

## TÜRKİYE’NİN YAKIN KIYILARI ÜZERİNDEKİ RÜZGAR POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Melek Akın<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer, İstanbul  
akinm@itu.edu.tr

### Özet

Günümüzde, ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ile enerji talebindeki artış paralellik göstermektedir. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla fosil yakıt kaynakları kullanılmaktadır; ancak bunların çevreye olumsuz yönde etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanımı en çok artış gösteren enerji çeşididir. Bu çalışmada 2012-2015 yılları arasında Marmara, Karadeniz, Akdeniz ve Ege kıyıları üzerindeki rüzgar potansiyeli incelenmiştir. Analizler sonucunda, Akdeniz kıyılarında rüzgarın doğudan, Ege kıyılarında kuzeybatıdan, Karadeniz kıyılarında güneybatıdan ve Marmara kıyılarında kuzeydoğudan estiği belirlenmiştir. Ayrıca, kıyı şeridinin topografik yapısının rüzgar şiddeti ve yönü üzerindeki etkileri de ele alınmıştır. Karasal bölgelerde bitki örtüsü ve insan yapımı engeller rüzgar şiddetini azaltmasına rağmen, deniz yüzeyleri gibi açık alanlar rüzgar enerjisi üretimi için elverişli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, gelecekteki rüzgar enerjisi projeleri için önemli bir referans niteliğinde olup, bölgesel rüzgar potansiyelinin enerji üretiminde nasıl kullanılabileceğine dair bilgi sunmaktadır. Rüzgar şiddetindeki bölgesel ve mevsimsel değişiklikler göz önüne alındığında, özellikle kıyılardaki rüzgar enerjisi potansiyeli detaylandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar, Rüzgar Potansiyeli, Yakın Kıyı, Yenilenebilir Enerji

## INVESTIGATION OF WIND POTENTIAL OVER TÜRKİYE’S NEARSHORE

### Abstract

Today, the increase in energy demand parallels the development levels of countries. Fossil fuel sources are commonly used to meet this demand; however, due to their negative environmental impacts, there has been a growing shift toward renewable energy sources. Among these, wind energy has shown the most significant increase in usage. In this study, the wind potential over the Marmara, Black Sea, Mediterranean, and Aegean coasts between 2012 and 2015 was investigated. The analysis revealed that the prevailing wind direction is easterly along the Mediterranean coast, northwesterly along the Aegean coast, southwesterly along the Black Sea coast, and northeasterly along the Marmara coast. Additionally, the influence of coastal topography on wind speed and direction was examined. Although plant cover and man-made structures in terrestrial areas reduce wind speed, open areas such as sea surfaces stand out as ideal regions for wind energy production. This study serves as a valuable reference for future wind energy projects, providing insights on how regional wind potential can be effectively harnessed for energy production. The regional and seasonal variations in wind speed have been considered, with a particular focus on the wind energy potential along coastal areas.

**Keywords:** Wind, Wind Potential, Nearshore, Renewable Energy

**Sorumlu Yazar:** Melek Akın

**Geliş Tarihi:** 3 Haziran 2024

**Kabul Tarihi:** 23 Kasım 2024

**Yayın Tarihi:** 31 Aralık 2024

**Atf Şekli:** Akın, M. (2024). Türkiye'nin Yakın Kıyıları Üzerindeki Rüzgar Potansiyelinin İncelenmesi, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 2(1), 94-104.

**Makale Tipi:** Araştırma Makalesi

**e-ISSN:** 3023-8560

## GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde rüzgar karakteristiğini ve rüzgar enerji potansiyelini belirleyebilmek için araştırmalar yapılmıştır ve bu çalışmalar hala sürdürülmektedir. Fosil yakıtların hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisi formunda oluşturduğu çevresel etkilerin yanı sıra, bunların sınırlı biçimde bulunmaları da güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerjilerden rüzgar enerjisi önemli bir potansiyele sahiptir (Şahin, 2004; Korukçu, 2017). Rüzgar enerjisi tükenmeyen ve temiz doğasından dolayı hızlı bir şekilde gelişmektedir (Alsaad, 2013). Ancak, rüzgar hızı ve enerjisi belirli bir bölgede yıl boyunca sabit kalmayıp zaman içinde değişkenlik göstermektedir (Şahin, 2004). Bu sebeple, bir bölgedeki rüzgar potansiyelinden etkin biçimde faydalanabilmek için sistematik bir rüzgar karakteristiği analizi gereklidir (Chang, 2011).

Türkiye'nin son yıllardaki hızlı ekonomik büyümesi ve sanayileşmesine paralel olarak, enerjiye olan gereksinimi artmakta olup, gelecek yirmi yılda üretimin tüketimi karşılayamayacağı düşünülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına olan bağımlılığını artırmış ve bu kaynakların kullanımı kaçınılmaz olmuştur (Ata, 2014).

Ülkemizde rüzgar potansiyelinin belirlenebilmesi için bugüne kadar farklı illerde birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye'nin bölgesel rüzgar enerjisi potansiyeli üzerine yapılan bir çalışmada, Ege Denizi'nin kuzey ve kuzeybatı kıyılarının yüksek rüzgar potansiyeline sahip olduğu, diğer potansiyel bölgelerin ise Orta Karadeniz ve Akdeniz kıyıları olduğu tespit edilmiştir (Öztopal vd., 2000). Kıyı bölgelerinin yanı sıra, iç bölgelerde de Güneydoğu Anadolu'daki Diyarbakır'ın yeterli seviyede rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. 2004 yılına ait 10 m yükseklikteki rüzgar verileriyle Kırklareli ilinde yapılan incelemelerde, bu bölgedeki rüzgar potansiyelinin elektrik üretimi için yeterli olduğu tespit edilmiştir (Gökçek vd., 2007).

Gökçeada'daki rüzgar enerjisi potansiyelinin incelendiği bir çalışmada dört farklı lokasyonda üç yıl boyunca toplanan rüzgar verileri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, adanın üçte birinde yıllık ortalama rüzgar şiddeti 6,0 m/s'nin üzerinde olup, bu potansiyel elektrik üretimi için uygun seviyededir. Çalışmada Weibull dağılımı gibi olasılık modelleri kullanılarak rüzgar şiddetinin istatistiksel dağılımı belirlenmiş, Gökçeada'nın rüzgar enerji potansiyelinin Adriyatik ve Trakya kıyılarına göre %40-50 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, Gökçeada'nın enerji üretiminde önemli bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir (Tolun vd., 1995).

Uludağ Bursa'da rüzgar potansiyeli 2000-2006 yılları arasındaki 7 yıllık veri ile 10 m yükseklikte analiz edilmiştir. Bölgede yaz mevsiminde 8,3 m/s ile en yüksek ortalama rüzgar şiddeti ve kış mevsiminde 5,6 m/s ile en düşük ortalama rüzgar şiddeti belirlenmiştir (Ucar ve Balo, 2009). İstanbul'da ise 7 farklı istasyonda 31 yıllık veri ile rüzgar potansiyeli incelemesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Kumköy ve Şile istasyonlarında rüzgar potansiyelinin diğer istasyonlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır (Vardar vd., 2008). Kütahya, Bünelek tepesi üzerinde 36 aylık veri ile çalışmalar yürütülmüş ve rüzgar potansiyeli farklı istatistiksel yöntemlerle tespit edilmeye çalışılmıştır. Lognormal dağılımının rüzgar hız verilerine en uygun dağılım olduğu belirlenmiştir (Özgür vd., 2009). Bir başka çalışmada Antakya ve İskenderun üzerinde inceleme yapılmıştır. Bu amaçla 1997 ve 2001 yılları arasındaki saatlik rüzgar verileri elde edilmiştir. Hakim rüzgar yönünün Antakya için güneybatılı, İskenderun için kuzeybatılı olduğu tespit edilmiştir Her iki bölgede de rüzgar şiddeti sabah saatlerinde akşam saatlerine göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Çalışmanın sonucunda her iki bölgenin de yüksek rüzgar potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur (Bilgili vd., 2004). Gaziantep'in Nurdağı bölgesinde rüzgar güç potansiyeli üzerine incelemeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında 1995 senesine ait bir yıllık veri kullanılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda bölgede temmuz ve ağustos aylarında daha yüksek ortalama rüzgar şiddeti elde edilmiştir. Yıllık ortalama rüzgar şiddetine ve rüzgar gücüne bakıldığında ise bölgenin potansiyelinin rüzgar enerjisi üretimi için elverişli olduğu saptanmıştır (Karlı ve Geçit, 2003).

Türkiye genelinde yapılan bu çalışmalar, rüzgar enerjisi potansiyelinin genellikle kara üzerinde incelendiğini göstermektedir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyelinin daha net bir şekilde saptanabilmesi için yakın kıyılar üzerinde de potansiyel tespiti yapılmalıdır. Bu amaçla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları (DOMGİ) verileri kullanılarak Türkiye'nin kıyı rüzgar potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. DOMGİ'ler 2011 yılında kurulmaya başlanmış olup, bu tarihten önce Türkiye'nin kıyılarına yönelik rüzgar potansiyeli analizleri, veri eksikliği nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

## VERİ VE ÇALIŞMA ALANI

### Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Bu çalışmada, 2012 ile 2015 yılları arasında Deniz Meteoroloji Gözlem İstasyonları'ndan (DOMGİ) elde edilen dakikalık veriler kullanılmıştır. Veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Başlangıçta veri setinde 70 istasyon bulunmasına rağmen, yapılan değerlendirmeler sonucunda 49 istasyonun verilerinin kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Bu istasyonlardan elde edilen veriler, eksiklikleri giderilerek gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Veri seti, sıcaklık, yağış, nispi nem ve basınç gibi çeşitli atmosferik değişkenleri içermekle birlikte, bu çalışmada sadece rüzgar şiddeti ve yönüne ilişkin veriler analiz edilmiştir.

### Çalışma Alanı ve İklimi

Bu çalışma kapsamında, Marmara, Karadeniz, Akdeniz ve Ege kıyıları incelenmiştir. Seçilen bu bölgelerde, Marmara Bölgesi'nde 10, Karadeniz'de 15, Akdeniz'de 9 ve Ege Bölgesi'nde 15 adet meteoroloji istasyonu yer almaktadır. Bu istasyonların isimleri, kodları ve coğrafi konumları Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1a.** Çalışmada kullanılan istasyonlar

İstasyon No	İl/İlçe	Enlem	Boylam	Yükseklik
17381	Aydın/Kuşadası	37° 50' 45" K	27° 13' 10" D	4
17382	Bahıkesir/Erdek	40° 32' 46" K	27° 30' 37" D	2
17383	İzmir/Narlıdere	38° 25' 32" K	26° 54' 48" D	2
17384	İzmir/Urla	38° 26' 48" K	26° 43' 03" D	7
17385	Mersin/Merkez	36° 46' 39" K	34° 39' 24" D	4
17386	Muğla/Bodrum	37° 00' 29" K	27° 24' 51" D	6
17388	İstanbul/Silivri	41° 02' 38" K	28° 11' 13" D	3
17438	İstanbul/Silivri	41° 04' 23" K	28° 14' 22" D	9
17439	İzmir/Foça	38° 37' 10" K	26° 44' 41" D	8
17440	İzmir/Urla	38° 21' 57" K	26° 46' 24" D	6
17441	İzmir/Güzelbahçe	38° 22' 46" K	26° 53' 10" D	12
17442	İzmir/Konak	38° 25' 49" K	27° 07' 56" D	6
17443	İzmir/Çeşme	38° 19' 49" K	26° 16' 06" D	7
17444	İzmir/Karaburun	38° 31' 08" K	26° 37' 42" D	8
17445	Kastamonu/Cide	41° 54' 02" K	32° 58' 40" D	11
17446	Kastamonu/İnebolu	41° 58' 54" K	33° 46' 37" D	7
17447	Kırklareli/Vize	41° 37' 54" K	28° 06' 07" D	11
17448	İstanbul/Tuzla	40° 48' 46" K	29° 17' 52" D	13
17449	Kocaeli/Kandıra	41° 12' 42" K	30° 15' 38" D	3
17450	Muğla/Bodrum	37° 09' 03" K	27° 15' 52" D	9
17451	Tekirdağ/Marmara Ereğlisi	40° 58' 18" K	27° 57' 37" D	10
17452	Yalova/Merkez	40° 39' 41" K	29° 14' 51" D	13
17453	Zonguldak/Merkez	41° 27' 31" K	31° 46' 45" D	12
17454	İstanbul/Fatih	41° 00' 15" K	28° 57' 17" D	16
17455	İstanbul/Sarıyer	41° 13' 48" K	29° 06' 55" D	10
17456	Sinop/Merkez	42° 05' 52" K	34° 56' 43" D	30
17457	Sinop/Gerze	41° 48' 10" K	35° 12' 26" D	20
17458	Samsun/Bafra	41° 43' 52" K	35° 56' 48" D	28
17459	Samsun/Merkez	41° 18' 37" K	36° 21' 21" D	15
17460	Ordu/Ünye	41° 07' 02" K	37° 20' 56" D	15

Tablo 1b. Çalışmada kullanılan istasyonlar (devam)

İstasyon No	İl/İlçe	Enlem	Boylam	Yükseklik
17461	Ordu/Perşembe	41° 08' 09" K	37° 40' 57" D	12
17462	Giresun/Piraziz	40° 57' 14" K	38° 09' 00" D	30
17463	Trabzon/Çarşıbaşı	41° 06' 26" K	39° 25' 09" D	25
17464	Trabzon/Merkez	41° 00' 27" K	39° 45' 00" D	12
17465	Trabzon/Araklı	40° 56' 42" K	40° 03' 13" D	10
17466	Rize/Çayeli	41° 05' 27" K	40° 43' 21" D	10
17467	Artvin/Hopa	41° 25' 16" K	41° 25' 47" D	15
17468	Muğla/Bodrum	36° 57' 47" K	27° 15' 51" D	20
17469	Muğla/Dağca	36° 41' 12" K	27° 21' 48" D	105
17470	Muğla/Marmaris	36° 48' 53" K	28° 15' 57" D	10
17471	Muğla/Fethiye	36° 39' 14" K	29° 02' 39" D	33
17473	Antalya/Kaş	36° 11' 02" K	29° 38' 32" D	10
17474	Antalya/Finike	36° 17' 43" K	30° 09' 12" D	10
17475	Antalya/Kemer	36° 36' 47" K	30° 34' 28" D	6
17476	Antalya/Konyaaltı	36° 50' 06" K	30° 37' 00" D	16
17477	Antalya/Alanya	36° 33' 29" K	31° 57' 05" D	10
17478	Mersin/Anamur	36° 01' 05" K	32° 48' 11" D	67
17480	Adana/Karataş	36° 33' 31" K	35° 23' 01" D	10
17481	Hatay/İskenderun	36° 14' 24" K	35° 47' 00" D	115

Çalışmanın yürütüldüğü bölgelerde üç ana iklim tipi hakimdir. Akdeniz iklimi, Marmara iklimi ve Karadeniz iklimi. Akdeniz iklimi, Türkiye'nin Ege ve Akdeniz kıyılarında etkili olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Bu bölgelerde kıyılarda kuraklığa dayanıklı bitki örtüsü, özellikle kızılçam ve maki türleri yaygındır. Yüksek kesimlerde ise iğne yapraklı karaçam ve sedir ormanları bulunmaktadır (Türkeş, 1996).

Marmara Bölgesi'nde Marmara iklimi etkili olup, bu iklim tipi Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği taşımaktadır. Yazlar Akdeniz iklimine kıyasla daha serin, kışlar ise Karadeniz iklimine göre daha az yağışlı ve ılımandır. Bölgenin alçak kesimlerinde Akdeniz bitki örtüsü hâkimken, daha yüksek kesimlerde Karadeniz'e özgü nemli ormanlar görülmektedir.

Karadeniz iklimi, Karadeniz kıyı şeridi boyunca etkili olup, yıl boyunca düzenli yağış almasıyla bilinmektedir. Bu bölgede, yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkı oldukça düşük olup, kıyı boyunca geniş yapraklı ormanlar, özellikle kestane ve ıhlamur türleri yaygındır. Yüksek kesimlerde ise soğuk iklimlere uyum sağlamış ladin ve köknar ormanları bulunmaktadır (Web 2). Bu iklim tipleri, çalışmanın yapıldığı bölgelerde hem doğal bitki örtüsü hem de genel ekosistem üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Çalışmada örnek olarak kullanılan rüzgar türbini, Senvion şirketine ait 3.XM serisinden 3.6 M 114 NES modelidir. Senvion, uluslararası alanda hem karada hem de denizde rüzgar enerjisi sektörlerine hizmet veren bir rüzgar türbini üreticisidir. Çalışmada kullanılan türbinin çalışma sıcaklık aralığı -20°C ile +40°C arasında olup, kanatları cam elyaf takviyeli plastikten yapılmıştır. Türbinin devreye girmesi için gereken minimum rüzgar şiddeti 3,0 m/s, devreden çıkması için maksimum rüzgar şiddeti 22,0 m/s'dir. Nominal rüzgar şiddeti ise 13,0 m/s olarak belirlenmiştir (Web 1).

## YÖNTEM

Her bir istasyondan elde edilen rüzgar şiddeti verileri, eksik veya hatalı olanlar çıkarılarak temizlenmiştir. Ardından bu istasyonlara ait hakim rüzgar yönü, rüzgar esme süresi, hakim yönlerdeki rüzgar şiddeti ve türbinlerin çalışabileceği aralıktaki rüzgar şiddeti analiz edilmiştir. Belirli bir istasyondaki ortalama rüzgar şiddeti, tüm gözlemlerin toplamının gözlem sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Ortalama rüzgar şiddetini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$v_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

Burada,  $v$  ortalama rüzgar şiddeti (m/s),  $v_i$  her bir ölçümdeki rüzgar şiddeti (m/s), ve  $n$  ölçüm sayısını ifade etmektedir.

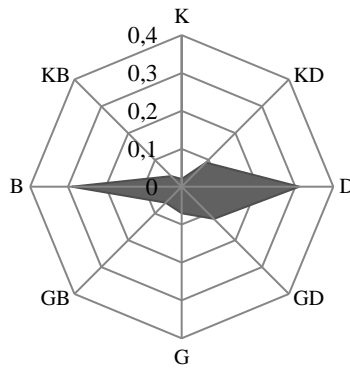
Ölçüm istasyonlarının hakim rüzgar yönü belirlenmiş ve rüzgar esme süreleri hesaplanmıştır. Hakim rüzgar yönü, belirli bir zaman aralığında en sık esen rüzgar yönünü ifade etmektedir. Rüzgar yönü verileri, 45°'lik dilimlerle 8 ana yön aralığına bölünmüştür. Bu ana yönler Kuzey (K), Kuzeydoğu (KD), Doğu (D), Güneydoğu (GD), Güney (G), Güneybatı (GB), Batı (B) ve Kuzeybatı (KB) olarak sınıflandırılmış, ardından her bir aralıkta kaç defa rüzgar estiği sayılmıştır. Her bir yön için toplam esme süresi elde edilmiştir. Hakim rüzgar yönü ve diğer yönlerin frekansı, rüzgar gülü grafiklerinde görselleştirilmiştir. Bu grafikler rüzgar yönü ve şiddetinin dağılımını gösterir.

Rüzgar türbinlerinin çalışabileceği rüzgar şiddetleri olan başlama ve kesme şiddetleri aralığında esen rüzgarların süresi hesaplanmıştır. Bu analizde, kullanılan türbin modeli için minimum 3 m/s ve maksimum 22 m/s arasındaki rüzgar şiddetleri dikkate alınmıştır. Türbinlerin çalışma aralığındaki rüzgar şiddeti ve esme süreleri, türbin performansını değerlendirmek için analiz edilmiştir. Böylece, her istasyonun rüzgar enerjisi üretme potansiyeli ortaya konmuştur.

Seçilen istasyonlar; Marmara, Karadeniz, Ege ve Akdeniz kıyılarında yer almakta olup, her bir bölgenin rüzgar potansiyeli ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu inceleme sırasında, hakim rüzgar yönü, yönlere göre rüzgar şiddetleri ve rüzgarın esme süreleri analiz edilmiştir. İlgili bölgelerde elde edilen sonuçlar, rüzgar enerjisi potansiyelinin bölgesel farklılıklarını ortaya koymak amacıyla detaylandırılmıştır.

## BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında Türkiye'nin her deniz kıyısından bir adet olmak üzere 4 farklı istasyon için rüzgar potansiyeli analizi yapılmıştır. Bu sebeple Akdeniz kıyıları için Antalya/Kaş'ta bulunan 17473 kodlu Kaş Bayındır İnceburun Feneri seçilmiştir. İstasyonun yüksekliği 10 m olup enerji kaynağı güneştir. Rüzgarın incelenen periyod içerisindeki (2013-2015) esme süresi 493412 dakikadır ve bu rüzgarların ortalama şiddeti de 3,34 m/s'dir. İstasyondaki hakim rüzgar yönü Şekil 1'de görüldüğü üzere doğudur ve rüzgarların %31'i bu yönden esmektedir. Hakim rüzgar yönünde rüzgarın esme süresi 154749 dakikadır ve hakim rüzgar yönündeki ortalama şiddet 3,79 m/s'dir. Yönlere göre ortalama rüzgar şiddeti hesaplatıldığında maksimum ortalama rüzgar şiddetinin 4,44 m/s ile kuzeydoğudan estiği tespit edilmiştir. Türbinin başlama ve kesme şiddetleri aralığında rüzgarın esme süresi 243265 dakikadır. Bu değer istasyonda meydana gelen rüzgarların esme süresinin %49'una denk gelmektedir. Türbinin çalışma aralığında esen rüzgarların ortalama şiddeti ise 5,02 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu değer Tablo 2'de yer aldığı üzere ortalama rüzgar şiddeti olan 3,34 m/s'den büyük olması olumlu bir sonuçtur.

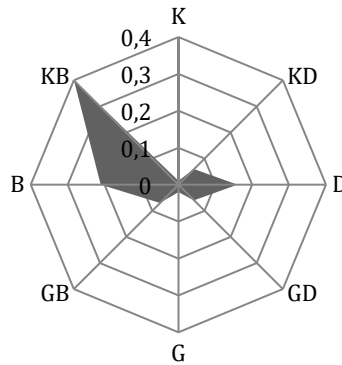


Şekil 1. Kaş Bayındır İnceburun Feneri'ne ait rüzgar gülü

**Tablo 2.** Kaş Bayındır İnceburun Feneri'ne ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	10754	4,20
KD	44310	4,44
D	154749	3,79
GD	60981	2,48
G	32255	1,77
GB	29533	2,63
B	140848	3,45
KB	19982	2,37
Tüm Yönlere Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
493412		3,34
Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
243265	0,49	5,02

Ege Denizi'nin kıyıları için yapılan çalışmada Muğla/Bodrum'da bulunan 17468 kodlu Hüseyinburnu Feneri seçilmiştir. İstasyonun yüksekliği 20 m'dir, enerji kaynağı ise elektriktir. İstasyonun kurulum tarihi olan 2014'ten 2015'e kadar kaydedilen rüzgarın esme süresi 492468 dakika olup, bu rüzgarların ortalama şiddeti 5,81 m/s'dir. Şekil 2'de görüleceği üzere istasyonun hakim rüzgar yönü kuzeybatıdır. İstasyondan elde edilen bilgiler Tablo 3'te yer almaktadır. Buna göre kuzeybatıdan rüzgarın esme süresi 195780 dakika olup kaydedilen toplam rüzgarın %40'ını oluşturmaktadır. Hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddeti ise 6,47 m/s'dir. Yönlere göre ortalama rüzgar şiddeti değerlendirildiğinde ise hakim rüzgar yönünün tersi olan güneydoğunun 7,39 m/s ile en yüksek ortalama sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca incelenen periyotta rüzgarın güneydoğu yönündeki esme süresi 31801 dakika olup bu süre tüm rüzgarların %6'sına denk gelmektedir. Hüseyinburnu istasyonu için türbinin başlama ve kesme şiddetleri aralığında esen rüzgarlar incelenmiş ve meydana gelen rüzgarın %76'sının türbinin enerji üretimi için uygun olduğu tespit edilmiştir. İncelenen periyot içerisinde (2014-2015) enerji üretimi sağlayabilecek rüzgarın esme süresi 375034 dakikadır ve bu aralıktaki ortalama rüzgar şiddeti 7,07 m/s'dir. Bu değerler istasyonun bulunduğu bölgeden elde edilebilecek rüzgar enerjisi için oldukça yüksektir.

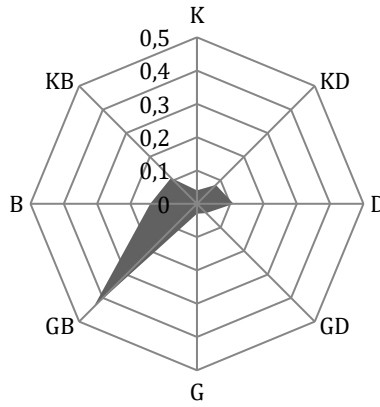
**Şekil 2.** Hüseyinburnu Feneri'ne ait rüzgar gülü

Karadeniz kıyıları için yapılan çalışmada Ordu/Ünye'de bulunan 17460 numaralı Ünye Balıkçı Barınağı Ana Mendirek Feneri verileri kullanılmıştır. İstasyon yüksekliği 15 m olup enerji kaynağı güneştir. İstasyonda 2013 ve 2015 yılları arasında kaydedilen rüzgar esme süresi 482016 dakikadır. Tüm yönlerdeki ortalama rüzgar şiddeti 3,74 m/s'dir. Ayrıca hakim rüzgar yönü Şekil 3'ten anlaşılacağı gibi güneybatı olup, bu yöndeki ortalama rüzgar şiddeti 3,75 m/s'dir. Tablo 4'te yer aldığı üzere güneybatı yönünde rüzgarın esme süresi 214335 dakikadır. Bu değer istasyondaki toplam esme süresinin %44'üne denk gelmektedir. Batılı rüzgarlar ise 4,9 m/s'lik rüzgar şiddeti ile rüzgar yönüne göre en yüksek ortalama rüzgar şiddetine sahiptir. Bu yöndeki rüzgarın esme süresi 67328 dakika olup istasyonda kaydedilen toplam rüzgarın %14'ünü oluşturmaktadır. Türbinin başlama ve kesme rüzgar şiddetleri göz önüne alındığında istasyondan enerji üretilebilecek rüzgarın esme süresi

295905 dakikadır. Bu değer toplam esme süresinin %61'ine denk gelmektedir. Türbinin operasyon aralığında esen rüzgarların ortalama şiddeti ise 15 m yüksekliği için 5,02 m/s'dir.

**Tablo 3.** Hüseyinburnu Fenerine ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	4291	1,17
KD	31352	1,98
D	81098	6,25
GD	31801	7,39
G	11640	3,91
GB	34201	3,70
B	102305	6,00
KB	195780	6,47
Tüm Yönlerde Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
492468		5,81
Türbinin Çalışma Aralığındaki Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
375034	0,76	7,07



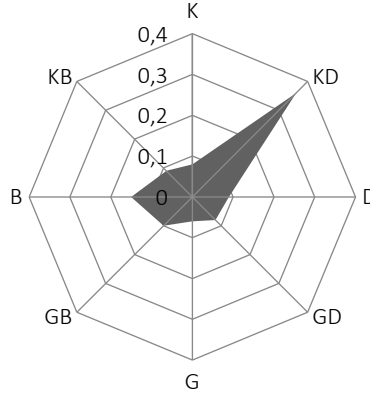
**Şekil 3.** Ünye Balıkçı Barınağı Ana Mendirek Feneri'ne ait rüzgar gülü

**Tablo 4.** Ünye Balıkçı Barınağı Ana Mendirek Feneri'ne ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	20479	1,51
KD	39128	3,15
D	52619	3,68
GD	18930	2,40
G	16711	2,59
GB	214335	3,75
B	67328	4,90
KB	52486	4,45
Tüm Yönlerden Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
482016		3,74
Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
295905	0,61	5,02

Son olarak Marmara Denizi kıyıları için yapılan çalışmada ise Tuzla/İstanbul'da bulunan 17448 numaralı İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri kullanılmıştır. Bu istasyonun yüksekliği 13 metre olup enerji kaynağı güneştir. İstasyon 2012 yılında kurulmuştur ve 3 yıllık veri ile çalışmalar yapılmıştır. İncelenen periyod içerisindeki istatistiksel bilgiler Tablo 5'te yer almaktadır. İstasyondaki toplam esme süresi 943457 dakika olup ortalama rüzgar şiddeti ise 3,84 m/s'dir. Hakim rüzgar yönü Şekil 4'te görüldüğü üzere kuzeydoğudur ve bu yöndeki

rüzgarların ortalama şiddeti 4,49 m/s'dir. Ayrıca kuzeydoğu yönündeki rüzgarların toplam esme süresi 337513 dakikadır. Bu değer istasyonda kaydedilen toplam rüzgarın %36'sını oluşturmaktadır. Yönlere göre ortalama rüzgar şiddeti analiz edildiğinde de en yüksek ortalama rüzgar şiddetinin hakim rüzgar yönünde olduğu tespit edilmiştir. İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri istasyonunda türbinin başlama ve kesme şiddetleri arasında meydana gelen toplam esme süresi 555141 dakikadır. Bu sayı istasyonda esen toplam rüzgarın %59'una denk gelmektedir. 13 m yükseklik için istasyonun ortalama rüzgar şiddeti olan 3,84 m/s, türbinin devreye girmesi için gerekli olan rüzgar şiddeti değerleri uygulandığında 5,39 m/s'ye yükselmiştir.



Şekil 4. İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri'ne ait rüzgar gülü

Tablo 5. İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri'ne ait rüzgar verileri

Rüzgar Yönü	Yöne Göre Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Yöne Göre Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
K	74654	2,55
KD	337513	4,49
D	89182	2,76
GD	73225	3,70
G	55686	3,51
GB	91457	3,97
B	138138	4,13
KB	83602	3,24
Tüm Yönlerde Rüzgarın Esme Süresi (dk)		Tüm Yönler İçin Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
943457		3,84
Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Süresi (dk)	Türbinin Çalışma Aralığında Esen Rüzgarların Yüzdesi	Türbinin Çalışma Aralığındaki Ortalama Rüzgar Şiddeti (m/s)
555141	0,59	5,39

Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlardan elde edilen veriler Tablo 6 ile özetlenmiştir (Akın, 2015). Buradan yola çıkarak istasyonların %22,5'inde hakim rüzgar yönünün kuzeybatılı olduğu görülmüştür. Kuzeydoğulu ve kuzeyli hakim rüzgar yönüne sahip istasyonlar ise tüm istasyonların sırasıyla %20,5 ve %2'sini oluşturmaktadır. Güneyli, güneybatılı ve güneydoğulu hakim rüzgar yönlerine sahip istasyonlar ise sırasıyla %12,2, %12,2 ve %4,1'ini oluşturmaktadır. İstasyonların hakim rüzgar yönü %14,3'ünde doğulu ve %12,2'sinde ise batılıdır. Ayrıca kıyıları temsil eden istasyon sayıları göz önünde bulundurulduğunda en çok istasyonun Ege ve Karadeniz kıyılarında yer aldığı tespit edilmiştir. Bu kıyıları yönelik analiz yapmak amacıyla 15'er adet, Akdeniz ve Marmara kıyılarını temsil etmesi amacıyla da 9 ve 10 adet istasyon kullanılmıştır. Tüm yönlerdeki ortalama rüzgar şiddetinin en düşük değeri Karadeniz kıyısındaki 17462 numaralı Pirazizburnu Feneri'nden elde edilmiştir ve bu değer 1,95 m/s olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer ise Ege kıyısındaki 17443 numaralı Döküntütaşı Feneri'nden elde edilen 6,98 m/s değeridir. Hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddetleri incelendiğinde de en düşük değer 17466 numaralı Karadeniz'deki istasyondan 2,16 m/s olarak, en yüksek değer ise 17381 numaralı Ege kıyılarındaki istasyonda 9,44 m/s olarak kaydedildiği görülmektedir. Türbinin çalışma aralığında esen rüzgarların yüzdesi analiz edildiğinde de yine benzer sonuçlar elde edilmiş en düşük değer Karadeniz'de 17462 numaralı istasyonda 0,18 olarak, en yüksek değer de Ege bölgesinde 17384 ve 17469 numaralı istasyonlardan 0,91 olarak elde edilmiştir.



**Tablo 6.** Çalışmada kullanılan istasyonlardan elde edilen istatistiksel veriler

Bölge	İstasyon No	Tüm Yönlerde Ort. Rüzgar Şiddeti (m/s)	Hakim Rüzgar Yönü	Hakim Rüzgar Yönündeki Ort. Rüzgar Şiddeti (m/s)	Türbinin Çalışma Aralığında Rüzgarın Esme Yüzdeleri
Akdeniz	17385	4,96	D	5,14	0,83
	17473	3,34	D	3,79	0,49
	17474	3,68	KB	3,03	0,55
	17475	3,28	D	3,21	0,42
	17476	3,73	KB	3,50	0,53
	17477	2,88	G	2,84	0,52
	17478	4,42	KD	3,42	0,50
	17480	4,82	GB	5,74	0,80
	17481	6,64	G	9,04	0,78
Ege	17381	5,65	KD	9,44	0,68
	17383	5,12	GD	5,75	0,72
	17384	6,66	KB	7,44	0,91
	17386	5,70	KB	6,01	0,76
	17439	5,90	KB	5,97	0,86
	17440	3,85	K	2,46	0,58
	17441	4,17	G	3,20	0,63
	17442	4,08	G	4,23	0,61
	17443	6,98	B	7,44	0,88
	17444	4,67	KB	5,56	0,77
	17450	6,43	B	7,81	0,84
	17468	5,81	KB	6,47	0,76
	17469	6,42	KB	9,08	0,91
	17470	3,47	B	3,94	0,58
17471	3,96	KD	3,40	0,61	
Karadeniz	17445	4,74	D	4,07	0,80
	17446	3,66	GB	3,43	0,52
	17453	4,96	GD	5,57	0,79
	17456	6,22	D	5,73	0,81
	17457	3,20	KB	4,47	0,42
	17458	5,30	KB	7,30	0,82
	17459	4,17	KB	5,80	0,65
	17460	3,74	GB	3,75	0,61
	17461	4,82	GB	4,72	0,66
	17462	1,95	B	2,67	0,18
	17463	3,70	D	3,64	0,48
	17464	4,25	G	5,41	0,66
	17465	2,59	B	3,00	0,37
	17466	2,27	G	2,16	0,21
17467	3,08	GB	2,25	0,32	
Marmara	17382	5,19	D	5,09	0,76
	17388	4,44	KD	5,25	0,75
	17438	4,66	KD	4,97	0,70
	17447	4,66	B	3,29	0,75
	17448	3,84	KD	4,49	0,59
	17449	4,84	KD	6,15	0,75
	17451	4,80	KD	6,35	0,70
	17452	4,11	GB	3,12	0,65
	17454	3,62	KD	3,71	0,63
	17455	3,67	KD	4,78	0,61

**SONUÇLAR**

Bu çalışma, kıyı ve deniz üzerindeki rüzgar potansiyelini belirlemek için yapılan ilk analizlerden biri olması açısından büyük bir öneme sahiptir. Gözlem istasyonlarının yetersizliği nedeniyle geçmişte bu tür hesaplamalar yapılamamış olsa da, bu çalışmanın gelecekte yapılacak analizler için bir örnek teşkil etmektedir.

2012-2015 yılları arasındaki deniz otomatik meteoroloji gözlem verileri her bir istasyon için ayrı ayrı işlenmiş ve hakim rüzgar yönü, hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddeti ile tüm yönlerdeki ortalama rüzgar

şiddeti hesaplanmıştır. Sonuçlar, Akdeniz kıyıları için hakim rüzgar yönünün doğulu, Ege Denizi kıyıları için kuzeybatılı, Karadeniz kıyıları için güneybatılı ve Marmara Denizi kıyıları için kuzeydoğulu olduğunu göstermektedir. Hakim rüzgar yönündeki ortalama rüzgar şiddeti ise Akdeniz Bölgesi'nde 4,05 m/s, Ege Bölgesi'nde 6,75 m/s, Karadeniz Bölgesi'nde 3,54 m/s, Marmara Bölgesi'nde ise 5,10 m/s olarak tespit edilmiştir.

İstasyonlar genelinde hakim rüzgar yönünün 11 istasyon için kuzeybatılı, 10 istasyon için kuzeydoğulu, 7 istasyon için doğulu, 2 istasyon için güneydoğulu, 6 istasyon için güneyli, 6 istasyon için güneybatılı, 6 istasyon için batılı ve 1 istasyon için kuzeyli olduğu belirlenmiştir. İstasyonların kurulum yükseklikleri dikkate alındığında, rüzgar şiddetlerinin ortalama 17 metrede ölçüldüğü ve bu değerlerin kule yüksekliği olan 80 metreye taşındığında daha yüksek enerji potansiyeli elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin kıyıları üzerinde önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Sinoptik ölçekli sistemler, yüksek ve alçak basınç merkezlerinin yerel rüzgar yönlerini ve şiddetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Akdeniz kıyılarında gözlemlenen doğulu rüzgarların, genellikle Akdeniz siklonlarının ve doğu akımlarının etkisi altında şekillendiği düşünülmektedir. Ege kıyılarında hakim olan kuzeybatılı rüzgarlar ise, genellikle yaz aylarında etkili olan Etesyen rüzgarlarının bir sonucudur. Bu rüzgarlar, Ege Denizi boyunca yerel topoğrafya ile etkileşime girerek yön değiştirebilir ve şiddet kazanabilir.

Karadeniz kıyılarındaki güneybatılı rüzgarların, genellikle Balkanlar üzerinden gelen alçak basınç sistemlerinin etkisi altında olduğu bilinmektedir. Bu sistemler, Karadeniz üzerinden geçen rüzgarları güneye doğru yönlendirmekte ve kıyıya yakın bölgelerde rüzgar şiddetini artırabilmektedir. Marmara Denizi kıyılarında gözlemlenen kuzeydoğulu rüzgarlar ise, özellikle kış aylarında etkili olan kuzeyli soğuk hava akımlarının bir sonucudur. Bu akımlar, sinoptik ölçekli yüksek basınç sistemleri ile ilişkilidir ve Marmara Denizi üzerinde güçlü rüzgarlar oluşturabilir.

Bununla birlikte, aynı bölgedeki istasyonlar arasında rüzgar yönü farklılıklarının gözlemlenmesi, rüzgar yönü ve şiddeti üzerinde belirleyici olan planeter ve sinoptik ölçekli hareketlerin, kıyı şeridinin dağılım şekli ile fiziksel olarak ilişkilendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kıyı şeridinin dağılım şekli ve topografik özellikleri, rüzgarın yön ve şiddeti üzerinde belirleyici bir rol oynayabilir. Özellikle Ege kıyılarındaki rüzgar yönü farklılıkları, bölgenin karmaşık topoğrafyası ve deniz-kara etkileşimleri ile açıklanabilir. Kıyı çizgisinin şekli ve orografik engeller, rüzgarın bölgesel yönünü ve şiddetini etkileyerek yerel rüzgar paterni üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bu sonuçlar, bölgesel rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

Sonuç olarak, bu çalışma, Türkiye'nin kıyılarındaki rüzgar potansiyelini ortaya koyarak, bölgesel farklılıkların fiziksel ve atmosferik koşullarla ilişkisini anlamak için önemli veriler sunmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Engin Büyükköksüz'e teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

- Akın, M. (2015). Determination of the wind potential over Turkey's coasts and seas, *Lisans Tezi*, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Alsaad, M. (2013). Wind energy potential in selected areas in Jordan, *Energy Conversion and Management*, 65, 704-708.
- Ata, R. (2014). Neural Prediction of Wind Blowing Durations Based on Average Wind Speeds for Akhisar Location, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 20(5), 162-165.
- Bilgili, M., Şahin, B., Kahraman, A. (2004). Wind energy potential in Antakya and İskenderun regions, Turkey, *Renewable Energy*, 29(10), 1733-1745.
- Chang, T.P. (2011). Wind energy assessment incorporating particle swarm optimization method, *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1630-1637.

- Gökçek, M., Bayülken, A., Bekdemir, Ş. (2007). Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey, *Renewable Energy*, 32(10), 1739-1752.
- Karlı, V., Geçit, C. (2003). An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey, *Renewable Energy*, 28(5), 823-830.
- Korukçu, M.Ö. (2017). Investigation of longterm wind characteristics and wind energy potential in Bandırma, Turkey, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4), 337-342.
- Özgür, M.A., Arslan, O., Köse, R., Peker, K.O. (2009). Statistical Evaluation of Wind Characteristics in Kutahya, Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(16), 1450-1463.
- Öztopal, A., Şahin, A.D., Akgün, N., Şen, Z. (2000). On the regional wind energy potential of Turkey, *Energy*, 25(2), 189-200.
- Şahin, A.D. (2004). Progress and recent trends in wind energy, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(5), 501-543.
- Tolun, S., Menteş, S., Aslan, Z., Yükselen, M.A. (1995). The wind energy potential of Gökçeada in the northern Aegean Sea, *Renewable Energy*, 6(7), 679-685. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00089-3](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00089-3)
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057-1076.
- Ucar, A., Balo, F. (2009). Investigation of wind characteristics and assessment of wind-generation potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey, *Applied Energy*, 86(3), 333-339.
- Vardar, A., Tekin, Y., Okursoy, R. (2008). Regional Wind Energy Characteristics for Istanbul, Turkey, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 3(4), 331-339.
- Web 1, [https://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_1408\\_senvion\\_3.6m114-nes.php](https://www.thewindpower.net/turbine_en_1408_senvion_3.6m114-nes.php) (31.05.2024).
- Web 2, [https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13\\_turkiye\\_iklimi.PDF](https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.PDF) (31.05.2014).