

# YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGAR ENERJİSİNİN ELEKTRİK ENERJİSİ POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Bülent CERİT, Bülent YILMAZ\*  
Akdeniz Üniversitesi  
Teknik Bilimler M.Y.O  
07059 -ANTALYA  
[bcerit@akdeniz.edu.tr](mailto:bcerit@akdeniz.edu.tr)

\*Akdeniz Üniversitesi  
Teknik Hizmetler Birimi  
Rektörlük- ANTALYA  
[bulenty@akdeniz.edu.tr](mailto:bulenty@akdeniz.edu.tr)

## ÖZET

*İnsanlar fosil yakıtlarını kullanmaya devam ettiği sürece atmosferin kirlenmesini, seraların oluşmasını ve iklim değişikliklerini kontrol altına almaya uğraşacaklardır. Dünyadaki petrol ve kömür gibi yakıtların kullanılmasına bağlı hava kirliliği ve mevcut rezervlerinin gün geçtikçe azalması dikkatleri yeni enerji kaynaklarına çevirmiştir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, foto voltaik, jeotermal ve rüzgar hızla gelişmektedir. Rüzgar enerjisi diğerlerinin tersine dünyanın birçok alanlarında kullanılan ucuz bir metottur. Türkiye büyüyen enerji ihtiyacını karşılaması için 2001' de 27.8GW olan elektrik enerjisi kapasitesini 2010 yılına kadar 2' ye 2020 yılına kadar 4' e katlamak zorunda kalacaktır.*

*Bu amaçla, rüzgarın, alternatif enerji kaynağı olabileceği görülmüş 1997 – 1998 yılları arasında Orta Akdeniz bölgesindeki ortalama hızları, potansiyelleri tespit edilerek hakim yönü, hızları, potansiyeli ve frekans dağılımı saptanmıştır. Elde edilen veriler ölçüm yapılan yüksekliklere göre sınıflandırılmış ve sonuçta meteoroloji verileri yardımıyla da enerji potansiyelleri belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler :** Elektrik enerjisi, Rüzgar türbini, Rüzgar

## ABSTRACT

*If people continue to use fossil fuels and bound to pollute the atmosphere, unwanted green house and climate changes will come to control every part of the world. Therefore, many nations in the world try to keep their environment friendly; such as wind energy. Renewable energy technologies, such as photovoltaic, solar thermal, geo thermal and wind are developing rapidly. Wind energy conversion in particular, is becoming cheaper than traditional methods in some areas of the world. To meet Turkey's growing energy demand, the installed electric power capacity of 27.8GW in 2001 has to be doubled by 2010 and increased fourfold by 2020.*

*For this reason, the dominant wind directions, the mean values and wind potential which were observed between the years 1997 – 1998 were determined. The dominant wind direction, the mean values, wind speeds, wind potential and frequency distributions were designated. The results were classified according to the height above the ground level as a result, the energy potential was designated thanks to the meteorological data.*

**Key Words :** Electric energy, Wind turbine, Wind

## 1. GİRİŞ

Dünyamız giderek artan bir hızla kirlenmektedir. Temel problemlerden biri, fosil yakıtların (kömür, petrol ve türevleri) kullanılması sonucu atmosferde biriken karbondioksit gazı bunun sonucu olarak ortaya çıkan sera etkisi ve dünya ısısının artmasıdır. Bütün bu kirlenmelerin üçte birinin elektrik üretiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Dünyadaki petrol ve kömür gibi yakıtların kullanılmasına bağlı hava kirliliği ve mevcut rezervlerinin gün geçtikçe azalması dikkatleri yeni enerji kaynaklarına çevirmiştir. Günümüz enerji sorunlarının aşılmasında temiz ve tükenmez bir kaynak olan rüzgar enerjisinden uzun dönemde kaçınılmaz olarak yararlanılacaktır.

Rüzgar gücü, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Bu güç, yeryüzünün her bölgesinin eşit bir şekilde ısınmayışı ve buna bağlı olarak oluşan alçak ve yüksek basınç merkezlerinin karşılıklı etkileşimi sürecinin eseridir. Çevrime uğramış güneş enerjisi olan rüzgar atmosfer de bol ve serbest olarak bulunan, kararlı, güvenilir, emniyetli ve sürekli bir kaynaktır. Doğası gereği kinetik enerji taşımaktadır. Rüzgarın kinetik enerjisinden rüzgar gücü türbini aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir [1]. Atmosferin rüzgarı oluşturan brüt kinetik gücü  $0,191 \times 10^{12}$  kW kadardır. Dünyanın  $50^\circ$  kuzey ve güney enlemleri arasında rüzgar gücü potansiyelinin  $3 \times 10^9$  kW olmasına karşın, ekonomik ve fiziksel planlamanın getirdiği sınırlılıklardan dolayı,  $1 \times 10^9$  kW kapasitenin kullanılabilmesi hesaplanmıştır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı olarak artar. Havanın özgül kütlesi az olduğundan rüzgardan sağlanacak enerjinin miktarı hıza bağlıdır. Sağlayacağı enerji, gücüne ve süreye bağlıdır. Özgül rüzgar gücü, hava debisine dik olarak birim yüzeye düşen güçtür [2].

WASP Avrupa rüzgar atlasının hazırlanması için Danimarka'lı uzmanlar tarafından üretilmiş ve kullanılmış bir PC paket programıdır ve menülerle çalışmaktadır. Ana menüleri; DATA, OBSTACLE, ROUGHNESS, OROGRAPY, ATLAS ve WESC'dir. Program datayı analiz edip engel pürüzlülük ve topografik etkiler yönünden düzelttikten sonra ATLAS menüsünde yatay ve dikey extrapole edilmiş olarak depolamaktadır. 87600 karelik 10 yıllık rüzgar hız ve yön kaydını çok kısa bir sürede okuyup 1 m/s'lik aralıklarla  $30^\circ$  lik yön sektörleri için esme sayılarını hesaplıyor, her yön sektörü için 1000'e normalize ediyor ve bunların kümülatif frekansını % olarak veriyor. Bu esme sayıları frekans tablosunda ayrıca her bir yön sektörü için Weibull parametrelerini (A, k) hesaplıyor ve ortalama rüzgar hızını belirleyip m/s birimiyle, ortalama rüzgar enerjisi yoğunluğunun değerini de hesaplayıp  $W/m^2$  birimiyle veriyor [5]. Bu çalışmalar neticesinde :

Tablo . 2 Türkiye' nin Bölgeleri İçin Oluşturulan Rüzgar Hızı ve Enerji Yoğunluğu Değerleri [ 4]

BÖLGELER	Rüzgar Hızları (m/s)	Enerji Yoğunluğu ( $W/m^2$ )
Doğu Anadolu	2,12	13,19
Karadeniz	2,38	21,36
Akdeniz	2,45	21,38
İç Anadolu	2,46	20,14
Ege	2,65	23,47
Güney Doğu Anadolu	2,69	29,33
Marmara	3,29	51,91

Bu çalışmalara göre Türkiye' nin 43 meteoroloji istasyonunun verileri WASP bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. 10 metre ölçüm yüksekliğinde ortalama yıllık hızı 2.7 – 3.5 olan yörelerimiz Afyon, Antalya, Isparta, Samsun, Sarıyer, Akhisar, Malatya, Anamur ve hızı 3.5 – 4 m/s olan yörelerimiz Bergama, Bodrum, Çanakkale, Çorlu, Gökçeada, İnebolu, Sinop ve son olarak hızı 4 – 6 m/s olan yörelerimiz ise Antakya, Bandırma ve Mardin olup, en yüksek hız 6.2 m/s ile Bozcaada' da saptanmıştır [3].

## 2. MATERYAL ve METOT

Güç yoğunluğu ve rüzgarın ortalama hızı kullanılarak rüzgarın gücü hesaplanabilir [2].

$$E(v) = \frac{1}{2} \rho v^3 p_w(v) \quad (1)$$

Formüldeki  $\rho$  havanın yoğunluğu olup değeri ,  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ' dür.  $v^3$  ise rüzgar hızının küpü,  $p_w(v)$  tahmin edilen Weibull dağılımıdır. Rüzgar - frekans dağılımını tanımlamak için bir çok istatistik modeller mevcuttur. Bu enerji çıkışının tahmininde kullanılır. Weibull dağılımı iki parametreden oluşur. Bu şöyle açıklanabilir :

$$p_w(v) = (k/c) (v/c)^{k-1} \exp[-(v/c)^k] \quad (2)$$

Formüldeki  $v$  rüzgarın hızı ( m/s ),  $c$  skala ( ölçek ) katsayısı,  $k$  şekil faktörü ( birimsiz ). Seçilen bölgenin istatistiksel rüzgar hızı verilerini hesaplamak için aşağıdaki matematiksel modeli kullanabiliriz :

$$\int_0^{\infty} p(v) dv = 1 \quad (3)$$

$$\int_0^{\infty} p(v) dv = \int_0^{\infty} p(v) dv + \int_0^v p(v) dv = 1 \quad (4)$$

$$\int_0^{\infty} p(v) dv = 1 - p(v) \quad (5)$$

$p(v)$  ' nin  $v$  ' den sonsuza integrali aşağıdaki denklemi verir :

$$\exp[-(v/c)^k] = 1 - p(v) \quad (6)$$

## 2.1. Meteorolojik Veriler ve Ölçüm Verileri Neticesinde Elde Edilen Rüzgar Gücü

Isparta, Türkiye ' nin Orta Akdeniz bölgesinde bulunmaktadır. Isparta  $30^{\circ} - 20'$ ,  $31^{\circ} - 33'$  doğu boylamları ile  $37^{\circ} - 18'$  ve  $38^{\circ} - 30'$  kuzey enlemleri arasında olup yüzölçümü  $8933 \text{ km}^2$ ' dir. Isparta karasal bir iklime sahiptir, fakat coğrafi konum sebebiyle İç Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesi arasında kaldığı için iklimsel değişiklikler gösteren bir ilimizdir. Kışları soğuk, rüzgarlı, nemli ve karlı olmakla birlikte yazın kuru ve sıcak, bazen de hafif rüzgarlı geçmektedir. Isparta Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından uzun yılların meteorolojik değerleri aşağıda tablo 2' de verilmiştir :

Tablo 2. Isparta Meteoroloji İstasyonu Verileri

İst. Adı: İSPARTA	AYLAR												
	Meteo. Elem.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kasım	Aral.
Yağış ortal. (52 yıllık)	90	76,3	61,9	51	59,7	36	11,9	9,6	19,2	40,4	44,4	100	600,4
Sıcak. ortal. (52 yıllık)	1,7	2,8	5,8	10,7	15,4	19,7	23,1	23	18,4	13,1	7,9	3,6	12,1
Nem ortal. (51 yıllık)%	76	73	66	61	59	52	44	44	51	62	71	77	66
Rüz. hızı ort. 40 yıl-m/sec.	2,87	2,72	3,15	2,80	2,75	2,49	2,48	2,58	2,45	2,45	2,58	2,56	2,66

Tablo 2' de görüldüğü gibi Isparta ilinde en yüksek rüzgar hızının Mart ayında ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Bu değer bu ayda  $3.15 \text{ m/s}$ ' dir. En düşük değerinin de Eylül ve Ekim aylarında  $2.45 \text{ m/s}$  olduğu saptanmıştır. Rüzgarın hakim yönünün Güney-Doğu olduğu ve zaman zamanda batıdan estiği meteorolojik verilerden anlaşılmaktadır. Bağlı rutubetin en yüksek değeri Aralık ayında % 77 olup bu değer Temmuz ve Ağustos ayında % 44' dür. Isparta' da en yüksek sıcaklık değeri Temmuz ayında  $23.1^{\circ} \text{ C}$ ' ye ulaşmaktadır. Kışın oldukça soğuk geçen Isparta ' da sıcaklık Ocak ayında  $1.7^{\circ} \text{ C}$ ' ye ulaştığı gözlemlenmektedir.

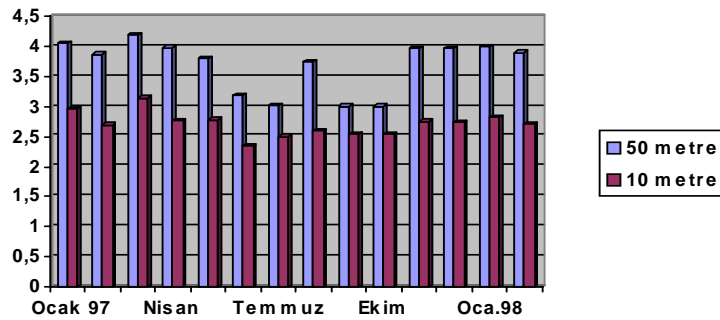
Isparta ilinde uygulanan WASP Programı 1992 – 2001 yılları arasındaki Isparta Meteoroloji verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmaya engellerin (dağlar, topoğrafik arazi durumları v.s.) etki etmemesi için uzun süre yer seçimi konusunda araştırmalar yapılmıştır. En uygun yerin Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsü arkasındaki, bir ucu Çünür beldesine dayanan tepelerin uygun olduğuna karar verilmiştir. Belirlenen yer, etrafi açık ve fazla engebesi olmayan, Burdur yoluna hakim bir tepedir. Bu bölgeye 10 metre yükseklikte ve 50 metre yükseklikte iki adet demir kontrüksiyondan oluşan ve çapları 10 cm. olan kuleler yerleştirilmiş ve anemometreler vasıtasıyla yaklaşık bir yıl süreyle ( Ocak 1997 – Şubat 1998 ) rüzgar hızları ( m/s ), sıcaklık değerleri ( ° C ), bağıl rutubet değerleri (% RH) ve basınç değeri (hPa) ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm verileri aylık, günlük dotalar şeklinde kaydedilmiştir. Elde edilen dotalar tablo 3’ de verilmiştir. Buna göre Isparta’ nın 10 metre ve 50 metre yüksekliklerdeki en yüksek sıcaklık değeri aylık ortalama 26.4 °C ile Ağustos 1997’ de, en düşük sıcaklık değeri de - 0.25 °C ile Ocak 1998’ de ölçülmüştür. Atmosferik basınç değerleri en düşük 882 hPa ile Kasım 1998’ de, en yüksek değerine de 892 hPa ile Şubat 1997- 1998 yıllarında ulaşmıştır.

Tablo 3. Isparta bölgesinde 10 m. ve 50 m. Yükseklikte 1997-1998 yılları Arasında Yapılan Ölçümler Neticesinde Elde Edilen Veriler

AYLAR	Rüzgar Hızı (m/s )		Enerji Yoğ. ( W / m <sup>2</sup> )	Bağıl nem % RH	Sıcaklık °C	Baro. Basınç ( hPa )	Max.Rüzgar Yönleri ( ° )
	10 m.	50 m.					
Ocak-97	2.97	4.05	37.01	69	0.8	890	60 – 80 °
Şubat-97	2.70	3.87	32.51	72	1.6	892	150 – 175 °
Mart-97	3.15	4.20	50.15	65	5.4	887	215 – 265 °
Nisan-97	2.76	3.99	33.82	62	8.5	886	220 – 235 °
Mayıs-97	2.78	3.81	34.18	59	14.6	888	165 – 185 °
Haziran-97	2.35	3.18	27.14	53	18.80	889	120 – 135 °
Temmuz-97	2.50	3.02	29.57	45	25	891	125 – 145 °
Ağustos-97	2.60	3.75	31.11	44	26.4	890	320 – 350 °
Eylül-97	2.55	3.01	30.53	52	17.80	889	80 – 95 °
Ekim-97	2.54	3.005	30.01	62	14.5	892	75 – 90 °
Kasım-97	2.75	3.98	32.14	71	8.5	882	185 – 210 °
Aralık-97	2.74	3.97	32.03	76	3.2	889	290 – 305 °
Ocak-98	2.83	4.001	35.13	68	-0.25	894	70 – 110 °
Şubat-98	2.71	3.90	33.17	75	0.5	892	165 – 175 °

ORTALAMA 2.75 3.78 34.46

Rüzgar hızının yerden 10m ve 50 m yüksekliklere göre çeşitliliğini gösteren önemli parametreler Tablo 3’ de görülmektedir. Bu aylık rüzgar hız dağılımı 1 Ocak 1997 ile 28 Şubat 1998 tarihlerine aittir. Bu sonuçlara göre, 10 metre yükseklik için ortalama rüzgar hızı 2.75 m/s, 50 metre yükseklik için 3.78 m/s’ dir. Ortalama enerji yoğunluğu değeri 34.46 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. 14 aylık rüzgar hızı ölçüm değerleri mevsimlere göre de değişimler göstermekle birlikte en yüksek değerine kış aylarında, en düşük değerine de sonbahar aylarında (Eylül – Ekim 1998 ) ulaşmıştır. Bu rüzgar hızı değerleri Mart 1997’ de 3.15 m/s çıkmıştır. Rüzgar enerjisi yoğunluğu hızı bağılı olarak Eylül 1997 ayında 30.53 W/m<sup>2</sup> ile en düşük değerini alırken, Mart 1997 ayında 50.15 W/ m<sup>2</sup> ile en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 1. 10 metre ve 50 metre yükseklik için aylara göre rüzgar hızı dağılımı

10 metre ve 50 metreye göre 14 ay boyunca rüzgarın ortalama hız değerleri Şekil 1’ de verilmiştir. Bu sonuçlara göre rüzgarın ortalama hızı 10 metre için 2.03 m/s’ dir. 50 metre için rüzgarın ortalama hızı 2.28 m/s’ dir. 14 ay boyunca rüzgarın hızı, yönü ve sıcaklık değerleri 30 dakikada bir gözlem istasyonu tarafından alınan veriler Isparta için rüzgar kaynaklarının tespitinde kullanıldı. Buna bağlı olarak rüzgarın yönünün yerin coğrafik özellikleri de göz önüne alınarak tespiti yapıldı. Hakim ve en kuvvetli esen rüzgar yönünün Güney – Doğu, kuvvetli rüzgar yönünün de Batı’ dan estiği gözlemlenmiştir.

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Rüzgardan elektrik üretmenin diğer teknolojiler gibi birtakım sorunları bulunmaktadır. Ancak bu sorunların hiçbiri nükleer veya termik santrallerin yaptıkları çevresel etkilerle kıyaslanamaz. Rüzgar gücü sadece yeterli rüzgarlı alanlarda kurulabilir. Aynı zamanda rüzgar çiftlikleri bir güneş pili veya su gücü sistemine bağlanarak veya doğal gazla çalışan etkili türbinler kullanarak da destek sağlanabilir. Rüzgar enerjisinin üstünlüklerini sıraladığımızda öncelikle atmosferde bol ve serbest olduğunu söyleyebiliriz. Diğer yandan yerli, çevre kirliliği yaratmayan, temiz bir enerji kaynağıdır. Atmosfere veya yakındaki nehir ve denizlere ısı emisyona sahip değildir. Taşıdığı enerji, hızının küpü ile orantılıdır. Rüzgar türbinleri modüler olup, herhangi tek bir büyüklükte imal edilmemekte ve tek olarak ya da gruplar halinde kullanılabilir. Enerji ücretsiz olup, yakıt taşınma maliyetleri yoktur. Verilere göre, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi potansiyeli açısından Isparta ilinin kayda değer ve değerlendirilebilir bir potansiyele sahip olduğu gözlemlenmiştir. Burada en önemli etken, bölgedeki etkili rüzgarların büyük rol oynamasıdır. Bu amaçla, Isparta bölgesinde değişik istasyonlardan rüzgar hızı verileri toplanmıştır. Bu veriler alınırken yörenin coğrafik durumu da göz önünde bulundurulmuştur. 10 metre yükseklikte en fazla rüzgar hızının 2,4 m/s ile Mart ayında, 50 metre için 2,75 m/s ile Kasım ayında tespit edilmiştir. Bu da verimli rüzgar hızının kış aylarında olduğunu göstermektedir. Isparta’ dan alınan verilerde, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için değerlendirilebilecek, umut verici yerler olduğu saptanmıştır.

Enerjinin doğru kaynaktan doğru teknoloji ile üretilmesi ve doğru kullanılması globalleşen dünyamız vazgeçilmez sloganı olmalıdır. İstatistikler günümüzde yaşamımızın bir parçasıdır. Bu düşünceden hareketle Isparta ilimizden aldığımız verilerde bu bölgelerde rüzgar türbini kurulmasının ve buna bağlı olarak elektrik enerjisi üretiminin mümkün olabileceği söz konusudur. Bu bölgelerin en önemli avantajı mevcut türbinlerin kurulum sahalarının kolaylığı, enerji nakil hatlarına olan yakınlığı ve dağıtım açısından elverişli olmasıdır. Rüzgar gücü yoğunluğu, 10 metrede ve 50 metrede ortalama rüzgar hızı değerlerinin değişik olmasından dolayı farklılık göstermektedir. 50 metrede yüksek bir hız varlığı dolayısıyla daha yüksek bir enerji yoğunluğuna etken olacak yöreye kurulacak rüzgar türbinlerinin bu yüksekliklerde inşa edilmesinde önemli rol oynayacaktır.

Isparta ilinde bazı mevsimlerde rüzgar hızının 3 m/s’ nin altına düşmesi sebebiyle kurulacak türbinlerde, türbin kanadının ilk kalkış hareketinde problemlere sebep olacağı düşünülmüştür. Bu yüzden yöreye kurulacak türbinlerde ilk kalkışı düşük hızlarda bile gerçekleştirebilen çok kanatlı yatay türbininin veya türbin rotor göbeğindeki boş kısma çok palalı ( Amerikan tipi ) ikinci bir rüzgar türbini yerleştirilebilir. Bunlar sistem hareketsizken rüzgara karşı 10 – 15 ° hücum açısıyla durmalı, sistem çalışma hızına ulaşınca pala düzlemi uygun konumu almalıdır. Bu levhalar meydana gelebilecek santrifüj, aerodinamik kuvvet ve momentlerle istenen konumları alacak şekilde uygun noktalarından palaya bağlanabilir. Elde edilen enerji bataryalar kullanılarak depolanabilir.

### 4. KAYNAKLAR

- [ 1 ] Ültanır , M.Ö., Şimdi Rüzgar Çiftliği Zamanı , Sayı.5, Mayıs 1996 , Enerji Dergisi ve Ankara.
- [ 2 ] Gige , P., Wind Energy Comes of Age , edited John Wiley & Sons , Inc , 1995.
- [ 3 ] Uyar , T.S., Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kull., Cilt 39 , Sayı 403, sf. 27-31, Ankara.
- [ 4 ] Uyar , T.S., ‘‘Türkiye ‘ de Rüzgar Enerjisi ‘ , TÜBİTAK Bülteni, Cilt 2, Sayı 6, 1985, sf.: 22-23
- [ 5 ] Akgün , N., ‘‘Rüzgar Analizi ve Türkiye Rüzgar Atlasının Hazırlanması’’ , Meteoroloji Lodos Dergisi, sayı 14, sf. 7 – 20, Ankara.