

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

154915

ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'DE Kİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

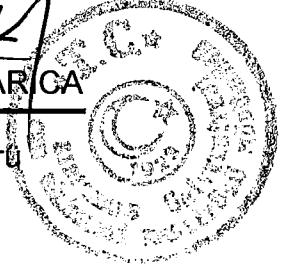
BİLGE AKBİYİK

Temmuz 2004

Fen Bilimleri enstitüsünce Yüksek Lisans Tezi Olarak uygun Bulunmuştur.

...../...../20004


Prof. Dr. M. Yakup ARICA
Enstitü Müdürü



Yüksek lisans Derecesini Tamamlamak İçin Tezin Yeterliği Olduğunu Onaylarım.



Prof. Dr. Bilal TOKLU

Anabilim Dalı Başkanı

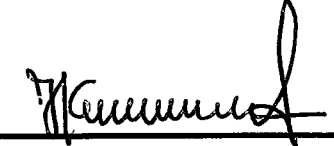
Bu Tezi Okuduk. Bizim Açımızdan Tezin Kapsamı ve Kalitesi Yüksek Lisans Derecesini Tamamlamak için Yeterli ve Uygundur.


Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

Danışman

Tez Jürisi Üyeleri

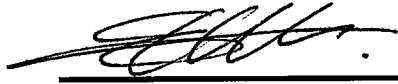
Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN



Doç. Dr. Şerafettin EREL



Yrd. Doç. Dr. Eyyüp TUNA



ÖZET

TÜRKİYE'DE Kİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AKBIYIK, Bilge

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

Temmuz 2004, 92 sayfa

Hava kütlelerinin hareketi olarak tanımlanan rüzgar, gelecekteki enerji ihtiyacımızı karşılamak açısından ekonomik ve çevresel bir önem taşımaktadır. Rüzgar, yapısındaki türbülanslı çalkantılar nedeniyle analitik yöntemler yerine, daha çok istatistiksel teknikler kullanılarak incelenebilmektedir.

Bu çalışmada 10 senelik rüzgar hız verileri kullanılarak rüzgar enerjisinden en azami şekilde yararlanabilecek hız aralıkları bulunmuştur ve bu aralıklar arasında %'lik esiş miktarları hesaplanmıştır. Böylelikle daha önce yapılan çalışmalar sonucunda ortalama rüzgar hızları düşük bulunan bir çok yerin belirli zaman aralıklarında küçük ölçekli rüzgar türbinlerinden faydalanabileceği görülmektedir.

Elde edilen veriler göz önünde bulundurularak rüzgar enerjisinden azami faydalanma yolları önerilmiştir. Böylece sadece rüzgardan elektrik elde etme yönünde değil sulama gibi tarımsal alanlarda yararlanma yolları da göz önünde bulundurulacaktır.

Anahtar Kelimeler : Rüzgar,rüzgar enerjisi, rüzgar gücü, rüzgar makineleri.



ABSTRACT

AN EVALUATION OF WIND ENERGY POTENTIAL IN TURKEY

AKBIYIK, Bilge

Kirikkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronics M. Sc. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN

July 2004, 92 pages

As is well known, wind energy occurrences depend on different cooling and heating phenomena within the lower atmosphere and over the earth surfaces. Because of wind structure's turbulence statistical method is more useful for research than analytical method.

This paper reviews the wind speed data for a period of ten years is used for the analysis. The analysis showed that the most places which have low average wind speeds have seasonal high wind speeds. These results show us we can use small-scale solutions for these places.

Wind energy utilization is also becoming competitive compared to traditional sources of energy,. The energy production analysis showed higher production from wind machines of small sizes than the bigger ones.

Keywords: Wind; wind power; wind energy; wind machine.



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam sayın Dr. Ertuğrul ÇAM ve sayın Yrd. Doç. Dr. Burak BİRGÖREN'e, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm Murat LÜY'e teşekkür ederim.



SİMGELER DİZİNİ

$$\frac{\partial p}{\partial n}$$

Basınç gradyanı

$$f$$

Coriolis parametresi

$$\omega$$

Dünyanın açısal hızı

$$\varphi$$

Enlem derecesi

$$V_{gr}$$

Gradyan rüzgar

$$\rho$$

Hava yoğunluğu

$$\phi$$

Hücum açısı

$$V_g$$

Jeostrofik rüzgar

$$z_0$$

Pürüzlülük uzunluğu

$$z$$

Yeryüzünden itibaren yükseklik

$$\tau$$

Yüzey gerilmesi

$$\lambda$$

Kanat sayısı rotor çevresel hızının
rotora etkiyen rüzgar hızına oranı

$$A_b$$

Kanat alanı

$$C_D$$

Sürüklenme katsayısı

$$C_L$$

Kaldırma katsayısı

E_B	Rüzgarın birim zamanda birim alandaki enerjisi
k	Von Karman sabiti
K	Yörünge eğriliği
r	Yarıçap
$u(z)$	z yüksekliğindeki anlık rüzgar şiddeti
u_*	Sürtünme hızı
V	Hava hızı
V^3	Saatlik rüzgar şiddetinin küplerinin ortalaması

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1.	Jeostrofobik rüzgar dengesinin oluşumu	12
2.2.	Gradyan rüzgar ve eğrilik yarıçapının gösterimi	14
2.3.	Sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri	16
2.4.	Asimetrik ve simetrik kanat profili	19
2.5.	Kanat profili üzerine etkiyen kuvvetler	20
2.6.	3 kanatlı rüzgar türbini	22
2.7.	Demirer holding ve ENERCON firmasının ortak yaptıkları E40/600 kW'lık rüzgar türbininin resmi	23
2.8.	Türbin E40/600 kW'ın mekanik yapısı	24
2.9.	Dikey eksenli rüzgar türbini	27
2.10.	Arşimet Vidası çalıştıran rüzgar türbini	32
2.11.	Rüzgar su pompaj sistemi	33
2.12.	Hidrolik pompa	34
2.13.	Vergnet pompa	35
2.14.	Hidrojektör sistemi	36
2.15.	Emülsiyon sistemi	37
2.16.	Vidalı pompa sistemi	39

2.17. Rüzgar elektrik sistemlerinin basit bileşenleri	40
2.18. Rüzgar enerjisi elektriksel sistem uygulama örnekleri	41
2.19. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri şebeke dağıtım bağlantı şeması	43
3.1. Çalışılan istasyonların konumları	46



TABLÖLAR DİZİNİ

TABLO

3.1.	Çalışılan istasyonların özellikleri	46
3.2.	Akdeniz Bölgesine ait 5 ilin rüzgar hız ortalamaları	49
3.3.	Karadeniz Bölgesine ait 5 ilin rüzgar hız ortalamaları	50
3.4.	Ege Bölgesine ait 4 ilin rüzgar hız ortalamaları	51
3.5.	İç Anadolu Bölgesine ait 5 ilin rüzgar hız ortalamaları	51
3.6.	Doğu Anadolu Bölgesine ait 5 ilin rüzgar hız ortalamaları	52
3.7.	Güneydoğu Anadolu Bölgesine ait 5 ilin rüzgar hız ortalamaları	53
3.8.	Marmara Bölgesine ait 8 ilin rüzgar hız ortalamaları	53
3.9.	Yedi Bölgenin aylık ortalamaları	54
3.10.	Akdeniz Bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri	55
3.11.	Karadeniz Bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri	56
3.12.	Ege Bölgesindeki 4 il için rüzgar hız istatistikleri	56
3.13.	İç Anadolu Bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri	57
3.14.	Doğu Anadolu Bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri	57
3.15.	Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri	58
3.16.	Marmara Bölgesindeki 8 il için rüzgar hız istatistikleri	58
3.17.	Rüzgardan üretilen elektriğin MWh/yıl maliyetinin trendi	60

3.18	Türbin fiyatları trendi	61
3.19	Rotor süpürme alanının metrekaresine düşen kurulma maliyeti trendi	61
3.20	Temel yakıt tiplerinin maliyetinin rüzgar enerjisi ile karşılaştırılması	63
3.21	Rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri	65
3.22	30 MW'lık örnek bir rüzgar santraline ait kar finans tablosu	66
3.23	Küçük ölçekli sistemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kazanç kıyaslaması	67
3.24	Küçük ölçekli rüzgar türbininin su basma potansiyeli	68
3.25	Yap-İşlet-Devret modeli ile kurulmak istenen Türkiye rüzgar santralleri	72
4.1	Akdeniz Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	75
4.2	Doğu Anadolu Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	77
4.3	Ege Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	79
4.4	Güneydoğu Anadolu Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	81
4.5	İç Anadolu Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	83
4.6	Karadeniz Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	85
4.7	Marmara Bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri	87

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	x
İÇİNDEKİLER	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Rüzgar Oluşumu	4
1.2 Kaynak Taraması	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1 Temel Rüzgar Kanunları	9
2.2 Jeostrofobik Rüzgar	12
2.3 Gradyan Rüzgar	13
2.4 Rüzgar Türbinleri	15
2.4.1 Rüzgar Türbin Tasarımı	17
2.4.1.1 Temel Yük Durumları	17
2.4.1.1.1 Aşırı Yükler	17
2.4.1.1.2 Yıpratıcı Yükler	17
2.4.1.2 Rüzgar Türbini Kanat Profili	18
2.4.1.2.1 Sürüklenme Katsayısı	20
2.4.1.2.2 Kaldırma Katsayısı	21

2.4.1.6.2.1	Şebeke Bağlantılı Alternatif Akım Uygulamaları	41
2.4.1.6.2.2	Şebeke Bağlantısı Olmayan Doğru Akım/Alternatif Akım Uygulamaları ...	43
2.4.1.6.2.3	Uzak Doğru Akım uygulamaları	44
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI	45
3.4	Çalışma Alanı ve Özellikleri	45
3.5	Türkiye Topografyası ve İklimi	47
3.6	Verilerin Düzenlenmesi	49
3.6.1	Rüzgar Hız İstatistikleri	54
3.7	Rüzgar Santrali Maliyet Analizi	59
3.8	Bir Rüzgar Santralinde Toplam Yatırım Tutarını Oluşturan Faktörler	68
3.9	Bir Rüzgar Enerjisi Santralinde Yıllık İşletme Giderlerini etkileyen Faktörler	69
3.10	Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Yatırımları	70
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ	73
	KAYNAKLAR	88

1. GİRİŞ

Dünyamızın sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli yeryüzündeki ülkelerin enerji ihtiyaçlarının toplamını karşılayacak kapasitededir. Örneğin, dünyanın günlük rüzgar enerjisi girdisinin %1'inin kullanılmasıyla bugünkü dünya enerji ihtiyacının tamamını karşılamak mümkündür. Bugünkü enerji talebimiz gelen güneş enerjisi miktarının % 1.01'i kadardır ⁽¹⁾. Bu rakamlar sahip olduğumuz yenilenebilir enerji potansiyelinin ne kadar büyük olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyanın enerji talebini karşılayabileceğini; daha doğrusu karşılamak zorunda olduğunu göstermektedir. Çünkü yakın bir gelecekte fosil yakıt kaynakları tükenecektir. Günümüzde tüketim oranları baz alınarak, yapılan hesaplamalara göre fosil yakıt kaynaklarının 21. yüzyılın ilk çeyreğine kadar tükeneceği belirtilmektedir ⁽²⁾. Bu ise rüzgar enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bilimin doğa olaylarının çözülmesinde katetmek istediği mesafeden dolayı son yıllarda rüzgar ve değişkenliği ile ilgili yapılan çalışmalar da ivme kazanmıştır. Ekolojik dengenin giderek bozulmasından dolayı, enerji konusunda yapılan çalışmaların ne kadar öncelikli ve hasas olması gerektiği de göz önünde tutulmaktadır.

Rüzgar hızı ve enerjisinin kullanımı ile ilgili ilk kaynaklar, M.Ö.5000'li yıllarda Nil nehrinde kayıkları hareket ettirmek için rüzgarın kullanıldığına işaret etmektedir. Aynı tarihlerde yine ilk defa Çin'de ortaya çıkan basit yel değirmenleri, su pompalanması için kullanılmıştır. Rüzgar Türbinleri

kullanımına ait ilk yazılı bilgiler, Büyük İskender tarafından M.Ö.200-300 yıllarında basit yapıdaki yatay eksenli rüzgar türbinleri hakkındadır. Ayrıca, M.Ö. 700 yıllarında Perslerin de düşey-ksenli rüzgar türbinlerini kullandığı somut kanıtlardan bilinmektedir⁽³⁾.

Rüzgar enerjisinden elektrik üreilmeye profesyonel anlamda 1970'lerde başlanmıştır. Bu tarihin önemi ve çalışmaların bu tarihten sonra profesyonelce olmasının nedeni 1973'te yaşanan petrol krizidir. Rüzgardan elektrik elde etme işini ilk başlatan ülkeler, Avrupa ülkeleridir. Halen dünyada 39.294 MW'lık elektrik, rüzgar santrallerinden üreilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının projeksiyonuna göre 2020'ye kadar, dünyanın elektrik talebinin %12'sini karşılayacak şekilde 1.260.000 MW kurulu güce çıkacağı öngörülmektedir⁽⁴⁻⁷⁾.

Dünya üzerindeki rüzgar hızını bilirsek elimizdeki gücün ne olduğunu da anlamış oluruz. Bunu bilmek içinde, bu amaçla hazırlanmış olan rüzgar atlaslarına bakmak gerekmektedir. Rüzgar atlasları, yüzeyden 10 m yüksekliği esas alarak rüzgar hızı bilgisini verirler. Dünya enerji konseyi dünya rüzgar kaynağının teknik potansiyelini, km² başına 8MW üretim kapasitesi ve %23 kapasite faktörü kabul ederek, dünya potansiyelini yılda 20.000 TWh olarak tahmin etmiştir. Yerden 10 metre yükseklikte dünya yüzeyinin yaklaşık %27'sinin yıllık ortalama rüzgar hızı 5.1 m/s'den daha yüksektir. Uygun olmayan arazi, yerleşim alanları, tarımsal amaçlar ve diğer arazi kullanımları nedeniyle bu alanların sadece %4'ü elektrik üreten rüzgar tarlaları için uygundur. Ekonomik, estetik ve fiziksel planlama kısıtlamaları

nedeniyle bunun yaklaşık üçte birinin gerçekleştirilebileceği kabul edilmiştir. Bu rakamlara küçük çaplı rüzgar türbinleri ve su pompalamada kullanılan türbinler dahil edilmemiştir. Yaklaşık dünyanın yüzde 50'sinde fazla yerde rüzgar hızı 2.5 m/sn ile 5.1 m/sn arasındadır ve bu hızlar küçük çaplı türbinler içindir ⁽⁴⁻⁷⁾.

Dünya üzerindeki rüzgar gücü çok büyüktür. Bu gücün %1'i, dünyanın şu anki elektrik ihtiyacını karşılamaya yetecektir. Hatta sadece Amerika'daki rüzgar bile bu durumu sağlayabilecek miktardadır. 1995 yılında 17000'den fazla türbin Amerika'ya elektrik sağlamaktaydı. O tarihte tüm milletlerin ancak % 1 elektriği rüzgar gücünden elde edilmekteydi. Fakat bu oran hızla artmaktadır. Şu anda Amerika'da ki toplam kurulu güç 5.148 MW'tır⁽⁵⁾.

Avrupa'da da şu anda rüzgar türbinleri yardımıyla, 23.291 MW elektrik üretilir durumda olmaktadır. Danimarka şu anda mevcut elektriğinin %10'unu rüzgardan sağlamaktadır.⁽⁴⁻⁶⁾

Uzmanlar gelecek 5 yıl içinde markete girecek olan türbinler için hafif ve büyük olacak diye tespitler yapmaktalar. Kule uzunlukları 200 ayak boyunda, gelişmiş kanatlar, değişken hız kontrolü ve direct-drive jeneratörlerin kullanılacağı sistemler kurulacak.

Bütün bunlar olurken, maliyetlerde de düşüş görülecek. 1980'lerde elektriği 80 centten fazlaya üretirken, 1995'lerde bu 3.9 centlere düşme eğilimindedir. Rüzgar gücünde maliyetin % 80'i türbinin yapımına ve kalanı da işletme ve bakım giderlerine ayrılmaktadır. Şu anda, rüzgardan elde edilen elektriğin maliyeti Amerika'da 5-3,9 cents/kWh, Avrupa'da 6.4-8.3 cents/kWh düzeyindedir ⁽⁷⁾.

Son birkaç yılda Avrupa ülkelerinde, özellikle de Almanya ve Danimarka'da rüzgardan enerji elde etme yeni bir sanayi safhasındadır. Bu ülkeleri dünyanın diğer ülkeleri izlemeye başlamış ve kendi sanayilerine de rüzgar enerjisini kazandırmak için çalışmaktadırlar. Çevre dostu bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi, son yıllarda bu alandaki teknolojik gelişmelerin de katkısıyla diğer tüm enerji kaynaklarıyla ekonomik açıdan da yarışabilir duruma gelmiştir.

1.1. Rüzgar Oluşumu

Meteorolojik değişkenlerden biri olan rüzgar bir anlamda rüzgar enerjisinin yakıtıdır. Dolayısıyla rüzgar değişkeninin çok iyi analiz edilmesi ve bütün yönlerinin en ince ayrıntıya kadar bilinmesi gerekmektedir. Rüzgarın bu değişimi, konum veya zaman çalışmalarının zorluğunu çok açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Karalar, denizler ve havaküre farklı özgül ısılarla dolayısıyla farklı sıcaklıklara sahip olurlar. Sıcaklık dağılımı, coğrafik ve çevresel koşullara bağlıdır. Yerkürede ortaya çıkan sıcaklık ve buna bağlı basınç farklılıkları, rüzgarın oluşmasına neden olur. Yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket eden hava, "rüzgar" olarak isimlendirilmektedir ⁽⁸⁾.

Rüzgar enerjisinden teknik olarak ne kadar yararlanabileceğimizi, yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olan bölgelerin belirlenmesi v.b. konularında bir çok çalışma yapılmış olup böylece, rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplamalarında kullanılmak üzere çeşitli modeller ve yöntemler geliştirilmiştir ^(1,9-17). Ancak, rüzgar şiddetinde önemli değişimler bulunması ve

gücün rüzgar şiddetinin küpüne bağlı olması nedeniyle genellikle hesaplanan rüzgar gücü değeri kesin değildir ⁽¹⁸⁾. Anlık hızlarının küplerinin ortalaması çoğu zaman ortalamanın küpünden büyük olduğu için, ikisi arasındaki oran her zaman aynı değildir. Bunun sonucu olarak bir rüzgar türbininin üretebileceği enerji miktarı sadece bir yaklaşımdır. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- i. Rüzgar türbini pervanesinin taradığı alanın tepe ve taban noktalarının da gözlenen rüzgar şiddeti değerleri eşit değildir.
- ii. Hesaplarda kullanılan yöntemler birtakım hatalar içermektedir.
- iii. Hava yoğunluğu sıcak ve yükseklikle değişmektedir.
- iv. Kullanılan anemometrelerin çoğunun hassasiyeti düşük, bakım ve kullanım hataları bulunmaktadır.

Rüzgar enerjisinin doğrudan bağlı olduğu rüzgar şiddetinin modellenmesi ise yapılan bilimsel çalışmalarda ayrı bir önem taşımaktadır. İlk çalışmalarda, elektrik enerjisinin rüzgar şiddeti ile üretilip üretilmeyeceği tartışılmıştır. Yapılan çalışmaların olumlu sonuç vermesiyle birlikte uygun bölge ve zaman seçimlerinin yapılması gündeme gelmiştir. Bilindiği gibi rüzgar enerjisinin kaynağı olan rüzgar şiddeti belirli bir bölgede ve zamanda sürekli ve aynı olmamaktadır. Güneş ışınımı, astronomik zaman, bölgesel özellikler, gökyüzü kapallığı, nem, toz gibi değişkenler rüzgar şiddetini etkilemektedir. Bir enerji sisteminde en önemli özellik enerji elde edilecek ham maddenin oldukça bolluğu ve verimliliğidir. Şüphesiz ki, tam bir verimlilik çalışması yapılmadan gerekli enerji santrallerinin kurulması hatalı olur. Özellikle, fiziksel dış dünya ya bağımlı olunması halinde bu önem daha da

artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tasarımında bunların karakteristikleri çok iyi tespit edilmeli ve belirlenen bu karakteristiklere göre karar verilmelidir.

Bu çalışmada Türkiye'nin yedi bölgesinde belirlenen kırk dört ilin 10 yıllık saatlik rüzgar verileri kullanılarak, rüzgar enerji potansiyeli analiz edilecektir. Genel bir maliyet analizi çıkarılıp analiz yapılan iller için rüzgar enerjisinden yararlanma konusunda en ekonomik çözümler sunulacaktır. Böylelikle kişisel veya ulusal çözümler üretilerek enerji probleminin azaltılması amaçlanmaktadır.

1.2. Kaynak Taraması

Literatürde rüzgar konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde istatistiksel ve fiziksel yapısına bağlı çalışmalar ile rüzgar enerjisinin uygulamalarına dayanan araştırmalar göze çarpmaktadır.

Dünyada rüzgar potansiyelinin çıkarılması ile ilgili çalışmalar yapılmakta ve bu potansiyelden nasıl yararlanılabileceği konusunda çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı devletler ve kurumlar tarafından desteklenmektedir. Dünya enerji konseyi tüm ülkeler için raporlar hazırlamaktadır, ayrıca her ülke enerji yatırımları ve potansiyelleri hakkında araştırma yapmaktadır. Bu kurumlara örnek vermek gerekirse; Amerika da Ulusal Enerji Dairesi ve Amerikan Rüzgar Enerji Kurumu, Türkiye'de Devlet Meteoroloji İşleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı gibi.

Yapılan diğerk çalışmalar ise yüksek lisans ve doktora çalışmalarıdır. Bu konuda bir çok araştırma yapılmakta ve deneysel gözlemlerde bulunulmaktadır. Bölgelerin özelliklerinin birbirinden farklı olmasından dolayı bölgelere ait doğru potansiyelin bulunabilmesi için her bölge de ölçümler yapılmasını gerektirmektedir. Bu konuda yapılan akademik çalışmalara örnek vermek gerekirse:

A.S.K. Darwish ve A.A.M. Sayigh tarafından yapılan çalışmada ⁽¹⁹⁾ Irak rüzgar enerji potansiyeli çıkarılmıştır. E. Scerri ve R. Farrugia tarafından yapılan çalışmada ⁽²⁰⁾ ise Malta adalarının rüzgar dataları değerlendirilmiştir. G. Lewis Zimbabwe'de rüzgar gücünün kullanılabilirliği üzerine çalışmıştır ⁽²¹⁾. M. Ragab ve A.K. Som Bahran'da rüzgar güç potansiyelinin ön çalışmasını yapmışlardır ⁽²²⁾. W.E. Alnase ve A. Al-Karaghoulı Bharan'da enerji üretimi için rüzgar kullanılabilirliğini ve gücü hakkında çalışmalar yapmışlardır ⁽²³⁾. A.S.S. Dorvlo ve D.B. Ampratwum tarafından yapılan çalışmada Umman için rüzgar enerji potansiyeli belirlenmiş ve bu verilere göre çözüm seçenekleri sunulmuştur ⁽²⁴⁾.

Rüzgarın incelenmesi dünya literatüründe bir hayli ayrıntılara girmiş olsa da Türkiye'de bu çalışmalar bazı şahıs ve kurumlara özel kalmıştır. Bunun nedeni veri sıkıntısı ve yöntemlerin geliştirilerek Türkiye'ye uygulanamamasıdır. Türkiye'de verileri Devlet Meteoroloji İşleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve bazı özel ölçüm istasyonları tarafından ölçülmektedir. Türkiye'de rüzgar verimliliği olan alanlar kıyı bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Şahin ve Şen yoğunluk değişimine bağlı olarak Çanakkale ili için verimlilik çalışması yapmışlardır. Tolun ve arkadaşları ⁽²⁵⁾ Gökçeada

rüzgar enerjisi verimliliğini ele almışlardır. Incecik ve Erdoğan (26) Marmara ve Ege bölgesinin bir kısmını kapsayacak şekilde verimlilik çalışması yapmışlardır. Şahin ve Şen (27) Batı Anadolu rüzgar değişkenlerinin alan olarak geçerli normal dağılım grafik modellerini oluşturmuşlardır. Şahin ve Şen (28) Türkiye'nin bazı bölümleri için bölgesel rüzgar enerji değerlendirmesini yapmışlardır. Şahin ve arkadaşları (29) Marmara bölgesi için rüzgar enerjisi potansiyeli alt yapısını oluşturmuştur. Özerdem ve Türkeli (30) İzmir Teknoloji Enstitüsü kampüsünde rüzgar karakteristiği üzerine araştırma yapmışlardır. Akgün ve Öz Türkiye rüzgar atlasının oluşturulması için bir çalışma yapmışlardır. Durak ve Şen (31) Akhisar bölgesi için rüzgar türbinlerinin mikro konuşlandırılmasını yapmıştır. Köse ve arkadaşları rüzgar bilgilerinin analizi ve rüzgar enerji potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Köse ve ark. (32) Kütahya'da güç üretim kaynağı olarak rüzgar enerji potansiyelinin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Karslı ve Geçit (33) Nurdağı-Gaziantep'in rüzgar güç potansiyelini araştırmışlardır. Aras (34) rüzgar enerjisinin Türkiye'deki durumu ve değerlendirmesini yapmıştır. Oğulata (35) Türkiye'deki rüzgar enerji sektörü ve rüzgar enerji potansiyeli üzerine araştırma yapmıştır. Dündar ve arkadaşları (36) Türkiye rüzgar atlasını çıkarmışlardır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Temel Rüzgar Kanunları

Meteorolojik parametrelerden rüzgar, hava kütlelerinin büyük ölçekli hareketi olarak tanımlanır ⁽¹⁾. Hava kütleleri, hareketleri dolayısıyla bir enerjiye sahiptirler. Gerçekte, atmosferdeki toplam enerji, potansiyel ve kinetik enerjiye bölünmüştür. Burada söz edilen kinetik enerji potansiyel enerjinin sadece küçük bir kısmıdır. Rüzgarlar, atmosferin potansiyel enerjisinin basınç kuvvetleri etkisiyle kinetik enerjiye dönüşümünün bir sonucudur ⁽³⁷⁾. Büyük ölçekli bu hava hareketleri, temel olarak güneşin yer yüzeyini ve dolayısıyla atmosferi farklı miktarlarda ısıtmasından kaynaklanan sıcaklık farkından meydana gelmektedir. Yatay rüzgarlar genelde düşey rüzgarlardan çok daha büyüktür.

Kalınlığı 100 m ile 2 km arasında değişen ve "Atmosferik Sınır Tabaka" olarak adlandırılan atmosferin alt tabakasındaki rüzgarlar, yer yüzeyinin neden olduğu sürtünme ve engellemelere maruz kalır. Bunun yanı sıra türbülansın meydana getirdiği düşey momentum taşınımı sonucunda oluşan Reynolds gerilmelerinin de rüzgar üzerinde etkileri gözlenir. Kaynağı, termal veya mekanik olabilen türbülans, rüzgar hızında Gust adı verilen genlik ve frekans bakımından çok hızlı çalkantılara neden olur.

Atmosferik sınır tabaka kalınlığının %10' uyla ifade edilen tabaka yüzey tabaka olarak adlandırılır. Yüzey tabakada rüzgarların oluşma nedenleri şöyle sıralanabilir:

- a) Yer yüzeyinden birkaç yüz metre yükseklikte esen ve farklı basınç alanlarının oluşturduğu rüzgarlar (Jeostrofik veya Gradyan Rüzgar),
- b) Deniz meltemlerinin de oluşma nedeni olan, yer yüzeyi üzerindeki yatay sıcaklık farklılıkları,
- c) Katabatik ve anabatik rüzgarların oluşma nedeni olan yer yüzeyi eğimi,
- d) Tropikal siklonların ve lirtülaların nedeni olan atmosfer kararsızlığı.

Yüzey tabakada yüksek rüzgar hızlarına, düzgün ve yeterince homojen bir yüzey yapısına sahip bölgeler üzerindeki rüzgar profili, logaritmik kanun yardımıyla modellenmektedir;

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (2.1)$$

Burada, $u(z)$ yer yüzeyinden itibaren z yüksekliğindeki rüzgar şiddeti, z_0 yüzeyin pürüzlülük uzunluğu, k Von Karman sabiti (0.40) ve u_* ise (2.2) eşitliğiyle verilen τ yüzey gerilmesi ile ilgili sürtünme hızıdır. (2.2) Numaralı eşitlikte yer alan ρ terimi ise havanın yoğunluğunu göstermektedir⁽¹⁰⁾.

$$|\tau| = \rho u_*^2 \quad (2.2)$$

Ortalama rüzgar şiddetinin belirli bir referans yüksekliğine (z_1) göre düşeydeki değişimini veren ve bilinmeyen durumdaki sürtünme hızı terimini içermeyen diğer bir ifade

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $U(z_2)$, z_2 yüksekliğindeki ortalama rüzgar şiddetidir. Bazı koşullarda, ortalama rüzgar şiddetinin düşeydeki değişimi için basit belirlemeler yapılmak istendiğinde kuramsal bir temeli olmamakla birlikte ampirik kuvvet kanunu tercih edilmektedir.

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad (2.4)$$

Eşitlikteki üstel terim α , yüzey pürüzlülüğüne ve incelenen iki nokta arasındaki yükseklik farkına bağlı olup, düşük bir hata yüzdesiyle (2.5) eşitliği yardımıyla hesaplanabilmektedir ⁽¹²⁾.

$$z_0 = 15,25 \exp\left(-\frac{1}{\alpha}\right) \quad (2.5)$$

Burada verilen eşitliklerden hangisi kullanılırsa kullanılsın bir bölge üzerindeki rüzgar verisinin uzun bir periyot için incelenmesi durumunda pürüzlülük uzunluğunun farklı rüzgar yönlerine göre ve yıl boyunca bitki örtüsündeki değişime göre değişeceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla incelenen ortalama rüzgar değerleri, belirgin mevsimsel ve yönsel değişimleri bünyesinde saklı tutabilmektedir.

Sonuç olarak yüzeye yakın tabakadaki hava akımları için şunlar söylenebilir.

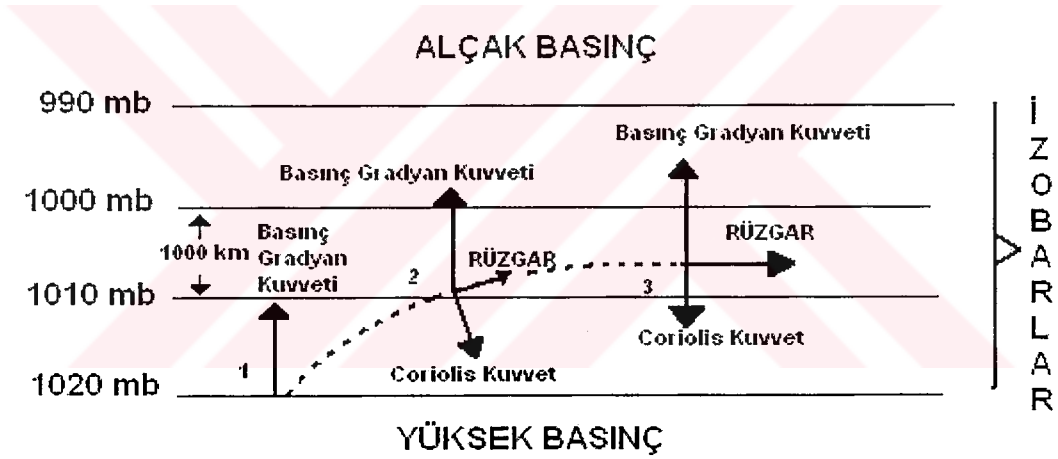
- Rüzgar şiddeti yükseklikle artmaktadır.
- Bu tabakada rüzgar hızında türbülans vardır.
- Türbülans, geniş bir frekans alanı üzerinde dağılmıştır.
- Farklı yüksekliklerdeki türbülans değerleri birbirleriyle ilişkilidir. Bu ilişki düşük frekanslar için daha kuvvetlidir.

2.2. Jeostrofik Rüzgar

Bazı koşullar altında rüzgar basit ve ölçülebilir büyüklükler ile ilişkilendirilebilir. Sürtünmenin olmadığı, akışın izobarlara paralel ve düzgün olduğu durumdaki rüzgara Jeostrofik Rüzgar adı verilir ve rüzgar hızı,

$$V_g = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.6)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, Δ havanın yoğunluğu, f ise enlemin fonksiyonu olan Coriolis parametresi ($f = 2 \omega \sin \varphi$, φ : enlem, ω :dünyanın açısal hızı $7.269 \cdot 10^{-5}$ rad/s) olup, rüzgarın yönü izobarlara paraleldir ⁽³⁷⁾ (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Jeostrofik rüzgar dengesinin oluşumu.

Şekil 2.1' de gösterildiği gibi burada gözlenen hareketler aşağıda sıralandığı şekilde gerçekleşir:

1- Basınç gradyanı kuvveti $\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)$ hava kütlesini daha alçak basınca

doğru hareket ettirir.

2- Hava kütlesi bir hız kazandığında Coriolis kuvvet (fV) etkisiyle sağa doğru saptırılır.

3- Sonuçta basınç gradyanı kuvvetiyle Coriolis kuvvet arasında bir denge oluşur ve hareket izobarlara paralel bir şekilde devam eder.

Jeostrofik rüzgar atmosferin türbülanslı alçak tabakalarında ve tropik bölgelerde gerçek rüzgara iyi bir yaklaşım göstermez. Jeostrofik rüzgarın gerçek rüzgarları en iyi temsil ettiği durum akışın doğrusal ve hava sistemlerinin de istasyonier (durağan) olduğu serbest atmosfer koşullarıdır.

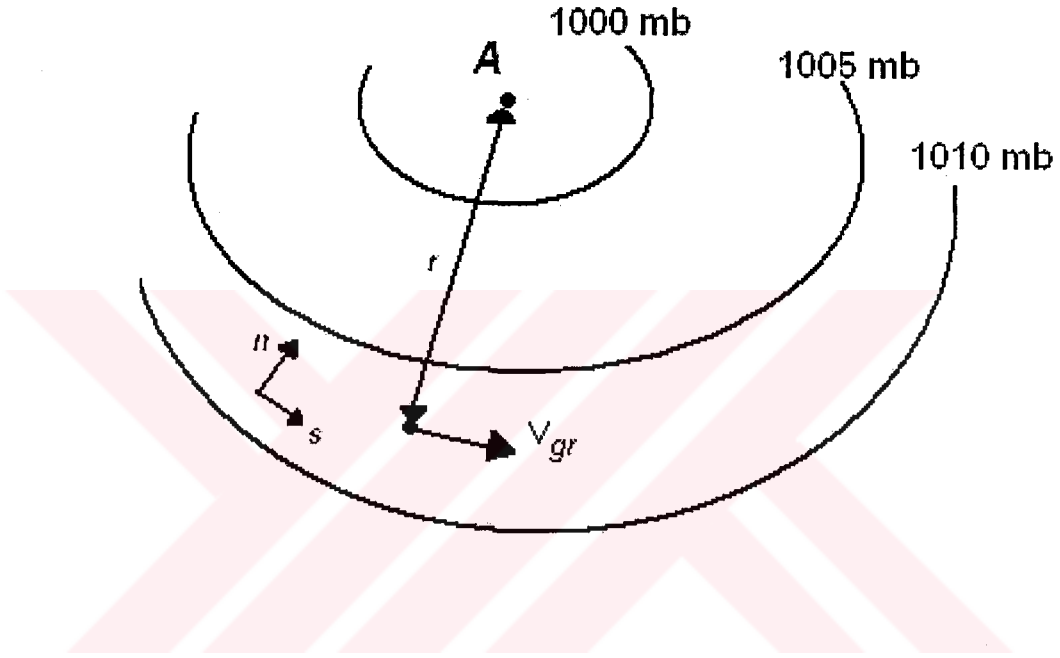
2.3. Gradyan Rüzgar

Gerçek rüzgara daha iyi bir yaklaşım, doğrusal olmayan akışta, örneğin dairesel v.b, yapıdaki akışlarda meydana gelen merkezkaç kuvvetin de dikkate alınmasıyla elde edilebilir, Gerçekte bütün alçak ve yüksek basınçlı hareket sistemlerinde gözlenen akış eğriseldir. Dolayısıyla merkezkaç kuvvetin dikkate alınması rüzgar için daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

Genellikle, V_{gr} olarak gösterilen Gradyan Rüzgar şu eşitlikle verilir:

$$KV_{gr}^2 = -fV_{gr} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.7)$$

Burada $K = \frac{1}{r}$ olup (r : yarıçap), hava parselinin yörüngesinin eğriliğidir. Bu, alçak basınç merkezi etrafındaki gibi siklonik bir akış için pozitif, yüksek basınç merkezi etrafındaki gibi antisiklonik bir akış için ise negatiftir.



Şekil 2.2. Gradyan rüzgar ve eğrilik yarıçapının gösterimi

Eğer sistem istasyoner ise Şekil 2.2'de r izobarların eğrilik yarıçapı olarak alınabilir. Gradyan rüzgar aynı zamanda izobarlara paraleldir. (2.6) numaralı eşitlik kullanılarak, siklonik akışın 'subjeostrofik' ve antisiklonik akışın ise 'süperjeostrofik' olduğunu gösteren

$$V_{gr} = V_g - \frac{KV_{gr}^2}{f} \quad (2.8)$$

eşitliği yazılabilir. Bu ifade, yer yüzeyinin ve dağların hiçbir etkisinin gözlenmediği serbest atmosferde geniş ölçekteki rüzgar hızı için oldukça iyi bir yaklaşımdır. (2.8) numaralı eşitlik V_{gr} için çözümlerse aşağıdaki gibi bir ifade bulunur.

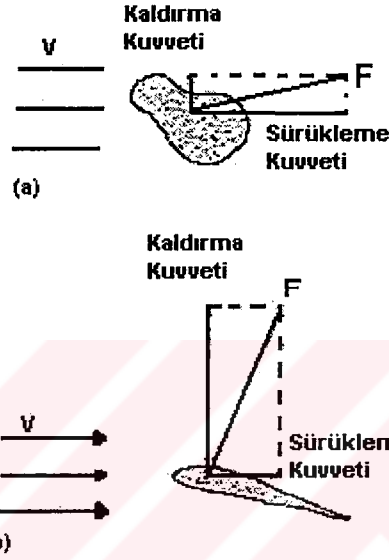
$$V_{gr} = \frac{1}{2K} \left[-f \pm \sqrt{f^2 + 4KV_g} \right] \quad (2.9)$$

Bu eşitliğinden önemli sapmalar atmosferik sınır tabakada türbülans sürtünmelerinin kuvvet dengesine geciktirici bir kuvvet eklemesinin sözkonusu olduğu durumlarda gözlenir. Hızla hareket eden veya gelişmekte olan küçük ölçekli sistemler de bu eşitliğe çok nadiren uyar. Bu gibi durumlarda hareket eşitliklerinin birlikte kullanılması gerekmektedir⁽³⁷⁾.

2.4. Rüzgar Türbinleri

Modern rüzgar türbin'lerinin nasıl çalıştığını anlamak için iki önemli aerodinamik kuvvet iyi bilinmelidir. Bunlar sürüklenme ve kaldırma kuvvetleridir⁽³⁸⁾. Sürüklenme kuvveti, cisim üzerinde akış yönünde meydana gelen bir kuvvettir. Örneğin düz plaka üzerinde meydana gelecek maksimum sürüklenme kuvveti hava akışının cisim üzerine 90° dik geldiği durumda iken, minimum sürüklenme kuvveti de hava akışı cismin yüzeyine paralel iken meydana gelir (Şekil 2.3). Kaldırma kuvveti ise, akış yönüne dik olarak meydana gelen bir kuvvettir. Uçakların yerden havalanmasına da bu kuvvet sebep olduğu için kaldırma kuvveti olarak adlandırılmıştır.

Sürüklenme kuvvetine en iyi örnek paraşüt verilebilir. Bu kuvvet sayesinde paraşütün hızı kesilmektedir. Sürüklenme kuvvetinin etkilerini minimuma indirebilmek için yapılmış özel cisimlere "akış hatlı" cisimler denir.



Şekil 2.3. Sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri

Düz bir plaka üzerine etkiyen kaldırma kuvveti, hava akışı plaka yüzeyine 0° açı ile geldiğinde görülür. Havanın akış yönüne göre meydana gelen küçük açılarda akış hızının artmasından dolayı düşük basınçlı bölgeler meydana gelir. Bu bölgelere akışaltı da denir. Dolayısıyla, hava akış hızı ile basınç arasında bir ilişki meydana gelmiş olur. Yani hava akışı hızlandıkça basınç düşer, hava akışı yavaşladıkça, basınç artar. Bu olaya "Bernoulli etkisi" denir. Kaldırma kuvveti cisim üzerinde emme (veya çekme) meydana getirir.

2.4.1. Rüzgar Türbini Tasarımı

2.4.1.1. Temel Yük Durumları

2.4.1.1.1. Aşırı Yükler

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini yakalarlar. Bu durumda, rüzgar türbinlerinin, neden daha fazla kanadı olmadığı sorusu akla gelebilir. Çok veya geniş kanatlı, sert (esnek olmayan) yapıli rotoru olan bir rüzgar türbini, örneğın fırtınalı bir havada çok fazla kuvvete maruz kalır (burada, rüzgar gücünün, rüzgar hızının küpüyle orantılı olduğu akla gelmelidir). 50 yıl içinde, toplam 10 dakika, rüzgarın çok sert estiğini (fırtına) farz edersek, türbinlerin bu tür rüzgara karşı (çok az bir süre etkili olmalarına rağmen) dayanıklı olmaları gerekir. Bu amaçla türbinler, az sayıda, uzun ve dar kanatlı olarak imal edilirler.

2.4.1.1.2. Yıpratıcı Yükler

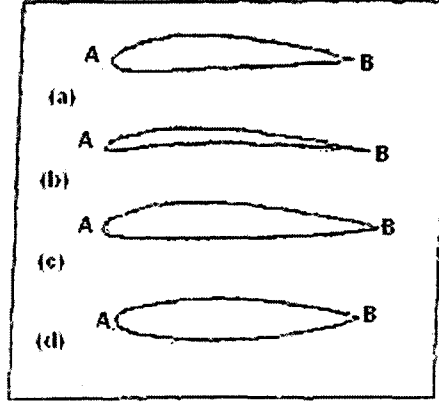
Rüzgar türbinleri, hızı azalıp artan rüzgarlarla, dolayısıyla güçlerle karşı karşıyadır. Bu da genelde türbülanslı bölgelerde meydana gelen bir durumdur. Rotor kanatları gibi, sürekli eğilip bükülen parçalarda, zamanla çatlaklar meydana gelebilir ve sonuçta bu parçalar, özellikle kanatlar, kopabilir.

Metal yıpranması, bir çok endüstri alanında büyük sorunlar ortaya çıkarır. Bu yüzden, rotor kanadı imalatında, metal kullanılması pek uygun değildir. Rüzgar türbinleri dizayn edilirken değişik parçaların, tek başlarına ve diğer parçalarla nasıl titreştikleri test edilmelidir Ayrıca bu titreşimler ve bükülmeler sırasında, her bir parçanın maruz kaldığı güçler hesap edilmelidir. Bu amaçla, rüzgar

türbininin her bir parçasının davranışını analiz eden, özel bilgisayar modelleri geliştirilmiştir.

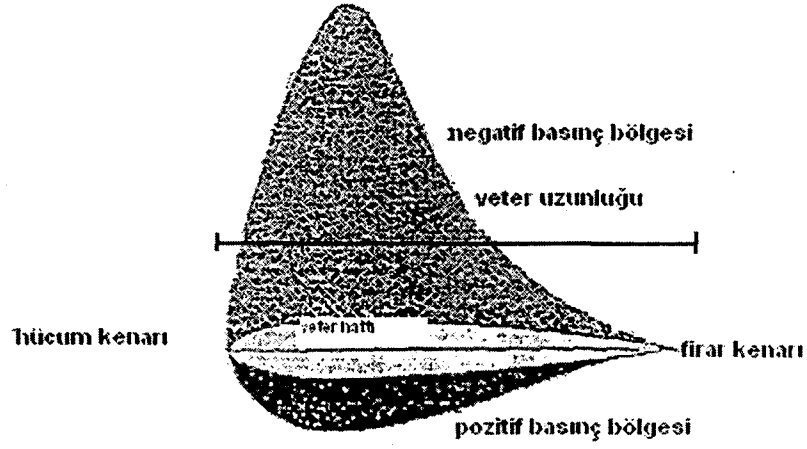
2.4.1.2. Rüzgar Türbini Kanat Profili

Cismin yeter hattı (referans hattı) ile hava akışı arasında yaptığı açı "hücum açısı" olarak adlandırılır ve N ile gösterilir. Kanat profilinin referans hattına "yeter hattı" da denir . Hafif bombeli yüzeyler, verilen bir hücum açısı için daha yüksek bir kaldırma kuvveti meydana getirirler. Dolayısıyla kanat profili denen bu tip şekiller bu durum için uygundur. Kanat profili üst yüzeyde daha hızlı bir akış meydana getirmektedir. Yüksek hava akış hızı, kanat profilinin üst kısmında basıncı düşürerek alçak basınç bölgesi meydana getirecektir. Bunun sonucunda emme etkisi meydana gelerek kanat havalanacaktır. İki temel kanat profil tipi vardır: Simetrik ve asimetrik. Aşağıda verilen Şekil 2.4.'de simetrik ve asimetrik kanat profilleri gösterilmiştir. (a), (b) ve (c) ile gösterilen kanat profilleri asimetrik; (d) şikkında ise simetrik kanat profili gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Asimetrik ve simetrik kanat profili

Şekil 2.4 dikkatle incelendiğinde, bazı noktalar göze çarpmaktadır. Bunlar, dışbükey olmaları, hücum kenarının dairesel, firar kenarlarının da keskin ve sivri olduğu görülmektedir. Aralarındaki temel farklılık ise, alt yüzeylerinin şeklidir. Asimetrik kanat profillerinde, profilin alt yüzeyi hava akis yönüne en yakın noktadan maksimum kaldırmayı yaparken; simetrik kanat profillerinde her iki yüzeyde de aşağı yukarı eşit bir kaldırma görülür. Aşağıda verilen Şekil 2.5'te ise kanat profili üzerindeki kuvvetler gösterilmiştir



Şekil 2.5. Kanat profili üzerine etkiyen kuvvetler

Kanat profillerinde sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin özellikleri, rüzgar tüneline yapılan testlerle belirlenmektedir. Bu testlerde farklı hücum açılarında birimsiz büyüklükler olan sürüklenme katsayısı (C_D) ve kaldırma katsayısı (C_L) hesaplanır. Bu katsayılar yardımı ile türbin için en uygun kanat yapısı tasarlanır.

2.4.1.2.1. Sürüklenme Katsayısı (C_D)

Herhangi bir kanat profili için sürüklenme katsayısı aşağıdaki gibi verilmiştir ⁽³⁸⁾

$$C_D = D / (0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_b) \quad (2,10)$$

Burada D : sürüklenme kuvveti, ρ : hava yoğunluğu, V : hava hızı, A_b : kanat alanıdır.

2.4.1.2.2. Kaldırma Katsayısı (C_L)

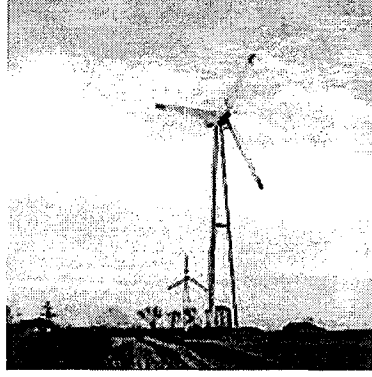
Kanat profilleri için kaldırma katsayısı ⁽³⁸⁾,

$$C_L = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_b \quad (2.11)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikte kullanılan L indisi kaldırma kuvvetini ifade etmektedir.

Her iki katsayı da rüzgar tünellerinde farklı hücum açıları ve rüzgar hızlarında hesaplanmaktadır. Her bir hücum açısı için hesaplanan C_D ve C_L değerlerinin oranı (C_D/C_L) alınır, bu oranların en büyük olduğu değerdeki hücum açısı değeri, rüzgar türbininden en iyi verim alınabilecek değerdir.

Tüm anlatılanlardan anlaşılacağı gibi rüzgar türbininin pervanesinin dönmesinde temel mantık sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin etkisidir. Kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinin rüzgar türbin kanatları üzerine etkisi ise, Şekil 2.6'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, rüzgar akışı, pervane kanadına çarptığında, kanat profilinin üst kısmından daha hızlı, alt kısmından ise daha yavaş geçecektir.



Şekil 2.6. Üç Kanatlı Rüzgar Türbini

2.4.1.2.3. Pervane Kanat Sayısının Etkisi

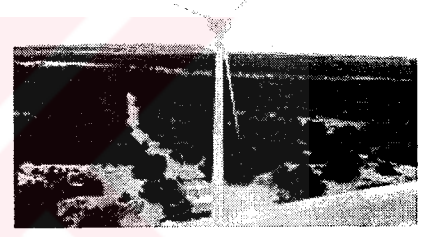
Rüzgar türbinleri farklı kanat sayısına sahiptir. Temel kural ise, kanat sayısının azalması ile, hızının artmasıdır. Bu dönüşün ölçüsü olarak üç tip hız oranı denen bir parametre tanımlanmıştır λ ile gösterilen bu oran. Pervane dönüş hızının rüzgar hızına oranı olarak tanımlanır. Eğer $\lambda=1$ ise, pervane dönüş hızının rüzgar hızına eşit olduğu görülür.

2.4.1.3. Pervane Kanat Sayılarına Göre Türbin Çeşitleri

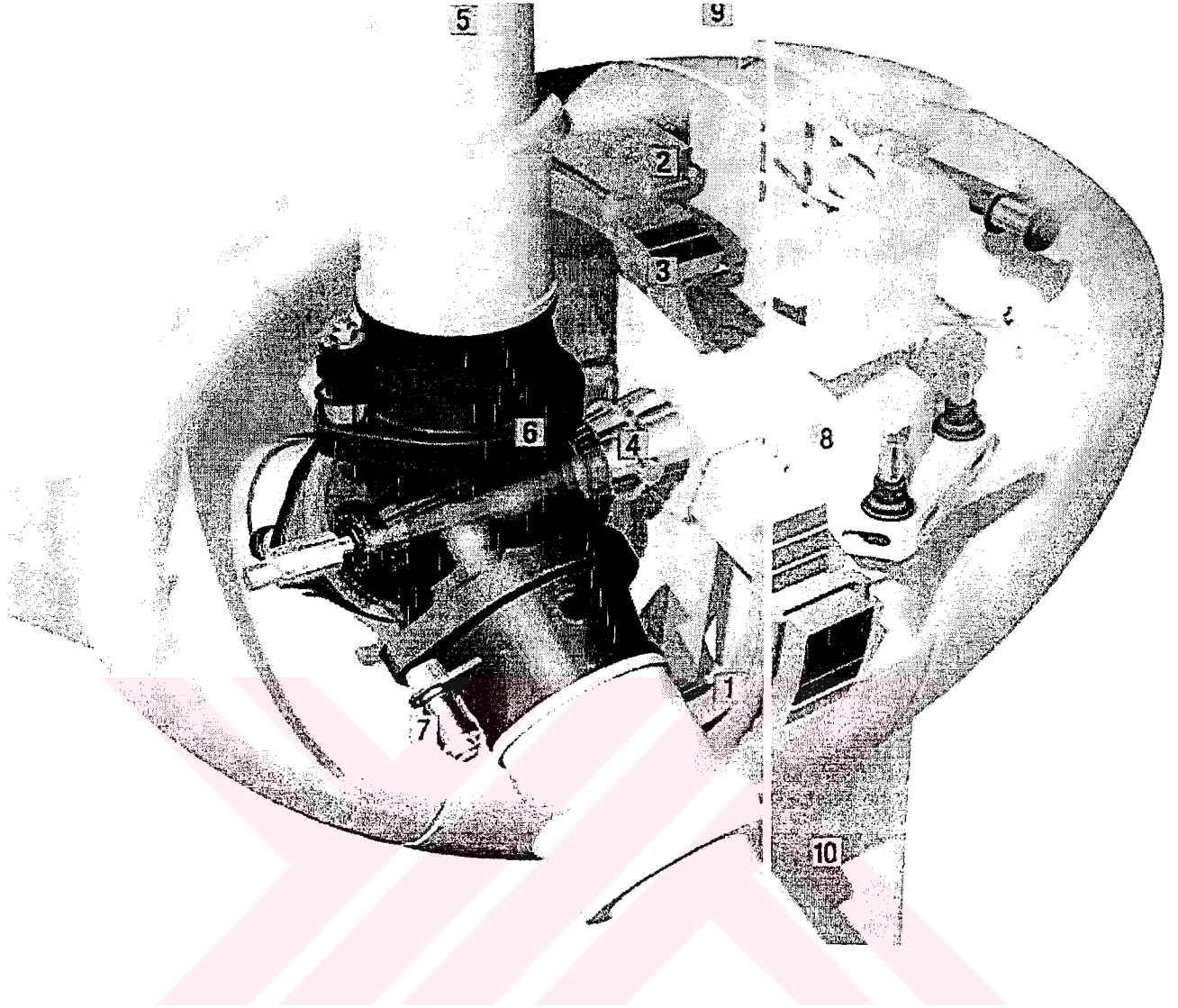
Daha önceleri, tek-kanatlı ve 2-kanatlı rüzgar türbinlerin yaygın olarak kullanılmasına karşın, günümüzde çoğunlukla 3-kanatlı rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Bunların çeşitli fayda ve zararları bulunmaktadır. İzleyen kısımlarda bunlar üzerinde durulacaktır.

2.4.1.3.1. Üç-kanatlı Rüzgar Türbini

Modern rüzgar türbinlerinde en çok kullanılan model üç kanatlı olmaktadır (Şekil 2.6). Bunun temel nedeni pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahiptir. Ayrıca, üç kanatlı pervane bu avantajlarından dolayı rüzgar türbini üzerinde ek bir yük getirmemektedir. 3 kanatlı rüzgar türbinlerinde bulunan temel elemanlar Şekil 2.7 ve 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Demirer Holding ve Enercon firmasının ortak yaptıkları E40/600 kW'lık rüzgar türbininin resmi



Şekil 2.8. Türbin E40/600kW mekanik yapısı

Burada; (1)Jeneratör kanatlardan gelen mekanik enerjiyi (2) stator ve (3) rotor arasında elektrik enerjisine dönüştürür. (4) Ana mil kanatları taşır. (5) Kanatlar rüzgarın enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. (6) Kanat flanşı ve(7) Kanat çevirme motoru kanadın ideal açısını ayarlar. (8) Kabin çevirme motoru, (9) Rüzgar ölçüm sensöründen gelen bilgilere göre kabin önünü rüzgara çevirir. (10) Kule pervaneyi rüzgarın fazla olduğu yükseklerle taşır.

2.4.1.3.2. İki-kanatlı Rüzgar Türbini

20 yıl öncesine kadar iki kanatlı rüzgar türbinleri yaygın bir şekilde kullanılırdı. 10 m'den 100 m'ye kadar değişen farklı pervane çaplarında Avrupa ve Amerika'da kullanılmıştır. 2-kanatlı rüzgar türbinleri, 3-kanatlı rüzgar türbinlerinden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, 2-kanatlı rüzgar türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar getirdiğinden, 3-kanatlı rüzgar türbinleri ile aynı maliyete gelmektedir. 3-kanatlı rüzgar türbinlerinden farklı olarak dönmeden meydana ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgar türbinleri üzerinde ek bir yüklenme meydana getirir ve sadece sallanan göbek ile giderilebilir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektir. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgar hızlarında pervane devreye girememektedir.

2.4.1.3.3. Tek-kanatlı Rüzgar Türbini

Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek rotasyonel hızın düşürülmesidir. Diğer yandan, tek-kanatlı rüzgar türbini aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olur. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapılar gerektirir. Diğer dezavantajlarından birisi de, yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir. Uç hız oranı, 120 m/s civarındaki üç kanatlı pervanelerle kıyaslandığında, uç hızı iki kat yüksektir. Dolayısıyla 3-kanatlı rüzgar türbinlerinden daha gürültülüdür. Tek pallerde palin diğer

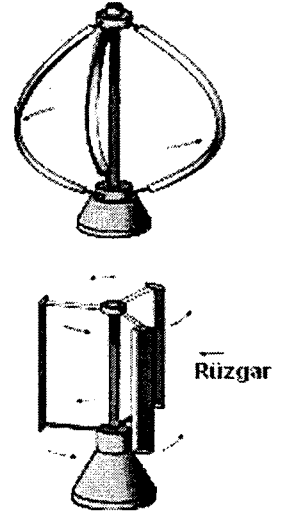
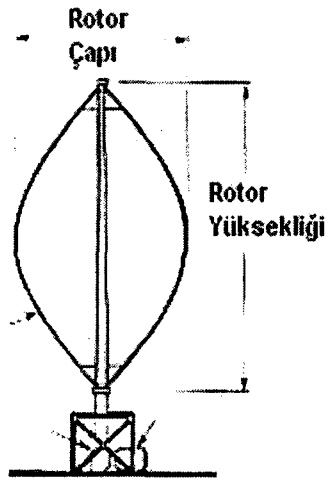
kısımında dengeleyici ağırlığa ihtiyaç vardır. Bu nedenle ağırlığın azalması avantajını ortadan kaldırmaktadır.

2.4.1.4. Dikey Eksenli Rüzgar Türbini

Eole C, Kanada Cap Chat, Quebec'deki 100 m rotor çaplı, 4200 Kw'lık dikey eksenli Darrieus Rüzgar türbini. Dünyanın en büyük rüzgar türbini olan bu makine şu anda kullanılmamaktadır.

Klasik su çarkları, suyun rotasyonel eksene dik açıyla ulaşmasını sağlamaktadır. Bu anlamda dikey eksenli rüzgar türbinleri bir açıdan su çarklarına benzerler. Bazı dikey eksenli türbinler, yatay bir eksenle de çalışabilir, ancak bu şekilde pervane tipi türbinlerin verimine ulaşamazlar.

Ticari amaçla üretilmiş tek dikey eksenli türbin, 1931 yılında Fransız bir mühendis olan Georges Darrieus tarafından inşa edilen Darrieus'dur. (Flo Wind isimli, 1997 yılında iflas eden bir Amerikan şirketi tarafından üretilmiştir.) Darrieus'un C şeklinde rotor kanatları onun bir yumurta kıracağına benzemesine yol acar. Darrieus çoğunlukla iki yada çok kanatlı olarak üretilir.



Şekil 2.9. Dikey eksenli rüzgar türbini

Dikey eksenli makinelerin temel teorik avantajları şöyledir:

1. Jeneratörü, dişli kutusunu, vs. toprağa yerleştirebilir ve makine için bir kuleye gerek kalmaz.
2. Rüzgarı her yönde kabul edebilirler.
3. Dikey eksenli türbinler yön saptırma "Yaw" mekanizmasına gerek duymaz.

Bazı dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir:

1. Kule mekanizmasına gerek olmamasına karşın, yere yakın oldukları için düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar.
2. Dikey eksenli makinelerin genel verimliliği etkili değildir.
3. Makine kendi kendine çalışmaya başlayamaz.

4. Makineyi tutmak için çelik tellere ihtiyaç duyulabilir ancak bu teller yoğun alanlarda kullanışlı değildir.
5. Ana yatağı rotor ile değiştirmek, rotorun hem yatay hem de dikey eksenenden çıkarılmasını gerekli kılar ki bu da tüm makineyi parçalara ayırmayı gerektirir.

2.4.1.5. Yatay Eksenli Rüzgar Türbini

2.4.1.5.1. Üst Rüzgarlı Türbin

Üst rüzgarlı türbinlerde rotor, rüzgar tarafına bakar bu dizaynın temel avantajı kulenin arkasındaki rüzgar gölgesini önlemesidir. Rüzgar türbinlerinin çoğu bu dizayna sahiptir.

Bunun yanında, kulenin önünde de bir rüzgar gölgesi oluşur. Şöyle ki, rüzgar kule yuvarlak olsa da kuleden uzakta, oraya ulaşmadan kırılmaya başlar. Bu yüzden rotor kanatlarının kuleyi her geçişinde, rüzgar türbininden elde edilen güç biraz azalır.

Üst rüzgarlı türbinlerdeki temel sakınca, rotorun daha az esnek olma ihtiyacı ve kuleden biraz uzağa yerleştirilmesi gereğinden kaynaklanır ki bazı üreticiler bunu yüksek maliyetli bulurlar. Bunlara ek olarak bir üst rüzgarlı türbin, rotoru rüzgara karşı tutabilmek için bir sapma mekanizmasına ihtiyaç duyar.

2.4.1.5.2. Alt Rüzgarlı Türbin

Alt rüzgarlı türbinlerde, rotor kulenin rüzgar altı tarafındadır. Bunlar, eğer rotor ve gövde, gövdenin rüzgarı pasif bir biçimde izlemesine uygun bir dizayna sahipse, sapma makinesi olmadan da inşa edilebileceğine ilişkin teorik bir avantaja sahiptir. Bu avantaj büyük rüzgar türbinleri için ekstradan çizelgelere ihtiyaç vardır.

Daha önemli bir avantaj olarak rotorun daha esnek yapılabilmesi karşımıza çıkar. Bu hem ağırlık hem de makinenin dinamik gücü düşünüldüğünde bir avantajdır. Örneğin kanatlar kuleden, yükün bir kısmını alarak yüksek rüzgar hızında bükülecektir. Bu yüzden alt rüzgarlı türbinlerin temel avantajı üst rüzgarlı türbinlerden daha hafif olmasıdır. Temel sakınca ise kulenin rüzgar gölgesinden geçen rotora karşılık rüzgar gücündeki değişimdir. Bu da türbine, üst rüzgarlı türbin dizaynından daha fazla yük bindirebilir.

Rüzgar enerjisinin bir çok olumlu yönü vardır. Bunların faydaları şu şekilde sıralayabilir.

- Sonlu fosil kaynakların kullanımının azaltmak ve bugünkü enerji üretim kaynaklarına destek olur.
- Türbinlerin oturduğu alan çok küçüktür ve türbinler arası alanların kullanıma olanak verirler.
- Rüzgar gücünün elektriğe verimli dönüşümünü sağlar.
- Ömrü dolan türbinleri söküp kaldırmak kolaydır. Arazi yeniden kullanılabilir.

- Rüzgar endüstrisi tüm dünyada gelişmektedir.
- Rüzgar santrali projeleri basit ve türbinlerin bakımı kolaydır.
- Teknolojik alt yapı vardır.
- Tükenmez bir enerji kaynağıdır,
- Sera gazı ve diğer kirletici gaz etkileri oluşturmaz,
- Güvenilirliği ve ucuzluğu gittikçe artmaktadır,
- Rüzgar türbini kurulan bir arazi ikili kullanım imkanına sahiptir.

Bunun yanında rüzgar enerjisinin bazı olumsuzlukları da bulunmaktadır, bunlar ise,

- Gürültü kirliliğine yol açması,
- Zaman zaman kuşların yaralanma ve ölümlerine sebep olması,
- TV görüntüleri ve iletişim sistemlerine etki etmesi,

sayılabilir. Ancak, uygun yerlerin seçilmesi ile bu olumsuzluklar en aza indirilebilir.

2.4.1.6. Rüzgar Enerjisinin Uygulama Alanları

Rüzgar enerjisi, ilk çağlardan beri türbinin shaft enerjisinden faydalanılarak çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Küçük şehir dışı evlerde aydınlatma, soğutma ve güç temininde,

2. Telekomünikasyon ve telemetre tesislerinde,
3. Seyrüsefer işaretlerinde,
4. Su pompalamada,
5. Seraların ısıtılmasında,
6. Yerleşim bölgelerinden uzak yerlerde,
7. Deniz vasıtalarında akü şarjında,
8. Çeşitli ürünleri kesme, biçme, öğütme, sıkıştırma, yağ çıkarma gibi mekanik işlerde,
9. Drenajda,
10. Katodik koruma tesislerinde kullanılmaktadır.

2.4.1.6.1. Su Çıkarmada Kullanılan Yöntemler

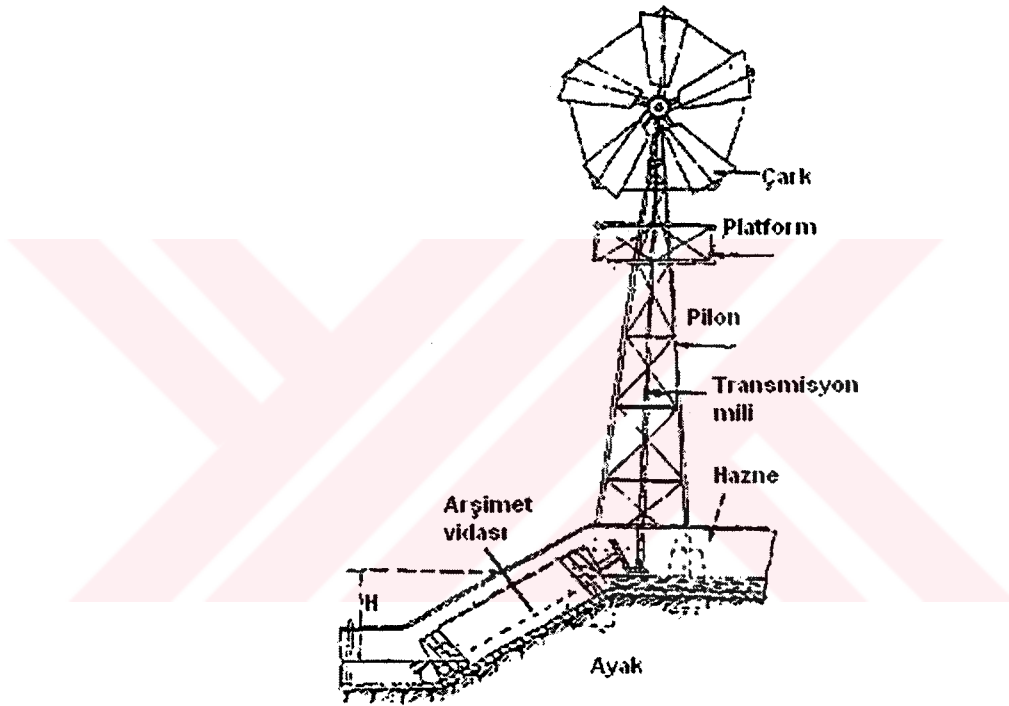
Rüzgar türbin tesislerinden yararlanılarak su kaynaklarından su pompalanmaktadır. Rüzgar enerjisi değişken özellikte olduğundan rüzgar enerjisi yeterli olmadığı zamanlarda suyun depolanması ve diğer zamanlarda kullanılması gerekmektedir.

2.4.1.6.1.1. Su Helezonu ve Zincirle Su Çıkaran Türbinler

Su çıkarmada daha az kullanılmaktadır. Su helezonu ve zincirli su çıkarma araçlarını çalıştıran rüzgar kuvvet makineleri değişken çarklı ve daha az kanatlı yapılmaktadır.

Arşimet vidası çalıştıran bir rüzgar türbini Şekil 2.10'da görülmektedir

(39)

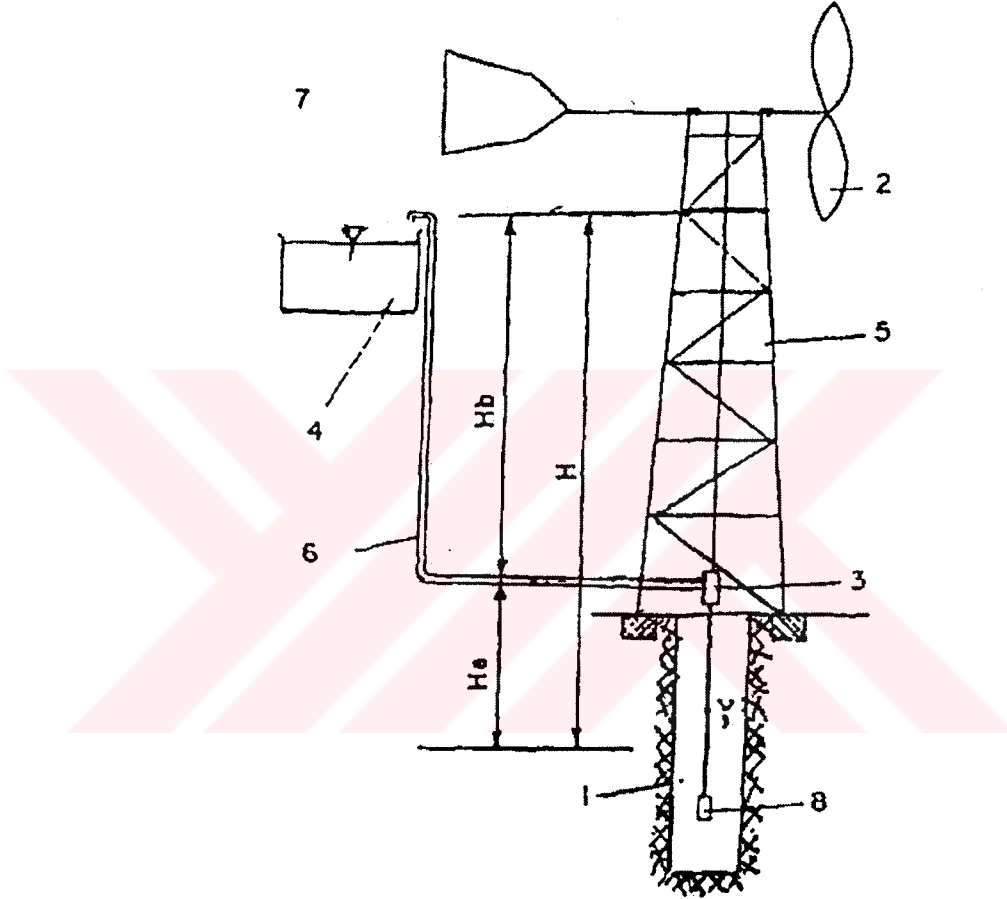


Şekil 2.10. Arşimet vidası çalıştıran rüzgar türbini

2.4.1.6.1.2. Suyu pompalayarak Çıkarma

- **Pistonlu ve Santrifüjlü Pompa Kullanarak Su Çıkarma**

Su pompalamada, hem yatay hem de düşey eksenli sistemlerden yararlanılır. Bununla birlikte, yatay eksenli sistemler daha çok tercih edilmektedir. Bu türbinlere örnek Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Rüzgar su pompaj sistemi

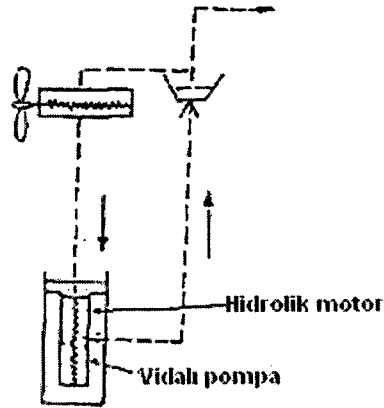
Şekil 2.11'de 1, su kaynağı, 2, rüzgar türbini, 3, pompa, 4, su depolama tankı, 5, güç aktarma organı, 6, su dağıtma sistemleri, 7, yönlendirici, 8, filtre.

2.4.1.6.1.1. Diğer Su Pompalama Yöntemleri

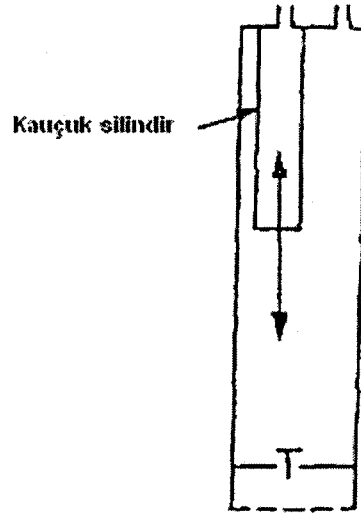
- **Hidrolik İşletim**

Su kaynağı çok derinse oluşacak mekanik kuvvetlerden sakınmak için, bir hidrolik motor kullanılır. Yüksek hızlı türbine bağlı olan pompa, su basma pompasına hareket veren hidrolik motoru besler (Şekil 2.12). Verim, çok silindirli eksensel pistonlu pompa ve motorlarda %50-60, vidalı pompa ve motorlarda ise %40-50 değerine ulaşabilmektedir.

Bu sistemlerde Vergnet pompa gibi bir hacimsel pompada kullanılabilir. Düşük hızlı bir rüzgar türbininin çalıştırdığı hidrolik motor, giriş ve çıkış valfleri bulunan çelik silindir içindeki kauçuk bir silindire periyodik olarak akışkan gönderir. Kauçuk silindir genişlediği zaman çelik silindirdeki su basıncının artmasıyla çıkış valfi açılır ve su dışarıya pompalanır. Kauçuk silindir daraldığında çıkış vanası kapanır ve giriş vanasının açılmasıyla su, çelik silindire doğru emilir (Şekil 2.13).



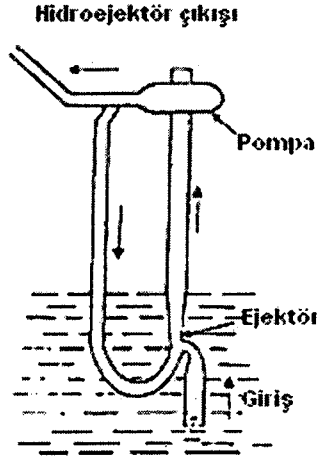
Şekil 2.12. Hidrolik pompa



Şekil 2.13. Vergnet pompa

- **Hidrojektör kullanımı**

Bu sistem, su kaynağının dışına yerleştirilmiş bir santrifüj pompa ile kuyu içine yerleştirilmiş bir Venturi borusundan oluşmaktadır. Suyun bir kısmı pompa aracılığıyla emme kanalından geri gönderilir. Bu nedenle, su borularının, sistemin ilk hareketinden önce doldurulması gerekmektedir (Şekil 2.14).



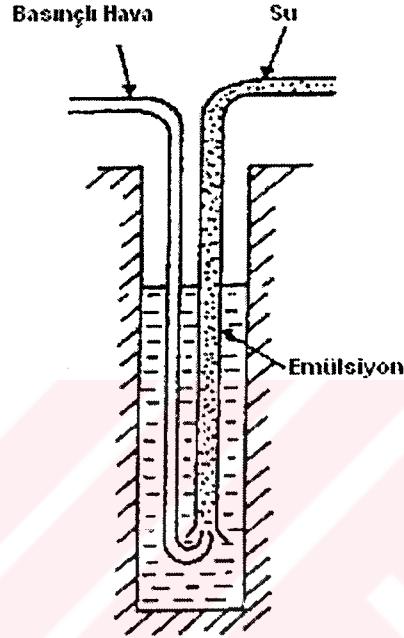
Şekil 2.14.. Hidrojektör sistem

- **Pnömatik İşletim**

Sıkıştırılmış hava ile yapılan su pompalama işlemidir. Bu işlemi gerçekleştirmek için çok pistonlu kompresörler (vidalı ve diyafram kompresörler) kullanılır. Rüzgar türbinleriyle çalışan bu kompresör türlerinden, çok diyaframlı kompresör en iyi çözümdür. Kompresör ile türbin mili arasına bir merkezkaç sürtünme gömleği yerleştirilirse türbinin ilk hareket ve hızlanma değerleri yükselir. Böylece, yükler en az değerlere indirgenmiş olur. Normal bir türbine kıyasla, yardımcı elemanlarla donatılmış sistemlerin başlangıçtaki verimi 3-5 kat arttırılmış olur. Ayrıca, bir basınç rölesi kullanılarak da bu sonuca ulaşılabilir. Kompresör silindirleri alıcıya direkt olarak bağlanamaz. Röle ile istenen değerde tutulan havanın basıncı alıcıda kullanılır. Rotorun dönme hızı azaldığında röle, kompresör silindirleri ile alıcı bağlantısını keser ve atmosfere açık duruma getirir.

— Emülsiyon Yöntemi

h pompalama yüksekliği olmak üzere, su ve hava karışımını içeren borunun uzunluğu $2h$ olmalı ve suya h kadar daldırılmalıdır (Şekil 2.15). Verimi %30'dan daha azdır.



Şekil 2.15. Emülsiyon Sistemi

— Pnömatik Pompa Kullanımı

Bu sistemler su içine daldırılmış bir silindirden oluşmaktadır. Silindirin tabanında giriş valfi bulunur. Basıncı hava gönderilmediğinde bu valf açılır ve su silindire dolar. Bir otomatik aygıtla akışına izin verilen sıkıştırılmış hava, suyu çıkış valfinden basma borusuna gönderir. Basıncı hava su basma borusuna, atmosfere veya kompresörün giriş valfine geri döner. Sabit basınç

için gerek duyulan gücün, dönme hızıyla orantılı olması, pistonlu ve diyaframlı kompresör kullanımında bir eksiklik yaratır. Bu nedenle, türbin gücünden tümüyle yararlanılamaz.

- **Elektrik Enerjisi Kullanımı**

Yüksek hızlı rüzgar türbinleri, bir elektrik jeneratörüne hareket verir. Jeneratör, pompaya bağlı elektrik motorunu besler. Su kaynağı derin ve ortalama rüzgar hızı 5-6 m/sn'den daha büyükse bu uygulama önem kazanır.

Sistemin rüzgarın uygun olduğu yerlere kurulması ile çıkış verimi %30 veya daha yüksek değere yükselebilir. İyi bir su dağıtımı için elektriğin depolanması gerekir. Akü rüzgar hızı yüksek olduğu zamanlarda enerjiyi depolar ve rüzgarsız dönemlerde enerjiyi geri verir. Jeneratör bir alternatör ise, bu durumda akım, doğru akıma çevrilmelidir. Aslında akü kullanılmaksızın direkt jeneratör-motor bağlantısı da yapılabilir. Jeneratör ve motorun zarar görmesini önlemek için türbine hız regülesi yapılmalıdır. Pompanın manometrik yüksekliği, basma yüksekliğinin 1,5-2 katı olacak şekilde seçilmelidir.

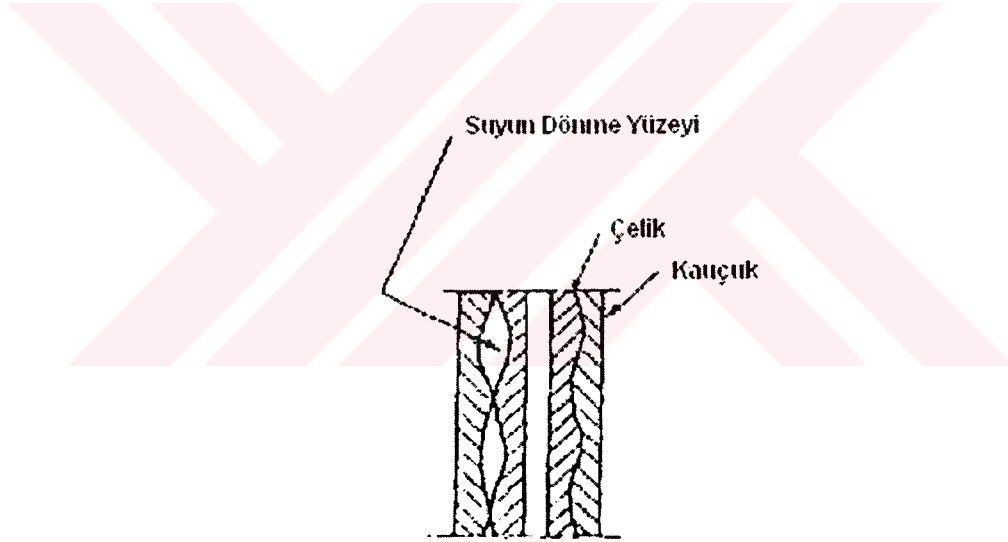
- **Vidalı Pompa**

Kullanımı çok yaygın olmamakla birlikte son zamanlarda gücünden dolayı tercih edilmektedir. Yapışkan sıvıların pompalanması diğer bir uygulama alanıdır. Hacimsel pompa olan vidalı pompa, ya bir kauçuk

stator içinde donen bir vidadan ya da karşılıklı iki sonsuz vidadan oluşur(Şekil 2.16).

Debisi yalnızca dönme hızına bağlıdır. Verimi, 30 m'lik kaldırma yüksekliği için %75-80'e ulaşabilir. Dönme hızları, 100-1000 d/dak arasında değişmektedir.

$\lambda < 3$ (λ = Kanat sayısı rotor çevresel hızının rotora etkiyen rüzgar hızı oranı) olan rüzgar türbinleri daha verimli ve basınç torkları daha yüksek olduğu için yaklaşık 4 m/s'lik rüzgar da ilk harekete başlarlar. Başlangıcı kolaylaştırmak için ya by-pass aygıtı ya da santrifüj kavrama kullanılır ⁽⁴⁰⁾.

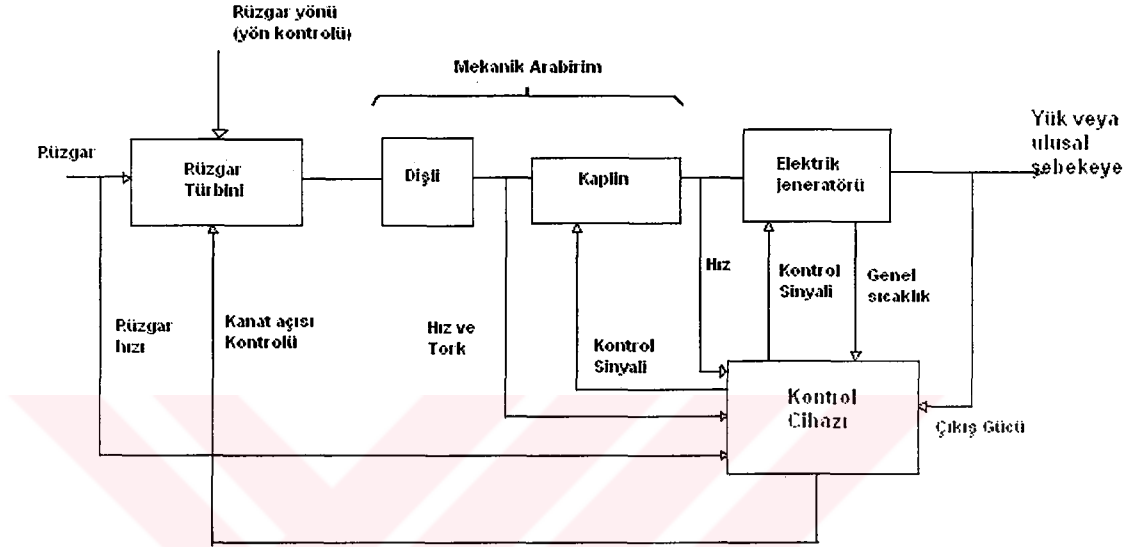


Şekil 2.16. Vidalı Pompa Sistemi

2.4.1.6.2. Rüzgar enerjisinin Elektriksel Uygulamaları

Rüzgardan elektrik üretimi rüzgar enerji uygulamalarının temel yöntemlerinden biridir. Rüzgar elektrik sistemlerinin temel bileşenleri

gösterilmiştir (Şekil2.17). Hareketli havadan mekanik enerjisi şeklinde elde edilen enerji, uygun kaplin ve dişli kutusu içeren mekanik aktarıcı yoluyla elektrik jeneratörüne aktarılır. Jeneratörden elektrik çıkışı, uygulamaya göre bir yüke yada güç şebekesine bağlanır.



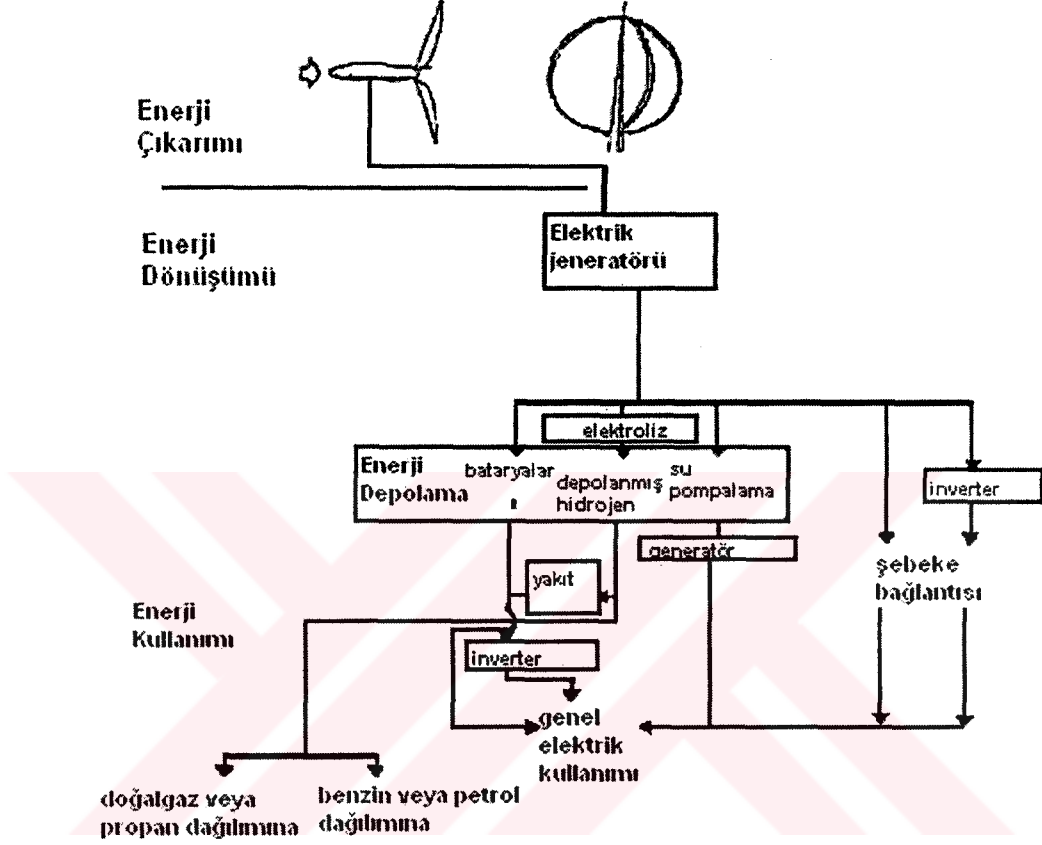
Şekil 2.17. Rüzgar elektrik sisteminin basit bileşenleri

Günümüzde rüzgar enerjisi hem kırsal alanda elektrik enerjisinin yerel üretim ve tüketiminde, hem de elektrik şebekesini beslemek için kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi elektriksel sistem uygulama örnekleri verilmiştir (Şekil 2.18).

Rüzgar enerjisinin elektriksel uygulamalarını üç grupta toplamak mümkündür:

1. Şebeke bağlantılı alternatif akım uygulamaları

2. Şebeke bağlantısı olmayan alternatif akım / doğru akım uygulamaları
3. Uzak doğru akım sistem uygulamaları.

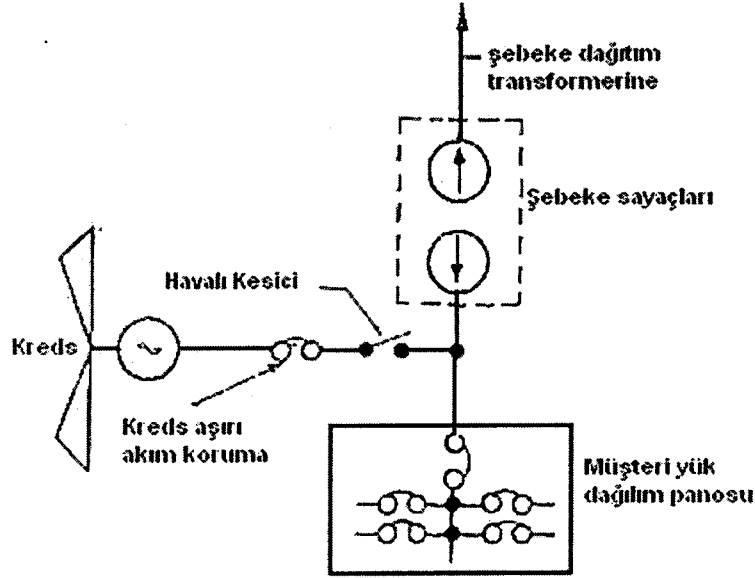


Şekil 2.18. Rüzgar enerjisi elektriksel sistem uygulama örnekleri

2.4.1.6.2.1. Şebeke bağlantılı Alternatif Akım uygulamaları

Bu uygulamada üretilen gücün tamamı veya artan kısmı şebekeye verilir (Şekil 2.19). Rüzgar enerjisi sisteminin ürettiği elektriğin faz ve frekansı ile şebeke değerlerinin uyum içinde olması gerekir. Bu durumu sağlamak için üç yöntem kullanılır;

1. Bir kontrol sistemi ile frekans ve hızın kontrol edildiği senkron jeneratör kullanmak: Bu yöntem, ileri bir elektronik kontrol sistemi gerektirdiği için sadece büyük rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılır.
2. Hat çevirici invertör ile senkron olmayan alternatör kullanmak alternatif akım çıkış, invertör, şebeke güç karakteristiğini doğru akıma dönüştürür. Bu yöntem genellikle küçük sistemlerde tercih edilmektedir. Ancak rüzgar enerjisi dönüşüm sistem çıkışının önce doğru akım, sonra da alternatif akıma dönüştürülmesi ile oluşan kayıplar sistemin etkin verimini azaltabilir.
3. Şebeke gücü referans olarak kabul eden indüksiyon jeneratörü, şebeke bağlantısının zor olduğu durumlarda şebekeye uygun alternatif akım üretmek için kullanılabilir. Diğer yöntemler içinde, en az karmaşık ve ucuz olanıdır.



Şekil 2.19. . Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri şebeke dağıtım bağlantı seması

2.4.1.6.2.2.1.Şebeke Bağlantısı Olmayan Doğru Akım/Alternatif Akım Uygulamaları

Bu uygulamada şebekeye hiç enerji vermeden bir veya birkaç yük beslenir. Tarımsal amaçlı su pompalama, ürünlerin kurutulması veya soğutulması, ısıtıcının işletimi, su arıtma, soğutma ve havalandırma işlemleri örnek olarak verilebilir.

Doğru akım çıkışlı rüzgar enerji sistemleri, aydınlatma, elektrikli ısıtıcılar ve doğru akım motorlu makineler gibi uygulamalarda yüksek verimle kullanılabilir. Doğru akım çıkışlı sistemlerin çoğunda alternatif akım jeneratörler vardır. Çıkış bir doğrultucu ile doğrultulur. Bu güç üretim şekli yüksek maliyet gerektirir.

2.4.1.6.2.3. Uzak Doğru Akım uygulamaları

Röle ve meteoroloji istasyonları, demiryolu sinyalizasyonu, deniz-hava ulaşım sistemleri ve uzak pompa istasyonları bu uygulamaların en iyi örnekleridir.

Dizel veya gaz jeneratörü kullanan uzak doğru akım çıkışlı sistemlerin yerine rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi kullanılması, yakıt giderlerinde tasarruf sağlar. Ayrıca, sürekli bakım onarım gerektirmeden işletimi mümkündür. Bu sistemler uzak yerleşim yerlerinde ısı veya ışık kaynağı olarak da kullanılabilir ⁽⁴⁰⁾.

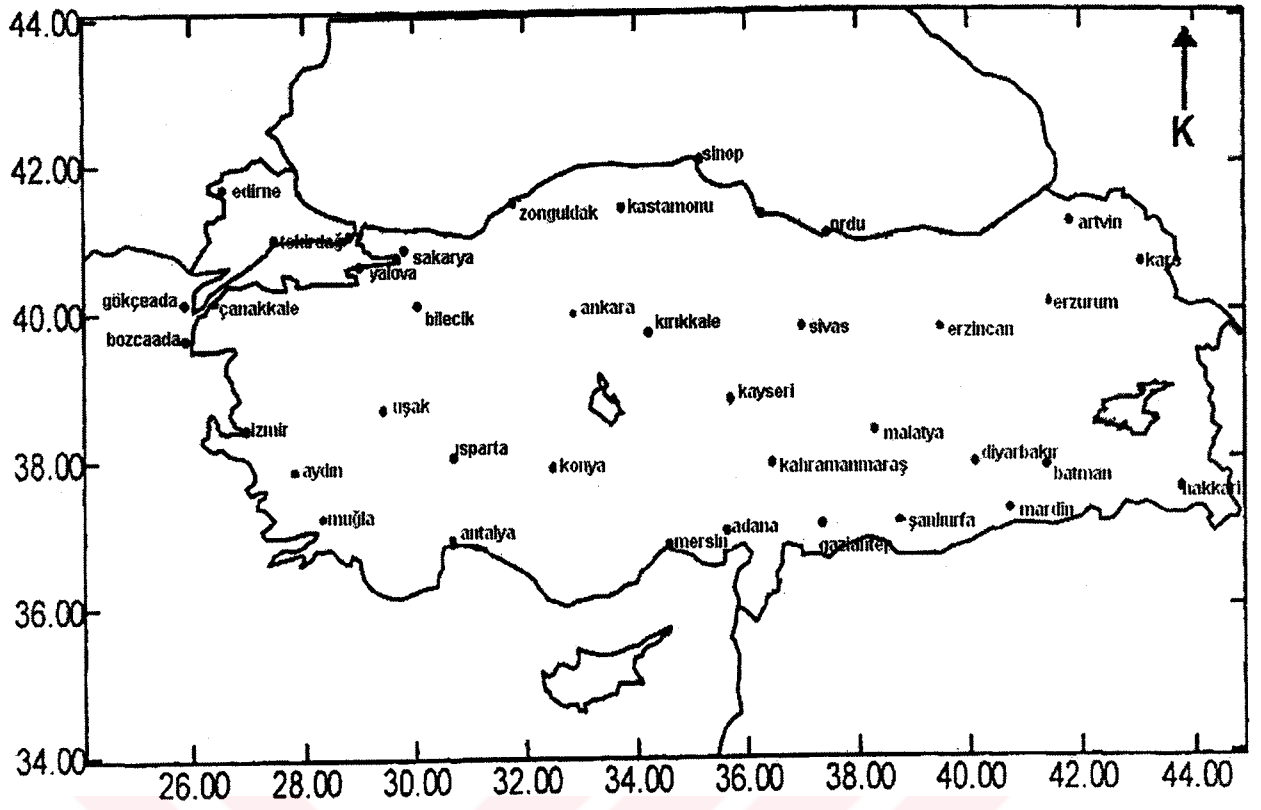


3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Çalışma Alanı ve zellikleri

Bu alıŐmada, Türkiye'de DMI'nin 37. büyük klima istasyonunun 10 yıllık saatlik rüzgar Őiddet verileri kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmekte ve rüzgar enerjisinden daha fazla yararlanmak için illere yönelik çözüm nerileri sunulmuştur. Saatlik verinin yorumları verinin çokluğundan ve rüzgar Şiddetinin düzensiz olmasından dolayı neredeyse imkansızdır. Bu sebeple ortalama rüzgar Őiddetleri hesaplanıp kullanılmıştır. Verileri kullanılan istasyonların zellikleri Şekil 3.1 ve Tablo 3.1'de verilmiştir.

Rüzgar hızı için seçilecek en iyi ortalama alma periyodu 20 dakika ile 1 saatlik zaman aralıkları arasındadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan verinin gözlem periyodu da bu limitler dahilinde (1 saat)seçilmiŐtir. Ancak, lm aletinin hassasiyetinden ve kullanılan verinin büyük bir kısmının mekanik anemogrflarla llmesinden kaynaklanabilecek hatalar göz ardı edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışılan istasyonların konumları

İstasyon	Yükseklik	Enlem	Boylam	İstasyon	Yükseklik	Enlem	Boylam
Isparta	997	37.46	30.33	Erzincan	1218	39.45	39.30
Kahramanmaraş	572	37.36	36.56	Erzurum	1869	39.55	41.16
Antalya	51	36.53	36.10	Kars	1775	40.37	43.06
Mersin	3	36.48	34.36	Malatya	898	38.21	38.19
Adana	20	37.00	35.20	Hakkari	1728	37.35	43.44
Zonguldak	137	41.27	31.48	Gaziantep	855	37.04	37.23
Sinop	32	42.01	35.10	Şanlıurfa	547	37.08	38.46
Ordu	4	40.59	37.54	Mardin	1080	37.18	40.44
Artvin	628	41.11	41.49	Diyarbakır	677	37.54	40.14
Kastamonu	800	41.22	33.47	Batman	540	37.53	41.07
Uşak	919	38.41	29.24	Bilecik	539	40.09	29.59
İzmir	25	38.26	27.10	Bozcaada	28	39.50	26.04
Aydın	56	37.51	27.51	Çanakkale	6	40.09	26.25
Muğla	646	37.13	28.22	Edirne	51	41.40	26.34
Sivas	1285	39.45	37.01	Gökçeada	72	40.12	25.54
Ankara	891	39.57	32.53	Sakarya	31	40.47	30.25
Kırıkkale	747	39.51	33.31	Tekirdağ	4	40.59	27.33
Kayseri	1093	38.44	35.29	Yalova	4	40.39	29.16
Konya	1031	37.52	32.29				

Tablo 3.1. Çalışılan istasyonların özellikleri

3.2. Türkiye Topografyası ve İklimi

Bilindiği üzere, Türkiye 26°-45° doğu boylamları ile 36°-42° kuzey enlemleri arasında yer alan ve üç tarafı denizlerle çevrili bir yarımadadır. Akdeniz, Ege, Karadeniz ve bir iç deniz olan Marmara denizlerine kıyıları bulunmaktadır. Güneyde Toroslar ve kuzeyde ise sahil boyunca İsfendiyar dağları ile kuşatılmıştır. Bunlardan farklı olarak, özellikle Ege ve Marmara bölgesi sahillerinde dağlar denize diktir. Bu durum, Ege ve Marmara bölgelerinin iç kesimlerinde de deniz etkisinin hissedildiği anlamına gelmektedir. Özellikle, deniz-kara etkileşimiyle oluşan rüzgarlar, Akdeniz ve Karadeniz'de geçiş engeli olarak dağlar ile karşılaşmaktadır. Ege ve Marmara bölgelerinde böyle bir durum söz konusu olamamaktadır. Türkiye'ye gelen sinoptik sistemlerin genelinde kuzeybatılı ve batılı olmasından dolayı Ege ve Marmara bölgelerinde kara-deniz etkileşimi ile rüzgarlar daha da şiddetlenmektedir. Bu durum, Türkiye'de rüzgar enerjisi üretimi açısından olumlu yönler taşımaktadır. Bunu destekleyen en önemli belge ise, Avrupa Rüzgar Atlasında bir anlamda Anadolu'nun fiziksel parçaları olan Yunan adalarının rüzgar şiddeti bakımından, en yüksek değerlere sahip olmasıdır. Birbirlerine çok yakın olan bu alanların, birbirlerinden bağımsız olması pek mümkün olmayacaktır. Sahiller dışındaki alanlarda, yani Anadolu'da, topografik etkilerden dolayı oluşan rüzgarlara rastlanabilmektedir. Dağlık çok büyük yerleri içine alan Anadolu'da şiddetli dağ-vadi meltemlerinin oluşmaması neredeyse rüzgar enerjisi üretimi için imkansız görünmektedir. Ne yazık ki, şehirlere yakın veya içerisinde yer alan meteoroloji istasyonları dışında yeteri kadar ölçüm yapılamamasından asından dolayı ayrıntılı bilgiye sahip olunamamaktadır.

Değinilmesi gereken diğer bir konu, Anadolu'da bulunan i gollerinde etkisiyle rüzgar olabileceğidir. Özellikle, Van Gölü'nün büyük bir i göl olmasından dolayı çevresindeki alanlarda yeteri kadar araştırmanın yapılması ile rüzgar şiddetinin yüksek olabileceği alanların bulunabilmesi mümkündür. Ayrıca doğuya gidildikçe yükseltelerin artması ile birlikte rüzgar şiddetlerinde de artış beklenmektedir.

Bilindiği gibi Türkiye'de Akdeniz iklimi, karasal iklim ve bu iki iklimin etkileşimiyle ara iklimler hüküm sürmektedir. Akdeniz iklimi de genel anlamda yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılıman ve yağışlı bir havaya sahiptir. Bunun yanında karasal iklimde yazlar sıcak ve kurak kışlar ise soğuk ve yağışlı bir yapıya sahiptir. Her iki iklimde de bahar mevsimleri ılık ve yağışlı bir yapıya sahiptir. Karadeniz bölgesi her ne kadar farklı iklim yapısına sahip olsa da deniz-kara etkileşiminin olduğu bir iklimdir. Enlem farkından ve kuzeyli cephelerin gelmesinden dolayı nerede ise bütün mevsimler boyunca yağışlı iklime sahip bir bölgedir. Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinin iç kesimlerinde, genelde Akdeniz ikliminin alt çeşitlerine rastlanmaktadır. Anadolu'nun iç kesimlerinde tamamen karasal iklim hüküm sürmektedir. Bununla birlikte, Güneydoğu Anadolu bölgesinin güney bölümlerinde çöl ve karasal iklim etkisi ile oluşan ara iklimin etkisi daha çok hissedilmektedir.

Türkiye coğrafyası genel anlamda göz önünde bulundurulduğunda, Anadolu'daki istasyonların benzer özellikler gösterdikleri ve birbirleriyle etkileşim halinde oldukları gözlenecektir. Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde iç bölgelere doğru gidildikçe etkileşimin azalacağı ve bunun

aksine Ege ve Marmara bölgelerinde iç bölgelere doğru gidildikçe etkinin hissedilebileceğidir.

3.3. Verilerin Düzenlenmesi

Bu bölümde, DMİ verileri kullanılarak 10 yıl boyunca 42 ilde ölçülen saatlik rüzgar hızı verilerinden rüzgar potansiyeli hesaplamaları yapılmıştır. Aşağıda verilen tablolarda her bölge iller bazında birbirlerinden ayrılarak hem ay-ay illere göre ortalamalar alınmıştır hem de bölgelerin ay- ay ortalamaları bulunmuştur.

Tablo 3.2'de görüleceği gibi Akdeniz bölgesine ait 5 ilin rüzgar hızı ortalamaları bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar değerlendirildiğinde incelenen iller içerisinde en iyi rüzgar hızı ortalamasının 2,74 m/s ile Antalya'ya ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,00 m/s ile Adana'ya ait olduğu görülmektedir.

AKDENİZ	ISPARTA	KAHRAMANMARAŞ	ANTALYA	MERSİN	ADANA
Ocak	1,40	0,65	3,08	1,67	1,15
Şubat	1,79	0,86	3,38	1,82	1,21
Mart	1,93	1,10	3,18	2,10	1,17
Nisan	1,98	1,29	2,66	2,37	1,11
Mayıs	1,44	1,45	2,37	2,42	0,99
Haziran	1,46	2,47	2,80	2,76	1,06
Temmuz	1,41	2,80	2,63	2,84	1,01
Ağustos	1,25	2,56	2,42	2,81	0,74
Eylül	1,25	1,73	2,43	2,48	0,77
Ekim	1,21	0,87	2,48	1,87	0,75
Kasım	1,25	0,55	2,50	1,65	0,90
Aralık	1,48	0,56	2,96	1,65	1,09
Ortalama	1,49	1,41	2,74	2,20	1,00

Tablo 3.2 Akdeniz bölgesine ait 5 ilin rüzgar hız ortalamaları

Karadeniz bölgesine ait illerin verildiği Tablo 3.3'de ise en iyi ortalama rüzgar hızının 2,61m/s ile Sinop'a ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,20 ile Kastamonu'ya ait olduğu görülmektedir.

KARADENİZ	ZONGULDAK	SİNOP	ORDU	ARTVİN	KASTAMONU
Ocak	2,48	2,73	1,31	1,54	1,00
Şubat	2,78	2,86	1,53	1,77	1,29
Mart	2,78	3,10	1,50	2,04	1,43
Nisan	2,44	2,84	1,40	1,90	1,39
Mayıs	2,22	2,12	1,42	1,80	1,27
Haziran	2,20	2,42	1,56	2,02	1,32
Temmuz	2,24	2,92	1,65	2,12	1,33
Ağustos	2,40	2,59	1,61	2,07	1,27
Eylül	2,33	2,32	1,47	1,68	1,09
Ekim	2,35	2,50	1,33	1,33	1,02
Kasım	2,44	2,36	1,27	1,45	1,06
Aralık	2,75	2,58	1,35	1,52	0,96
Ortalama	2,45	2,61	1,45	1,77	1,20

Tablo 3.3 Karadeniz bölgesine ait 5 ilin rüzgar hızı ortalamaları

Ege bölgesine ait illerin verildiği Tablo 3.4'de ise en iyi ortalamanın 3.55 m/s ile İzmir'e ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,50 m/s ile Aydın'a ait olduğu görülmektedir.

EGE	UŞAK	İZMİR	AYDIN	MUĞLA
Ocak	1,74	3,29	1,48	1,65
Şubat	1,97	3,60	1,50	1,83
Mart	2,12	3,65	1,50	1,92
Nisan	1,95	3,35	1,55	1,69
Mayıs	1,93	3,49	1,56	1,79
Haziran	2,14	3,85	1,60	2,11
Temmuz	2,12	3,98	1,57	2,28
Ağustos	2,06	3,88	1,52	2,18
Eylül	1,85	3,39	1,50	1,86
Ekim	1,78	3,19	1,25	1,53
Kasım	1,61	3,19	1,37	1,39
Aralık	1,72	3,73	1,54	1,65
Ortalama	1,92	3,55	1,50	1,82

Tablo 3.4 Ege bölgesine ait 4 ilin aylık ortalamaları

İç Anadolu bölgesine ait illerin verildiği Tablo 3.5'de ise en iyi ortalamanın 2,41 m/s ile Ankara'ya ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,22 m/s ile Sivas'a ait olduğu görülmektedir.

İÇANADOLU	SİVAS	ANKARA	KIRIKKALE	KAYSERİ	KONYA
Ocak	1,05	2,13	1,74	1,42	1,25
Şubat	1,22	2,30	2,13	1,63	1,55
Mart	1,43	2,65	2,42	2,04	1,85
Nisan	1,54	2,48	2,17	2,29	1,81
Mayıs	1,31	2,53	2,12	1,74	1,72
Haziran	1,41	2,62	2,45	1,81	1,99
Temmuz	1,42	2,84	2,75	1,82	2,06
Ağustos	1,33	2,78	2,63	1,68	1,89
Eylül	1,06	2,23	1,93	1,53	1,55
Ekim	0,91	2,09	1,77	1,40	1,28
Kasım	0,92	2,00	1,54	1,37	1,14
Aralık	1,10	2,31	1,81	1,49	1,29
Ortalama	1,22	2,41	2,12	1,68	1,62

Tablo 3.5 İç Anadolu bölgesine ait 5 ilin aylık ortalamaları

Doğu Anadolu bölgesine ait illerin verildiği Tablo 3.6'da ise en iyi ortalamanın 2,78 m/s ile Erzurum'a ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,43 m/s ile Erzincan'a ait olduğu görülmektedir.

DOĞU ANADOLU	ERZİNCAN	ERZURUM	KARS	MALATYA	HAKKARI
Ocak	1,14	2,28	1,81	1,34	0,90
Şubat	1,37	2,34	2,38	1,61	1,24
Mart	1,69	2,69	2,47	1,99	1,53
Nisan	1,82	3,35	2,89	2,14	1,95
Mayıs	1,51	3,10	2,78	1,99	1,96
Haziran	1,73	3,03	2,86	2,28	2,03
Temmuz	1,66	3,65	2,78	2,12	2,02
Ağustos	1,56	3,28	2,94	1,95	2,00
Eylül	1,29	2,76	2,53	1,84	1,92
Ekim	1,09	2,40	2,15	1,46	1,65
Kasım	1,11	2,24	1,95	1,31	1,38
Aralık	1,13	2,22	1,97	1,20	1,01
Ortalama	1,43	2,78	2,46	1,77	1,63

Tablo3.6 Doğu Anadolu bölgesine ait 5 ilin aylık ortalamaları

Güneydoğu Anadolu bölgesine ait illerin verildiği Tablo 3.7'de ise en iyi ortalamanın 3.72 m/s ile Mardin'e ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,03 m/s ile Gaziantep'e ait olduğu görülmektedir.

GÜNEYDOĞU ANADOLU	GAZİANTEP	ŞANLIURFA	MARDİN	DIYARBAKIR	BATMAN
Ocak	0,86	1,22	4,02	1,99	1,13
Şubat	0,97	1,41	4,20	2,40	1,44
Mart	1,09	1,55	3,90	2,53	1,66
Nisan	1,11	1,89	3,53	2,32	1,62
Mayıs	1,06	2,04	3,74	2,57	1,62
Haziran	1,39	2,42	4,07	3,55	1,85
Temmuz	1,49	2,33	3,66	3,30	1,50
Ağustos	1,26	2,09	3,32	3,03	1,40
Eylül	0,97	1,79	3,31	2,63	1,38
Ekim	0,65	1,31	3,34	2,14	1,15
Kasım	0,66	1,33	3,64	1,85	0,97
Aralık	0,82	1,28	3,89	1,70	1,15
Ortalama	1,03	1,72	3,72	2,50	1,41

Tablo 3.7 Güneydoğu Anadolu bölgesine ait 5 ilin aylık ortalamaları

Marmara bölgesine ait illerin verildiği Tablo 3.8'de ise en iyi ortalamanın 5.79 m/s ile Bozcaada'ya ve en kötü rüzgar hızı ortalamasının da 1,44 m/s ile Sakarya'ya ait olduğu görülmektedir.

MARMARA	BİLECİK	BOZCAADA	ÇANAKKALE	EDİRNE	GÖKÇEADA	SAKARYA	TEKİRDAĞ	YALOVA
Ocak	1,83	6,07	3,65	1,56	4,08	1,57	2,33	2,25
Şubat	2,19	6,56	4,17	3,89	4,28	1,70	2,48	2,17
Mart	2,25	6,36	4,04	1,91	4,05	1,55	2,53	2,11
Nisan	2,27	4,89	3,54	1,88	3,15	1,46	2,09	1,72
Mayıs	2,34	5,10	3,36	1,69	3,02	1,51	2,10	1,59
Haziran	2,38	4,37	2,94	1,51	2,56	1,36	2,35	1,52
Temmuz	2,76	6,42	3,76	1,64	3,49	1,54	2,55	1,63
Ağustos	2,59	6,20	3,81	1,57	3,57	1,37	2,55	1,62
Eylül	2,20	4,84	3,32	1,42	3,00	1,12	2,32	3,99
Ekim	1,85	5,85	3,64	1,47	3,74	1,04	2,29	1,66
Kasım	1,83	5,76	3,68	1,53	3,71	1,33	2,19	1,87
Aralık	2,14	7,12	4,04	1,74	4,20	1,78	2,68	2,31
Ortalama	2,22	5,79	3,66	1,82	3,57	1,44	2,37	2,04

Tablo 3.8 Marmara bölgesine ait 8 ilin aylık ortalamaları

Türkiye'deki yedi bölgenin ay-ay ortalaması Tablo 3.9 verilmiştir. Hesaplanan rüzgar hızı ortalamalarına bakıldığında en iyi sonucun 2,86 m/s ile Marmara bölgesine ait olduğu ve en kötü ortalamanın da 1,77 m/s ile Akdeniz bölgesine ait olduğu görülmektedir.

	AKDENİZ	KARADENİZ	EGE	İÇANADOLU	GÜNEYDOĞU ANADOLU	DOĞU ANADOLU	MARMARA
Ocak	1,59	1,81	2,04	1,52	1,84	1,50	2,92
Şubat	1,81	2,05	2,22	1,77	2,08	1,79	3,43
Mart	1,90	2,17	2,30	2,08	2,15	2,08	3,10
Nisan	1,88	1,99	2,14	2,06	2,09	2,43	2,63
Mayıs	1,74	1,77	2,19	1,88	2,21	2,27	2,59
Haziran	2,11	1,90	2,42	2,06	2,66	2,39	2,37
Temmuz	2,14	2,05	2,49	2,18	2,46	2,44	2,97
Ağustos	1,96	1,99	2,41	2,06	2,22	2,35	2,91
Eylül	1,73	1,78	2,15	1,66	2,02	2,07	2,78
Ekim	1,44	1,71	1,94	1,49	1,72	1,75	2,69
Kasım	1,37	1,71	1,89	1,40	1,69	1,60	2,74
Aralık	1,55	1,83	2,16	1,60	1,77	1,51	3,25
Ortalama	1,77	1,90	2,20	1,81	2,08	2,01	2,86

Tablo 3.9 Yedi bölgenin aylık ortalamaları

Bu bölümde, 10 yıllık ölçüm verileri kullanılarak rüzgar hızı ortalamaları hesaplanmıştır. Bu veriler gelecek bölümde hesaplanacak rüzgar hız istatistiklerinde; ortalama, standart sapma ve güç potansiyelinin hesaplanmasında kullanılmak üzere analiz edilmiştir

3.3.1. Rüzgar Hız İstatistikleri

Rüzgarın birim zamanda birim alandaki enerjisi için;

$$E_B = 0,5 \cdot \Delta \cdot V^3 \quad (3.1)$$

kullanılmaktadır. Burada ρ , deniz seviyesindeki standart atmosfer şartlarında kabul edilen yoğunluk olup sayısal değeri $1,223 \text{ kg/m}^3$, V ise 10m yükseklikte ölçülen yatay rüzgar hızıdır.

Aşağıda verilen tablolar rüzgar hız istatistikleri; ortalama hız, standart sapma, güç ve V^3 değerlerini içermektedir. Burada görülmektedir ki aynı bölgedeki farklı istasyonlar farklı rüzgar hızına sahiptir.

Akdeniz bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.10 incelendiğinde görülmektedir ki Akdeniz bölgesinin rüzgar gücünün ve V^3 değerinin en fazla olduğu iller Antalya ve Mersin'dir, en az olduğu il ise Adana'dır.

Istasyonlar	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V^3
ISPARTA	1,49	1,39	2,01	20,09
KAHRAMANMARAŞ	1,41	1,45	1,70	18,39
ANTALYA	2,74	1,95	12,56	68,58
MERSİN	2,20	1,15	6,53	34,38
ADANA	1,00	0,94	0,60	5,57
Ortalama	1,77	1,38	4,68	29,40

Tablo 3.10 Akdeniz bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri

Karadeniz bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.11 incelendiğinde görülmektedir ki Karadeniz bölgesinin rüzgar gücünün ve V^3 değerinin en fazla olduğu iller Sinop ve Zonguldak'tır, en az olduğu il ise Kastamonu'dur.

	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V ³
İstasyonlar				
ZONGULDAK	2,45	1,48	8,98	35,55
SINOP	2,61	2,50	10,85	91,86
ORDU	1,45	1,00	1,86	10,69
ARTVİN	1,77	1,27	3,39	22,24
KASTAMONU	1,20	0,72	1,06	5,41
Ortalama	1,90	1,39	5,23	33,15

Tablo 3.11 Karadeniz bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri

Ege bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.12 incelendiğinde görülmektedir ki Ege bölgesinin rüzgar gücünün ve V³ değerinin en fazla olduğu iller İzmir ve Uşak'tır, en az olduğu il ise Aydın'dır.

	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V ³
İstasyonlar				
UŞAK	1,92	1,02	4,29	17,54
İZMİR	3,55	1,92	27,25	94,94
AYDIN	1,50	0,94	2,04	8,95
MUĞLA	1,82	1,13	3,69	14,96
Ortalama	2,20	1,25	9,32	34,10

Tablo 3.12 Ege bölgesindeki 4 il için rüzgar hız istatistikleri

İç Anadolu bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.13 incelendiğinde görülmektedir ki İç Anadolu bölgesinin rüzgar gücünün ve V³ değerinin en fazla olduğu iller Ankara ve Kırıkkale'dir, en az olduğu il ise Sivas'tır.

	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V ³
İstasyonlar				
SIVAS	1,22	0,78	1,12	6,46
ANKARA	2,41	1,34	8,57	30,59
KIRIKKALE	2,12	1,41	5,84	29,37
KAYSERİ	1,68	1,30	2,91	22,68
KONYA	1,62	1,03	2,57	12,42
Ortalama	1,81	1,18	4,20	20,30

Tablo 3.13 İç Anadolu bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri

Doğu Anadolu bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.14 incelendiğinde görülmektedir ki Doğu Anadolu bölgesinin rüzgar gücünün ve V³ değerinin en fazla olduğu iller Erzurum ve Kars'tır, en az olduğu il ise Erzincan'dır.

	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V ³
İstasyonlar				
ERZİNCAN	1,43	1,02	1,77	10,19
ERZURUM	2,78	2,34	13,08	89,75
KARS	2,46	1,69	9,08	51,17
MALATYA	1,77	1,15	3,38	17,33
HAKKARİ	1,63	1,09	2,66	12,83
Ortalama	2,01	1,46	5,99	36,26

Tablo 3.14 Doğu Anadolu bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri

Güneydoğu Anadolu bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.15 incelendiğinde görülmektedir ki Güneydoğu Anadolu bölgesinin rüzgar gücünün ve V³ değerinin en fazla olduğu iller Mardin ve Diyarbakır'dır, en az olduğu il ise Gaziantep'tir.

	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V ³
İstasyonlar				
G.ANTEP	1,03	0,67	0,66	3,21
Ş.URFA	1,72	1,43	3,12	20,58
MARDİN	3,72	2,07	31,39	108,40
D.BAKIR	2,50	1,77	9,55	48,20
BATMAN	1,41	1,24	1,69	16,22
Ortalama	2,08	1,44	9,28	39,32

Tablo 3.15. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki 5 il için rüzgar hız istatistikleri

Marmara bölgesindeki istasyonların rüzgar hız istatistiklerini veren Tablo 3.16 incelendiğinde görülmektedir ki Marmara bölgesinin rüzgar gücünün ve V³ değerinin en fazla olduğu iller Bozcaada, Çanakkale ve Gökçeada'dır, en az olduğu il ise Sakarya'dır.

	Ortalama Hız	Standart Sapma	Güç	V ³
İstasyonlar				
Bilecik	2,22	1,31	6,67	24,70
Bozcaada	5,79	3,29	118,69	338,30
Çanakkale	3,66	2,25	29,95	133,72
Edirne	1,82	1,06	3,67	12,30
Gökçeada	3,57	2,39	27,79	113,92
Sakarya	1,44	0,98	1,84	10,78
Tekirdağ	2,37	1,48	8,14	57,67
Yalova	2,04	1,30	5,14	19,70
Ortalama	2,86	1,76	25,24	88,89

Tablo 3.16. Marmara bölgesindeki 8 il için rüzgar hız istatistikleri

Açıklanan tablolardan da anlaşılacağı gibi analiz edilen veriler göz önünde bulundurulduğunda rüzgar enerjisinin en fazla olduğu bölgeler Marmara, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve Ege bölgesidir. Özellikle Türkiye'nin batı kıyıları rüzgar enerjisinden büyük çapta elektrik eldesi için uygun olduğu görülmektedir.

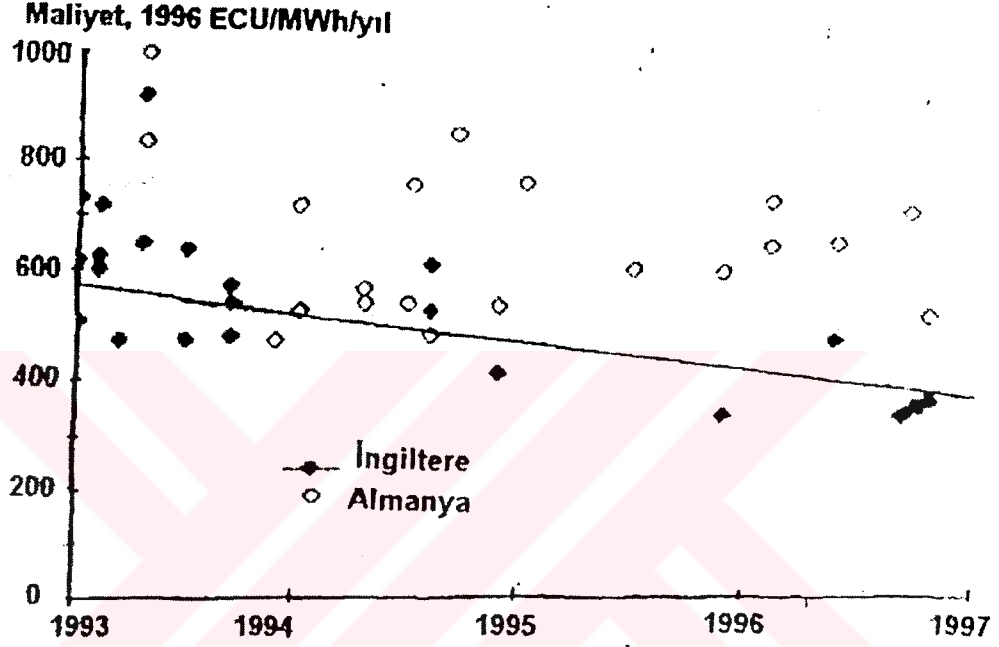
3.4. Rüzgar Santrali Maliyet Analizi

Rüzgar enerjisi teknolojileri, ekonomik maliyet açısından çok hızlı ve istikrarlı bir gelişme göstermektedir. "Pasific Gas & Electric ve Electric Power Research Institute", rüzgar enerjisinin en ucuz elektrik üretim kaynağı olacağı yolunda, 1990'lı yılların başlangıcında, ileriye dönük görüşler bildirmiştir. 1980 yılında ilk rüzgar enerjisi projelerinde rüzgar elektriğinin birim maliyeti 35 Cts/kWh iken. 1997 de bu fiyat 5 Cts/kWh'ın altına düşürülmüştür (41).

Avrupa'da rüzgar elektriğinin en yüksek maliyeti, 0,09 ECU / kWh (10,2 Cts/kWh) ile kurulu gücün en çok olduğu Almanya'da görülmekte, en düşük maliyet ise İngiltere'de 0,05 ECU / kWh (5,7 Cts/kWh) düzeyinin altında bulunmaktadır. Ancak Almanya'da 5,6 Cts/kWh'a düşen, İngiltere'de ise 6,2 Cts/kWh'a çıkan uygulamalar vardır (41).

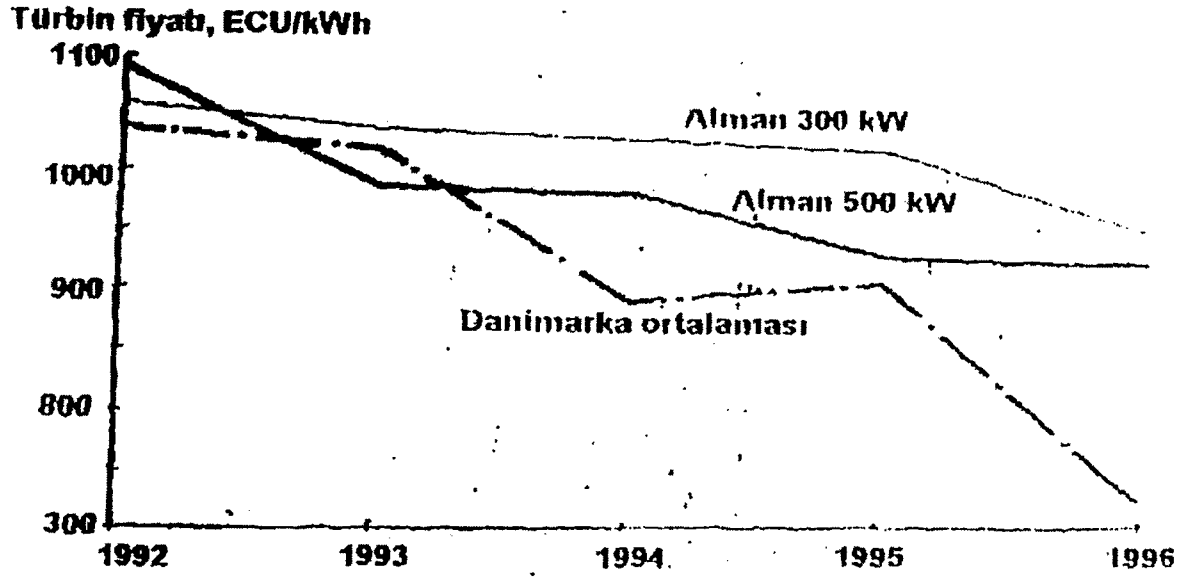
Ekonomik değerlendirmede, türbinlerin birim güç fiyatları da önemlidir. Avrupa'da rüzgar türbini üretici 18 büyük firmadan Türkiye için alınan tekliflere göre, özgül türbin fiyatları 900-1.250 \$/kW arasında bulunmaktadır (41).

Genelde türbin gücünün artması ile özgül türbin fiyatı düşmektedir. Örneğin, 100 kW'ın altındaki makinalarda özgül fiyatın 1.300-1.700 \$/kW düzeylerine yükseldiği görülmektedir. 100-250 kW arasındaki türbinler için özgül fiyat 1.150- 1.400 \$/kW düzeylerindedir ⁽⁴¹⁾.

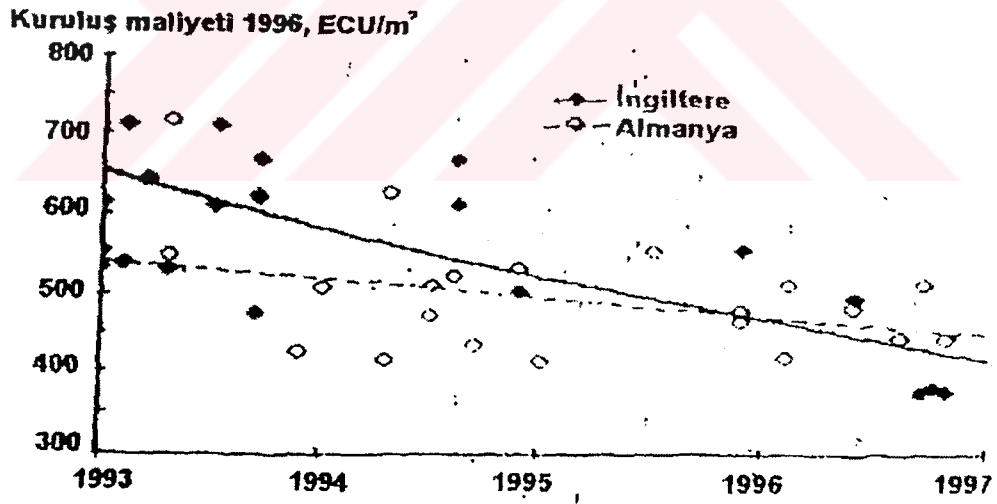


Tablo 3.17. Rüzgardan üretilen elektriğin MWh/yıl maliyetinin trendi ⁽⁴¹⁾

Türbin fiyatları ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Türbin fiyatlarının Almanya ve Danimarka'da 1992-1996 yılları arasındaki değişim trendi Tablo 3.18'de grafik olarak verilmiştir. Tablo 3.19'da ise İngiltere ve Almanya'da rotor süpürme alanının metre karesi başına türbin kurulma maliyetinin trendi gösterilmiştir ⁽⁴¹⁾.



Tablo 3.18. Türbin fiyatları trendi ⁽⁴¹⁾



Tablo 3.19. Rotor süpürme alanının metrekaresine düşen kurulma maliyeti trendi ⁽⁴¹⁾

Danimarka'daki Vestas Rüzgar Sistemleri Şirketi, dünyanın önde gelen rüzgar türbin üreticisidir. Şirketin genel müdürü Johannes Poulsen, rüzgar gücü maliyetinin 1987'den bugüne kadar %30 azaldığını ve 2003 yılına kadar %20-30'luk azalma daha olacağını açıklamıştır.

Washington'daki Yenilenebilir Enerji Politikaları Projesi bulgularına göre 1997 yılında 1000 \$/kW olan rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetleri 2006 yılında 600 \$/kW'a düşecektir.

Minnesota Kamu Elektrik Şirketleri Komisyonu'na, Amerikan arazi koruma grubu "Izaak Walton League" tarafından 1998 ayının Temmuz ayında yapılan sunuşta, rüzgar enerjisi maliyetlerinin en ucuz olarak bilinen doğal gaz maliyetlerinin de altına düşeceği açıklanmıştır. Buna göre, 400 MW yeni rüzgar güç kapasitesi geliştirmek aynı kapasitedeki doğal gaz kombine çevrim santralinden %7 daha ucuzdur. Bu sunuşun neticesi olarak da, oybirliğiyle 400 MW yeni rüzgar kapasitesinin kurulması kararlaştırılmıştır. Bu uygulama, rüzgar enerjisi ekonomisinin her geçen gün daha da iyiye doğru gittiğinin ilk kanıtı olmuştur.

Dünyada kurulu bulunan rüzgar santrallerinin 2002 yılı sonu itibariyle toplam nominal gücü 31.128 MW'tır ⁽⁵⁾. Amerika, Danimarka, Almanya ve İspanya dünyada kurulu bulunan toplam rüzgar gücünün %70'ini üretmektedir. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin hedefi, Avrupa için 2010 yılında 40.000 MW, 2020 yılında ise 100.000 MW rüzgar güç santral kapasitesini tesis etmektir.

"Kaliforniya Enerji Komisyonu" çeşitli enerji seçeneklerinin maliyetlerini ve pazara hazırlıklarını incelemektedir ve rüzgar maliyetlerinin

artık fosil yakıtların en ucuz seçenekleri olan kömür ve gaz ile rekabet edebilir duruma geldiğini ve ABD Federal Üretim Kredisi ile rekabetin daha da iyileştirilebileceğini savunmaktadır . Tablo 3.20'de çeşitli yakıt tiplerinin karşılaştırmalı maliyetleri gösterilmektedir ⁽⁴²⁾.

	İstihdam (kişi/ yıl.TWh)	Yatırım Maliyeti (\$/KW)	Üretim Maliyeti (cent/KVWh)
Petrol	260	1500-2000	5.0 -6.0
Kömür	370	1400-1600	2.5-3.0.
Doğalgaz	250	600-700	3.0-3.5
Nükleer	75	3000-4000	7.5-12.0
Hidrolik	250	750-1200	0.5 - 2.0
Rüzgar	918	1000-1200	3.5-4.5
Güneş	7600	Yüksek	10.0- 20.0
Jeotermal		1500-2000	3.0-4.0

Tablo 3.20. Temel yakıt tiplerinin maliyetinin rüzgar enerjisi ile karşılaştırılması

Rüzgar yeni bir teknoloji olmasına rağmen maliyeti, geleneksel üretimlere göre daha hızlı düşmektedir. Rüzgar türbinlerinin tasarım ömrü 20 yıl olup, işletme ve bakım maliyetleri yatırım maliyetlerinin %2-3'ü kadardır. Ayrıca yakıt maliyeti olmadığından doğal gaz, petrol ve uranyuma benzer temin ve fiyat artışı riskleri yoktur ⁽⁴²⁾.

Tablo 3.21'de kullanım yerlerine göre belirli güçlerdeki rüzgar türbin tiplerine ait teknik özellikler gösterilmiştir. 30 MW'lık, toplam yatırım tutarı 40.605.000 USD, özkaynağı (%15) 6.090.750 USD, dış kredisi (%85)

34.514.250 USD, 10 yıl vadeli ve faizi %7 olarak kabul edilen, örnek bir rüzgar santralına ait kar ve finans tablosu Tablo 3.22'de görülmektedir ⁽⁴¹⁾.



Tip	A	B	C	D	E	F
Kullanım Yeri	Rüzgarlı Bölge	Rüzgarlı Bölge	Az Rüzgarlı Bölge	Off-Shore	Rüzgarlı Bölge	Az Rüzgarlı Bölge
Güç (kV)	500	600	600	1250	1250	1000
Start Rüzgar hızı (m/s)	2,5	2,5	2,5	4,5	3	3
Max. Güç Rüzgar Hızı (m/s)	12,5	11,5	11	15	12,5	11,5
Stop Rüzgar Hızı (m/s)	25	22	20	30	30	30
Güç / Devir Kontrol	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch
Kanat Çapı (m)	41	46	48	56	60	62
Kanat Tarama Alanı (m ²)	1.320	1.662	1.808	2.462	2.827	3.017
Kanat Ayan	FSB (Full Span Pitch)		FSP	FSP	FSP	FSP
Kule Yüksekliği	40/55/60/70	40/55/60/70	60/70	50	50/66,5	62
Ana Fren Sistemi	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol
Emniyet Fren Sistemi	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren
Jeneratör	Asenkron	Çift Beslemeli Asenkron	Asenkron	Asenkron	Çift Beslemeli Asenkron	
Anti Yıldırım Sistemi	Rotor kanatlarına yerleştirilmiş Alüminyum profillerle sağlanır					
Anti Buz Sistemi	Rotor kanatlarına yerleştirilmiş Elektrikli Isıtıcılarla sağlanır					
Uzaktan Kontrol- Kumanda	Telefon hattından otomatik data aktarımı ile sağlanmaktadır					
Gürültü Seviyesi (8 m/s) (dB)	99,6	97,9		108,2	101,8	99,8

Tablo 3.21 Rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri (41)

YILLAR	KREDİ BORÇ BAKİYESİ	KREDİ TAKSİTİ	KREDİ FAİZİ	YILLIK İŞLETME	YILLIK KIRAZI	GİDERLER TOPLAMI	YILLIK GELİRİ	YILLIK KARI \$	İKAR NAKLI YEKÜN \$
1.YIL	34.514.250	0	2.415.998	560.000	121.815	3.097.813	11.095.335	7.997.523	7.997.523
2.YIL	34.514.250	3.451.425	2.415.998	560.000	121.815	6.549.238	11.095.335	4.546.098	12.543.621
3.YIL	31.062.825	3.451.425	2.174.398	560.000	121.815	6.307.638	11.095.335	4.787.697	17.331.318
4.YIL	27.611.400	3.451.425	1.932.798	560.000	121.815	6.066.038	11.095.335	5.029.297	22.360.615
5.YIL	24.159.975	3.451.425	1.691.198	560.000	121.815	5.824.438	11.095.335	5.270.897	27.631.512
6.YIL	20.708.550	3.451.425	1.449.599	560.000	0	5.461.024	11.095.335	5.634.312	33.265.823
7.YIL	17.257.125	3.451.425	1.207.999	560.000	0	5.219.424	11.095.335	5.875.911	39.141.734
8.YIL	13.805.700	3.451.425	966.399	560.000	0	4.977.824	11.095.335	6.117.511	45.259.245
9.YIL	10.354.275	3.451.425	724.799	560.000	0	4.736.224	11.095.335	6.359.111	51.618.356
10.YIL	6.902.850	3.451.425	483.200	560.000	0	4.494.625	11.095.335	6.600.711	58.219.067
11.YIL	3.451.425	3.451.425	241.600"	560.000	0	4.253.025	5.255.685	1.002.660	59.221.727
12.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	63.917.412
13.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	68.613.097
14.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	73.308.782
15.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	78.004.467
16.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	82.700.152
17.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	87.395.837
18.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	92.091.522
19.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	96.787.207
20.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	101.482.892

Tablo 3.22 30MW'lık örnek bir rüzgar santraline ait kar finans tablosu ⁽⁴¹⁾.

Maliyet analizi yapılan büyük ölçekli rüzgar türbinlerinin kurulması için gereken rüzgar hızı her yerde kaydedilmemektedir fakat bu sınırın altında küçük rüzgar türbinlerini çalıştıracak rüzgar hızları tarımda sulamanın yapıldığı dönemler içerisinde bir çok bölgede kaydedilmektedir. Küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin kurulmasıyla tarımda maliyeti arttıran en önemli nedenlerden biri olan sulama maliyeti azalacaktır.

Sulama fizibilitesi yapabilmek için sulanacak alan, su ihtiyacı, kuyunun derinliğinin bilinmesi gerekmektedir. Burada örnek olarak 5 dönümlük bir bahçe için ortalama yıllık su ihtiyacının 5000m³ olduğu kabul edildiğinde; 40m derinlikte bir su kuyusundan dizel pompa, rüzgar pompası ve güneş pompası kullanıldığında m³ su maliyetleri Tablo 3.23'deki gibi olmaktadır.

	DİZEL	RÜZGAR	GÜNEŞ
SİSTEM GÜCÜ	2 kVA	9.62 m2	540 W
YATIRIM MALİYETİ (\$)	1500	2000	8100
SİSTEM ÖMRÜ (YIL)	7	20	15
YILLIK YAKIT MALİYETİ (\$)	350	0	0
YILLIK BAKIM MALİYETİ (\$)	200	50	50
TOPLAM YILLIK MALİYET (\$)	764	150	590
SUYUN TON MALİYETİ (\$)	0.15	0.03	0.12

Tablo 3.23. Küçük ölçekli sistemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kazanç kıyaslaması

Bu analizde büyük türbinlerdeki gibi kendisini amorti etme süresini ve ne kadar kar sağlayacağını tam olarak hesaplayamıyoruz çünkü kullanım koşulları kişilere özeldir. Tablo 3.24’de ise küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin su basma potansiyeli görülmektedir.

BASMA YÜKSEKLİĞİ (metre)	DÜŞÜK RÜZGAR (litre)	ORTA RÜZGAR (litre)	ŞİDDETLİ RÜZGAR (litre)
5	45.000	92.000	149.000
10	22.000	45.000	73.000
15	15.000	29.000	48.000
20	11.000	21.000	35.000
25	9.000	16.000	28.000
30	7.000	13.000	22.000
40	5.500	9.500	16.000
50	4.000	7.000	12.000
60	3.000	5.500	10.000
70	2.500	4.500	8.000
90	1.500	3.000	6.000

Tablo 3.24. Küçük ölçekli rüzgar türbininin su basma potansiyeli.

3.5. Bir Rüzgar Enerjisi Santralında Toplam Yatırım Tutarını Oluşturan Faktörler

1 İnşaat İşleri

2. Elektro mekanik Teçhizat ve Montaj
3. Enterkonnekte Sisteme Kadar Hat ve Bağlantı Giderleri
4. Keşif Bedeli
5. Tesis Bedeli
6. Etüt Proje Kontrollük
7. Sigorta
8. Kamulaştırma
9. Bağımsız Müşavir
10. İşletme Sermayesi
11. KDV
12. Proje Bedeli
13. Yatırım Dönemi Faizleri
14. Kredi Masrafları

3.6. Bir Rüzgar Enerjisi Santralında Yıllık İşletme Giderlerini Etkileyen Faktörler

İşçilik, personel, bakım, onarım, malzeme ve yedek parça, genel giderler

(Yönetim, Vergi, Resim, Harç, Araç Bakımı, İdari, Beklenmedik Giderler), sigorta, amortisman (Ekipman %5, İnşaat %5) vb.

Bu giderleri aşağıdaki gibi ayrıntılandırmamız mümkündür:

- İşletme Masrafları
- Yedek Parça
- Tesis Sigortası (Yangın, yıldırım, infilak, deprem, sabotaj, terör, fırtına, vs)
- Personel Masrafları (Mühendis, Teknisyen, Bekçi, Sosyal Sigorta Kıdem Tazminatı vs)
- Sosyal Sigorta
- Vergi, Resim ve Harçlar
- Araç Bakım
- İdari Giderler (Büro, Muhasebe, Telefon vs)
- Diğer Giderler

3.7. Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Yatırımları

Tablo 3.25'de, ülkemizde şu andaki mevcut rüzgar enerjisi yatırımları gösterilmektedir.

Tablo 3.25'deki firmaların dışında, rüzgar enerjisi konusunda büyük atılım ve yatırımlar yapmayı planlayan kuruluşlar da mevcuttur. Bunlardan birisi de, Medya Holding ortaklarından Bilgin Holding'tir. Bilgin Holding - Escort Enerji Ortak Girişim Grubu , Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan gerekli yatırım izninin çıkması halinde İzmir bölgesine 100 milyon dolarlık rüzgar santralleri kurmayı planlamaktadır.

Grup, Foça'da 29,6 MW, Urla - Özbek'te 29,6 MW ve Petkim - Aliğa'da 20 MW kurulu güçte 3 santral ile 100 milyon dolarlık bir yatırım yapmayı ayrıca Karacabey'de 20 MW, Gelibolu'da 16 MW, Marmara'da 10 MW ve Nurdağ'da 30 MW kurulu güçte santraller kurmayı planlamaktadır ⁽⁴¹⁾.

Küçük ölçekli rüzgar türbinlerindeki yatırımlar ise kişiye özeldir bu sebeple ne kadarlık bir yatırım yapıldığı bilinmemektedir fakat bölgelerin bu şekilde yatırımlara uygun olduğu ve diğer küçük ölçekli enerjilerden daha verimli olduğu kanıtlanırsa bu alandaki yatırımların artacağı düşünülmektedir .

Projenin Adı	Yeri	Gücü (MW)
Sözleşmesi imzalanan rüzgar projesi		
Çeşme Alaçatı Rüzgar Santrali (ARES A.Ş.)	İzmir-Çeşme-Alaçatı	7.2
Sözleşme görüşmesi süren rüzgar projesi		
Kocadağ Rüzgar Santrali (As Makinsan)	İzmir-Çeşme-Kocadağ	50.4
Fizibilite raporu değerlendirilen rüzgar projeleri		
Bozcaada Rüzgar Santrali (Genel Enerji-Yeni Gün İnşaat)	Çanakkale-Bozcaada	5
Çanakkale Rüzgar Santrali (As Makinsan)	Çanakkale	30
Bozcaada Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.)	Çanakkale-Bozcaada	10.2
Revize fizibilite raporu beklenen rüzgar projeleri		
Akhisar Rüzgar Santrali (Ak-En Enerji -SASAŞ İnşaat)	Manisa-Akhisar	12
Gökçeada Rüzgar Santrali (Simelko)	Çanakkale-Gökçeada	1.62
Fizibilite raporu beklenen rüzgar projeleri		
Akhisar Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Manisa-Akhisar	30
Datça Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Muğla-Datça	30
Mazıdağ Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	İzmir-Çeşme-Alaçatı	39
Hacıömerli Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Aliağa-İzmir	45
Bodrum Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Muğla-Bodrum-Yalıkavak	19.8
Kocadağ Rüzgar Santrali (MAGE)	İzmir-Çeşme-Kocadağ	43.5
Yaylaköy Rüzgar Santrali (MAGE)	İzmir-Karaburun	15
Şenköy Rüzgar Santrali (Akfırat A.Ş.)	Hatay-Şenköy	12
Çeşme Rüzgar Santrali (Prokon)	İzmir-Çeşme	12
Yalıkavak Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Muğla-Bodrum-Yalıkavak	15
Beyoba Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Manisa-Akhisar-Beyoba	15
Lapseki Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Çanakkale-Lapseki	15
Bandırma Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Balıkesir-Bandırma	15
Datça Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Muğla-Datça	15
Karaburun Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	İzmir-Karaburun	22.5
Başvuru raporu değerlendirilen rüzgar projeleri		
Karabiga Rüzgar Santrali (As Makinsan)	Çanakkale-Karabiga	15.0-30.0
Kapıdağ Rüzgar Santrali (As Makinsan)	Balıkesir-Erdek	20.0-35.0
Belen Rüzgar Santrali (Teknik Ticaret)	Hatay-Belen	20.0-30.0
Intepe Rüzgar Santrali (Interwind Ltd)	Çanakkale-Intepe	30
Intepe Rüzgar Santrali (SantaF A.Ş.)	Çanakkale-Intepe	13.2
Başvuru raporu sunulup, ölçümleri beklenen rüzgar projeleri		
Karabiga Rüzgar Santrali (Teknik Ticaret)	Çanakkale-Karabiga	5.0-7.0
Karabiga Rüzgar Santrali (Ak-En)	Çanakkale-Karabiga	12
Yellice Rüzgar Santrali (As Makinsan)	İzmir-Yellice Belen-Karaburun	70.0-100.0
TOPLAM (30 Proje)		645.42-737.42

Tablo 3.25. Yap-İşlet-Devret modeli ile kurulmak istenen Türkiye rüzgar santralleri ⁽⁴²⁾.

4. Tartışma ve Sonuç

Rüzgar enerjisinin bir çok kullanım alanı olduğu daha evvelki bölümlerde belirtilmiştir. Bu kullanım alanlarından biri de rüzgar enerjisinden sulama da faydalanmaktır. Sulamada faydalanılan rüzgar türbinleri düşük güçteki küçük ölçekli rüzgar türbinleridir. Bu türbinler büyük rüzgar türbinlerinin enerji üretimi için ihtiyaç duyduğu rüzgar hızından daha az rüzgar hızıyla çalışabilir. Su pompalama için gerekli olan minimum rüzgar hızı 2,2 ve 3,1 m/s arasındadır ⁽⁴⁶⁾. Elektrik üretimi için gerekli olan rüzgar hızı ise 6 m/s dir. Günümüzde rüzgar enerjisinden elektrik üretim sistemlerinin gelişmesiyle büyük rüzgar türbinlerinin kurulması için gerekli rüzgar hızı 3 m/s ye düşmüştür. Fakat rüzgar değişken olduğundan dolayı elektrik üretimi için minimum 3 m/s ile sınırlansa da rüzgar tarlası kurulması için yıl ortalamasının 3 m/s'den çok daha fazla olması gerekmektedir. Bu değerler göz önünde bulundurularak veriler incelendiğinde görülecektir ki enerji üretimi için elverişli olan sadece 5 il olmasına karşın sulama amaçlı kullanıma uygun çok daha fazla il bulunmaktadır.

Sulama sistemleri basit yapıları olduklarından dolayı bireysel olarak da ev aydınlatmalarında ve küçük ölçekli enerji ihtiyacını gidermekte kullanılabilir.

Bu çalışmada rüzgar hızları 2 hız aralığında birbirinden ayrılmış ve bu aralıklarda ne kadar estiği yüzde olarak hesaplanmıştır. Burada; a ile ifade edilen 2,2 m/s ile 6 m/s , b ise 6 m/s üzerindeki rüzgar hızlarında esme yüzdeleridir.

Tablo 4.1'de Akdeniz bölgesi için rüzgar hız yüzdeleri verilmektedir. Bu yüzdeler incelendiğinde görülmektedir ki enerji üretimi için yeterli rüzgar potansiyeline sahip değildir. Bölgenin geçim kaynaklarından biri olan tarım nedeniyle sulama için bölgeyi incelediğimizde görmekteyiz ki bölgede suyun ihtiyaç duyulacağı Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında tüm yıla oranla aylık rüzgar hızlarının esme yüzdesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle Antalya ve Mersin'in rüzgar hız yüzdeliği rüzgarla su pompalamaya uygundur. Kahramanmaraş içinse Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için rüzgarla su pompalama uygundur. Isparta'da kimi aylar için rüzgar hızı yeterli olsa da bu aylar sulama için uygun değildir. Bu sebepten dolayı sulama amacıyla yapılacak yatırıma uygun değildir. Adana ise rüzgar potansiyeli tüm yıl için çok düşüktür. Burası rüzgarla ilgili herhangi bir yatırıma uygun değildir.

İncelediğimiz rüzgar verilerine göre Akdeniz bölgesinde rüzgar tarlaları kurup büyük ölçüde elektrik enerjisi üretmek için uygun olmasa da bölgede kişisel çözümler üretilerek ülke ekonomisine destek sağlanabilir

AKDENİZ	ISPARTA		KAHRAMANMARAŞ		ANTALYA		MERSİN		ADANA	
	a	B	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	23,4	1,8	6,8	0,5	40,4	12,7	22	0,2	16,6	0,3
Şubat	31,7	2,4	11,3	0,4	43,4	15,8	27	0,86	15,7	0,4
Mart	32,2	3,9	16,4	0,6	47,4	11,6	34,4	2	15	0,5
Nisan	33,43	4,24	24,4	0,2	44	6,4	37,4	4,4	14,6	0,2
Mayıs	23,4	1,55	30,6	0,15	44,2	3	42	3,5	10,2	0
Haziran	24,5	0,7	54	2,2	50	6,1	47,4	5,7	12,1	0,1
Temmuz	24	0,5	60,2	2	47,7	5,5	49,2	5,6	11,7	0
Ağustos	20,8	0,2	56,05	1,5	46,4	2,6	46	6,1	6,1	0
Eylül	20,3	0,7	39	0,2	44,2	3,4	40	4,3	7,4	0
Ekim	20	0,5	14,3	0,3	43,4	4,8	30	0,8	6	0
Kasım	22,3	1	6	0,3	36,6	6,75	22	0,53	10,3	0,1
Aralık	26,8	1,8	4,7	0,5	42,2	10,9	20,3	0,6	15,4	0,1
Ortalama	25,24	1,61	26,98	0,74	44,16	7,46	34,81	2,88	11,76	0,14

Tablo 4.1. Akdeniz bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri

Tablo 4.2'de Doğu Anadolu Bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri verilmektedir. Bu yüzdeler incelendiğinde görülmektedir ki Doğu Anadolu bölgesinde enerji üretimi için yeterli rüzgar potansiyeline sahip değildir. Bölge ekonomisinde büyük öneme sahip olan tarımın sulamalı yapılmasıyla verimli bu topraklardan daha fazla ürün alınabilecektir. Erzincan, Malatya ve Hakkari illerinden alınan veriler incelendiğinde görülmektedir ki bu üç yöre rüzgar enerjisinden yararlanmak için uygun değildir. Kars'dan alınan veriler incelendiğinde ilin bölgeye göre yüksek rüzgar potansiyelinin olduğu görülmektedir fakat bu değerler elektrik üretimi için yeterli değildir hatta kış aylarında küçük ölçekli türbinler için bile yetersiz rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bölgede incelenen iller içerisinde rüzgar potansiyelinin en büyük olduğu yer Erzurum'dur. Erzurum yöresinde rüzgar enerjisinden küçük ölçekli türbinlerle yararlanılarak sulamada yararlanılabilir.

İncelenen verilere genel anlamda bölge için bakacak olursak Doğu Anadolu bölgesi düşük rüzgar hızına (2-3 m/s) sahiptir.

DOĞU ANADOLU	ERZİNCAN		ERZURUM		KARS		MALATYA		HAKKARI	
	A	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	11,7	0,4	25	10,7	21	2,4	14,2	0,4	10,5	0
Şubat	17,2	0,3	25,6	10,9	32,3	6	18,8	1,3	18,6	0,2
Mart	25,7	0,85	30,7	13,3	34,8	7	27,7	2,9	27,4	0,1
Nisan	30,2	0,9	40,6	17,2	44,3	9	30,9	3,2	40,8	0,2
Mayıs	22,5	0	39,5	14,4	41	8	29,9	1,7	40,9	0,15
Haziran	29,4	0,2	42	12,9	44,4	8,5	36,9	2,7	43	0,36
Temmuz	26,2	0,1	47,2	19,2	50,3	6	34,7	1,2	42,4	0
Ağustos	23,3	0	44,2	15,3	47	9	28,4	0,8	42,4	0
Eylül	15,7	0	36	11,5	39	5,8	25,2	1	39,3	0
Ekim	10,7	0	35,6	8,5	32,6	3,3	14,4	0,6	29,6	0
Kasım	12	0,5	28,3	8,5	23,6	3,8	12,1	0,6	21,9	0
Aralık	12	0,34	25,3	10	23,5	4,4	10,5	0,5	12,8	0
Ortalama	19,72	0,30	35,00	12,70	36,15	6,10	23,64	1,41	30,80	0,08

Tablo 4.2. Doğu Anadolu bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri

Tablo 4.3'de Ege bölgesi için rüzgar hız yüzdellikleri verilmektedir. Bu yüzdellikler incelendiğinde görülmektedir ki enerji üretimi için İzmir ili yeterli rüzgar potansiyeline sahiptir. Bölgenin iç taraflarında geçim kaynaklarından biri olan tarım nedeniyle sulama için bölgeyi incelediğimizde görmekteyiz ki bölgede sadece Muğla ili Temmuz ve Ağustos aylarında sulama için ihtiyaç duyulan potansiyele yakındır. Bu bölge için özellikle dikkat edilmesi gereken husus bölgenin çok girintili çıkıntılı olması ve ölçümlerin şehirlerde yapılmış olmasıdır.

İncelediğimiz rüzgar verilerine göre Ege bölgesinde rüzgar tarlaları kurup elektrik enerjisi üretmek için uygun il bulunmaktadır.

EGE	UŞAK		İZMİR		AYDIN		MUĞLA	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	27,1	0,5	53,3	10,8	26,5	0	33,5	0,4
Şubat	34	0,8	55,3	13,3	26,3	0	39,7	0,4
Mart	38,4	1,2	57,8	13,8	25,7	0	42,8	0,6
Nisan	35,5	0,6	59,6	9,3	26,9	0	36,4	0
Mayıs	36,6	0,2	57,1	12,3	27,8	0	41,2	0
Haziran	42	0,5	56,5	18,6	29,8	0	49,8	0,2
Temmuz	42,5	0,3	58,6	19,5	28,6	0	57,9	0,2
Ağustos	42,4	0,2	60	17,4	26,6	0	54,2	0
Eylül	33	0,3	56,6	11,2	26,3	0	44	0
Ekim	28,2	0,25	55,6	8,3	17,2	0	30,8	0
Kasım	20,7	0,2	50,5	9,8	21,9	0	27,8	0
Aralık	25,7	0,5	55	15,2	29,2	0	34	0
Ortalama	33,84	0,46	56,33	13,29	26,07	0,00	41,01	0,15

Tablo 4.3. Ege bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri

Tablo 4.4'de Güneydoğu Anadolu bölgesi için rüzgar hız yüzdeleri verilmektedir. Bu yüzdeler incelendiğinde görülmektedir ki Mardin ili kayda değer bir rüzgar potansiyeline sahiptir. İlin a kategorisindeki rüzgar potansiyeli yüksek olduğu kadar b kategorisinde de önemli bir paya sahiptir. b kategorisinde ki bu pay ilin rüzgar hızı ortalamasını yükseltmekte bunun sonucu olarak ilin rüzgardan daha büyük faydalar elde etmesine neden olabilmektedir. Şanlıurfa ve Diyarbakır Mardin'den sonra en fazla rüzgar potansiyeline sahip illerdir. Fakat buralardaki yüzdeler Şanlıurfa için Mayıs, Haziran, Temmuz Diyarbakır içinse kış ayları hariç her ay için sulama yapmak ve küçük ölçekli üretim için uygundur. Gaziantep ve Batman illeri bölgenin en az rüzgar potansiyeline sahip illerdir. Bu illerin sahip oldukları potansiyel ile rüzgar enerjisinden yararlanma gibi bir imkanı yoktur.

Bölgede yapılan gelişmemiş tarımı kalkındırmak amacıyla sulamalı tarımın öğretilmesi için rüzgar potansiyelinin yeterli olduğu yerlerde bu yönde çalışmalar yapılması ülke ekonomisine büyük katkıda bulunacaktır çünkü bölge verimli toprakları içinde bulundurduğu gibi ayrıca GAP projesiyle de bölgenin su sorunu da büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

GÜNEYDOĞU ANADOLU	GAZİANTEP		ŞANLIURFA		MARDİN		DİYARBAKIR		BATMAN	
	A	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	4,8	0	16,5	0,3	51,4	21,4	31	3	11,3	1,2
Şubat	6,9	0	20,5	1	50,3	24,2	39,2	5,5	19,4	1,6
Mart	10,7	0	24,8	0,7	57,4	17,8	40,6	6,4	23	2,6
Nisan	10,5	0	30,6	2,4	59,5	12	37,5	4,5	23	2
Mayıs	8,3	0	36,9	2,2	63,5	13,8	41,4	6	22,6	2,2
Haziran	16,9	0	45,6	3,8	68,75	15,75	60	11,9	27,4	2,7
Temmuz	19	0	45,8	2,2	68,4	11,4	65	7	22,6	0,75
Ağustos	11	0	39,3	2,2	66,5	7	59,2	6	20	0,3
Eylül	6,2	0	30,4	2	63,3	8,2	44	6,6	16	1,3
Ekim	1,6	0	19,2	0,6	57,2	11,2	34,3	2,8	10,8	0,7
Kasım	3,25	0	20,2	0,4	56,25	14,4	26,9	2,9	8	0,6
Aralık	4,7	0	18,6	0,3	53,3	18,8	25,1	1,9	12,8	1
Ortalama	8,65	0,00	29,03	1,51	59,65	14,66	42,02	5,38	18,08	1,41

Tablo 4.4. Güneydoğu Anadolu bölgesine ait rüzgar hız yüzdeilikleri

Tablo 4.5'de İç Anadolu bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri verilmektedir. Tablo incelendiğinde görülmektedir ki genel olarak bölgede rüzgar yüksek hızda esmemektedir. Bölge iklim yapısı olarak karasaldir. Karasal iklim özelliği, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı olmasıdır. Bölgenin tahıl üretiminde büyük öneme sahip olması yazın oluşan kuraklığın önem kazanmasına neden olmaktadır. Yetiştirilen bu ürün mevsimlik bir bitki olduğundan yetiştirme dönemi olan ilkbahar ve yaz aylarının sulama açısından önem kazanmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan tablo incelendiğinde görülmektedir ki Ankara ve Kırıkkale rüzgardan sulamada yararlanmak için uygundur. Kayseri ve Konya illerinde de yüzdeler kayda değer olsa da kaydedilen bu oran anlık rüzgarı da içinde bulundurduğundan ortalama göz önünde bulundurarak rüzgardan bir fayda sağlamak için yeterli potansiyele sahip olmadığını görmekteyiz. Bölgenin en az yüzdeliğe sahip ili Sivas'tır. Tablo 4.5'den görüldüğü gibi Sivas'ta rüzgar yüksek hızlarda esmemektedir. Ayrıca "a" kategorisindeki yüzdeler de çok düşüktür. Bu rakamlar göz önünde bulundurularak Sivas'a bu amaçla yatırım yapılmasının uygun olmadığı görülmektedir.

İÇ ANADOLU	SİVAS		ANKARA		KIRIKKALE		KAYSERİ		KONYA	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	9,8	0	40,2	1,1	25,7	1,6	11,7	2,2	13,9	0,1
Şubat	13,6	0	45,3	1,5	34,5	3	17	2,6	22,3	0,7
Mart	22,3	0	51,7	3,8	41,1	3,5	26,8	4,4	31,5	0,9
Nisan	26,5	0	51,6	2,2	37,1	2,5	31,3	6	29,5	1
Mayıs	20,5	0	53,7	1,7	35,6	1,8	23,6	1,7	30,6	0,1
Haziran	25	0	57,3	1,8	45,7	2,5	28,7	1	38,9	0,1
Temmuz	25,7	0	61,6	2,6	51,8	4,1	30,6	0,5	43,7	0
Ağustos	23,4	0	62,8	1,9	48,9	3,7	25,9	0,3	37,4	0
Eylül	14,7	0	46,7	0,5	30,7	1,7	18	0,6	23,9	0,1
Ekim	10,6	0	39,5	0,9	26,6	1,3	12,7	1	16,5	0,1
Kasım	10,1	0	37,4	0,5	20,6	0,9	10,3	2,4	13,7	0,2
Aralık	12,4	0	45,5	2,1	28,6	1,8	11,5	3,3	16,2	0,4
Ortalama	17,88	0,00	49,44	1,72	35,58	2,37	20,68	2,17	26,51	0,31

Tablo 4.5. İç Anadolu bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri

Tablo 4.6'da Karadeniz bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri görülmektedir. Sonuçları incelediğimizde görmekteyiz ki bölgenin kıyı kesimleri yüksek oranda orta şiddetli rüzgar potansiyeline sahiptir. bu durum iç kesimlere gidildikçe azalmaktadır. Bölgenin en yüksek rüzgar yüzdeliği Zonguldak ve Sinop'a aittir. Zonguldak a kategorisinde Sinop'tan daha fazla bir yüzdeliğe sahipse de Tablo 3.3 den hatırlayacağımız gibi Sinop'un ortalama rüzgar hızı Zonguldak'tan yüksektir. Bunun nedeni Sinop'un yüksek hızlı rüzgar potansiyeline sahip olmasıdır. Her iki ilde de rüzgar potansiyelinden faydalanılabilir fakat dikkat edilmesi gereken husus Sinop için kurulacak küçük ölçekli türbinlerin yüksek hızlarda kendini koruyabilecek donanıma sahip olmasıdır. Zonguldak ise kış aylarında yüksek hızda rüzgarlara sahiptir bu nedenle, eğer sulama için rüzgardan yararlanılacak ise kış mevsiminde sulama yapılmadığı için kanatlar devre dışı bırakılarak türbin korumaya alınabilir. Artvin, Ordu ve Kastamonu tüm yıl içinde küçük ölçekli türbinler için gerekli minimum hızı sağlayamamaktadır. Bu nedenle yatırıma uygun değildir.

	KARADENİZ		ZONGULDAK		SINOP		ORDU		ARTVIN		KASTAMONU	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	45,9	3	31,9	13,2	14,7	0,5	21,3	0,4	7,4	0		
Şubat	48,2	6	33,9	14,3	21,3	0,5	30,3	0,5	14,4	0		
Mart	54,3	4,5	38,9	15	21,5	0,5	35,7	1,6	19,7	0		
Nisan	47	2,4	39,8	11,8	17	0,4	29,4	2,2	18	0		
Mayıs	40,6	2,1	34,5	5,8	16,8	0,8	27,4	2,3	15,3	0		
Haziran	43,6	0,8	37,3	8,4	19,7	1	33	3,8	18,4	0		
Temmuz	46,5	0,9	40,9	12,4	20,6	1,5	35,4	4,2	19,4	0		
Ağustos	47,8	2,1	39,3	8,7	19,2	1,4	35,5	4	17,3	0		
Eylül	47,5	1,3	36,5	7,1	16,5	0,1	26,2	1,9	10,8	0		
Ekim	46	2	34,5	9,9	14,2	0,4	17	0,4	7,2	0		
Kasım	47,5	2,6	29,5	10,2	12,2	0,3	18,6	0,1	8	0		
Aralık	49,6	5,7	32,2	11,3	15,2	0,3	22	0,1	6,8	0,2		
Ortalama	47,04	2,78	35,77	10,68	17,41	0,64	27,65	1,79	13,56	0,02		

Tablo4.6. Karadeniz bölgesine ait rüzgar hız yüzdellikleri

Tablo 4.6'da Marmara bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri görülmektedir. Marmara bölgesi incelenen bölgeler arasında ortalama olarak en yüksek hız yüzdelerine sahip bölgedir. Bölge her iki kategoride de kayda değer yüzdelerle sahiptir. Bölgenin en yüksek yüzdeliği Bozcaada, Çanakkale ve Gökçeada'ya aittir. Bu iller rüzgar tarlası kurmak için uygundur ayrıca kişisel çözümler için de uygundur. Bilecik ve Tekirdağ illeri de rüzgar potansiyelinden küçük ölçekli yararlanmak için uygundur. Tekirdağ yılın her ayı için küçük ölçekli türbini çalıştırabilecek yüzdeye sahipse de Bilecik'in yüzdelik değerleri kış aylarında azalmaktadır. Yalova'nın değerleri incelendiğinde görülmektedir ki a kategorisindeki yüzdeliği kimi aylarda baya iyidir fakat bu aylar tarımsal olarak çok fazla önemi olan aylar değildir ayrıca kişisel ihtiyacı karşılamak için konulacak bir türbin de çok anlamlı değildir. Bu sebepten yatırıma uygun değildir. Edirne ve Sakarya ise bölgenin en az yüzdelerle sahip illeridir. Bu iller rüzgardan faydalanmak için yatırıma uygun iller değildir.

	BİLECİK		BOZCAADA		ÇANAKKALE		EDİRNE		GÖKÇEADA		SAKARYA		TEKİRDAĞ		YALOVA	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Ocak	35	0,9	40	48	47	17	21	0,6	35,97	29	22,6	0,7	39,6	3,7	40	2,6
Şubat	41	1,6	38,3	51	46	21	26	1,4	38,4	30	25,7	0,7	41,4	5	38,9	2,5
Mart	44	1,7	37,5	51	49	21	33	0,7	46,4	25	23	0	42	5,5	40,2	1,1
Nisan	42	2,1	46	34	46	1,7	33	0,7	52,6	10	20,7	0	33,6	3	28,5	0,6
Mayıs	46	1,7	42	36	45	14	27	0,4	50,7	9,4	22	0	31,7	3,3	24,8	0,3
Haziran	49	1	39	33	47	8,6	21,3	0	51,5	4	19,5	0	32,4	1,3	25,5	0
Temmuz	61	1,6	35,1	55	58	15	27,8	0	60,7	10,6	24,5	0	40,7	5	31	0
Ağustos	56	1,4	37,2	53	59	16	23,1	0	62,6	11,3	23	0	42,6		31,4	0,3
Eylül	45	0,8	43	33	46	13	17,7	0	51,1	1	13	0	39,8	3	25,3	0,3
Ekim	34	0,8	37	44	45	16	20,6	0	44	19,7	10	0	36,7	3,1	27	1
Kasım	32	0,8	42	44	44	18	23	0	46,3	22	18	0	36,8	3,6	31,2	2
Aralık	42	1,3	35	57	47	23	26	-1,9	42,5	29,6	28,8	1,3	45,3	6	45	2,4
Ortalama	43,92	1,31	39,34	44,92	48,25	15,36	24,96	0,48	48,56	16,80	20,90	0,23	38,55	3,86	32,40	1,09

Tablo 4.7. Marmara bölgesine ait rüzgar hız yüzdeleri

KAYNAKLAR

1. N. Akgün ve Ş. Öz, Türkiye Rüzgar Analizi ve Rüzgar Atlası Çıkarılması. 1. Ulusal temiz enerji sempozyumu, s.92-103, İstanbul, 1993.
2. B. G Akınoğlu, A. Ecevit, Construction of a quadratic Model Using Modified Angström Coefficients to Estimate Global Solar Radiation. Sol. Ener., **45**, 2, s.89-97, 1990
3. History of wind energy, <http://www.bergey.com/primer.html>,2003.
4. WEC Wind Raporu , Section 3, 1993.
5. Wind Force 12 EWEA European Wind Energy Association, www.ewea.org.
6. Global Wind Power Growth Continues to Strengthen EWEA ve American Wind Association, Mart,2004.
7. A. Temiz, Enerji Bülteni,Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, sayı:**198**, s.30-37, 2004.
8. V. Şahin, Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış, Yayın no:Tüsiad-T/94, s.11-168,1994.
9. P. Allerup, Rainfall Generator with spatial and temporal characteristics.Atmos. Research,**42**,89-97, 1996.
- 10 . Andreas., G. Wotawa, P.Seibert and H.,Kromp-Kolb., Interpolation errors in wind fields as a function of spatial and temporal resolution and their impact on different types of kinematic trajectories. J. Appl. Meteor.**34**,2149-2165, 1995.

10. A. Angström, Solar and Terrestrial Radiation. Q.J. Roy. Met. Soc. **50**,121-125, 1924.
11. S. P. S. Arya, An introduction to micrometeorology. Department of Marine, Earth and Atmospheric Sciences, North Caroline State University, Academic Pres. Inc., San Diego, California, s.307, 1988.
12. Z. Aslan, S. Menteş, ve S. Tolun, Gökçeada'da rüzgar enerji Potansiyelinin Belirlenmesi.1. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul,s.104-112, 1993.
13. R.C. Balling ve R.S. Cherveney, Spatial and temporal variations in long term normal percent possible solar radiation levels in the United States. J. Clim. And Appl. Meteor.,**22**,1726-1732, 1983.
14. R.C. Balling ve J.L. Sutherland, Diurnal and seasonal wind direction patterns within the mountain-valley terrain near glen canyon dam,Arizona. J.Appl.Meteor.,**27**,594-598.,1987.
15. S.L. Barnes, A technique for maximazing details in numerical weather map analysis.J.Appl:Meteor.,**3**,369.,1964.
16. R. Berndtson ve J. Niemezynowicz, Spatial and Temporal scales in rainfall analysis- some aspects and future perspectives.J. of Hydrol.,**100**,293-313, 1988.
17. R.A. Bilonick, The space time distribution of sulfate deposition in the northeastern United States. Atmos. Environ ,**19**,1829-1845, 1985.
18. A.S.K. Darwish ve A.A.M. Sayigh, Wind energy potential for iraq. Solar and Wind tech. ;**5**:215-222, 1988.
19. E Scerri ve R.Farrugia, Wind data evaluation in maltese Islands. Renewable Energy,**7**(1):109-114, 1996.

20. G. Lewis, Wind Power availability in Zimbabwe. Sol. Wind Technol, **3**(1), 73-74, 1986.
21. M. Ragab ve A.K. Som, A preliminary study of wind power potetial in Bahrain, Renewable Energy, **3**(1), 67-74, 1993.
22. W.E. Alnase ve A. Al-Karaghoul, Wind availability and its power utility for electricity production in Bahrain. Renew Energy, **21**, 247-254, 2000.
23. A.S.S Dorvlo ve D.B. Ampratwum, Wind energy potential for Oman, Renewable Energy, **26**, 333-338, 2002.
24. S. Tolun, S. Menten, Z. Aslan, M.A. Yükselen, The wind energy potential of Gokçeada in northeastern Aegean Sea. Renew Energy, **6**(7), 679-685, 1995.
25. S. İncecik ve F. Erdoğan, An investigation of wind power potential in Western Cost of Anatolia. Renew. Ener., **6**, 863-865, 1994.
26. Z. Şen ve A.D. Şahin, Regional assesment of wind power in western Turkey by cumulative semivariogram method. Renew Energy, **12**(2), 169-177, 1997.
27. Z. Şen ve A.D. Şahin, Regional wind energy evaulation in some parts of Turkey. J. Wind Eng. Ind. Aerodynamics, **74**(6), 345-353, 1998.
28. A.D. Şahin, A. Gündüz, Z. Şen, Wind energy potential calculations in the Marmara Region of Turkey. SWEMP'98, .9-12, Ankara-Turkey, 18-20 May 1998.
29. B. Özerdem ve M. Türkeli, An investigation of wind characteristics on the campus of İzmir Institute of Technology, Turkey. Renew Energy, **28**(7), 1013-1027, 2003.

30. M. Durak, Z. Şen, Wind power potential in Turkey and Akhisar case study. *Renew. Energy*, **25**, 463-472, 2002.
31. R. Köse, M.A. Özgür, O. Erbaş, A. Tuğcu, The analysis of wind data and wind energy potential in Kütahya, Turkey. *Renewable and Sustainable energy Reviews*, **8**, 277-288, 2004.
32. V.M. Karslı ve C. Geçit, An investigation on wind energy potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey. *Renew. Energy*, **9**(1-4), 822-826, 2003.
33. H. Aras, Wind energy status and its assesment in Turkey. *Renew. Energy*, **28**(14), 2213-2220, 2003.
34. R.T. Oğulata, Energy sector and wind energy potential in Turkey. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **7**(6), 469-484, 2003.
35. C. Dundar, M. Canbaz, N. Akgün, G. Ural, Türkiye Rüzgar Atlası, E.İ.E. ve D.M.İ., Ankara, 2002.
36. B.G. Allerup ve A. Ecevit, Construction of a Quadratic Model Using Modified Angström Coefficients to Estimate global Solar Radiation. *Sol. Ener.*, **45**, 2, 85-92, 1990.
37. A.D. Taylor, The Harvard radio meteor Project velocity distribution reappraised, *Icarus*, **116**, s.154-158, 1995.
38. G. Yavuzcan, Tarımda doğal Enerji Kaynakları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı; **241**, 875, 1983.
39. Elektrik İşleri Etüt İdaresi, www.eie.gov.tr.
40. M.R. Patel, Plant economy, in: Stern, R.(Ed.) *Wind and Solar Power Systems*, 1st Edition. CRC Pres, NewYork, 1999.

- 41.Y. Yakar, Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- 42.Uyar,S.T.,Molly,J.P., Wind Energy in Turkey,DEWI Magazine, s.13,1998.
- 43.M.Ö. Ültanır,21. yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi,Türk Sanayicileri ve iş adamları derneği, Yayın no: TÜSİAD-T/98-12/239, ISBN 975-7249-59-9, s.316,1998.
- 44.Musgrave, P.J., Wind energy conversion: recent progress and future prospects, Sol. Wind Technol.,1987;4(1):37-39

