



DÜNYA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİNDEN YARARLANILMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Aydoğan ÖZDAMAR

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100/Bornova İzmir

Geliş Tarihi : 03.03.2000

ÖZET

Bu çalışmada, enerji ihtiyacının karşılanmasında gelecekte daha fazla rol alacağı anlaşılan rüzgar enerjisinin, dünya ve Türkiye'deki kullanımına ilişkin genel bir durum değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla; öncelikle dünya ve Türkiye'de rüzgar enerjisi kullanımının tarihsel gelişimi aktarılmış, ardından da rüzgar enerjisi potansiyeli, rüzgarın oluşumu ve rüzgar ölçümleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra da; rüzgarın güvensizliği, bir evin elektrik enerjisi gereksiniminin sadece rüzgardan karşılanması ve rüzgar elektriğinin ekonomikliği konularındaki rüzgar enerjisi kullanımına yöneltilen eleştiriler irdelenerek, somut cevaplar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Enerji, Rüzgar enerjisi, Çevre

EINE UNTERSUCHUNG ÜBER DIE NUTZUNG DER WINDENERGIE IN DER WELT UND IN DER TURKEI

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurde die Nutzung der in Zukunft bei der Energieversorgung eine wichtige Rolle zuspieldende Windenergie allgemein bewertet. Zu dem Zweck wurde zuerst Potential und geschichtliche Entwicklung der Windenergienutzung in der Welt und in der Türkei, Entstehung des Windes und Windmessungen betrachtet. Anschließend wurden Kritiken über die Unstetigkeit der Windenergie, der Deckung des Energiebedarfs eines Hauses vollständig von Windenergie und der Wirtschaftlichkeit des Windstroms behandelt und Antworten mit konkreten Beispielen auf diese Kritiken gegeben.

Schlüsselwörter : Energie, Windenergie, Umwelt

1. GİRİŞ

Üretilmeyen, ancak mevcut bir formdan diğerine dönüştürülebilen enerji, Yunanca “energia” sözcüğünden alınma olup “etkiyen kuvvet” anlamına gelmektedir. Fizik biliminde iş yapabilme yeteneği ve depolanan iş olarak da tanımlanan enerji, değişik kriterlere göre sınıflandırılabilen, fakat en genel haliyle 7 grupta incelenmektedir: Mekanik enerji (kinetik ve potansiyel enerji), ısı (termik) enerji, kimyasal enerji, elektrik enerjisi, ışın enerjisi, atom (çekirdek) enerjisi, birleşme (fizyon) enerjisi. Dünyanın varolma süresinin referans olarak alındığı bir diğer sınıflandırmaya göre ise; enerji, tükenen ve kendisini dünya varoldukça

yenileyen, yani tükenmeyen enerjiler olarak iki grupta incelenebilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Tükenebilirliğine Göre Enerji Türleri, Avantaj ve Dezavantajları

Tükenebilen Enerji	Tükenemeyen (Yenilenebilir) Enerji
Kömür, Linyit, Petrol, Doğal Gaz, Atom (uranyum) gibi kaynaklardan elde edilen enerji çevreyi kirletirler ve dünyanın varolma sürecinde tükenirler.	Su (hidrolik), Güneş, Rüzgar, Dalga, Jeotermal, Biyomas, Gel-Git Olayı gibi kaynaklardan elde edilen enerji Çevre dostudurlar ve dünya varoldukça tükenmezler.

Yenilenebilir enerji kaynakları da enerjinin ana kaynağına göre; güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve

ay kaynaklı olarak üç grupta incelenebilmektedir. Tablo 2'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, güneş kaynaklı olan rüzgar enerjisi, doğal enerji dönüşümü sonucunda kendisini atmosferde hava hareketi ve denizlerde dalga hareketi olarak hissettirmektedir. Bu mekanik-kinetik enerji de, rüzgar enerjisi ve dalga enerjisi tesislerinde elektrik enerjisine veya su pompalanmasında olduğu gibi mekanik enerjiye dönüştürülebilmektedir.

Dünya nüfusunun artışı ve teknolojinin gelişmesi, enerjiye ve özellikle de yaygın kullanım alanı bulabilmesi nedeniyle elektrik enerjisine olan talebi de beraberinde getirmektedir. Bu talep, ülkelerin özelliklerine bağlı olarak farklı kaynaklardan sağlanmaktadır. Almanya'nın 1997 yılı toplam elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklar buna örnek olarak verilebilir: Atom enerjisi % 31, taşkömürü % 26, linyit % 25, doğal gaz % 9, hidrolik enerji % 4, rüzgar enerjisi % 0.5 ve diğerleri % 4.5 (www.wind-energie.de). Türkiye ise, elektrik enerjisi üretimini 1998 yılında aşağıdaki kaynaklardan sağlamıştır: Fuel oil % 6, 6 motorin % 0.3, taşkömürü % 2.7, linyit % 29.5, doğal gaz

% 22, 4, LPG % 0.2, nafta % 0.1, jeotermal % 0.1, hidrolik % 38 ve diğerleri % 0.2 (Anonim, 1999a). Buradan, her iki ülkenin enerji üretiminde fosil yakıtların önemli yer kapladığı ve Almanya'nın buna ek olarak atom enerjisinden büyük ölçüde yararlandığı anlaşılmaktadır. Her iki enerji türü de, kendine özgü ve tüm insanları doğrudan ilgilendiren sorunlara yol açabilecek özelliktedir. Bu sorunlardan ilki; atom enerjisinin kaynağı olan uranyumun 50 yıl, petrolün 44 yıl, doğal gazın 64 yıl ve kömürün de 185 yıl sonra tükenecek olmasıdır (www.wind-energie.de). Fosil yakıtlar ve atom enerjisi ile ilgili diğer bir sorun da, çevreye verilen zararlardır. Halbuki, örneğin 1 kWh rüzgar elektriği; fosil yakıt kullanılarak elde edilen 1 kWh elektrik enerjisi ile karşılaştırıldığında, ortalama olarak 750-1250 gr karbondioksit, 40-70 gr kül, 5-8 gr kükürtdioksit, 3-6 gr azotoksit salınımını engellemektedir (Gasch, 1996). Bu nedenlerle, son yıllarda enerji gereksiniminin karşılanabilmesi için; rüzgar, güneş, jeotermal, biyomas, gel-git ve hidrolik enerjilerinden oluşan çevre dostu yenilenebilir enerjilerin kullanımına yönelinmiştir.

Tablo 2 . Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması

Yenilenebilir Enerji Kaynakları				
Ana Kaynak	Birincil Enerji Kaynakları	Doğal Enerji Dönüşümü	Teknik Enerji Dönüşümü	Kullanım Enerjisi
Güneş	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri (Hidroelektrik Santralleri)	Elektrik Enerjisi
	Rüzgar	Atmosferdeki Hava Hareketi	Rüzgar Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
		Dalga Hareketi	Dalga Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işınları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
		Güneş Işınları	Kollektörler	Isı Enerjisi
			Solar Hücreler (Güneş Pilleri-Fotovoltaikler)	Elektrik Enerjisi
Biyomas	Biyomas Üretimi	Isı Güç Tesisleri Dönüşüm Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi Yakıt Enerjisi	
Dünya	Yer Merkezi Isısı	Jeotermal Enerji	Jeotermal Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
Ay	Ay Çekimi Gücü	Gel-Git Olayı	Gel-Git Güç Santralleri	Elektrik Enerjisi

2. RÜZGAR VE OLUŞUMU

Gerekli enerjisini güneşten alan bir ısı makinası olarak nitelenebilecek 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.

Rüzgarlar, sürekliliklerine göre bütün bir yıl boyunca esen sürekli rüzgarlar ve belli zamanlarda

esen harikeyn, tayfun, tornado ve girdaplar gibi süresiz rüzgarlar olarak iki grupta incelenebilirler (Tablo 3). Alizeler; her mevsim kuzey ve güney yarım kürede 30⁰ 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; ekvatorda ısınan hava kütlelerinin yükselmesi ve ekvatorundan uzaklaşacak şekilde hareket etmeleridir.

Tablo 3. Genel Olarak Rüzgarların Sınıflandırılması

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

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 eser. Hareket halindeki bir hava kütesinin; 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.

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.

3. RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMININ TARİHÇESİ

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 yönlendirici

taılan 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 üretildi. Doğru akım elde eden Paul La Cour, elektroliz yoluyla hidrojen gazı elde etti ve bu şekilde rüzgar enerjisini depolamış oldu. 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 verilebilir (Hau, 1996).

1970'li yıllardaki petrol krizi ve yükselen yakıt fiyatları sonucu, rüzgar enerjisi tekrar hatırlanmış ve bu alanda yatırımlar artmıştır (Heier, 1996). Özellikle 1980'li yıllardaki gelişmeler sonucunda seri olarak üretilen ve yaygın olarak kullanılan rüzgar türbini nominal güçleri 600 kW, 750 kW, 1 000 kW, 1 500 kW ve 2 000 kW'dır. Gelecekte üretilen rüzgar türbinlerinin nominal güçlerinin daha da artması beklenmelidir. Örneğin, Alman Enercon Firması, 5 MW nominal güçlü bir rüzgar türbinini üretmeyi ve Hannover'de 6 000 konutun elektrik enerjisinin büyük bir kısmını bu şekilde karşılamayı planlamaktadır (Anonim, 1997).

Türkiye'de genel kullanıma dönük ilk rüzgar elektriği, 1986 yılında Çeşme Altinyunus Tesisleri'nde kurulan Vestas marka 55 kW nominal güçlü rüzgar türbininden elde edilmiştir. Bu türbinin göbek yüksekliği 24.5 m ve pervane çapı 14 m'dir. 55 kW'lık nominal güce 12 m/s'lik rüzgar hızında erişen bu türbinden, Çeşme şartlarında yılda ortalama 100.000 kWh elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu miktar, tesis elektrik enerjisi ihtiyacının % 4'ünü oluşturmaktadır.

Türkiye'de uluslararası boyutta ilk rüzgar elektriği, 21 Şubat 1998 tarihinde Çeşme Germiyan Köyü'nde üretilmiştir. Bir Alman Firması'ndan satın alınarak kurulan ve herbiri 500 kW nominal güce sahip olan 3 adet Enercon-40 rüzgar türbininden oluşan bu ilk rüzgar çiftliğinden, yılda 4.5 milyon kWh elektrik

enerjisi elde edileceği tahmin edilmektedir. Enercon-40 adlı dişli kutusuz türbinlerin pervane çapı 40.3 m. olup, senkron jeneratörlüdürler ve 18-38 devir/dakika'da enerji üretmektedirler. Bu türbinlerde 500 kW güç elde edilebilmesi için, rüzgar hızının 14 m/s olması gerekmektedir. Germiyan Rüzgar Çiftliği, "otoprodüktör" sistemiyle kurulmuş olup, burada üretilen enerji TEDAŞ'a verilmekte ve kurucu firma bünyesindeki bir plastik fabrikasının TEDAŞ'tan aldığı enerjiyi karşılamaktadır. Germiyan'da bir yılda rüzgardan üretilen elektrik enerjisi, bu fabrikanın tükettiği elektrik enerjisinden fazla olduğunda, fazla üretilen enerjinin miktarının bedeli, rüzgar elektriği üreten firmaya ödenir.

Türkiye'deki Yap-İşlet-Devret Modeli ile işletmeye açılan ilk rüzgar enerjisi tesisi ise, 28 Kasım 1998 tarihinde işletmeye alınan Alaçatı'daki ARES adlı 12 rüzgar türbininden oluşan rüzgar çiftliğidir. Burada kullanılan rüzgar türbinleri 600 kW nominal güçlü Danimarka üretimi Vestas V44'tür. Bu rüzgar türbinlerinin pervane çapı 44 m olup, göbek yüksekliği 45 m'dir. Bir Holding tarafından 8.5 milyon \$'lık yatırım ile kurulan rüzgar çiftliğinden, günde 100.000 kWh'lık elektrik enerjisi elde edilmesi ümit edilmekte ve projenin 2,5 yılda kendini amorte ederek, 3 yıl sonra projeye % 4 ile ortak olan Alaçatı Belediyesi'nin işçi giderlerini karşılayacağı iddia edilmektedir (Anonim, 1999b). Buradan çıkan sonuç, her bir 600 kW nominal güçlü rüzgar türbininden yılda yaklaşık 3 milyon kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği iddiasıdır.

Değişik nominal güçlü rüzgar türbinleri; Çeşme şartlarında 70 m göbek yüksekliğinde nominal güçte üretecekleri enerjinin % 42-54'ünü üretebilmektedirler (Özdamar, 2000). Buradan hareketle, 600 kW nominal güçlü 12 adet rüzgar türbininin 70 m göbek yüksekliğinde bir yılda yaklaşık 26.490.240 kWh ile 34.058.880 kWh arasında enerji üretebilecekleri ve üretilebilecek ortalama günlük elektrik enerjisi miktarının da 72.576 kWh ile 93.312 kWh arasında değişeceği anlaşılmaktadır. Bir başka kaynaktan, Alaçatı'daki 45 m göbek yükseklikli rüzgar türbinlerinden oluşan bu rüzgar çiftliği için yatırım maliyeti 8.750.000 \$ ve bir yılda üretilebilecek enerji miktarı da 18.900.000 kWh olarak verilmektedir (Boyacıoğlu, 1999). Buradan, 12 adet rüzgar türbininden günde ortalama 51.781 kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Türkiye'de 1998 yılında her bir kişinin ortalama 1450 kWh elektrik enerjisi tükettiği düşünülürse, Alaçatı'dan elde edilen rüzgar elektriğinin 13.035 kişinin elektrik enerjisi gereksinimini karşılayabileceği anlaşılmaktadır. TEDAŞ 1998 yılı faaliyet raporuna göre, Alaçatı'daki 12 adet rüzgar türbininden Kasım

ayında 142.210 kWh ve Aralık ayında 1.815.590 kWh elektrik enerjisi satın alınmıştır.

Faaliyette olan yukarıda anılan rüzgar santrallerinin dışında, rüzgar elektriği eldesi için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na başvuran tüzel kişilerin sayısı her geçen gün daha da artarak devam etmektedir (Tablo 4). 1998 yılı sonu itibariyle ülkemizde kurulmuş ve kurulması planlanan rüzgar enerjisi tesisi nominal gücü 604-676 MW'dır (Anonim, 1999c). Bu projelerden pazarlık yöntemi sonucunda enerji satış tarifesi belli olanlar, Tablo 5'de verilmektedir (Baysal, 1999).

4. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Rüzgar enerjisi potansiyeli; doğada mevcut haliyle doğal potansiyel olarak adlandırılır. Doğal potansiyelin teknoloji aracılığı ile kullanılabilir enerjiye dönüştürülmüş şekline teknik potansiyel ve diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması sonucu ekonomik olarak nitelenen miktarına da ekonomik potansiyel adı verilmektedir. Tablo 6'da dünya yenilenebilir enerji doğal potansiyeli verilmektedir (www.wind-energie.de). Dünya enerji tüketimi 1995 yılı için 95.000 milyar kWh iken, dünyaya gelen yıllık güneş enerjisi miktarı bunun 15.000 katıdır.

Tablo 6'dan, dünya rüzgar enerjisi doğal potansiyelinin güneş enerjisi potansiyelinin % 2'si olduğu anlaşılmaktadır. Başka bir deyimle, dünyaya gelen güneş enerjisinin % 2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Yenilenebilir enerji dünya doğal potansiyelinin çok küçük bir miktarının kullanılabilir enerjiye dönüştürülebilmesi, dünya enerji sorununu çözmeye yetecektir. Nitekim literatürde, 2050 yılında dünya enerji tüketiminin % 70'inin yenilenebilir enerjilerden sağlanacağı şeklinde iddialar bulunmaktadır (Anonim, 1990).

Rüzgar enerjisi tesisleri üretimi ve rüzgar enerjisi kullanımında, Danimarka ve Almanya örnek teşkil etmektedirler. Bu nedenle, bu ülkeleri daha ayrıntılı incelemek amacıyla Tablo 7 ve 8 verilmiştir. Tablo 7'de, Danimarka'daki rüzgar türbinlerinden kamu ve özel sektör tarafından elde edilen elektrik enerjisi miktarlarının yıllara göre değişimi ve rüzgar elektriğinin tüm elektrik enerjisi tüketimindeki % olarak payı verilmektedir (www.windpower.dk). Buradaki 1998 yılına ait değerler, Danimarka Rüzgar Endüstrisi Derneği'nin tahmini rakamlarıdır. Bu tablonun incelenmesinden çıkan sonuç, Danimarka'nın rüzgar enerjisine verdiği önemi göstermektedir.

Tablo 4. Türkiye'de 1998 Yılı Sonu İtibarıyla Rüzgar Elektrik Üretim Başvuruları (Anonim, 1999c)

Proje Adı	Kurum Alanı	Kurulu Güç (MW)
Faaliyette Olanlar		
1. Çeşme Germiyan RS	İzmir-Çeşme	1,74
2. Çeşme-Alaçatı RS	İzmir-Çeşme-Alaçatı	7,2
Fizibilite Raporları Değerlendirilmekte Olanlar		
1. Bozcaada RS	Çanakkale-Bozcaada	5,0
2. Çanakkale RS	Çanakkale	30,0
3. Bozcaada RS	Çanakkale-Bozcaada	10,2
Fizibilite Raporunda Düzeltme İstenenler		
1. Akhisar RS	Manisa-Akhisar	12,0
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. Hacıomerli RS	Aliğa-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	132
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

Tablo 5. TEDAŞ'ın Rüzgar Elektrik Birim Enerji Alış Tarifesi ve Proje Bilgileri (Baysal, 1999)

Kuruluş Yeri	1 Türbin Nominal Gücü	Toplam Nominal Gücü	Türbin Adedi	1 Türbin Yatırım Gideri (DM)	Birim Enerji Satış Fiyatı (DM/kWh)
Germiyan-Çeşme (Demirer H.)	500 kW (Enercon 40)	1,5 MW	3	1.226.667	10 yıl: 0.169 10 yıl: 0.075
Çeşme-Alaçatı (Interwind)	600 kW (Vestas 44)	7,20 MW	12	1.370.833	6 yıl: 0.16 6 yıl: 0.15 6 yıl: 0.056
Kocadağ-Urla (Asmakinsan)	-	50,4 MW	-	-	6 yıl: 0.164 6 yıl: 0.15 8 yıl: 0.056
Çanakkale (Asmakinsan)	-	30 MW	-	-	12 yıl: 0.156 8 yıl: 0.063
Bozcaada (Demirer H.)	-	10 MW	-	-	10 yıl: 0.173 10 yıl: 0.077

Danimarka'nın 1997 yılında tüm elektrik enerjisi tüketiminin % 6'sını rüzgardan karşılaması, hem örnek hem de yol göstericidir. Almanya'nın işletilmekte olan rüzgar türbini sayısı, toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü ve yıllara göre elde edilen elektrik enerjisi miktarları da Tablo 8'de verilmektedir (Nitsch ve ark., 1999). Rüzgar elektriginde önder olan bu ülkelerin durumunu tam olarak gözler önüne serebilmek amacıyla, Tablo 9'da 1999 yılı Eylül ayı itibarıyla dünya rüzgar

enerjisi kurulu gücü verilmiştir (www.wind-energie.de). Tablo 7,8 ve 9'un incelenmesi sonucunda, 1997 yılında Danimarka'da kurulu bulunan rüzgar türbinlerinin kapasite faktörlerinin (gerçek üretimlerinin nominal güçte üretebileceklerine oranı) % 19 ve Almanya'da kurulu olanların kapasite faktörlerinin de % 17 olduğu görülmektedir. Bu da, Danimarka'nın rüzgar türbini ve kurulum yeri seçiminde daha isabetli karar verdiğini göstermektedir.

Tablo 6. Yıllık Dünya Yenilenebilir Enerji Doğal Potansiyeli (www.wind-energie.de)

Güneş Kaynaklı Enerji Türü	Güneş Enerjisi	Rüzgar Enerjisi	Deniz Kaynaklı Enerjiler	Hidrolik Enerji	Biyomas Enerjisi
Dünya Potansiyeli (Milyar kWh)	1.524.240 000	30.844.000	7.621.000	46.000	1.524.000

Tablo 7. Yıllara Göre Danimarka Rüzgar Elektrik Üretimi Ve Bunun Tüm Elektrik Enerjisi Tüketimindeki Payı (%) (www.windpower.dk)

Yıllar	Özel Sektör Rüzgar Elektrik Üretimi (Milyon kWh)	Kamu Sektörü Rüzgar Elektrik Üretimi (Milyon kWh)	Toplam Elektrik Enerjisi Üretimi (Milyon kWh)	Rüzgar Elektrik Üretiminin Toplam Elektrik Enerjisine Oranı (%)	Yıllar	Özel Sektör Elektrik Üretimi (Milyon kWh)	Kamu Sektörü Elektrik Üretimi (Milyon kWh)	Toplam Elektrik Enerjisi Üretimi (Milyon kWh)	Rüzgar Elektrik Üretiminin Toplam Elektrik Enerjisine Oranı (%)
1983	25.7	1.4	271	0.1	1992	727.9	187.5	915.4	3.0
1984	32.1	1.1	33.2	0.1	1993	807	227	1034	3.4
1985	50.3	1.1	51.4	0.2	1994	888	249	1137	3.6
1986	123.5	2.1	125.6	0.5	1995	889	285	1174	3.7
1987	169.1	4.7	173.8	0.6	1996	912	315	1227	3.8
1989	259.5	32.2	291.7	1.0	1997	1548	384	1932	6.0
1990	502.2	60.9	428.4	1.5	1998	2302	477	2779	-
1991	595.1	108.1	610.3	2.1					

Tablo 8. Yıllara Göre Almanya'da Rüzgar Enerjisi Kullanımı (Nitsch ve ark., 1999)

Yıl	Türbin Sayısı	Toplam Nominal Güç (MW)	Rüzgar Elektrik Üretimi (milyon kWh)
1987'ye kadar	63	2.9	Bilinmiyor
1988	137	8.6	5
1989	225	18.8	15
1990	488	62.4	40
1991	769	109.4	140
1992	1133	173.9	230
1993	1719	325.7	670
1994	2544	632.2	940
1995	3579	1126.4	1800
1996	4381	1550.3	2200
1997	5214	2075.3	3000

Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünün 7.698 MW olduğu 1997 yılı sonunda rüzgar türbini üretici firmalarının pazar payı ve ait oldukları ülkeler Tablo 10'da verilmektedir (www.wind-energie.de). Üretici firmalarda da Danimarka ve Almanya'nın öncülüğü görülmektedir. Buradan çıkan sonuç; rüzgar elektrik üretiminde öncü olan ülkelerin, rüzgar türbini üretiminde de öncü olduklarıdır.

Türkiye'nin karasal alanlardaki yıllık rüzgar enerjisi doğal potansiyeli 400 milyar kWh ve teknik potansiyeli de 110 milyar kWh olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında, Türkiye yıllık denizüstü 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 (Tablo 11). Türkiye karalarının yıllık rüzgar enerjisi teknik potansiyeli için, kabullere dayanan ve her zaman tartışılabilir olan aşağıdaki hesaplama yapılabilir:

Yurdumuzda yıllık ortalama güneş enerjisi yoğunluğu, bir saat için 0,149 kWh/m² olarak verilmektedir (Demirci ve Yıldırım, 1986) ve güneş enerjisinin yaklaşık % 2'lik kısmının rüzgar enerjisine dönüştüğü varsayılmaktadır. 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 kaba bir tahminle;

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

olarak bulunur. Türkiye'nin 1998 yılı elektrik enerjisi brüt üretiminin Tablo 12'de verildiği gibi yaklaşık 111 milyar kWh olduğu düşünüldüğünde, elektrik enerjisi üretiminde rüzgar enerjisinin

Türkiye'de de Danimarka ve Almanya'da olduğu gibi öncelikle başvurulması gereken bir kaynak olduğu sonucuna ulaşılır. 1995 yılı elektrik enerjisi tüketimi 471 milyar kWh ve rüzgar elektriği üretimi

1,8 milyar kWh olan Almanya'nın, rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin 450 milyar kWh/yıl olduğu iddia edilmektedir (Anonim, 1998).

Tablo 9. Dünya Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü (1999 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla) (www.wind-energie.de)

Ülke	Kurulu Güç (MW) 1997	Kurulu Güç (MW) 1998	Kurulu Güç (MW) 1999	Ülke	Kurulu Güç (MW) 1997	Kurulu Güç (MW) 1998	Kurulu Güç (MW) 1999
Almanya	2.081	2.875	3.817	Brezilya	3	17	25
ABD	1.673	1.820	2.533	Fransa	10	19	22
Danimarka	1.148	1.448	1.606	Avustralya	11	17	17
İspanya	512	834	1.180	Mısır	5	5	15
Hindistan	940	968	1.032	Arjantin	9	12	13
Hollanda	319	361	405	Çekya	7	7	12
İngiltere	319	333	350	İran	11	11	11
Çin	166	214	246	Lüksemburg	2	9	10
İtalya	103	180	227	Norveç	4	9	9
İsveç	122	174	197	Türkiye	0	9	9
Kanada	25	82	125	Polonya	2	5	7
Yunanistan	29	39	79	Belçika	4	6	6
İrlanda	53	73	73	İsrail	6	6	6
Japonya	18	40	68	Güney Kore	2	2	6
Portekiz	38	60	60	Rusya	5	5	5
Avusturya	20	30	35	Ukrayna	5	5	5
Yeni Zellenda	4	5	35	Meksika	2	3	3
Finlandiya	12	17	32	İsviçre	3	3	3
Kosta Rika	20	26	26	Toplam	7.698	9.729	12.310

Tablo 10. Rüzgar Türbini Üreticisi Firmalar ve Pazar Payları (www.wind-energie.de)

Firma Adı	Firma Ülkesi	Dünya Pazarındaki Payı (%)	Firma Adı	Firma Ülkesi	Dünya Pazarındaki Payı (%)
Vestas	Danimarka	22	WindWorld	Danimarka	2.9
NEG Micon	Danimarka	16.9	Nordex	Almanya	2.6
Enercon	Almanya	9.6	Made	İspanya	1.7
Bonus	Danimarka	9.3	Desarollos	İspanya	1.2
Enron	ABD	4.8	Windmaster	Hollanda	0.6

Tablo 11. Yıllık Türkiye Yenilenebilir Enerji Potansiyeli (Ültanır, 1998)

Yenilenebilir Enerji Türü		Kullanım Enerji Türü	Doğal Pot.	Teknik Pot.	Ekonomik Pot.
Güneş Enerjisi		Elektrik E. (milyar kWh)	977.000	6.105	305
		Isı (mtep)	80.000	500	25
Hidrolik Enerji		Elektrik E. (milyar kWh)	430	215	124.5
		Elektrik E. (milyar kWh)	-	-	1.4
Rüzgar Enerjisi	Direkt Rüzgar E. Karasal	Elektrik E. (milyar kWh)	400	110	50
	Direkt Rüzgar E. Denizsel	Elektrik E. (milyar kWh)	-	180	-
	Deniz Dalga E.	(milyar kWh)	150	18	-
Jeotermal Enerji		Elektrik (milyar kWh)	-	-	1.4
		Isı (mtep)	31.500	7.500	2.843
Biyomas Enerjisi		Yakıt (klasik) (mtep)	30	10	7
		Yakıt (modern) (mtep)	90	40	25

Rüzgar enerjisi potansiyeli ile ilgili rakamlarda dikkat edilmesi gereken nokta, bu tahminlerin belli kabullere dayandığı ve bu kabullerin her zaman tartışmaya açık olduğudur. Rüzgar enerjisi potansiyelinin daha gerçeğe yakın olarak tahmin edilebilmesi için, en azından, Türkiye coğrafyasında homojen bir dağılım gösteren uygun sayıda rüzgar ölçüm istasyonunun kurulması ve rüzgar atlası istatistiklerinin hesaplanması gerekmektedir

(Dündar ve ark., 1996).

Tablo 12'de Türkiye'nin 1970-1998 yılları arasındaki elektrik enerjisi verilerinin değişimi ve rüzgar enerjisinin payı gösterilmiştir (Anonim, 1999a). Bu tablodan çıkarılabilecek sevindirici bir sonuç, 1998 yılında Türkiye'de yaklaşık 3724 kişinin elektrik enerjisi ihtiyacının, rüzgardan karşılanmış olduğudur.

Tablo 12. Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Güç, Puant, Üretim ve Tüketim Değerleri ile Rüzgar Elektrığının Payı (Anonim, 1999a)

Yıllar	Kurulu Güç (MW)	Brüt Üretim (milyar kWh)	Brüt Tüketim (milyar kWh)	Puant Güç (MW)	Kurulu Güç/Puant	Rüzgar Elektrığı (milyon kWh)	Net Tüketim/Kişi (kWh/Kişi)
1970	2.235	8.6	8.6	1.539	1.45	-	207
1975	4.187	15.62	15.72	2.872	1.45	-	337
1980	5.119	23.28	24.62	3.947	1.29	-	459
1985	9.119	34.22	36.36	5.758	1.58	-	591
1990	16.315	57.54	56.81	9.056	1.46	-	835
1995	20.951	86.25	85.55	13.876	1.50	-	1.084
1996	21.247	94.86	94.79	14.164	1.50	-	1.173
1997	21.889	103.30	105.517	16.230	1.35	-	1.310
1998	24.680	111.02	114.02	17.500	1.41	5.4	1.450

Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği; 2000-2025 yılları için Türkiye teknik rüzgar enerjisi üretiminin ve bunun Türkiye elektrik enerjisi tüketimindeki payının Tablo 13'deki gibi olacağını tahmin etmektedir (Ültanır, 1998). Türkiye'nin 2025 yılı hedefi olan 25,2 milyar kWh rüzgar elektrığıne

ulaşabilmek için, kapasite faktörü % 18 alındığında, 600 kW nominal güçlü 2664 adet rüzgar türbininin kurulması gerekmektedir. Tablo 5'de verilen 1 rüzgar türbini yatırım giderine göre hesap yapıldığında; bu, 3,7 milyar DM yatırım demektir.

Tablo 13. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Kullanımının Geleceği ile İlgili Tahmin Değerleri (Ültanır,1998)

Yıl	Kurulu Rüzgar Enerjisi Gücü (MW)	Ortalama Rüzgar Elektrığı Üretimi (milyon kWh)	Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketimi (milyar kWh)	Tüm Elektrik Enerjisi Tüketimindeki Payı (%)
2000	300	675	135	0.5
2005	1.359	3.058	200	1.53
2010	2.979	6.703	290	2.31
2015	5.142	11.570	398	2.91
2020	7.849	17.660	547	3.23
2023	9.733	21.900	639	3.43
2025	11.200	25.200	710	3.55

5. RÜZGAR ÖLÇÜMLERİ

Rüzgar türbini kurulduğunda; bu rüzgar türbininden elde edilebilecek olan elektrik enerjisi miktarını tahmin etmeyi amaçlayan rüzgar ölçümlerinin sağlıklı olabilmesi için, en az 10 yıl ölçüm yapmak gerekir. Bu da hiç bir proje için ekonomik olmayacağından, genel olarak 1 yıl rüzgar ölçümleri yapılır ve sonuçları, yeterli ilişkiye sahip yakın kayıtlarla değerlendirilerek, 3-30 yıla genişletilir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na yapılan rüzgar elektrığı üretim başvurularında, rüzgar ölçümleri ile ilgili aşağıdaki şartlar aranmaktadır:

a) Ölçümlerin kaç noktada yapılacağı, arazi büyüklüğü ve arazi topoğrafyasına bağlı olarak belirlenir. Rüzgar ölçümleri 10 m'de ve en az 30 m'de yapılmalıdır. Ölçülen değerler, bir saatlik örnekleme zaman aralığına uyarlanabilmelidir ve bu değerler bilgisayar ortamında değerlendirilmeye uygun olarak elde edilmelidirler. Ölçümlerin bölgesel ve arazi özelliklerine bağlı olarak 30 m'den daha yükseklerde de yapılması istenmektedir. Bu durumda, elde edilebilecek enerji miktarının daha güvenilir tahmin edilmesini sağlaması

açısından, ölçüm yüksekliği olarak rotor göbeği yüksekliği tercih edilmelidir.

b) Ölçümlerde mutlaka belirlenecek olan parametreler; rüzgar hızı, rüzgar yönü ve türbülansdır. Bunlardan başka, nem ve sıcaklık parametreleri de gerekmektedir. Fakat bu parametreler, en yakın meteoroloji istasyonundan da alınabilirler. Meteoroloji istasyonları her bölgede ölçüm yapılmadığından, rüzgar türbini kurulması düşünülen yerlerde ölçüm alınması uygun olur.

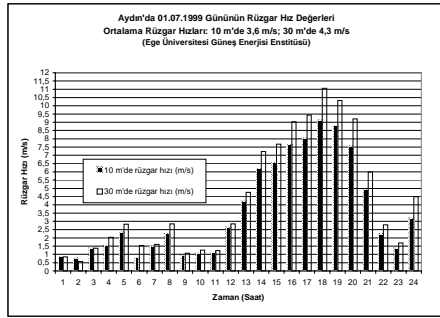
c) Ölçüm sonuçları, yeterli ilişkiye sahip yakın kayıtlarla değerlendirilerek, 3-30 yıl içinde elde edilmelidir.

Tablo 14'de Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından yapılan bazı ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu ölçümlerde, İzmir-Kocadağ'ın rüzgar enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olarak ortaya çıkmıştır. Tablo 4'de de belirtildiği gibi, bu potansiyel; Asmakinsan tarafından 50.4 MW nominal güce sahip rüzgar türbinleri yardımıyla değerlendirilecektir. Burada kurulacak rüzgar türbinleri ile, % 30'luk kapasite faktörü kabulü altında, yılda yaklaşık 133 milyon kWh rüzgar elektrığı üretilebilecek, başka bir deyişle 91.346 kişinin elektrik enerjisi ihtiyacı rüzgardan karşılanmış olacaktır.

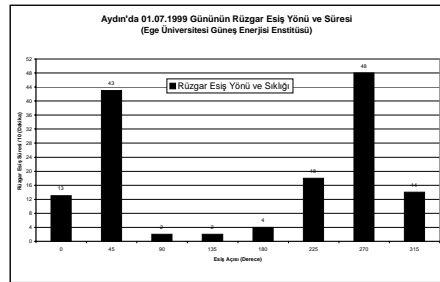
Tablo 14. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Tarafından 10 m Yükseklikte Yapılan Ölçüm Sonuçlarının Bazıları

Yıl	Gökçeada			Akhisar		İzmir-Kocadağ			Bandırma	Şenköy
	1994	1995	1996	1994	1995	1995	1996	1997	1994	1993
Ocak	7.8	9.3	8.6	5.1	6.3	10.1	9.1	9.2	5.2	6.3
Şubat	7.4	7.5	8.6	5.5	6.7	9.4	10.0	8.8	5.6	6.3
Mart	7.6	7.7	8.1	7.6	6.9	9.8	9.8	10.3	5.6	11.4
Nisan	6.4	5.7	4.5	5.8	4.9	6.4	7.2	7.8	5.2	8.4
Mayıs	4.5	6.9	5.5	5.3	6.9	8.5	6.2	6.3	4.0	6.5
Hazir.	5.4	4.6	6.0	8.0	4.4	4.9	9.4	6.5	4.5	7.2
Tem.	8.2	7.4	7.3	10.1	10.4	10.7	9.9	7.5	5.9	8.7
Ağust.	6.1	6.6	6.4	8.8	8.1	8.0	8.5	8.6	4.8	7.8
Eylül	6.1	5.3	5.2	6.6	5.4	6.4	6.4	9.6	5.2	7.4
Ekim	7.2	8.4	6.2	5.0	8.1	9.2	7.3	9.6	5.7	6.4
Kasım	7.4	6.7	6.9	7.7	5.0	8.3	8.3	6.4	2.7	7.7
Aralık	6.5	8.3	8.2	5.2	6.6	11.1	10.1	10.0	3.7	7.6

Rüzgar ölçümlerine örnek olarak, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından Aydın'da yapılmakta olan rüzgar ölçüm sonuçları Şekil 1 ve 2'de verilmiştir (Özdamar ve Ülgen, 2000). Bu şekillerden, Aydın'da ölçüm alınan noktada saat 13-21 arasında rüzgar enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğu ve rüzgarın daha çok kuzey doğu ve batıdan estiği anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Aydın'da 01.07.1999 tarihinin saatlik rüzgar hızı ortalamaları (Özdamar ve Ülgen, 2000)



Şekil 2. Aydın'da 01.07.1999 tarihinin rüzgar yönü değerleri (Özdamar ve Ülgen, 2000)

6. RÜZGARIN GÜVENSİZLİĞİ

Yeryüzünde bir noktadaki rüzgar hızı, her an değişebildiği gibi önceden tam olarak bilinmesi de mümkün değildir. Bu da, rüzgar elektriği üreten bir

rüzgar türbininden elde edilen elektrik enerjisi miktarının devamlı değişmesine ve önceden bilinmemesine neden olmakta, rüzgar enerjisinin süreksizliği ve güvenilemezliği şeklinde yorumlara yol açmaktadır. Bu ifade, bir tek rüzgar türbini söz konusu olduğunda doğrudur. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan alanlarında dağınık olarak kurulacak ve aynı şebekeyi besleyecek olan rüzgar türbinlerinde bu problem en aza inmektedir. Çünkü; değişik yerlerdeki n adet rüzgar türbininden elde edilecek olan güçteki değişim miktarı, her bir rüzgar türbinindeki güç değişim miktarlarının toplamının \sqrt{n} ile bölümü sonucu bulunmakta ve buna da "bir bölü karekök n" yasası denilmektedir (Anonim, 2000). Şebekeye bağlı olan dağınık rüzgar türbini sayısı arttıkça, toplam rüzgar elektriği gücündeki zamansal değişimler de azalmaktadır. Örneğin, değişik yerlerde faaliyet gösteren 10.000 adet rüzgar türbininden elde edilecek toplam güçteki değişim miktarı, bir rüzgar türbininin gücündeki değişimin % 1'i kadar olacaktır. Buna rağmen, bugünkü şartlar altında, bir ülkenin elektrik enerjisi tüketiminin tamamen rüzgar enerjisinden karşılanabilmesi mümkün görülmemektedir.

Rüzgar enerjisinin süreksizliği problemi, en iyi şekilde rüzgar enerjisinin depolanması ile çözülebilir. Rüzgar enerjisi direkt olarak depolanmadığı için, depolanabilir başka bir enerji türüne dönüştürülmeli ve o şekilde depolanmalıdır. Rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi durumunda iki ana depolama yöntemi vardır. Bunlardan birincisi; rüzgar elektriği üretilen alan ile şehir elektrik şebekesi bağlantısı mevcut ise, kullanım fazlası elektrik enerjisini şehir elektrik şebekesine vermek ve rüzgarın yeterli olmadığı zamanlarda da şehir elektrik şebekesinden elektrik enerjisi almaktır. Bugün en çok kullanılan yöntem budur. Şehir elektrik şebekesinin olmadığı alanlarda ise, rüzgar elektriği; akülerde depolanmaktadır.

7. BİR EVİN ELEKTRİK ENERJİSİ GEREKSİNİMİNİN SADECE RÜZGARDAN KARŞILANMASI

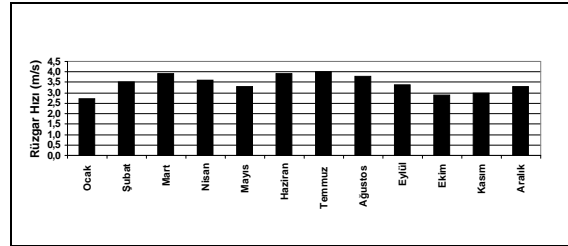
Rüzgar enerjisinden başka enerji kaynağı olmayan bir evin elektrik enerjisi gereksinimi, tamamen rüzgardan karşılanabilir. Bu fikrin uygulanabilirliğini araştırabilmek amacıyla yapılan bir çalışmada, İzmir Güzelyalı'da bir ev seçilerek, bu evin ısıtma dışındaki enerji tüketiminin bir günlük planı yapılmış ve bu planın 20 yıl boyunca aynı şekilde tekrarlandığı varsayılmıştır (Özdamar ve ark., 2000). Daha sonra, değişik nominal güçte 5 adet rüzgar türbini seçilerek bir yıllık rüzgar hız ölçüm sonuçları bilinen ve Şekil 3 ve 4'de verilen İzmir Güzelyalı'da üretilebilecek rüzgar elektriği miktarı saptanmıştır. Bu miktar evin ihtiyacından fazla ise, fazla enerji akülerde depolanmış, az ise akülerden destek alınmış, mevcut aküler de yeterli değilse dolu yeni bir akü sisteme eklenmiştir. Bu işlemler her saatte bir kez olmak üzere 20 yıl için tekrarlanmıştır. Sonuçta, her bir türbine özgü kesintisiz elektrik enerjisi sağlayan akü sayısı bulunmuş ve birim enerji maliyeti hesaplanmıştır (Tablo 15).

Tablo 15'in incelenmesinden çıkan sonuç, kesintisiz elektrik enerjisini mümkün kılan en az akü sayısının, en küçük veya en büyük nominal güçlü rüzgar türbininde değil, gücü her ikisinin arasında yer alan LMW 2500'de olduğudur. Bu türbin için birim

enerji maliyeti 0,5 \$/kWh gibi şehir elektrik şebekesi birim enerji satış fiyatına nazaran yüksek bir değer bulunmuşsa da, bu, Güzelyalı'da rüzgar hızlarının düşük olmasındandır ve rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan Çeşme gibi bir alanda bu sistem de ekonomik olabilir.

8. RÜZGAR ELEKTRİĞİNİN EKONOMİKLİĞİ

Rüzgar elektriğinin ekonomikliğinde; rüzgar türbininin özellikleri, rüzgar türbini alış fiyatı, kredi faizleri, bakım-onarım-sigorta giderleri gibi faktörler de etkili olmakla birlikte, rüzgar hızı birinci derecede rol oynamaktadır. Günümüz şartlarında genel olarak kabul gören rüzgar elektriği birim enerji maliyeti değerleri, rüzgar hızının bağımlısı olarak Tablo 16'da verilmiştir (www.windpower.dk).



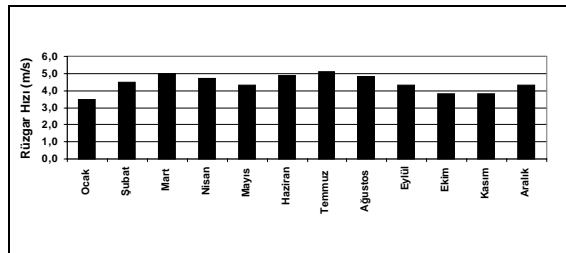
Şekil 3. Güzelyalı'da 22 m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızları (Özdamar ve ark., 2000)

Tablo 15. Ekonomik Analiz Tablosu

Türbin Tipi	LMW 600	LMW 1000	LMW 1003	LMW 2500	Enercon-40
Nominal Güç (kW)	0.6	1.0	1.4	2.5	500
20 Yıl Kesintisiz Enerji İçin Gereken Akü Sayısı	9.296	4.354	539	42	77
20 Yılda Ev Tüketimi İçin Üretilen Enerji (kWh)	37.996	37.996	37.996	37.996	37.996
Birim Enerji Maliyeti (\$/kWh)	34.3	16.2	2.2	0.5	38.2

Tablo 16. Rüzgar elektriği birim maliyetinin rüzgar hızına bağlı değişimi (www.windpower.dk)

V_r (m/s)	5	6	7	8	9	10
Birim Enerji Maliyeti (DM/kWh)	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.037



Şekil 4. Güzelyalı'da 50 m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızları (Özdamar ve ark., 2000)

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada da, benzer değerlere ulaşılmıştır. Bu çalışmada; 1999 Ağustos ayında İzmir ve Aydın'da 10 m yükseklikte rüzgar hızları ölçülmüş ve bu değerler 70 m yüksekliğe taşınarak (Tablo 17), 10 adet değişik marka rüzgar türbininden elde edilen enerjinin birim maliyeti hesaplanmıştır (Özdamar, 2000). Birim enerji maliyeti hesabında; rüzgar türbini ömrünün 20 yıl olduğu, bu süre sonunda karşılıksız olarak atılacağı, rüzgar türbini kurulum alanı için harcama yapılmayacağı ve ölçüm

sonuçlarına dayanılarak bir yıl için hesaplanılan elektrik enerjisinin 20 yıl boyunca her yıl aynı miktarda üretileceği varsayılmıştır. Rüzgar türbini işletmecisinin, rüzgar türbinlerinin alımı için, bir bankadan DM üzerinden yıllık % 6,5 sabit faizle 20 yıl süreli kredi kullandığı ve yıllık bakım-onarım-sigorta giderlerinin yatırım giderlerinin % 2,5'ü olacağı da bir başka varsayımdır. Tablo 18'de verilen rüzgar türbini fiyatlarına, 15.000 DM trafo gideri ve % 15 katma değer vergisi de eklenmiştir. Bu çalışmada hesaplanılan birim enerji maliyetlerinin incelenmesi, 600 kW nominal güçlü rüzgar türbinleri ile daha ucuz elektrik enerjisi üretilebileceğini ortaya koymaktadır. Bunun nedeni 600 kW nominal güçlü rüzgar türbinlerinin çok

sayıda satılmış olmaları nedeniyle, büyük nominal güçlü rüzgar türbinlerinin aksine, araştırma-geliştirme giderlerinin rüzgar türbini fiyatlarına yansımıyor olmasıdır. Ayrıca bu tabloda, rüzgar türbinlerinin yatırım giderlerini geri ödeme süreleri de verilmektedir. Bu sürelerin hesabında, 1 kWh elektrik enerjisinin TEDAŞ tarafından ilk 10 yılda 0,17 DM'a satın alındığı dikkate alınmıştır (Ültanır,1998). Yatırım giderleri, bir yılda üretilen enerjinin 0,17 DM ile çarpımına bölünerek, yatırım giderleri geri ödenme süresi bulunmuştur. Bu sürenin belirlenmesinde; kredi giderleri, bakım-onarım, sigorta ve işletme giderleri hesaba katılmamıştır.

Tablo 17. 70 m Yükseklikte 1999 Yılı Ağustos Ayı İçin Hesaplanılan Rüzgar Hızlarının 10 Dakikalık Esme Sayıları (Özdamar, 2000)

V _r (m/s)	İzmir	Aydın	V _r (m/s)	İzmir	Aydın
0-1	24	350	11-12	389	198
1-2	138	782	12-13	271	97
2-3	201	691	13-14	186	53
3-4	258	626	14-15	125	31
4-5	355	309	15-16	102	32
5-6	301	234	16-17	75	6
6-7	329	196	17-18	56	1
7-8	309	234	18-19	3	0
8-9	459	220	19-20	1	0
9-10	472	224	20-21	0	0
10-11	410	180	21-22	0	0

Tablo 19'da, 70 m kule yükseklikli rüzgar türbinlerinden elde edilebilecek yıllık enerji miktarları, birim enerji maliyetleri ve yatırım giderleri geri ödenme süreleri verilmektedir. Tablo 19'nin incelenmesinden; 1 kWh elektrik enerjisi maliyetinin İzmir'de 0.06 DM ve Aydın'da 0,12 DM olacağı, yatırım giderlerinin, rüzgar türbinine bağlı olarak İzmir'de 2.77-3.77 yılda ve Aydın'da 5.84-8.30 yılda geri ödenebileceği anlaşılmaktadır. Yatırım giderlerinin geri ödenme süresi rüzgar türbinlerinin seçiminde kriter olarak dikkate alındığında, 600 kW nominal güçlü rüzgar türbinlerinin seçilmesinin uygun olacağı anlaşılmaktadır. Tablo 20'de Türkiye'de şu anda faaliyette olan rüzgar türbinlerinin rüzgar hızına bağlı güçleri verilmektedir. Bu tabloda ayrıca, pervane öncesi rüzgardaki kinetik enerjinin yüzde kaçının pervane milinde alınabildiğini gösteren güç faktörleri değerleri de, rüzgar hızına bağlı olarak verilmiştir. Betz tarafından en çok 0.5926 olacağı ispat edilen güç faktörü değerlerinin, Türkiye'deki gibi modern rüzgar türbinlerinde 0.42 değerine kadar yükseldiği gözlenmektedir.

9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Güneşin atmosferdeki hava kütlelerini farklı ısıtmasından kaynaklanan hava akımı olan rüzgar,

çevreyi kirletmemesi ve tükenmemesi nedeniyle, gün geçtikçe daha da büyüyen gelen enerji sorununun çözümüne önemli bir katkı sağlayacaktır. Nitekim, bazı kaynaklarda dünya 2050 yılı enerji hedefi, enerji tüketiminin % 70'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması olarak belirtilmektedir. Dalga enerjisini de içeren toplam yıllık teknik rüzgar enerjisi potansiyeli yaklaşık olarak 308 milyar kWh olan Türkiye'nin 2025 yılı hedefi ise, enerji tüketiminin % 3.55'ini rüzgardan karşılamaktır.

Türkiye'de faaliyette olan iki rüzgar çiftliği bulunmaktadır. Bunlardan birisi yap-işlet-devret (YİD) yöntemiyle, diğeri de otoprodüktör yöntemiyle işletilmektedir. Rüzgar elektriği üretip satmak isteyen firmalar YİD, kendi elektrik enerjisini rüzgardan karşılamak isteyen firmalar ise otoprodüktör yöntemini seçmektedirler.

Rüzgar enerjisi, süresizdir ve bu nedenle güvenilir bir enerji türü olarak görülmemektedir. Fakat bu sorun, bir çok farklı alanda rüzgar türbini kurarak en aza indirilebilmektedir. Süresiz olan rüzgar enerjisinden, bir evin elektrik enerjisinin tamamen karşılanması da, bugünkü şartlar altında ekonomik olmamasına rağmen, mümkündür. Elektrik şehir şebekesine bağlı sistemlerde birim rüzgar elektriği maliyeti, büyük oranda rüzgar hızına bağlı olup,

rüzgar hızlarının büyük olduğu alanlarda 0,06 DM'a kadar inmektedir. Günümüz şartlarında birim enerji maliyeti açısından en ucuz rüzgar elektriği, 600 kW nominal güçlü rüzgar türbinlerinden elde edilmektedir. Germiyan Köyü ve Alaçatı'da kurulu

bulunan rüzgar türbinlerinin kapasite faktörleri; Danimarka ve Almanya'nın tüm rüzgar türbinlerinin ortalama kapasite faktörlerinden daha yüksektir. Bunun anlamı;

Tablo 18. Karşılaştırması Yapılacak Olan Rüzgar Türbinlerinin Birbirleriyle Karşılaştırılabilecek Duruma Getirilmiş Özellikleri ve 10 m Yükseklikli Kule ile Elde Edilebilecek Aylık Enerji Miktarları (Özdamar, 2000)

Rüzgar Türbini	P _{nom.} (kW)	Kule (m)	Fiyat (1000 DM)	Fiyata Dahil	Süpürme Alanı (m ²)	Enerji (kWh/Ay) İzmir	Enerji (kWh/Ay) Aydın
DeWind 41	500	70	985	TM	1320.25	83.028	16.992
Enercon 40	500	70	985	TM	1520.53	81.697	17.615
Tacke TW 600a	600	70	1420	TM	1661.90	106.794	24.131
Nordex N-43	600	70	975	TM	1452.20	94.325	20.229
DeWind 48	600	70	1140	TM	1809.56	113.172	25.972
DeWind 46	600	70	1120	TM	1661.90	111.098	23.745
DeWind 62	1000	70	2270	TM	3019.07	197.795	42.956
DeWind 60	1250	70	2340	TM	2827.43	193.254	39.746
Nordex N-60	1300	70	2035	TM	2827.43	186.577	38.607
Tacke TW 1,5s	1500	70	3535	TM	3903.63	251.787	50.652

Tablo 19. İncelenen Rüzgar Türbinlerinden Elde Edilebilecek Yıllık Enerji Miktarları, Birim Enerji Maliyetleri ve Yatırım Giderleri Geri Ödenme Süreleri (Kule Yüksekliği: 70 m), (Özdamar, 2000)

Rüzgar Türbini	P _{nom.} (kW)	Enerji (kWh/Yıl) İzmir	Enerji (kWh/Yıl) Aydın	Birim Enerji Maliyeti (DM/kWh) İzmir	Birim Enerji Maliyeti (DM/kWh) Aydın	Geri Ödeme Süresi (Yıl) İzmir	Geri Ödeme Süresi (Yıl) Aydın
DeWind 41	500	2.078.231	946.412	0.07	0.15	3.26	7.15
Enercon 40	500	2.046.678	935.514	0.07	0.15	3.31	7.23
Tacke TW 600a	600	2.577.398	1.190.966	0.08	0.17	3.77	8.15
Nordex N-43	600	2.384.211	1.076.935	0.06	0.13	2.81	6.22
DeWind 48	600	2.825.702	1.338.809	0.06	0.12	2.77	5.84
DeWind 46	600	2.713.546	1.264.444	0.06	0.13	2.83	6.07
DeWind 62	1000	4.720.176	2.212.570	0.07	0.15	3.28	6.99
DeWind 60	1250	5.026.623	2.259.488	0.07	0.15	3.17	7.05
Nordex N-60	1300	4.816.497	2.155.729	0.06	0.13	2.88	6.43
Tacke TW 1,5s	1500	6.364.580	2.893.504	0.08	0.17	3.77	8.30

Tablo 20. Türkiye'de Faaliyette Olan Rüzgar Türbinlerinin Rüzgar Hızına Bağlı Güçleri

VESTAS 44 (600 kW)			ENERCON-40 (500 kW)		
Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)	Güç Faktörü C _p	Rüzgar Hızı (m/s)	Güç (kW)	Güç Faktörü C _p
3.52	0.4	-	2.12	-0.3	-0.04
4.02	1.2	-	2.54	1	0.08
4.57	12.7	0.14	3.01	4.2	0.20
5	25	0.22	3.48	9.1	0.28
5.52	45.4	0.29	3.99	16.3	0.33
5.98	68.7	0.35	4.52	25.7	0.36
6.49	96.7	0.38	5.04	36.4	0.37
7	129	0.40	5.53	50.6	0.38
7.49	161.5	0.41	6.02	65.6	0.39
7.97	200	0.43	6.51	84.6	0.39
8.5	244.3	0.43	7.01	107.7	0.40
8.98	275.6	0.41	7.48	132.6	0.41
9.50	322.9	0.41	7.98	162.2	0.41
9.95	355.8	0.39	8.47	197.2	0.42
10.4	405.6	0.38	8.95	234.8	0.42
11.01	451.5	0.36	10.02	322.4	0.41
11.48	492.9	0.35	11.49	434.5	0.37
13.02	569.2	0.28	12.48	482.8	0.32
14.89	600.6	0.20	13.50	496.4	0.26
15.97	602.5	0.16	14.97	503.2	0.19
16.91	604.2	0.13	16.02	504.1	0.16
17.48	604.5	0.12	20.42	505.9	0.08
18.13	605.3	0.11	23.39	507.4	0.05

Çeşme'nin rüzgar enerjisi potansiyelinin, bu ülkelerin değerlendirmeye değer buldukları bir çok rüzgar elektriği üretim alanından daha iyi bir durumda olduğudur.

Sonuç olarak; dünya ve Türkiye'de, fosil yakıtların çevreyi kirletmesi ve tükenecek olmaları nedeniyle, potansiyeli yeterli olan ve daha ucuza üretilen rüzgar elektriği, elektrik enerjisi gereksinimin karşılanmasında gelecekte daha büyük rol oynayacaktır.

10. SEMBOLLER

C_p	: Güç faktörü (-)
Enercon-40	: Nominal gücü 500 kW olan ve Almanya'da Enercon Firması tarafından üretilen rüzgar türbini
LMW 600	: Nominal gücü 600 W olan ve Hollanda'da LMW Firması tarafından üretilen rüzgar türbini
LMW 1000	: Nominal gücü 1000 W olan ve Hollanda'da LMW Firması tarafından üretilen rüzgar türbini
LMW 1003	: Nominal gücü 1400 W olan ve Hollanda'da LMW Firması tarafından üretilen rüzgar türbini
LMW 2500	: Nominal gücü 2500 W olan ve Hollanda'da LMW Firması tarafından üretilen rüzgar türbini
n	: Rüzgar türbini sayısı (-)
Vestas-44	: Nominal gücü 600 kW olan ve Danimarka'da Vestas Firması tarafından üretilen rüzgar türbini
V_r	: Rüzgar hızı (m/s)

11. KAYNAKLAR

Anonim, 1984. EIEI Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli, Yayın No: 85-1, Ankara.

Anonim, 1990. Deutscher Bundestag, Schutz der Erdatmosphäre, 3. Bericht der Enquetekommission, Bonn.

Anonim, 1997. Sonnen Energie and Wärmetechnik-News, 3 Kasım 1997, Bielefelder Verlagsanstalt, Bielefeld, 6.

Anonim, 1998. Bundesverband WindEnergie e.V. Tanıtım Broşürü, 7 Fragen und Antworten zur Windenergie, Osnabrück.

Anonim, 1999a. EMO İzmir Şubesi Bülteni, Ege Bölgesi Enerji Raporu-1998, 12-14.

Anonim, 1999b. Yeni Asır Gazetesi, 26 Mayıs 1999.

Anonim, 1999c. Sabah Gazetesi, 3 Ocak 1999, "Enerjiye Rüzgar Takviyesi Yakın" Başlıklı Haber.

Anonim, 2000. Bundesverband Wind Energie e. V. Tanıtım Broşürü, Fakten zur Windenergie,

Osnabrück.

Baysal, S. 1999. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Yatırımlarının Durumu, Enerji Dünyası, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni, 50-52.

Boyacıoğlu, M. 1998. Ares Bir Başlangıç, Global Enerji: Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Yalıtım ve Doğal Gaz Dergisi, Yıl : 1, Sayı: 3, 32.

Demirci, B. ve Yıldırım, E. 1986. "Elektrik Enerjisi Üretiminde Özel Sektörün Yeri", Türkiye 4. Enerji Kongresi, İzmir, 255-265.

Dündar, C. ve İnan, D. 1996. Bozcaada Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İncelenmesi, Çevre Bilimleri Dergisi, Sayı: 4, 9-24.

Gasch, R. 1996. Windkraftanlagen, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart.

Hau, E. 1996. Windkraftanlagen, Springer Verlag, Berlin.

Heier, S. 1996. Windkraftanlagen im Netzbetrieb, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart.

Nitsch, J., Fishedick, M. ve ark., 1999. Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Berlin.

Özdamar, A. 2000. Farklı Anma Güçlü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne Yayınlanması İsteğiyle Gönderilmiş ve Değerlendirilmekte Olan Makale.

Özdamar, A., Yıldız, H. ve Şar, Ö. 2000, Wind Energy Utilization In A House in İzmir, Turkey, International Journal of Energy Research Dergisi Tarafından Yayınlanmak Üzere Kabul Edilen Makale.

Özdamar, A. ve Ülgen, K. 2000. Aydın'da Bir Noktanın Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Projesi, Yayınlanmamış Rapor, No: 1, İzmir.

Ültanır, M. Ö. 1998. 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD Yayınları, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul.

www.wind-energie.de, Bundesverband Windenergie e. V., Herrenteichstr. 1, Osnabrück, Almanya.