

BODRUM'UN RÜZGAR GÜCÜ POTANSİYELİ VE BUNDAN YARARLANMA OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

The Potential of Wind Rose in Bodrum Search For The Use of It

* Doç.Dr. İbrahim GÜNER

* Yrd.Doç.Dr. Halil KOCA

ÖZET

Günümüzde Bodrum yöresinde 68 adet yel değirmeni kalıntısı bulunmaktadır. Bunların varlığı, yörede rüzgârlardan enerji kaynağı olarak yararlanmanın çok eskilere dayandığını göstermektedir. Bu değirmenler 1970'li yılların başlarına kadar buğday öğütmek için kullanılmış, daha sonraki devrede ise yörenin ülke pazarına açılmasına bağlı olarak fonksiyonlarını giderek yitirmiştir. Bodrum'da yel değirmenlerinin bulunduğu alanlar, bugün rüzgâr enerjisinin üretilmesine elverişli alanlar olarak ağırlık kazanmışlardır.

Bu çalışmada amacımız Bodrum'da rüzgâr şiddetinden üretilebilecek enerji hakkında ilk verileri ortaya koymaktır. Çalışmanın çerçevesi içinde Bodrum'da çeşitli yönlerden esen rüzgârların günlük ve aylık rasat verilerini analiz ederek rüzgâra ilişkin özellikler ortaya çıkarılacaktır. Bunun için, önce yöreyi etkileyen sirkülasyon koşulları ve basıncın yıl içindeki değişimleri ile rölöfe özelliklerinin rüzgârlar üzerindeki etkileri araştırılarak rüzgârın esiş yönü, hızı ve frekansları üzerinde durulacak, daha sonra rüzgâr hızları esas alınarak enerji üretiminde rüzgârın şiddet potansiyelinin saptanması yoluna gidilecektir.

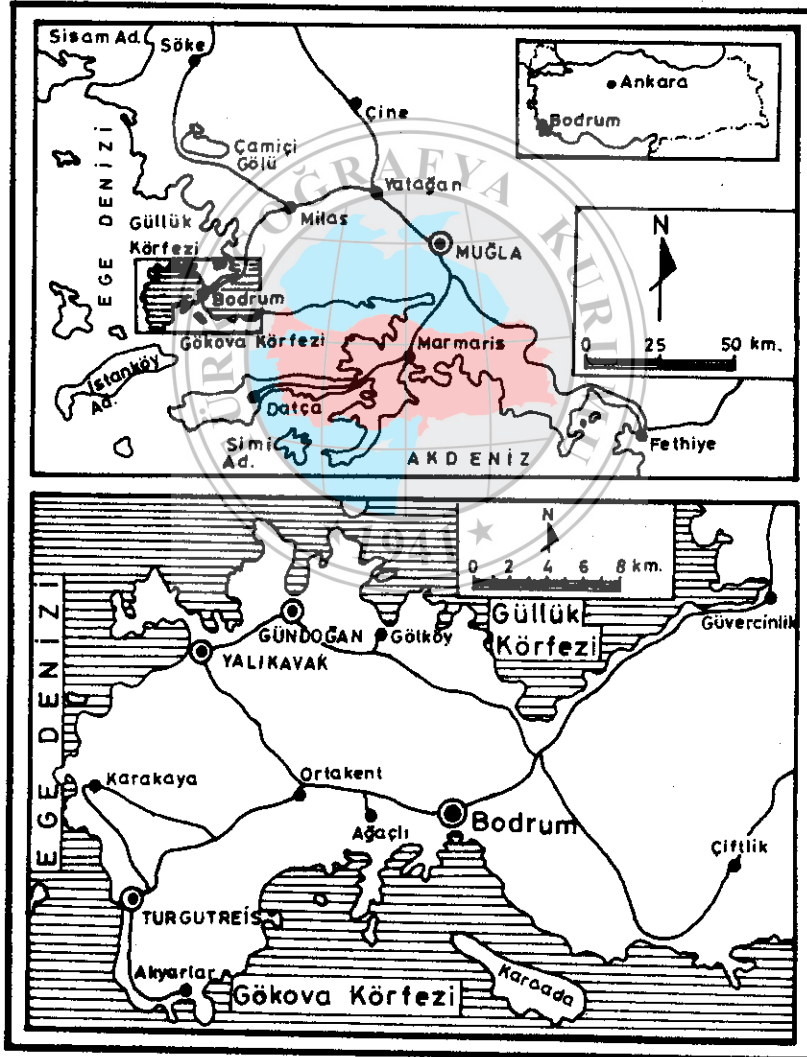
ABSTRACT

There are ruins of 68 windmill's in Bodrum at present. Their existence shows that the history of the use of wind for energy is not a new phenomenon. These mills were used for grinding grains up to the beginning of 1970's, later, they lost their functions with the opening of the area to national market. The sites of windmills are suitable ones for producing energy from wind in Bodrum. The daily and month of wind in various parts of Bodrum will be determined. The direction of the wind, its speed and frequency will be founded on, circulatory conditions effecting the area, changes in pressure within the year and the effects of characteristics of the relief will be searched, and later taking the speed of wind on the base, the pressure potentiality of the wind for producing energy will be determined.

* Atatürk Üniversitesi, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi Anabilim Dalı, Erzurum

Giriş

Günümüzde ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkelerde olduğu gibi, Türkiye'de de enerji kullanımına olan ihtiyaç giderek artmıştır. Bu da, ülkemizdeki mevcut enerji kaynaklarından daha yoğun bir şekilde yararlanmayı zorunlu kılmıştır. Enerji konusunda kaynak arayışı daha çok hidroelektrik santrallerinde büyük gelişmeye neden olmuş, son yıllarda termik ve nükleer santraller gündeme gelmiştir. Ancak bu kaynaklardan hidrolik ve fosil kaynakların halen bilinen rezervleri ülkemizin gele-



Şekil 1. Bodrum yarımadasının lokasyon haritası
Figure 1. Location map of the Bodrum peninsula

cekteki enerji ihtiyacının karşılanması açısından sınırlı bir potansiyele sahiptir. Öte yandan, linyitle çalışan termik santrallerin çevre kirliliği yaratması ve insan sağlığını tehdit etmesi önemli bir sorundur. Sınırsız bir kaynak olarak kabul edilen atom enerjisine dayalı nükleer santrallerin de aynı riski taşıdığı bilinmektedir. Bu nedenle, ülkemizde enerji sorununun çözümü için, bir yandan halen yararlanılmakta olan kaynakların geliştirilmesi çalışmalarına hız verilirken, bir yandan da çevre kirliliği yaratmayan ve insan sağlığını tehdit etmeyen temiz enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi konusu gündeme gelmiştir.

Türkiye, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi açısından zengin bir ülkedir. Bu konuda yapılan bir araştırmada, ülkemizin rüzgâr enerjisi potansiyelinin 35 milyar kilowat saat civarında olduğu ileri sürülmüştür (Şener, 1986). Gerçekte, Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarımız, rüzgâr gücü potansiyeli bakımından, dünya üzerindeki %30'luk alana girmektedir. Ülkemizde rüzgâr şiddetinden enerji üretilebilecek lokal alanlar EİE tarafından belirlenmiş, fakat bu alanlarda henüz ayrıntılı araştırma ve uygulamalar yapılmamıştır. Belirlenen bu potansiyel alanlardan biri de, Güney Ege kıyılarında yer alan Bodrum'dur (Şekil 1).

Yerinde yaptığımız tespitlere göre, günümüzde Bodrum yarımadasında 68 adet yel değirmeni kalıntısı bulunmaktadır. Bu da, yörede rüzgârlardan mekanik güç kaynağı olarak yararlanmanın çok eski tarihlerden beri süregeldiğini göstermektedir. 1970'li yılların başlarından itibaren yörede kapalı ekonomi devrinin sona ermesiyle fonksiyonlarını giderek yitirmiş olan bu değirmenlerin bulunduğu alanlar, bugün rüzgâr gücünden elektrik üretilmesine elverişli alanlar olarak ağırlık kazanmışlardır. Bu çalışmada amacımız Bodrum yöresinde rüzgâr şiddetinden üretilebilecek enerji hakkında temel verileri ortaya koymaktır.

1. Yarımada'nın Jeomorfolojik Özellikleri ve Bunun Rüzgâr Gücü Potansiyeline Etkileri

Bir bölgede "rüzgâr enerji sistemlerinin" kurulmasında, o bölgenin rüzgâr şartları yanında, jeomorfolojik özelliklerinin de büyük etkisi vardır. Çünkü bu sistemlerin inşa edileceği konum, hakim rüzgâr yönünün duldasında değil, cephesinde, yani rüzgârlı konumlarda olmalıdır (Doğanay, 1998, 442). Öte yandan, rüzgâr gücü veya hızı yer seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak, en azından bizi pratik olarak ilgilendiren ilk 150 m. içinde artış göstermektedir (Uyar, 1986, 311-321). Enerji üretimine uygun rüzgârlar yeryüzünden ortalama 10-100 m. yükseklikte esmektedir. Böylece bu yükseklik basamağı içerisinde kalan ve rüzgârlara açık olan alanlar enerji üretimi için en elverişli konumlar olarak önem kazanmaktadır.

Çeşitli yeryüzü şekillerinin iç içe geçtiği bir yöre olan Bodrum yarımadasında, orta yükseklikteki tepelik alanlar geniş yer kaplamaktadır. Gökova körfezine egemen konumda yükselen Yaran dağı, batıya doğru alçalarak Bodrum yarımada-

dasına kadar uzanır. Yükseklikleri 400-600 m.'ler arasında değişen tepelerin yaygınlık kazandığı bu engebeli alan, yarımada'nın en dar yerinde, Torba koyundan Yalıçiftlik koyuna kadar uzanan bir depresyon alanında kesintiye uğrar. Daha batıda yeniden yükselmeye başlayan arazi, yarımada'nın merkezi kesimindeki Oyuklu dağında 690 m. yüksekliğe erişir. Yarımada'nın batı yarısında ise yüzey şekilleri, alçak tepeler ve basık sırtlar ile bunlar arasında yer alan küçük kıyı ovalarından oluşmaktadır (Şekil 2).

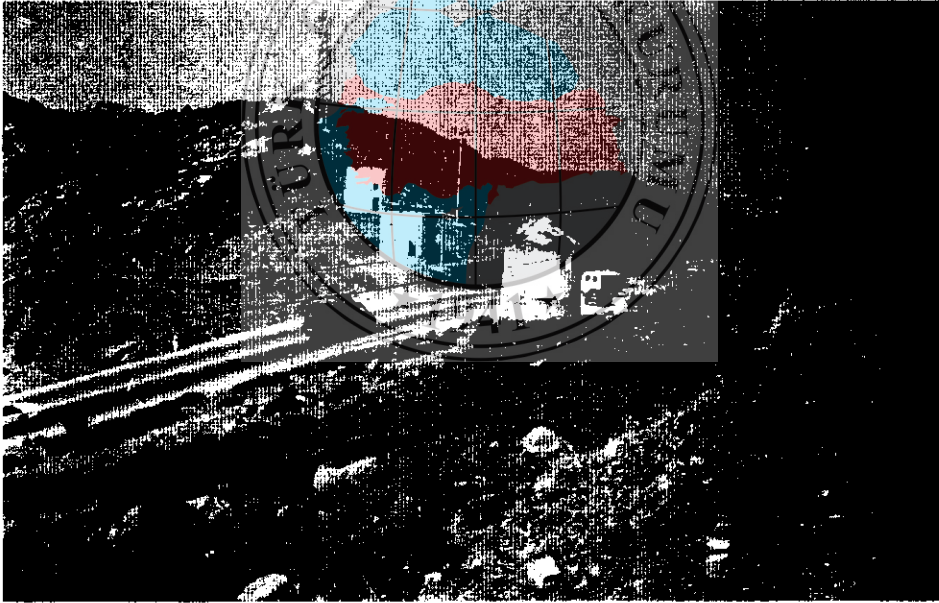
Bodrum yarımadasının bu topoğrafik yapısı ve Güllük ile Gökova körfezleri arasında uzanmakta oluşu, yörenin rüzgâr gücü potansiyelini artıran temel faktörler arasındadır. Gerçekten de, bu konum özelliği ve topografya koşulları, yarımada'nın, yörede her mevsimde egemen olan kuzey sektörlü rüzgârlara ve kışın sıkça en güney sektörlü rüzgârlara açık olmasını sağlamıştır. Rüzgâr hızının artmasına yol açan çok sayıda boyun ve sırtın varlığı ise yarımada'da rüzgârdan enerji üretimi için çok uygun bir doğal ortam hazırlamıştır. Bugün yel değirmeni kalıntılarının bulunduğu bu boğazların başlıcaları Karabağ, Asarlık, Kargı, Gürece, Peksimet ve Yalıkavak boğazlarıdır (Fotoğraf 1). Ortalama yükseltisi 100-150 m.'yi geçmeyen sırtlar arasında ise Türkbükü, Gökçebel, Ortakent ve Gümbet değirmenlerinin bulunduğu sırtlar sayılabilir. Ancak hemen belirtmek gerekir ki bu boğaz ve sırtlardaki rüzgâr gücü potansiyelinin geçmişte buralarda yel değirmenleri kurularak değerlendirilmesinde, söz konusu konumların yerleşim alanlarına yakın olması baş rolü oynamıştır. Oysa yörede, rüzgâr gücünden enerji elde etmenin mümkün olduğu daha pek çok boğaz ve sırt bulunmaktadır.

2. Bodrum Çevresinde Basınç ve Rüzgâr Özellikleri

Araştırma sahasında rüzgâr yön ve şiddetinde meydana gelen değişimleri yöre üzerinde egemen olan sirkülasyon koşulları düzenler. Ayrıca iklim olaylarını yöneten hava akımları yeryüzünde sürtünme, rölyef şekillerinin özellikleri ve doğrultusu nedeniyle termik ve dinamik modifikasyonlara uğramaktadır.

Coğrafi konumunun bir sonucu olarak, Bodrum yöresi bütün yıl boyunca belirli bir hava kütlelerinin etkisi altında kalmaz. Yöre üzerindeki hava akımları kış aylarında Karadeniz ve Doğu Akdeniz havzasında gelişen cepheler tarafından kontrol edilir (Koçman, 1993, 12). Genel olarak ekim ayından itibaren Orta ve Doğu Avrupa üzerinde bir termik yüksek basınç merkezi yerleşir. Kış şartlarının yavaş yavaş etkili olmaya başladığı bu dönemden itibaren, aşırı soğumaya bağlı olarak Anadolu içlerinde de benzer basınç şartları etkili olur. Gerek Doğu Avrupa ve gerekse Anadolu içlerine yerleşen bu termik yüksek basınç alanlarından derinleşip genişleyen ve çevreye doğru yayılan kontinental polar (cP) hava kütleleri, kuzeyli ve kuzeydoğulu hava akımları şeklinde, Bodrum yarımadası dahil, bütün Ege Bölgesi'ni kaplar. Bu atmosfer koşullarında, bölgede basınç değerleri yükselmeye başlar (Tablo 1). Eylül'den itibaren hızla yükselmeye başlayan basınç kasım ayında 1013.5 mb ile en yüksek değerine ulaştıktan sonra

tekrar sürekli bir şekilde azalır. Öte yandan, güneyde subtropikal yüksek basınçtan Akdeniz'e yönelen hava akımları Batı Anadolu'ya kadar uzanır ve aksiyon merkezlerinin bu durumuna bağlı olarak Bodrum yöresi cephe sistemlerinin etkisi altında kalır. Gelişen frontal faaliyetler nedeniyle basınç değerleri sık sık yükselme ve düşmeye uğrar. Cephelerin oluşumuna bağlı olarak, depresyonların geçişi sırasında düşük basınç değerleri saptanmaktadır. Bununla birlikte yüksek basınç koşullarına ilişkin durumların daha etkili olması, ekim-mart arasındaki dönemde basınç değerlerinin yıllık ortalamadan daha yüksek olmasına neden olur. Ekstrem basınç değerlerinin kış aylarındaki durumu ve değişme genliği basınç koşullarının bu mevsimdeki kararsızlığı hakkında daha açık bir fikir verir. Nitekim ekstrem basınçlar büyük farklılıklar göstererek en yüksek genlik değerlerine bu dönem içinde ulaşmaktadır. Genlik değeri aralık-ocak ve şubat aylarında 44 mb'dan fazladır.



Fotoğraf 1. Yalıkavak değirmenleri
Photograph 1. Yalıkavak windmills

Kış mevsimi süresince etkisini sürdüren frontal faaliyetler ve basınç koşullarındaki kararsızlık ilkbahar aylarında hızla azalmaya başlar. Mayıs ayından itibaren bölge üzerinde yaz basınç koşullarının yerleşmeye başladığı görülür. İlkbahar sonu ve yaz başlangıcından itibaren Orta ve Doğu Avrupa'nın ısınmaya başlaması ve Batı Rüzgârları sistemine bağlı yüksek basınç merkezlerinin kuzeye çekilmesiyle birlikte cephe oluşumları daha kuzeye doğru (500-700 N) yer

Tablo 1. Bodrum'da (53 yıllık ortalama) ortalama ve ekstrem basınç değerlerinin aylara dağılışı (mb).

Table 1. Distribution of average (average of 53 years) and extreme pressure values in Bodrum according to months.

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ortalama	1012.3	1011.8	1011.0	1009.8	1009.3	1007.5	1004.5	1004.9	1009.0	1012.2	1013.5	1013.0	1009.9
En.Yük	1030.6	1028.6	1027.7	1022.0	1020.5	1017.0	1012.2	1014.3	1020.9	1022.0	1028.1	1028.6	1030.6
En.Düş.	986.0	984.0	984.0	984.1	995.4	997.1	995.4	994.7	997.0	997.7	991.7	980.6	980.6
Gentlik	44.6	44.6	43.7	37.9	25.1	19.9	16.8	19.6	23.9	24.3	36.4	48.0	50.0

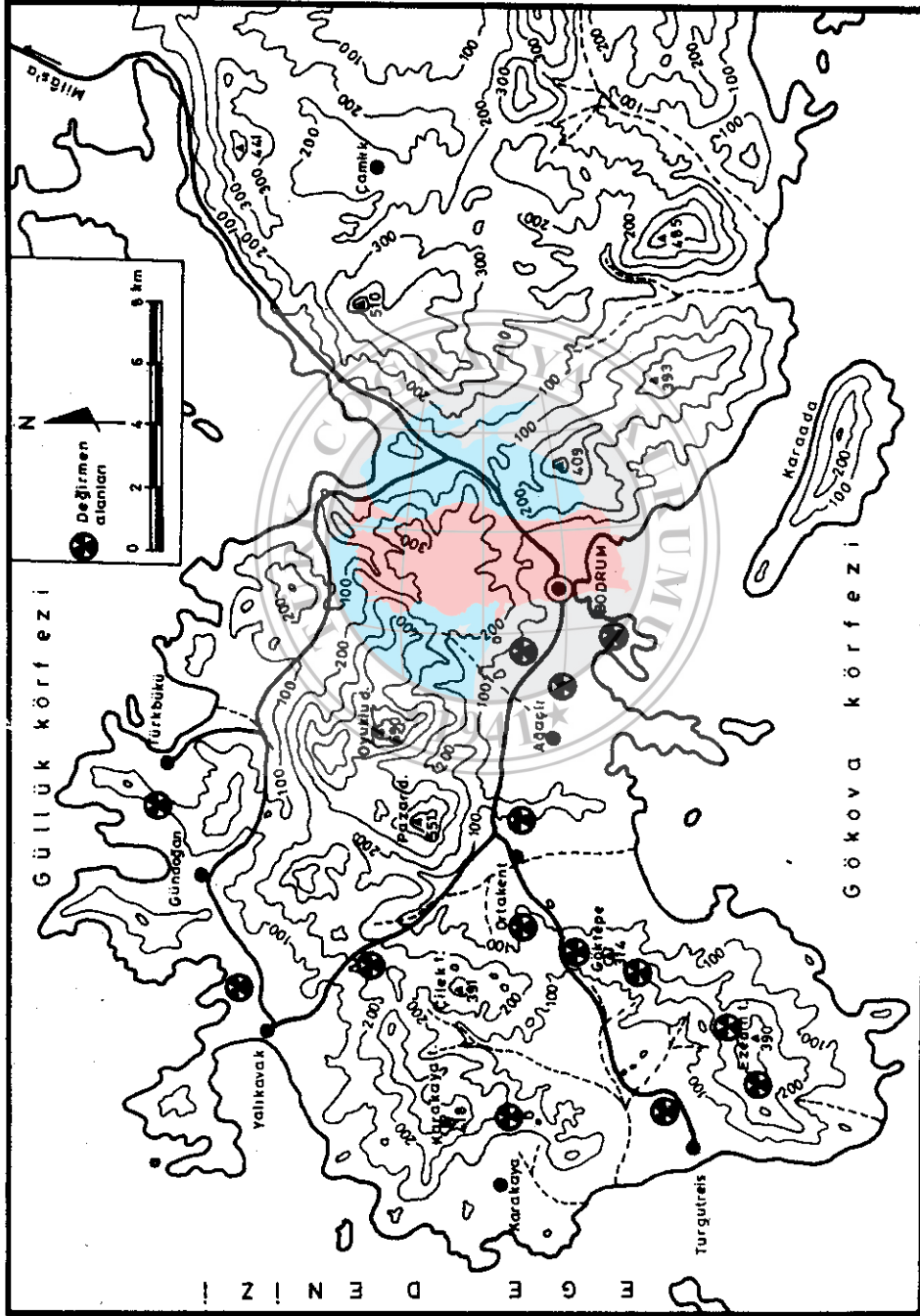
Kaynak : DMİGM Kayıtlarından.

değiştirir. Bu dönemde Bodrum üzerinde cephe oluşum koşulları son derece azdır. Yaz mevsiminde Basra körfezi çevresinde Güney Asya alçak basıncı git-tikçe derinleşip genişler. Buna bağlı olarak, Anadolu ve Akdeniz üzerinde ege-men olan Alçak basınç kuşağına doğru bölge üzerinden geçen kuzeyli bir sirkü-lasyon etkili olmaya başlar. Yaz aylarında kuzeyli hava akımları Bodrum'da egemen rüzgârları oluşturur. Sıcaklık derecesinin yükselmesi güneye doğru yö-nelen hava kütlelerinin ısınmasına ve dolayısıyla basıncının düşmesine yol açar. Ayrıca, Doğu Akdeniz havzasında sahasını çok genişleten siklona ulaşan cT hava kütlelerinin güney ve güneydoğu hava akımları şeklinde zaman zaman bölgeyi işgal etmesi de basıncın düşmesine etki eder. Öte yandan, bölge üze-rindeki kararlı sirkülasyon koşulları nedeniyle yaz aylarında ekstrem basınçlar arasındaki farklar da oldukça düşük değerler gösterir. Kuşkusuz bu koşullarda, yörede etkili olan rüzgârların hızı ve frekansında azalmalar görülür.

3. Bodrum'da Rüzgârlar ve Sektörel Etkinliği

Bodrum'da esen rüzgârların sektörler göre dağılımı incelendiğinde her mevsimde kuzey sektörünün (N, NW ve NE) egemen olduğu görülür (Tablo 2). Bu yönden esen rüzgârların yıllık frekansı %50.3'ü bulur. Sözü geçen kuzey rüzgârları içinde de hemen her zaman N (yıldız) rüzgârları egemenlik gösterir (bütün esişlerin %23.9'u). Onu, %15.4'lük esme sıklığı ile NE (poyraz) ve %11'lik esme sıklığı ile de NW (karayel) rüzgârları izler. Güney sektörü (S, SW ve SE) %34.7 frekansla ikinci egemen sektörü meydana getirir. Yön olarak SE (keşişleme), %16.1'lik frekansla en yüksek orana sahiptir. S (kıble) rüzgârları %11.9, SW (Iodos) rüzgârları da %6.7 sıklıkla esmektedir. Doğu (%7.7) ve batı (%7.2) sektörlerinden esen rüzgârların frekansı ise kuzey ve güney sektörlü rüzgârlara göre oldukça düşük kalmaktadır (Şekil 3).

Bodrum'da rüzgârların aylara ve mevsimlere göre esiş frekanslarında de-ğiş-meler mevcuttur. Ancak yıllık duruma göre önemli oranda farklar görülmemek-tedir. Kış mevsiminde egemen sektör kuzey sektörü olup bu sektörden esen rüzgârların oranı %39.5'tir. Kış mevsiminde güney sektörünün güçlenmesi fron-



Şekil 2. Bodrum yarımadasının topoğrafya haritası.
Figure 2. Topographic map of the Bodrum peninsula.

tal etkinliklere bağlı olup bölgeyi geçen depresyonlarla ilgilidir. Bu sektörde yön olarak SE yönünden esen rüzgârlar etkindir (%23.0). Kuzey sektöründe ise yine N yönü egemen olup, frekansı % 23.6'ya ulaşmaktadır. Doğu sektörü rüzgârlarında ise %10.4 oranıyla yıl içinde en yüksek frekans değerine bu mevsimde ulaşıldığı dikkati çeker.

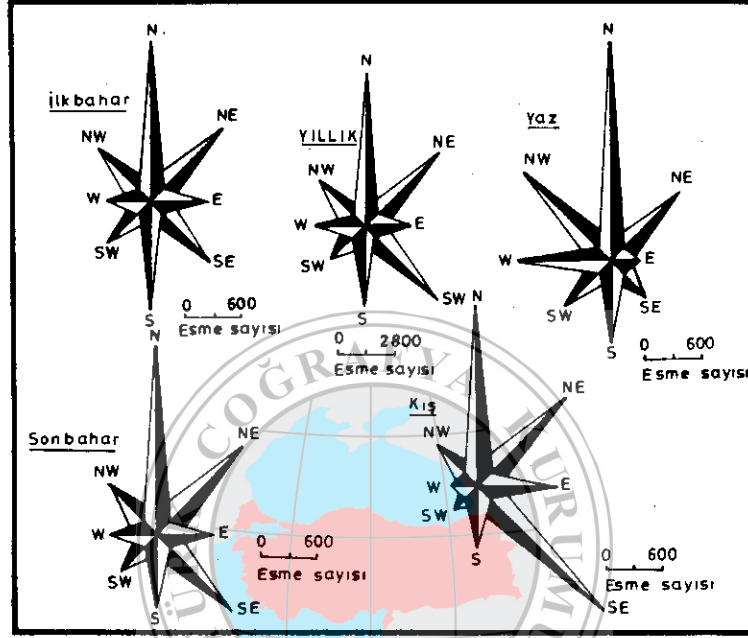
İlkbahar mevsiminde kuzey sektöründen esen rüzgârların oranı %44.8'dir. Yön olarak N, %20.6 frekansla en yüksek orana sahiptir. Bu mevsimde %40.6 frekansla güney sektörü ikinci etkin sektör olmaktadır. Doğu sektöründen esen rüzgârların frekansları da %8.0 olup güney sektörünü izlemektedir.

Yaz döneminde sektörel etkinliklerde ve sektörlerin esiş frekanslarında oran-sal değişimler dikkati çekmektedir. Şöyle ki, kuzey sektörü yine etkindir ve bu sektörden esen rüzgârların frekansları %57.4'tür. Yıl içinde kuzey sektörünün ulaştığı en yüksek frekans temmuz ayında görülür (%65.4). N yönünden esen rüzgârların frekansları da %35.7'ye ulaşmaktadır. Yaz mevsiminde güney sektörü rüzgârları %26.5 oranıyla ikinci etkin sektörü oluşturmaktadır. Bu mevsimde batıdan esen rüzgârların frekanslarında bir artma meydana gelmektedir. Çünkü bu mevsimde kuzey rüzgârları, deniz ve karaların farklı ısınmasından dolayı, topografyanın da etkisiyle doğrultusunu ve düzenini kaybederek, bir çeşit kara-deniz meltemi halini alır. Bölgede bu rüzgârlar, yazın çoğu günler durgun bir sabah vaktinden sonra esmeye başlayarak, öğleden sonra kuvvetlenmekte, akşamları güneşin batmasıyla hafifleyip kesilmekte ve estiği zaman serinletici bir etki yapmaktadır.

Sonbahar mevsiminde etkin olan kuzey sektörü, frekansı en yüksek olan rüzgârlara sahiptir. Bu mevsimde kuzey sektöründen esen rüzgârların oranı

Tablo 2: Bodrum'da(38 yıllık ortalama) rüzgâr yönleri, esme sayıları ve frekansları
Table 2: Directions of wind and blowing frequency in Bodrum (average of 38 years.)

Esiş Yönü	KIŞ		İLKBAHAR		YAZ		SONBAHAR		YILLIK	
	Esme Say.	Frek. (%)	Esme Say.	Frek. (%)	Esme Say.	Frek. (%)	Esme Say.	Frek. (%)	Esme Say.	Frek. (%)
N	1964	23.6	1655	20.6	2274	28.1	1809	23.3	7702	23.9
NE	1347	16.2	1201	14.9	1065	13.2	1354	17.5	4967	15.4
E	867	10.4	642	8.0	305	3.8	676	8.7	2490	7.7
SE	1907	23.0	1556	19.3	557	6.9	1156	14.9	5176	16.1
S	1003	12.1	1098	13.7	933	11.5	802	10.3	3836	11.9
SW	368	4.4	613	7.6	657	8.1	531	6.8	2169	6.7
W	231	2.8	530	6.6	1001	12.4	546	7.0	2308	7.2
NW	618	7.4	748	9.3	1304	16.1	878	11.3	3548	11.0
Toplam	8305	100.0	8043	100.0	8096	100.0	7752	100.0	32196	100.0



Şekil 3. Bodrum'un rüzgâr frekans gülleri
Figure 3. Wind frequents Rosen in Bodrum

%51.2 olup bunun %23.3'ü N yönündedir. Güney sektörü rüzgârları %32 oranında olup ikinci etkin sektörü oluşturmaktadır. Ekim ayından itibaren güney sektörünün giderek güçlendiği dikkati çekmektedir. Bu durum söz konusu aydan itibaren frontal etkinliklerin artmasına bağlı olup bölgeyi geçen depresyonlarla ilgilidir.

Sonuç olarak görülüyor ki, Bodrum'da yıl boyunca kuzey sektörüne bağlı rüzgârlar yüksek oranda esmektedir. Bu durum bölge üzerinde egemen olan sirkülasyon modelinden kaynaklanmakta ve bölge kuzeyde yer alan hakim aksiyon merkezinin etkisi altında bulunmaktadır. Sonbahar, kış ve ilkbahar aylarında, kuzey sektörü düzeyinde olmasa da, güney sektörü de etkindir. Bu durum bölge üzerindeki sirkülasyon modelinden kaynaklanmakta ve bu mevsimlerde atmosfer aktivitesinin yüksek olması sektörel değişkenliğe neden olmaktadır.

Ancak Bodrum'da rüzgârların sık sık sektörel değişkenlik göstermemesi rüzgâr enerjisi üretimi açısından olumlu bir durumdur. Diğer bir ifadeyle, Bodrum rüzgârlarının yıl içinde kuzey ve güney yönlerine daha çok bağımlı kalması teknik yönden rüzgâr enerjisi üretiminin daha ekonomik olmasını sağlar.

4. Bodrum'da Egemen Rüzgâr Yönleri

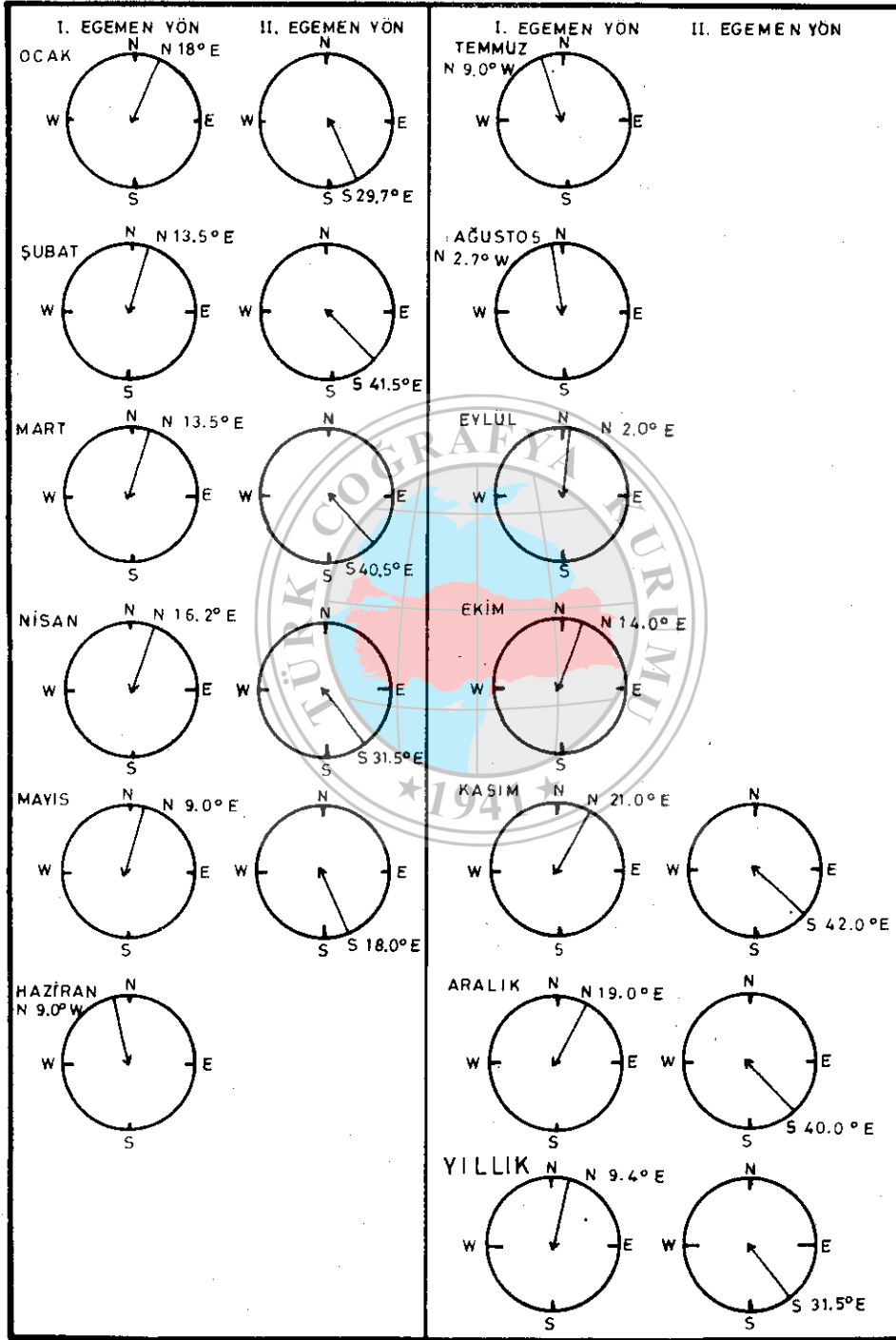
Bodrum'da egemen rüzgârların yönünü ve sektörel etkinliğini daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koymak için Rubinstein yöntemi'nden yararlanıldı. Bu yöntemle yıllık ve aylık egemen rüzgâr yönleri bulunmuş ve yüzde olarak frekansları hesap edilmiştir (Tablo 3, Şekil 4).

Tabloda da açıkça görüldüğü üzere, Bodrum'da yıl boyunca ve aylar içinde birinci egemen yön kuzey sektörüne bağlı olup esiş doğrultusu N 9.00 W (temmuz) ile N 21.00 E (kasım) açısız değerler arasındadır. Yıl içinde yedi ayda (ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, kasım, aralık) ikinci egemen yönden esen rüzgârlar vardır. Bu rüzgârlar S 18.00 E (mayıs) ve S 40.00 E (kasım) yönünden esmekte ve frekansları % 35.3 (kasım) ile % 43.2 (ocak) arasında değişmektedir. Yıl içinde ve 12 ay boyunca kuzey sektörüne bağlı olan birinci egemen yönün frekansı ise en az %34.6 (eylül) ile en fazla %62.3 (temmuz) olarak hesaplanmıştır. Kasım-mayıs devresinde ikinci egemen yönden esen rüzgârların varlığı bu devrede sirkülasyon koşullarındaki kararsızlığı ifade eder. Birinci egemen yönün yaz aylarında yüksek frekansta etkin olması ise bu devrede kararlı sirkülasyon koşullarının varlığını ortaya koyar.

Tablo 3 : Rubinstein yöntemine göre Bodrum'da egemen rüzgâr yönleri ve frekansları (% olarak, 38 yıllık ortalama).

Table 3: Effective wind directions and frequency in Bodrum according to Rubinstein method (in percentage %, average of 38 years).

Aylar	I.Egemen Yön	% Frekans	II.Egemen Yön	% Frekans
Ocak	N 18.0 ^o E	49.1	S 29.7 ^o E	43.2
Şubat	N 13.5 ^o E	42.7	S 41.5 ^o E	41.6
Mart	N 13.5 ^o E	47.8	S 40.5 ^o E	37.3
Nisan	N 16.2 ^o E	41.3	S 31.5 ^o E	37.9
Mayıs	N 9.0 ^o E	36.6	S 18.0 ^o E	36.5
Haziran	N 9.9 ^o W	49.2	-	-
Temmuz	N 9.0 ^o W	62.3	-	-
Ağustos	N 2.7 ^o W	51.8	-	-
Eylül	N 2.0 ^o E	34.6	-	-
Ekim	N 14.0 ^o E	52.6	-	-
Kasım	N 21.0 ^o E	47.9	S 42.0 ^o E	35.3
Aralık	N 19.0 ^o E	45.1	S 40.0 ^o E	38.4
Yıllık	N 9.4 ^o E	43.6	S 31.5 ^o E	31.2



Şekil 4. Bodrum'da hakim rüzgâr yönleri
Figure 4. Directions of wind effect in Bodrum

5. Bodrum'da Rüzgâr Hızı

5.1. Günlük Ortalama Rüzgâr Hızları ve Aylık Değişimi

Bodrum'daki rüzgâr hızlarını enerji üretimine uygunluğu açısından değerlendirirken, rüzgârdan enerji üretiminde 3.6 m/sn.lik hız değeri esas alınacak (Twidell ve Weir, 1986) ve yorumlar buna göre yapılacaktır. Değerlendirmenin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, 1997 yılının günlük rüzgâr hızı ortalamaları yanında, sabah saatlerini temsil etmesi bakımından 07, öğle dönemi için 14 ve akşam saatleri için 21 rasat verileri incelenecektir. 07, 14 ve 21'i seçmemizdeki en büyük etken ise uluslararası uygulanan rasat verileri olmasıdır.

Bodrum'da kış mevsiminde dikkati çeken en önemli özellik, yüksek rüzgâr hızlarının varlığıdır. Bunda rol oynayan temel etken frontal faaliyetlerin varlığıdır. Nitekim aralık, ocak ve şubat ayları frontal faaliyetlerin etkin olduğu bir dönemdir. Dolayısıyla artan basınç gradyanının etkisiyle rüzgâr hızları artmaktadır. Siklon faaliyetlerinin etkisiyle mevsim içinde yüksek rüzgâr hızlarının görüldüğü dönemler ayrılır.

Aralık ayında 24 saatin ortalama günlük hız değerleri incelendiğinde 20 günün ortalama rüzgâr hızı 3.6 m/sn limitinin biraz altında görülmektedir. Diğer günlerde rüzgâr hızı bu limit üstünde değerler göstermektedir. Saat 14 rasatlarına ait rüzgâr hızının ay boyunca 17 gün 3.6 m/sn kriterinin çok üstünde geliştiği gözlenmektedir. Dolayısıyla, atmosfer aktivitesinin yüksek ve frontal etkinliğinin uygun olduğu bu ayda Bodrum'da rüzgâr şiddetli esmektedir. Ocak ayında, ortalama rüzgâr hızının 3.6 m/sn'nin altında olduğu gün sayısı 22'dir. Saat 14 rasatlarının ortalaması da 21 günde bu ortalamanın altındadır. Bu ayda rüzgâr hızları bakımından dikkati çeken en önemli özellik, yüksek rüzgâr hızlarının varlığı yanında, zaman zaman düşük rüzgâr hızlarının görüldüğü dönemlerin belirlenmesidir. Şubat ayında ise günlük ortalama 11 gün 3.6 m/sn'nin altına inmektedir. Frontal etkinliklere bağlı olarak, bu ayda da rüzgâr hızında ani artış ve düşüşün olduğu gözlenmektedir.

İlkbahar mevsiminde, genel olarak gün içerisinde öğle saatlerinde rüzgâr hızının azalması beklenirken, günün bu saatlerinde rüzgâr hızının yüksek olması, enerji üretiminde devamlılığı sağlamaması açısından olumlu bir durumdur.

Yaz dönemini kapsayan her üç ayda da 14 rasadı en yüksek rüzgâr hızına sahip olma özelliğini korumaktadır. Mayıs'ta günlük ortalama rüzgâr hızı ile 07 ve 21 rasat ortalamalarının gösterdiği özellik haziranda da devam etmektedir. 07 ve 21 rasatlarına ait hız değerleri her zaman bu sınırın altındadır. Bu durum mayıs ayı ortalarından itibaren başlayan sirkülasyon koşullarındaki kararlılığa bağlanabilir. Temmuzda bir değişim söz konusu olup, yaklaşık bu ayın ortalarından itibaren rüzgâr hızında bir artma meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu ayda günlük ortalamalara ait hız değerleri 14 günde 3.6 m/sn'nin üzerine çıkmaktadır. Saat 14'ün rasatları ise 23 günde bu sınırın üzerinde kalmaktadır.

Ağustosta ise temmuzun ortalarından itibaren gözlenen değişimin bütün ayı kapsadığı görülür. Nitekim, hız değerlerindeki değişimler ard arda kendini göstermekte ve sirkülasyon koşullarındaki kararlılığın giderek azaldığı, deniz ile kara arasındaki ısınma farkından dolayı hızda değişkenliğin arttığı gözlenmektedir. Bu ayda rüzgâr hızının 3.6 m/sn'nin üzerinde olduğu günlerin sayısı günlük ortalamada 10 gün kadarken, 14 rasadında 24 günü bulmaktadır.

Özellikle temmuz ve ağustos aylarındaki rüzgâr hızının artışında Etezyen rüzgârlarının etkisi büyüktür. Yaz aylarında Etezyen rüzgârlarının oluşumunda etkili olan aksiyon merkezleri, Orta Avrupa ve Balkanlar üzerinde yerleşmiş bulunan ve merkezi kısmında basıncın 1020 mb olduğu Subtropikal yüksek basınç ile Basra körfezi üzerinde gelişen alçak basınç (996 mb) alanıdır. Bu aksiyon merkezlerine bağlı olarak gelişen kuzey sektörlü rüzgârlar, Bodrum yöresinde gün içerisinde kara ve denizlerin farklı ısınmalarından dolayı etkili olan yerel özellikteki meltem rüzgârlarının frekans ve hızında önemli değişikliklere neden olur ve bu yerel rüzgârların etkisini ortadan kaldırabilir. Böylece Bodrum'da gün içerisinde yönü, hızı ve frekansı çok sık değişen atmosfer koşulları egemen olur. Yaz aylarında rüzgâr hızlarında artışa neden olan bu hava akımının ortalama olarak saatte 28-32 deniz mili hıza ulaştığı belirtilmektedir (Dönmez, 1990). İşte bu nedenle temmuz ve ağustos aylarında nispeten, mayıs ve hazirandan farklı bir durum gerçekleşir. Diyebiliriz ki, etezyen rüzgârları yaz aylarında enerji üretiminde uygun rüzgâr hızının gerçekleşmesine neden olmaktadır. Yaz aylarında dikkati çeken en önemli özellik, her üç ayda da 07 ve 21 ortalamalarındaki düşük değerlere rağmen 14 ölçümlerinin 5 m/sn civarındaki değerlere sahip olması ve hatta zaman zaman 6 m/sn'nin üzerindeki değerlere ulaşabilmesidir.

Sonbahar mevsiminde, diğer mevsimlerde olduğu gibi, 14 rasetlarına ait ortalamalar en yüksek hız olma özelliğini korumaktadır. Nitekim eylülde saat 14 rasetı 20 gün 3.6 m/sn'nin üstünde iken, günlük ortalama rüzgâr hızının bu sınırın üstünde olduğu gün sayısı ancak 4'tür. Dolayısıyla eylül ayında rüzgâr hızlarının çok değişken olduğu anlaşılmaktadır. Ekim ayında ise sadece 2 güne ait ortalama rüzgâr hızları 3.6 m/sn'nin üstünde saptanmıştır. Bu sınırın altına inen rüzgâr hızları, eylülde olduğu gibi oldukça değişkendir, fakat genellikle 2 m/sn civarındadır. Bu ayda 14 rasetına ait rüzgâr hızlarında bir zayıflamanın olduğu ve üç raset saatine ait hızların da ortalamasının çevresinde toplandığı görülüyor. Kasım ayı, geçişin yaşandığı bir aydır. Bu ayda, hiçbir günün ortalama rüzgâr hızı 3.6 m/sn'nin üstüne çıkmaz. Saat 14'e ait rüzgâr hızları ise sadece 3 gün bu sınırın üstündedir. Ancak kasım ayının son haftalarında rüzgâr hızında belirgin artışların ve düşüşlerin birbirini izlediği gözlenmektedir. Bu durum atmosfer aktivitesinde değişen koşullarla ilgilidir. Nitekim bu durum diğer kış aylarında da görülmektedir.

Sonuç olarak, Bodrum'da, günlük ortalama rüzgâr hızları ile gün içindeki 07,

14 ve 21 rasatlarına ait rüzgâr hızları çok değişkendir. Özellikle 14 rasadına ait rüzgâr hızlarında çok belirgin bir artışın olduğu görülmektedir. Buna göre, 14 rasadının ve dolayısıyla öğle döneminin enerji üretimine daha uygun olduğu; 07 ve 21 rasatlarının ise daha düşük rüzgâr hızlarına sahip olduğu için koşulları zorladığı anlaşılmaktadır. Kuşkusuz bunda, gün içindeki basınç değişmelerinin büyük etkisi vardır. Nitekim öğle saatlerinde basınç farklılığı artmakta ve bu da rüzgâr hızlarının artmasına neden olmaktadır. Bu durumda, Bodrum'da kurulacak RTG (Rüzgâr Türbin Jeneratör) sisteminde iki jeneratörün kullanılması gerekliliği daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Zira enerji üretiminde gerekli verimin elde edilebilmesi için düşük rüzgâr hızıyla çalışan bir jeneratör ile yüksek rüzgâr hızından en yüksek verimi sağlayacak ikinci bir jeneratöre ihtiyaç duyulmaktadır.

Bodrum'da 1997 yılı rasatlarına göre günlük ortalama rüzgâr hızının 3.7-17.1 m/sn arasında olduğu gün sayısı, 96 kadardır. Ancak 14 rasadına ait rüzgâr hızları esas alındığında, bu sayı 205 günü bulmaktadır. Ayrıca ileride daha ayrıntılı olarak ele alınacağı gibi, 50 ve 100 m yüksekliklerde rüzgâr hızının arttığı göz önünde tutulursa, yörede enerji üretimine elverişli gün sayısının bundan daha fazla olacağını söylemek mümkündür. Bodrum'da, aralık-mart dönemi rüzgâr hızlarının yüksek olması nedeniyle enerji üretimine elverişlidir. Buna karşın, nisan ve mayıstaki rüzgâr koşulları enerji üretimi açısından nispeten elverişsiz bir durum arz etmekte, hazirandan ekim sonuna kadar olan devrede ise rüzgâr hızlarında tekrar artış ve enerji üretimine uygun koşullar ortaya çıkmaktadır. Geçişin yaşandığı bir ay olan kasım, enerji üretimi açısından pek verimli bir ay değildir.

5.2. En Hızlı Rüzgârlar ve Yönleri

Bodrum'da esen rüzgârların hızlarına ait veriler burada rüzgâr şiddetinin pek düşük olmadığını, zaman zaman fırtına karakterinde rüzgârların estiğini ortaya koymaktadır. Nitekim 45 yıllık ortalamaya göre bölgede kuvvetli rüzgârların (10.8-17.1 m/sn) estiği gün sayısı 74.2'yi fırtınalı (17.2 m/sn'den fazla) gün sayısı ise 34.9'u bulmaktadır. Aralık-mart devresinde 4-5 gün arasında değişen aylık fırtınalı gün sayıları martta 3 güne, nisan-ekim devresinde ise 1-2 güne (temmuzda 2.6 gün) inmektedir.

Araştırma sahasında en hızlı esen rüzgârlar etkin rüzgâr sektörlerine bağlıdır. Bu sektörler daha önce belirttiğimiz gibi kuzey ve güney sektörleridir. Yön olarak kuzey sektöründe NNE (yaz aylarında NNW) yönü, güney sektöründe ise SE (mayısta SSE) yönüdür. Bodrum'da en hızlı esen rüzgârlar haziran-eylül devresinde kuzey sektörüne bağlı iken, ekim-mayıs devresinde bu rüzgârların güney sektörü içinde kalan yönlerden estikleri görülmektedir. Öte yandan, bölgede en hızlı esen rüzgârların frontal faaliyetlerinin görüldüğü aylarda, ekimden başlayarak nisana kadar süren dönemde daha yüksek şiddette estiği dikkati çekmektedir. Nitekim yaz aylarında kuzey sektörüne bağlı olan en hızlı rüzgâr-

ların maksimum hızı 28 m/sn'ye kadar çıkarken, kış aylarında güney sektörü içinde kalan yönlerden esen hızlı rüzgârların maksimum hızı 41 m/sn'ye kadar ulaşabilmektedir.

5.3 Hız Kademelerine Göre Çeşitli Yönlerden Esen Rüzgârlar ve Frekansları

Daha önce belirtildiği üzere, Bodrum'da, her mevsimde egemen sektör kuzey, egemen yön ise NNE'dur. Özellikle soğuk dönemde ikinci egemen sektör olarak güney sektörü ortaya çıkmakta olup egemen rüzgârlar SE, SSE ve S yönlü rüzgârlardır. Güney sektörünün yaz aylarındaki frekansı çok düşük olup, en fazla frekansa sahip olan S yönlü rüzgârların frekansı bile % 12'yi bulmaz.

Bodrum'da çeşitli yönlerden esen rüzgârların enerji üretimine uygunluğunu belirlemek için yaptığımız sınıflandırmada, bu konuda uygulanan hız sınıfları esas alınmıştır (Tablo 4). Tablodan anlaşıldığı gibi, 3.6 m/sn 'nin üstündeki hızla esen rüzgârların enerji üretimine uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda, bu tabloya göre, Bodrum'da rüzgâr enerjisi üretim sınıfları, yani "cut in" ve "cut out" değerleri 3.6-17.0 m/sn olarak alınacak ve değerlendirilmemiz buna göre yapılacaktır. Ancak, burada incelediğimiz hız verileri 10 m standart yükseklikteki ölçümlere ait verilerdir. Daha sonra bu verilerin 50 ve 100 m yüksekliğe uyarlanmış sonuçları da ele alınacaktır. Bu işlem, Bodrum rüzgâr potansiyelinin durumu hakkında daha açık bir fikir verecektir.

Ancak hemen belirtmek gerekir ki, yıl içinde elde edilecek toplam enerji miktarı için, rüzgârların hızı yanında, sürekliliği de büyük önem taşımaktadır. Örneğin, 12 m/sn'den daha kuvvetli fakat kısa süreli bir rüzgâr estiği zaman güç üretiminde bir artış olmaz. Bura karşılık 8 m/sn hızla esen sürekli bir rüzgâr üretim için daha uygun olarak kabul edilir. Burada önemli olan husus, lokal rüzgârların belirlenen hızlarına ve sürekliliğine uygun üretim mekanizmasının dikkatle seçilmesidir.

Ocak ayında, enerji üretimi için sınır değeri olarak kabul edilen 3.7-17.0 m/sn.lik hız değerleri içinde kalan rüzgârların (16 yön) toplam frekansa oranı, sadece %25.5'tir; rüzgârların %74.5'inin türbine etkisi yoktur; %0.4'ü ise türbinin kapatılmasına neden olacak şiddettedir. (Tablo 5, Şekil 5). Rüzgâr şiddeti bakımından dikkati çeken bir başka özellik bu ayda iki etkin sektörün ortaya çıkmasıdır. Ocak ayında rüzgâr hızı ve bunun enerji üretimi bakımından etkinliği N ve S sektörüne bağlı görünmektedir (Tablo 6). N sektörü daha egemen olup, bu sektör içinde NNE, N ve NNW yönlerinde enerji üretimine uygun rüzgârlar etkinidir. Örneğin, bu rüzgârların sırasıyla %54.1, %58.5 ve %51.0'i enerji üretimine uygun şiddeti taşıyan rüzgârlardır.

Güney sektörü içinde SSW yönü etkin olup, bu yönden esen rüzgârların %31.5'i enerji üretimine uygundur. Özellikle E olmak üzere diğer sektörlerin payı oldukça düşüktür. Örneğin, E sektörü içinde E, güney sektörü içinde SE ve

Tablo 4: Enerji üretimine yönelik rüzgâr hız sınıfları.**Table 4:** Classes of wind speed based on power production.

Rüzgâr Hızı (m/sn)	Tanımlama	Rüzgâr Türbinine Etkisi
0.8-1.8	Sakin	Yok
1.9 - 3.6	Hafif	Yok
3.7 - 5.8	Hafif	Su pompalarını çalıştırır ve ikinci derecede güç üretimi
5.9-8.5	Orta	Yararlı elektrik gücü üretimi
8.6-11.0	Sert	Yararlı güç üretimi ~ 1/3 kapasite
11.1 - 14.0	Kuvvetli	Tam kapasite
14.1 - 17.0	Çok kuvvetli	Tam kapasite
17.1 +	Ertına	Tüm makinelerin kapatılması veya durdurulması, zararlara karşı önlem.

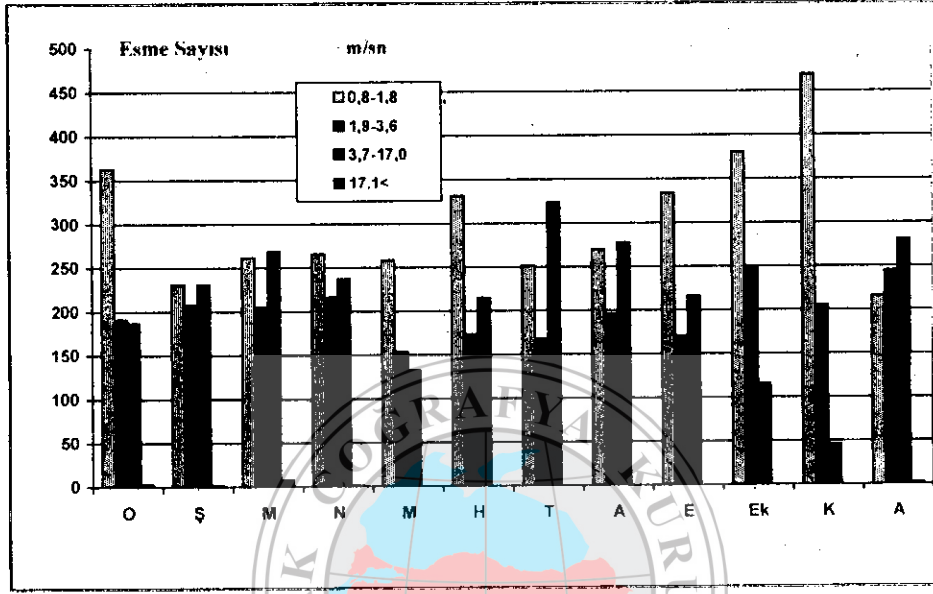
Tablo 5: Bodrum'da esen rüzgârların enerji üretimine yönelik hız sınıflarına göre dağılımı (1997)**Table 5:** Distribution of winds blowing in Bodrum according to classes of speed based on power production (1997).

Hız Sınıfları (m/sn)	O	Ş	M	N	M	İ	T	A	E	E	K	A	Yıllık
0.8-1.8	363	231	262	266	259	332	252	270	334	381	469	216	3835
1.9-3.6	191	208	205	216	153	173	168	196	170	248	205	215	2378
3.9-5.8	121	120	190	158	100	149	169	191	150	85	32	191	1658
5.9-8.5	49	70	64	54	30	50	128	72	59	14	13	68	671
8.6-11.0	6	24	7	16	2	10	16	7	7	10	1	12	118
11.1-14.0	6	13	5	4	-	6	7	8	-	5	-	6	60
14.1-17.0	5	4	3	5	-	-	4	-	-	1	-	2	24
17.1 +	3	2	8	1	-	-	-	-	-	-	-	2	16
Toplam	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760

Kaynak: DMİGM verilerinden hesaplanmıştır.

SW, W sektörü içinde W ve WSW' dan esen rüzgârlar içinde enerji üretimine uygun olanların oranı sıfırdır.

Şubat ayı içinde 3.6 m/sn'nin üzerinde enerji üretiminde uygun rüzgârların oranı %34.5'tir. Enerji üretimine en uygun hızların görüldüğü yönler ise N, NNE



Şekil 5: Bodrum'da esen rüzgârların enerji üretimine yönelik hız sınıflarına göre dağılımı (1997)

Figure 5: Distribution of winds blowing in Bodrum according to classes of speed based on power production (1997).

ve NNW'dır. Nitekim, bu ay içinde N yönünden esen rüzgârların %98.8'i, NNE'den esenlerin %31.1'i ve NNW'dan esenlerin %83.5'i enerji üretimine elverişli olup bu yönleri %55.9 ile SSW yönü izlemektedir. Ocak ayında olduğu gibi, bu ayda da E ve W sektörlerinden esen rüzgârların hızları düşüktür. Hatta ESE, ENE, SW, WSW, W ve NW'den esen rüzgârların içinde enerji üretimine uygun olanların payı sıfırdır.

Mart ayı içinde enerji üretimine uygun rüzgârların oranı %37.2'dir. Bu ayda da enerji üretimine uygun hızları taşıması bakımından N sektörü egemen durumdadır. Bu sektör içinde NNW'dan esenlerin %78.8'i, N'den esenlerin %57.7'si ve NNE'dan esenlerin %32.1'i 3.6 m/sn'nin üzerindedir. Bu yönleri S ve SSW izler. Bu rüzgârların sırasıyla %66.7 ve %92'si enerji üretimine elverişlidir. Mart ayında esen rüzgârlar içinde E ve W sektörü rüzgârları oldukça düşük frekanslara sahiptirler. Rüzgârların %1.1'i ise türbinin kapatılmasına yol açacak şiddettedir.

Nisan ayında rüzgâr hızlarında kararsızlık ve sektörel etkinlikte bir değişme göze çarpmaktadır. Enerji üretimine uygun rüzgârların toplam payı mart ayına oranla düşmüş, %33.1'e gerilemiştir. Öte yandan yine kuzey sektörü egemen

Tablo 6: Bodrum'da enerji üretimine uygun rüzgârların (3.7-17.0 m/sn arasında) yönlere göre dağılımı ve aylık durumu (1997).

Table 6: Distribution of winds available for power production in Bodrum according to blowing directions (3,7-17,0 m/sec) and monthly values (1997).

Yönler	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
N	31	69	45	56	14	30	73	55	35	17	5	20	450
NNE	79	33	50	23	22	48	53	61	42	17	-	27	455
NE	10	-	4	-	5	4	6	2	20	-	6	2	58
ENE	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
E	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1	2	6
ESE	6	1	-	2	-	-	-	-	11	2	7	-	29
SE	-	2	-	17	1	-	-	-	7	1	7	-	35
SSE	6	12	35	21	1	-	1	-	12	6	61	-	155
S	7	6	22	12	9	-	1	-	4	6	16	-	84
SSW	23	33	10	23	7	3	7	11	1	20	9	102	250
SW	-	-	1	1	1	-	-	-	35	-	-	-	46
WSW	-	-	-	-	11	-	-	-	35	-	-	-	46
W	-	-	-	-	12	8	18	20	12	1	-	1	72
WNW	1	5	6	9	4	36	36	49	2	1	3	-	152
NW	1	-	9	9	17	15	11	7	9	4	2	3	87
NNW	25	71	93	65	27	70	118	73	58	18	3	35	656
Toplam	190	233	277	238	132	215	324	278	216	115	46	283	2547

Kaynak : DMİGM Verilerinden hesaplanmıştır.

olmakla birlikte, NNE ve NNW ve NNW rüzgârlarında enerji üretimine uygun rüzgârların, oranı biraz gerilemiş, N rüzgârlarında ise bu oran artmıştır. NNE'dan esen rüzgârların %28.8'i, NNW'dan esenlerin %72.2'si, N'den esenlerin de %70.0'i enerji üretimine uygundur. Güney sektöründe yön olarak SSW öne çıkmıştır. SSW yönünden esen rüzgârların %27.1'i enerji üretimine uygun olup, bunu %23.1 ile SSE yönü izlemektedir. Esmeye sayısı SSW ve SSE yönlerinden esen rüzgârlara göre %40 oranında daha az olan SE rüzgârlarının %30.1'inin enerji üretimine elverişli olması, bu yönden esen rüzgârların hızlarının diğer güney sektörü rüzgârlarına göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu ayda batı sektöründe az da olsa bir gelişme vardır. Buna karşın E sektöründe enerji üretimine uygun rüzgârların oranı oldukça düşüktür. Bütün bu açıklamalardan da nisan ayında rüzgâr şiddetinde bir azalmanın başladığı görülmektedir.

Mayıs ayında çeşitli yönlerden esen rüzgârların hız sınıflarında bir değişme

olduğu görülür. Nitekim bu ayda esen rüzgârların sadece %17.7'si 3.6 m/sn'nin üzerindedir. Mayıs ayında kuzey sektörü önemini korumakla birlikte bu sektör içinde enerji üretimine uygun hızda esen rüzgârların payı oldukça düşmüştür. Kuzey sektörü içinde NNW %47.4'lük bir oranla enerji üretimine uygun hız sınıfları bakımından ilk sırada yer almakta, bu yönü tedrici bir azalmayla N (%45.2'si) ve NNE (%20.6'sı) yönleri izlemektedir. Mayıs ayında, NW rüzgârları önem kazanmış olup, esme sayısı 20 olan bu rüzgârların %85'i enerji üretimine uygun hızları taşımaktadır. Bir diğer değişiklik ise güney sektörlü rüzgârların önemini kaybetmiş, buna karşılık batı sektörlü rüzgârların önem kazanmış olmasıdır. Bu sektör içinde W yönlü rüzgârlar (esme sayısı 15) %80'lik, WSW yönlü rüzgârlar (esme sayısı 15) ise %73.3'lük bir oranla enerji üretimine uygun hızları taşımaktadır. E sektörü ise diğer aylarda olduğu gibi oldukça düşük rüzgâr hızlarına sahiptir.

Genel olarak haziran ayında esen rüzgârların %29.9'u enerji üretimine elverişlidir. Bu ay içinde enerji üretimine en uygun hızları taşıması bakımından ilk sırada yer alan yön kuzey sektörüne ait NNW yönüdür (%73.7). Bu yönü %50.8 ile N, %32.9 ile NNE izler. W sektörü de enerji üretimine uygun rüzgâr hızları bakımından oldukça yüksek paya sahiptir. Nitekim WNW yönlü rüzgârların esme sayısı 52'yi bulmakta ve bu rüzgârların %69.2'si enerji üretimine uygun hızları taşımaktadır. Çünkü, bu aydan itibaren kuzey sektörlü rüzgârlar topografya koşulları, kara ve denizlerin farklı ısınması gibi nedenlerle yön ve doğrultusunu kaybederek bir çeşit deniz-kara meltemi halini almaktadır. Bu durum temmuz ve ağustos aylarında da devam etmektedir.

Temmuz ayı içinde enerji üretimine uygun hız sınırlarında esen rüzgârların paylarının toplam oranı %43.5'tir. Bu ayda da enerji üretimine uygun hızlar bakımından kuzey sektörüne ait yönler egemendir. Bu yönden esen rüzgârlar içinde NNW'dan esen rüzgârların %84.5'i enerji üretimine uygun olup, bunu %79.3 ile N ve %37.9 ile, NNE yönleri izlemektedir. Dikkati çeken diğer bir husus da, batı sektörüne ait yönlerin hızlarında bir artışın meydana gelmiş olmasıdır. Nitekim enerji üretimine uygun hızda esen rüzgârların oranları W yönlü rüzgârlarda %78.4'ü, WNW yönlü rüzgârlarda ise %70.1'i bulmaktadır. Buna karşılık, güney sektörüne ait yönlerden esen rüzgârlar içinde enerji üretimine uygun hızların payı yok denecek kadar az olup, doğu sektörüne ait rüzgârlarda bu pay sıfırdır.

Ağustos ayında esen rüzgârların %37.4'ü 3.6 m/sn'nin üzerindedir. Ağustos-ta da kuzey sektörü egemen durumdadır. Bu yönden esen rüzgârların %57.2'si enerji üretimine uygundur. Kuzey sektöründe %78.5 ile NNW yönünün ilk sırada yer aldığı ve bunu %73.3 ile N ve %41.2 ile NNE'nun izlediği görülür. Batı sektörüne ait rüzgârlardan WNW'nin %69.0'u, W'nin ise %60.1'i 3.6 m/sn'nin üzerindeki rüzgârlardan oluşmaktadır. Bu ayda da doğu ve güney sektörlerinden esen rüzgârlar içinde enerji üretimine uygun rüzgârların payı sıfır noktasına yakındır.

Eylül ayında esen rüzgârların %30.0'u enerji üretimine uygun hızları taşımaktadır. Bu ayda da kuzey sektörü, enerji üretimine uygun hızlar bakımından egemendir. Fakat bunun yanında WSW yönünden esen rüzgârların etkinliği de artmıştır. Kuzey sektörü içinde ise NNW (%77.3), N (68.6) ve NNE (%28.2) yönleri etkindir. Doğu ve güney sektörlerinden esen rüzgârlar içinde enerji üretimine uygun hızların payı sıfıra yakındır. Buna karşılık batı sektöründen esen ve enerji üretiminde pay alabilen rüzgârların oranı kuzey sektöründen sonra gelmektedir. Nitekim W, WSW ve WNW'dan esen rüzgârların %33.8'i enerji üretimine uygun hızları taşımaktadır.

Ekim ayı içinde enerji üretimine uygun hızların oranı %15.5'e düşmektedir. Bu ayda enerji üretimine uygun hızları taşıyan yönler arasında oransal farklılıklar çok fazla değildir. Yine kuzey sektörü daha etkin olup bu sektör içinde NNW, N ve NNE yönlerinde enerji üretimine uygun rüzgârlar egemendir. Ekim ayı içinde SSW ve SSE yönlerinin frekansında bir artış meydana gelmiş ve böylelikle güneye doğru bir dönüşüm başlamıştır. Nitekim SSW'dan esen rüzgârların %17.5'i enerji üretimine uygun olup bu yönü %16.7 ile SSE yönü izlemektedir. Kuzey sektörü içinde ise NNW (%26.9), N (%54.8) ve NNE (%17.0) yönleri etkindir. Bu ayda batı sektöründen esen rüzgârlar içinde enerji üretimine uygun rüzgârların payı çok azalırken, doğu sektörünün (özellikle ENE) payında oransal bir artış kaydedilmektedir.

Kasım ayında esen rüzgârların sadece %6.2'si 3.6 m/sn'den fazladır. Dolayısıyla kasım, enerji üretimine uygun hızda esen rüzgârlar açısından verimsiz bir aydır. Kış sirkülasyon koşullarının erleşmeye başladığı bu ayda kuzey sektörü zayıflamış, buna karşılık güney sektörüne ait rüzgârlar güçlenmiştir. Güney sektörü içinde enerji üretimine en uygun yön olup S bu yönden esen rüzgârların % 24.0'ü enerji üretimine uygundur. Bu yönü % 15.5 ile SSW izler. SSE rüzgârlarının frekansının %13'e ulaşmasına karşılık ancak %6.37'nün enerji üretimine uygun hızları taşınması ise Kasım ayında bu rüzgârların daha çok düşük şiddette estiklerini ortaya koymaktadır. Kuzey sektöründe ise N ve NE ilk sırada yer alır. Ancak bu yönlerden esen rüzgârlarda da enerji üretimine uygun hızların payları oldukça azdır.

Aralık ayında esen rüzgârların %38.0'i 3.6 m/sn'nin üzerindedir. Bu da, atmosfer aktivitesindeki gelişmelere bağlı olarak rüzgâr hızlarında aralık ayında önemli bir artışın olduğunu göstermektedir. Aralıkta da N ve S sektörü rüzgârları hakim durumdadır. Fakat güney sektörüne ait SSW, SSW ve S'den esen rüzgârlar içinden enerji üretimine uygun rüzgârların payı oldukça yüksektir. Nitekim SSW'dan esen rüzgârların %67.0'i enerji üretimine uygun olup bu yönü %10'luk bir farkla SSE ve S yönleri izler. Kuzey sektörüne ait NNW'dan esen rüzgârların %51.4'ü, N'den esenlerin %41.2'si, NNE'den esenlerin ise %30'u enerji üretimine uygundur. E ve W sektörlerinden esen rüzgârlar bu ayda da düşük hız değerlerine sahip olma özelliğini korumaktadır.

Sonuç olarak, Bodrum'da enerji üretimine yönelik rüzgârların hız sınıfları genel olarak N ve S sektörlerine bağlıdır. Ancak, kuzey sektörüne ait rüzgârlar bütün yıl boyunca egemen rüzgârları oluştururken, soğuk mevsimde güney sektörüne bağlı rüzgârlar ikinci egemen sektör olarak ortaya çıkmaktadır. Böylece Bodrum'da kuzey sektörlü rüzgârların şiddet ya da hız bakımından bütün yıl boyunca üstünlüklerini korudukları, güney sektörlü rüzgârların ise daha çok ekim-nisan devresinde estikleri ve bu devrede genellikle enerji üretimine uygun hızları taşıdıkları görülmektedir. Yaz mevsiminde W sektöründe bir canlanma ve enerji üretimine uygun rüzgârların oranında bir artış ortaya çıkmaktadır. E sektörlü rüzgârlar yıl içinde her ayda zayıf kalmaktadır. Toplam olarak yıl içinde esen rüzgârların %29.1'i enerji üretimine uygun hızları taşımaktadır.

Bodrum'da zemine yakın atmosfer bölümünde değişik yönlerde ait rüzgârların %70.7'si, enerji üretimi için gerekli hıza sahip değildir; %0.2'si ise türbinin kapatılmasına neden olacak şiddettedir.

5.4. 10 m'deki Rüzgâr Hızlarının 50 ve 100 m Yüksekliğe Uyarlanması

Bilindiği üzere, rüzgâr hızı ve gücü üzerinde yerel topografya özellikleri ve yükseklik faktörünün önemli etkisi vardır. Genelde bu hız ve güç yer seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak, en azından bizi pratik olarak ilgilendiren ilk 150 m içinde artış gösterir (Uyar, 1986). Rüzgârın bu özelliğinden dolayı, Bodrum'da rüzgâr potansiyeli hakkında daha açık bir fikir vermek için 10 m yükseklikteki rüzgâr hızları 50 ve 100 m'ye uyarlanmıştır. Bu uygulama yapılırken çevresel faktörleri de dikkate alan $V_2 = V_1 (h_2 / h_1)^n$ bağıntısı kullanılmıştır. Rüzgâr gücü potansiyeli konusunda yapılan bazı çalışmalarda formüldeki "n" değerlerinin 1/3 ile 1/12 arasında veya 0.1 ile 0.40 arasında değiştiği belirtilmektedir. Ancak hiçbir kaynakta "n" değerinin hangi çevresel faktörlere göre değiştiği üzerinde durulmamıştır. Bu nedenle, Konaklıoğlu'nun Bandırma için belirlediği $n=0.35$ değeri (Konaklıoğlu, 1984, 7-17), çevresel özellikleri açısından benzerlik taşıması nedeniyle Bodrum için kullanılacaktır.

Bu formül yardımıyla yaptığımız hesaplamalar, 10 m'deki rüzgâr hızının 50 m'de 1.7-1.8 katı, 100 m'de ise 2.2-2.5 katı bir artışa uğradığını göstermektedir (Tablo 7). Örneğin, 10 m'de 3.6 m/sn olan bir rüzgâr hızı 100 m'de 8.1 m/sn'ye ulaşmaktadır. Bundan da, yükseldikçe çevresel faktörlerin etkisindeki azalmaya bağlı olarak rüzgârın hızında ve dolayısıyla gücünde bir artış olduğu anlaşılmaktadır. Böylece, enerji üretimine uygun rüzgâr hızlarının potansiyeli de artmaktadır. Bu nedenle, yörede gerçek durumun saptanması için tesisin kurulacağı alan çevresinde seygar meteoroloji istasyonları kurularak en azından birkaç yıl ölçüm yapılmalıdır.

Bodrum'da 1997 yılı içinde 10 m yükseklikte ölçülen günlük ortalama rüzgâr

1. V_1 = 10 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/sn), $h_1=10$ m, $h_2=50$ ve 100 m, $v_2=h_2$ yükseklikteki rüzgar hızı, n = Çevre yüzey pürüzlülük sabitesidir.

Tablo 7: Bodrum'da yükseltiyeye bağlı rüzgâr hızında meydana gelen değişim (38 yıllık ortalama.)

Table 7: Change in wind speed depending on altitude in Bodrum (average of 38 years).

Aylar		Rüzgâr Hızı (m/sn)			Aylar		Rüzgâr Hızı (m/sn)		
		10 m	50 m	100 m			10 m	50 m	100 m
Ocak	Mak.	7.3	13.1	16.4	Temmuz	Mak.	5.7	10.0	12.8
	Min.	2.4	4.2	5.4		Min.	1.7	3.0	3.8
Şubat	Mak.	6.8	11.9	15.3	Ağustos	Mak.	5.4	9.5	12.2
	Min.	2.2	3.9	5.0		Min.	2.0	3.5	4.5
Mart	Mak.	5.8	10.2	13.1	Eylül	Mak.	5.5	9.6	12.4
	Min.	2.2	3.9	5.0		Min.	2.1	3.7	4.7
Nisan	Mak.	5.2	9.1	11.7	Ekim	Mak.	4.1	7.2	11.3
	Min.	1.9	3.3	4.3		Min.	2.6	4.6	5.9
Mayıs	Mak.	4.8	8.4	10.8	Kasım	Mak.	5.5	9.6	12.4
	Min.	2.1	3.7	4.7		Min.	2.6	4.6	5.9
Haziran	Mak.	5.1	8.9	11.5	Aralık	Mak.	7.2	12.6	16.2
	Min.	2.2	3.9	5.0		Min.	2.9	5.1	6.5

Kaynak : DMİGM Verilerinden Hesaplanmıştır.

hızları incelendiğinde, yörede 3.6 m/sn ve altında rüzgâr hızlarının bulunduğu günlerin sayısı 269 olup, bu günlerin en fazla olduğu dönemler nisan-haziran ve eylül-kasım dönemleridir. Bununla birlikte aynı rüzgâr hızları 50 m'ye uygulandığında bu sayı 154'e, 100 m'ye uygulandığında ise 122 güne düşmektedir (Tablo 8, Şekil 6). Saat 14 rasadına ait rüzgâr hızlarında aynı inceleme yapıldığında 10 m'de yıl içinde 160 gün 3.6 m/sn ve altında rüzgâr hızları saptanırken, 50 m'de bu sayı 52'ye ve 100 m'de 36'ya düşer. Ancak rüzgârların boğazlara kanalize olarak buralarda hızlarının daha da arttığı dikkate alınır, Bodrum'da 100 m'de enerji üretimine uygun olmayan şiddette esen rüzgârların görüldüğü günler sayısının gerçekte çok daha az olduğunu söylemek mümkündür.

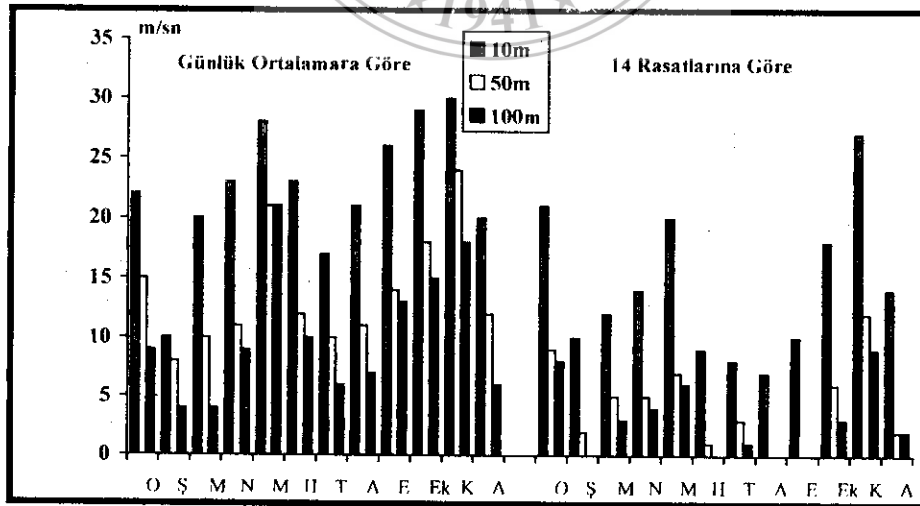
Sonuç ve Öneriler

Rüzgâr verilerinin analizi sonucu Bodrum yarımadasının rüzgâr özellikleri açısından elektrik enerjisi üretimine uygun koşullara sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu yarımada'nın konum özellikleri ve topografya koşullarının da yörenin rüzgâr gücü potansiyeli üzerinde olumlu etkileri vardır. Nitekim Bodrum yarımadasının Gökova ve Güllük körfezleri arasında yer almakta oluşu, yarımada'nın, yörede egemen rüzgârları oluşturan kuzey ve güney sektörlü rüzgârlara açık olmasını sağlamıştır. Tepelik alanların geniş yer kapladığı bu yarımada'da rüzgâr hızının artmasını sağlayan çok sayıda boyun ve sırtın

Tablo 8: Bodrum'da rüzgâr hızının 3,6 m/sn.nin altında olduğu günler sayısı (1997).
Table 8: Number of days on which winds speed is under 3,6 m/sec. in Bodrum (1997).

Aylar	Günlük Ortalamalara Göre			14 Rasatlarına Göre		
	10m	50m	100 m	10m	50m	100 m
Ocak	22	15	9	21	9	8
Şubat	10	8	4	10	2	-
Mart	20	10	4	12	5	3
Nisan	23	11	9	14	5	4
Mayıs	28	21	21	20	7	6
Haziran	23	12	10	9	1	-
Temmuz	17	10	6	8	3	1
Ağustos	21	11	7	7	-	-
Eylül	26	14	13	10	-	-
Ekim	29	18	15	18	6	3
Kasım	30	24	18	27	12	9
Aralık	20	12	6	14	2	2
Toplam	269	154	122	160	52	36

Kaynak : DMİGM Verilerinden Hesaplanmıştır.



Şekil 6: Bodrum'da rüzgâr hızının 3,6 m/sn.nin altında olduğu günler sayısı (1997).
Figure 6: Number of days on which winds speed is under 3,6 m/sec. in Bodrum (1997).

bulunması ise yörede rüzgâr şiddetinden enerji üretimi için uygun bir doğal ortam yaratmıştır. Günümüzde Bodrum'da 68 adet yel değirmeni kalıntısı bulunmaktadır. Bu da, yörede rüzgârlardan mekanik güç kaynağı olarak yararlanmanın uzun bir tarihi geçmişi olduğunu göstermektedir. Günümüzde ise yel değirmeni kalıntılarının bulunduğu bu boğaz ve sırtlar, rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretmek için oldukça uygun koşullara sahip alanlar olarak önem kazanmışlardır.

Bodrum'da yıl boyunca kuzey sektörüne bağlı rüzgârlar yüksek oranda esmektedir. Bu durum, bölge üzerinde egemen olan sirkülasyon modelinden kaynaklanmakta; yaz mevsiminde Subtropikal yüksek basınç alanından Basra alçak basınç alanına doğru meydana gelen hava akımları, bölgemizde kuzey sektörlü rüzgârların yüksek frekansa ulaşmasına neden olmaktadır. Sonbahar, kış ve ilkbahar aylarında ise kuzey sektörü düzeyinde olmasa da, güney sektörü de etkindir. Bu durum ekim ayından itibaren frontal etkinliklerin artmasına bağlı olup bölgeden geçen depresyonlarla ilgilidir. Doğu ve batı sektörlerinden esen rüzgârların frekansı ise kuzey ve güney sektörlü rüzgârlara göre oldukça düşüktür. Bodrum'da rüzgârların yıl içinde kuzey ve güney yönlerine daha çok bağımlı kalması, teknik yönden rüzgâr enerjisi üretiminin daha ekonomik olmasını sağlar.

Bodrum'da esen rüzgârların enerji üretimine yönelik hız sınıflarına göre dağılımı incelendiğinde, toplam olarak yıl içinde esen rüzgârların % 29.1'inin enerji üretimine uygun hızları (3.7 - 17.1 m/sn arası) taşıdıkları görülmektedir. Yörede, aralık-mart dönemi rüzgâr hızlarının yüksek olması nedeniyle enerji üretimine elverişlidir. Buna karşın, nisan ve mayıstaki rüzgâr koşulları, enerji üretimi için nispeten elverişsiz bir durum arz etmekte, haziran-ekim devresinde ise rüzgâr hızlarında tekrar artış ve enerji üretimine elverişli koşullar ortaya çıkmaktadır. Geçişin yaşandığı bir ay olan kasım, enerji üretimi açısından pek verimli bir ay değildir.

Gün içinde rüzgâr hız değişimini incelediğimizde, öğle dönemini temsil eden 14 rasadına ait hızların yüksek, buna karşılık 07 ve 21 rasatlarının ise düşük hızlara sahip olduğu görülür. Buna göre, 14 rasadının ve dolayısıyla öğle döneminin enerji üretimine daha uygun olduğu; 07 ve 21 rasatlarının ise enerji üretiminde sıkıntılar ortaya çıkartacağı anlaşılmaktadır. Bu durumda, Bodrum'da kurulacak RTG (Rüzgâr Türbin Jeneratör) sisteminde iki jeneratörün kullanılması gerekliliği daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Zira enerji üretiminde gerekli verimin elde edilebilmesi için düşük rüzgâr hızıyla çalışan bir jeneratör ile yüksek rüzgâr hızında en yüksek verimi sağlayacak ikinci bir jeneratöre ihtiyaç duyulmaktadır.

Bodrum'da 1997 yılı rasatlarına göre günlük ortalama rüzgâr hızının 3.7 - 17.1 m/sn arasında olduğu gün sayısı, 96 kadardır. Bununla birlikte 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızları 50 m'ye uygulandığında bu sayı 211'e, 100 m'ye

uygulandığında ise 243'e çıkmaktadır. Saat 14 rasadına ait rüzgâr hızlarında aynı inceleme yapıldığında 10 m'de yıl içinde 205 gün 3.7 m/sn ve üstünde rüzgâr hızları saptanırken, 50 m'de bu sayı 313'e, 100 m'de ise 329'a çıkar. Ancak, tepeler arasındaki alçak sırt ve boyun noktalarını aşan rüzgârlar, çukur alanlara kanalize olarak daha da büyük hızlara ulaşabilir. Bu nedenle, Bodrum'da saat 14'te 100 m'de enerji üretimine uygun şiddetle esen rüzgârların görüldüğü günler sayısının gerçekte bundan çok daha fazla olacağını söylemek mümkündür. Yörede gerçek durumun saptanması için, tesisin kurulacağı alan çevresinde seygar meteoroloji istasyonları kurularak en azından bir kaç yıl ölçüm yapılması uygun olacaktır.



Kaynakça

- ÇELİK, S.-ERMİŞ, M., 1986, "Rüzgârdan Ölçekli Elektrik Enerjisi Üretiminde Potansiyel Bir Konum Bozcaada", Türkiye 4. Enerji Kongresi, Özel Oturum Tebliği 2, s.323-339, İzmir.
- DARKOT, B.-TUNCEL, M., 1995. Ege Bölgesi Coğrafyası. (3.Baskı), İ.Ü. Yay. No:2365, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Enst. Yay. No:99, İstanbul.
- DOĞANAY, H., 1998, Ekonomik Coğrafya 2, Enerji Kaynakları (Genişletilmiş 2. Baskı), Şafak Yayınevi, Erzurum.
- DÖNMEZ Y., 1990, Umumi Klimatoloji ve İklim Çalışmaları, İ.Ü. Edebiyat Fakültesi Coğrafya. Enst. Yay. No: 3648, İstanbul.
- GÜNER, İ., 1997, Bodrum ve Milas Yörelerinin Coğrafi Etüdü, Atatürk Ü. Yay. No. 838, Kâzım Karabekir Eğitim Fakültesi. Yay. No.77., Araştırma Serisi No. 18, Erzurum.
- KARABULUT, Y., 1996, "Bodrum Yarımadası'nın Coğrafi Özellikleri", A.Ü. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, Sayı 5, s.117-170, Ankara.
- KAYAN, İ., 1971, "Gökova ve Çevresinde Fizikî Coğrafya Araştırmaları", A.Ü. D.T.C.F. Coğrafya Araştırmaları Dergisi, Sayı 3-4, s. 295-337, Ankara.
- KOÇMAN, A., 1993, Ege Ovalarının İklim, Ege Üniv. Edebiyat Fakültesi. Yay.No. 73, İzmir.
- KONAKOĞLU, T., 1984, "Güneş ve Rüzgâr Enerjisinden Yararlanma Biçimleri ve Ülkemizde Bu Konuda Yapılan Çalışmalar", EİE Bülteni, 112, s.7-17, Haziran, Ankara.
- MUTLUER, M., 1990, "Gelişimi, Yapısı ve Sorunlarıyla Türkiye'de Enerji Sektörü", Ege Coğrafya Dergisi, Sayı:5, s.184-215, İzmir.
- SUNGUR, K.A., 1986, "Türkiye'de Esiş Sayıları ve Hızlarına Göre Rüzgâr Bileşikleri", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Bülten, Cilt 2, Sayı 3, s.47-54, İstanbul.
- ŞENER, Y.A., 1986, "Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinden Yararlanma İmkanları", Türkiye 4. Enerji Kongresi, s.365-382, İzmir.
- TWIDELL, J.W.-Weir, A.D., 1986, Renewable Energy Resources, ISBN 0419120009 (hardback), London.
- UYAR, T.S., 1986, "Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Kullanım Seçeneklerinin Belirlenmesi ", Türkiye 4. Enerji Kongresi, Özel Oturum Tebliği, s.311-321, İzmir.
- YALÇINLAR, İ., 1994, "Ege Kıyı Kuşağında Krater ve Kalderalar", Türk Coğrafya Dergisi. Sayı, 28, s. 17-27, İstanbul.