması ve 12.500 ton CO₂ 'in salımı önlenmektedir.

Kurulan rüzgar türbini bir yıldan kısa sürede kendi imalatı için harcanan paranın karşılığı olan enerjiyi üretmektedir. Türbinlerin ömrü ortalama 20 yıl olarak tahmin edilmektedir. Kalan 19 yıllık süre net üretim zamanıdır. Ayrıca rüzgar çiftliği kurulduktan sonra yapılan işletme ve bakım harcamaları son derece düşüktür. Tablo 4.1'de ekonomiklik açısından rüzgar enerjisi ve diğer enerji üretim sistemleri karşılaştırılmıştır. Gelişen teknolojiye ve gerçekçi fizibilite çalışmalarına bağlı olarak rüzgardan elde edilen enerjinin maliyeti sürekli düşmektedir. 1980 yılında rüzgardan elde edilen 1 kWh enerjinin maliyeti 30 cent'ken 1991'de bu değer 6 cent'e düşmüştür.

Tablo 4.1 Enerji üretim sistemlerinin enerji maliyetleri

Güç Kaynağı	1 kWh Enerjinin Maliyeti (cent)		
	Min	Max	Ortalama
Solar termal hibrit	6.0	7.8	6.9
Nükleer	5.3	9.3	7.3
Doğal Gaz	4.4	5.0	4.7
Hidrolik	5.2	18.9	12.1
Rüzgar	4.7	7.2	6.0
Kömür	4.5	7.0	5.8
Jeotermal	4.3	6.8	5.6
Biyomas	4.2	7.9	6.1

Dünya 1998 yılı sonu itibarıyla 9839 MW kurulu rüzgar gücüne ulaşmıştır. Dünyanın en büyük kurulu gücü 6469 MW ile Avrupa'da yer almaktadır. Tablo 4.2'de ülkelerin kurulu rüzgar gücü ve tesis edilen kapasite değerleri verilmiştir. Almanya 794 MW artış ile 1998 yılında önde gelmektedir. Bu artış ile ülkenin toplam rüzgar gücü 2875 MW'a çıkmıştır. Rüzgar santrallerin elektrik üretimi ülkenin

en büyük iki kömür santralının üretimine eşittir. 1981'de kilovat başına 2600 dolar olan rüzgar gücü maliyetleri daha büyük türbinler, daha etkin imalat ve montaj sayesinde 1998 yılında kilovat başına 800 dolara düşmüştür.

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli yeterli ölçümler yapılmadığından dolayı kesin olarak bilinmemektedir. Türkiye'nin toplam rüzgar enerji teknik potansiyeli sadece kara kısmı için 40.000 ile 80.000 MW düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir []. Yerleşim alanları dışında 10 m yükseklikte rüzgar hızı yıllık ortalaması Ege Bölgesi ve diğer kıyı alanlarımızda 4.5-5.6 m/sn, iç kesimlerde ise 3.4-4.6 m/sn arasındadır. Antakya, Bandırma, Bergama, Bodrum, Bozcaada, Çanakkale, Çeşme, Çorlu, Gökçeada, İnebolu, Mardin ve Sinop rüzgar enerjisince zengin yörelerimizdir. İzmir Çeşmede 55 kW gücünde rüzgar jeneratörü bir turistik tesisde kullanılmaktadır. 1998 yılında Alaçatı' nın Germiyen Köyünde üç rüzgar türbininden oluşan 1.7 MW kapasiteli özel sektöre ait bir rüzgar santrali kurulmuştur. Tesis edilen 7.2 MW kapasiteli Alaçatı Rüzgar Güç santrali 1998 yılında üretime başlamıştır. Halen Türkiye'de çeşitli özel sektör yatırımcılarınca geliştirilen ve yakın gelecekte gerçekleştirilecek rüzgar güç santral kapasitesi 700 MW'a ulaşmıştır.

Tablo 4.2 Dünyanın Kurulu Rüzgar Gücü

	<i>1998 Sonu Kurulu Gücü (MW)</i>	<i>1998 Yılında Tesis Edilen Kapasite (MW)</i>	<i>Büyüme Hızı (%)</i>
ABD	1820	147	8.8
Kanada	82	57	228.0
Kosta Rika	26	6	30.0
Arjantin	12	3	33.3
Meksika	3	1	50.0

Brezilya	17	14	466.7
Amerika Toplamı	1960	228	
Danimarka	1448	300	26.1
Finlandiya	17	5	45.0
Fransa	19	9	90.0
Almanya	2875	794	38.2
Yunanistan	39	10	34.5
İrlanda	73	51	49.5
İtalya	154	51	49.5
Hollanda	361	42	13.2
Portekiz	60	22	57.9
İspanya	707	195	38.1
İsveç	165	43	35.3
İngiltere	333	14	4.4
Avusturya	30	10	47.7
Türkiye	9	9	
Norveç	9	5	132.1
Belçika	8	1	12.0
Çek Cumh.	7	0	0.0
İsviçre	3	0	0.0
Lüksemburg	9	7	350.0
Avrupa Toplamı	6276	1523	
Çin	214	48	28.9
İran	11	0	0.0
Hindistan	968	28	0.0
İsrail	6	0	3.0
Ukrayna	5	0	0.0
Japonya	40	22	122.2
Rusya	5	0	0.0
Asya Toplamı	1249	98	
Avustralya	17	6	54.5
Mısır	5	0	0.0
Y.Zelanda	5	1	25.0
Kıtalar Toplamı	27	7	
DÜNYA TOPLAMI	9512	1856	