



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN-BELEN BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİSİ
VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİ**

ALİ KEMAL ÇAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA

ŞUBAT – 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Enerjinin Tanımı.....	2
1.2. Enerji Kaynakları.....	2
1.3. Tükenebilen Enerji Kaynakları.....	3
1.4. Tüklenmeyen Enerji Kaynakları.....	6
1.5. Türkiye'nin Enerji Güvenliği.....	10
1.6. Çalışmanın Amacı.....	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	14
2.1. Rüzgar.....	14
2.1.1. Rüzgar Cinsleri.....	15
2.1.2. Türkiye'deki Rüzgar Cinsleri.....	16
2.2. Rüzgar Çeşitleri ve Oluşumu.....	17
2.2.1. Küresel Rüzgarlar.....	19
2.2.2. Yüzey Rüzgarları.....	19
2.2.3. Yerel Rüzgarlar.....	20
2.2.3.1. Deniz Rüzgarları.....	20
2.2.3.2. Dağ Rüzgarları.....	20
2.3. Rüzgar Enerjisi.....	21
2.3.1. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.....	21
2.3.2. Rüzgar Enerji Sistemleri.....	29
2.4. Dünyanın Rüzgar Enerji Potansiyeli.....	31
2.4.1. Avrupa'nın Rüzgar Enerji Potansiyeli.....	32
2.5. Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli.....	33
2.6. Dünyada Rüzgar Enerjisi Kullanımı.....	38

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Belen Rüzgar Ölçüm İstasyonu.....	41
3.1.1.1. Site Yerleşkesi.....	42
3.1.1.1.A. Site Tapoğrafyası.....	42
3.1.1.1.B. Arazi Yüzeyi.....	43
3.1.2. Ölçüm Cihazları.....	44
3.1.2.A. Anemometre.....	44
3.1.2.B. Yön Kontrol Cihazı.....	44
3.1.2.C. Datalogger.....	45
3.2. Yöntem.....	48
3.2.1. Hız ve Yön Ölçümü.....	48
3.2.2. Ölçüm Verilerinin Değerlendirilmesi.....	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Aylık Rüzgar Ölçüm Sonuçları.....	50
4.2. Micro Site Ölçüm Değerlendirme Sonuçları.....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÖZET

İSKENDERUN-BELEN BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİSİ VE ELEKTRİK ÜRETİM POTANSİYELİ

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, insan hayatında tartışmasız bir öneme sahiptir. Onsuz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse mümkün değildir. Bunun yanı sıra gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan çağdaş gereksinimlerinden dolayı, gün geçtikçe artan elektrik enerjisi sarfiyatı, insanoğlunu yeni enerji kaynakları aramaya itmektedir. Yenilenebilir, temiz, ucuz bir enerji olan rüzgar enerjisi de bu yeni enerji kaynaklarına bir örnektir.

Genel anlamda “rüzgar enerjisi” konusunun incelendiği ve özelde ise Belen örneğinin ele alındığı bu tez çalışmasında izlenen yöntem; enerji, enerji türleri, rüzgar enerjisi ve bunu sağlayan rüzgar türbinleri ile ilgili teorik bilgiler vermek, bu bilgileri kullanarak Belen’in elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanmasını araştırmaktır.

Mevcut verilere göre elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, (Çizelge 4.1- Çizelge 4.12) rüzgar hızının aylara göre dağılımında, yaz aylarında rüzgar hızlarında belirgin bir artış görülmektedir. Özellikle Temmuz ayında rüzgar hızı 17,04 m/s hızına erişmiş olup, bir yıl içerisinde en yüksek potansiyele sahip olmaktadır.

Buna karşın, kış mevsiminde en düşük rüzgar hız değerleri ölçülmüş olup, en düşük rüzgar hız değeri 1,9 m/s ile aralık ayındadır.

Kış mevsiminde ortalama rüzgar hızı 5,94 m/s, ilkbahar mevsiminde 7,31 m/s, yaz mevsiminde 9,77 m/s, sonbahar mevsiminde ise 6,78 m/s’dir.

Bu veriler doğrultusunda, ölçüm aldığımız bölge, rüzgar türbini kurulduğu takdirde buradan, yaz aylarında, diğer aylara göre, daha fazla elektrik üretimi olacaktır.

Araştırma sonunda, elde edilen rüzgar enerji potansiyelinin günümüz koşullarında ekonomik bir enerji santrali kurulması için yeterli olduğu ve rüzgar enerjisi ile elektrik üretiminin sağlanabileceği vurgulanmıştır.

2006, 78 sayfa

Anahtar Kelimeler : Belen, Rüzgar enerjisi, Elektrik üretimi.

ABSTRACT

WIND ENERGY AND ELECTRIC PRODUCTION POTENTIAL OF İSKENDERUN - BELEN SITE

There is no doubt that energy, especially electrical energy has big importance in our lives. It is almost impossible to survive without it. Beside, the energy consumption increasing day by day parallel to technological developments force, man to find new energy resources.

Wind energy is also an example for these renewable, clean and cheap energy resources.

The following method in this thesis, the wind energy in general and the Belen example in particular;

I gived theoretic information about energy, kinds of energy, wind energy and wind turbin and I searched wind energy that it is necessity to Belen's electric energy.

If it is appreciated measurement results, (Table 4.1-4.12) we can see a clear increasing in wind speeds in summer months in wind speed distrubution to months.

In particular, wind speed is 17,04 m/s in July and it has the most calcuate potential in one year.

In addition, It is measuremented the least wind speed in winter and the least wind speed is 1,9 m/s in december.

Average wind speed is 5,94 m/s in winter, 7,31 m/s in spring, 9,77 m/s in summer, 6,78 in autumn.

In addition to this information, the region that it was measurement, if wind turbin is set up, electric production will be the more increase in summer.

Consequently, wind energy potential is enough to set up an economic energy santral to today, and electric production will be got by wind energy.

2006, 78 pages

Key words : Belen, Wind energy, Electric production.

ÖNSÖZ

Enerjiye olan büyük gereksinim, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli gündemde olmasının nedenidir. Alternatif kaynaklar olarak da adlandırılan bu enerji kaynaklarından biriside rüzgar enerjisidir.

Rüzgar enerjisi, fosil yakıtların tükeneneğinin anlaşıldığı son yıllarda, enerji sorununa çözüm olarak görülen kaynaklardan birisidir. İlk kullanım örneklerinin bundan 3000 yıl öncesinde rastlanılmasına rağmen, rüzgar enerjisi son yirmi yıl öncesine kadar yeterince irdelenmemiş ve değerlendirilmemiştir.

Dışa kapalı, plancı ekonomilerde enerji üretimi çoğu zaman “Olmazsa olmaz” zihniyeti ile çok fazla derinlemesine inilip maliyet/fayda analizleri yapılmadan hemen erişilebilir ve üretim teknolojisi hazır kaynaklara dayandırılmaktaydı. Ancak dünya genelinde bütün ülke ekonomilerinin ister-istemez liberalleşmeye (serbest piyasa ekonomisine) doğru gittikleri 1990’lı yıllardan beri elektrik üretimi için kullanılan enerji kaynaklarının çok detaylı fiyat/maliyet analizleri yapılarak toplam maliyeti en düşük olan enerji kaynaklarına doğru bir yönelme olmuştur.

Bu tez çalışmasında asıl hedeflenen; enerji ihtiyacının önemine dikkat çekmek, yenilenebilir enerji kaynaklarında araştırma yapacak veya proje üretecek olanlara katkıda bulunmaktır. Bu bağlamda, enerji konusunun çok geniş kapsamlı olmasından dolayı, tezin adından da anlaşılacağı üzere; özelde rüzgar enerjisi konusuna inilerek bir sınırlama getirilmeye çalışılmıştır.

Özetle bu tezde amaçlanan; mühendislerin rüzgar enerjisi konusunda kullanabileceği, somut örneklerle desteklenmiş bir çalışma ortaya koymaktır. Buradaki somut örnek, Belen yerleşkesi rüzgar enerjisi analizidir.

Tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyeni değerli fikir ve katkılarıyla ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ali KOÇ’a (Mustafa Kemal Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı), çalışmam sırasında gerekli olan materyalleri sağlamam konusunda arşivlerini açarak bana destek veren incelemelerimde katkıda bulunan As Makinsan A.Ş.’ye ve yoğun çalışma temposunda desteğini hep yanımda hissettiğim gönül bağım, Sayın Perihan YEŞİLOVA’ a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Tükenebilirliğine göre enerji türleri.....	2
Çizelge 1.2. Yurt içi petrol ve doğalgaz arama ve geliştirme yatırım harcamaları.....	5
Çizelge 1.3. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	7
Çizelge 1.4. 2005 yılı güneş enerjisinden yararlanma oranları.....	12
Çizelge 2.1. Beaufort cetveli kara kriterleri.....	17
Çizelge 2.2. Beaufort cetveli deniz kriterleri.....	18
Çizelge 2.3. Enlemlere göre hakim rüzgar yönü.....	19
Çizelge 2.4. Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünün kıtalara göre dağılımı.....	31
Çizelge 2.5. Ülkelere göre rüzgar enerjisi kurulu güç miktarı ve yüzdesi.....	31
Çizelge 2.6. 2005 yılı Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisinin durumu.....	32
Çizelge 2.7. Türkiye’de 2005 yılı kurulu rüzgar gücü değerleri.....	33
Çizelge 2.8. 2006-2007 yılında üretime geçmiş ve geçecek olan rüzgar santralleri.....	34
Çizelge 2.9. Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde 10 m. yükseklikte yapılan ölçümler.....	35
Çizelge 2.10. Türkiye’de rüzgar en. açısından süreklilik ve yoğ. gösteren yöreler.....	36
Çizelge 2.11. Yıllık ortalama rüzgar hızları 3 m/s’ den büyük olan batı ve kuzey batı Anadolu yöreleri.....	36
Çizelge 2.12. Türkiye’de rüzgar enerjisi için mümkün hedefler.....	37
Çizelge 3.1. Anemometrenin teknik özellikleri.....	44
Çizelge 3.2. Yön kontrol cihazının teknik özellikleri.....	45
Çizelge 3.3. Datalogger cihazının teknik özellikleri.....	46
Çizelge 3.4. Bir rüzgar ölçüm ist.’da bulunması gereken parçalar ve özellikleri.....	47
Çizelge 4.1.-4.12. Aylık rüzgar ölçüm sonuçları.....	50-61
Çizelge 4.13. 104,2 db(A)’daki güç (kW) tablosu.....	63
Çizelge 4.14. 103,0 db(A)’daki güç (kW) tablosu.....	63
Çizelge 4.15. 102,0 db(A)’daki güç (kW) tablosu.....	64
Çizelge 4.16. 101,0 db(A)’daki güç (kW) tablosu.....	64
Çizelge 4.17. 100,0 db(A)’daki güç (kW) tablosu.....	65
Çizelge 5.1. Aylara göre net üretim değerleri.....	70
Çizelge 5.2. V 52-850 kWh rüzgar türbinin rüzgar hızlarına göre elektrik enerjisi üretim değerleri değerleri.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Pers uygarlığında görülen dikey eksen tipli yel değirmeni diyagramı.....	23
Şekil 2.2. Pers Uygarlığında kullanılan bir başka yel değirmeni.....	24
Şekil 2.3. Balıkesir'in Samlı ilçesinden yel değirmenleri.....	24
Şekil 2.4. Muğla'nın Bodrum ilçesinden bir yel değirmeni.....	25
Şekil 2.5. Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi.....	26
Şekil 2.6. Muhtemelen tipinin ilk örneği olan ve Belidor tarafından tasarlanan pervane tipi rüzgar türbini.....	27
Şekil 2.7. Putnam rüzgar türbini.....	28
Şekil 2.8. Türkiye rüzgar atlası.....	34
Şekil 2.9. Küçük türbinlere bir örnek.....	39
Şekil 2.10. Rüzgar çiftliklerine bir örnek.....	40
Şekil 3.1. Belen-Yellitepe mevki tapoğrafyası.....	42
Şekil 3.2. Belen-Yellitepe mevki arazi yüzeyi.....	43
Şekil 3.3. Datalogger cihazı.....	46
Şekil 4.1. Aylık ortalama rüzgar hız grafiği.....	62
Şekil 4.2. Rüzgar hız frekans dağılımı.....	67
Şekil 4.3. Rüzgar gülü grafiği.....	67
Şekil 5.1. Rüzgar hız değerlerine göre güç eğrisi tablosu.....	71
Şekil 5.2. Rüzgar yönü frekans dağılım grafiği.....	73
Şekil 5.3. Rüzgar yönü-enerji dağılım grafiği.....	73

1. GİRİŞ

21. Yüzyıla girerken, artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi ülkemizin kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık hızla büyümektedir. Bu durumda, kendi öz kaynaklarımızdan daha etkin biçimde yararlanmak giderek artan bir önem kazanmaktadır. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin ve rasyonel biçimde yararlanılması amacıyla kamu yatırımlarının artırılmasının yanı sıra özel sektör yatırımlarının bu alana kanalize edilmesinin teşviki de yararlı olacaktır. Diğer taraftan, geleneksel enerji üretim yöntemleri bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir ve bu yöntemlerde kullanılan fosil yakıtların tüketiminin, çevre konusundaki uluslararası taahhütler nedeni ile azaltılması gündemde olan bir konudur. Ayrıca, fosil yakıtların bir süre sonra tükeneceği gerçeği de bilinmektedir. Bütün gelişmiş ülkeler çevre-dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya olağanüstü bir önem vermektedir. Bu yönüyle gelecek yüzyıl, güneş ve onun türevleri ile diğer tükenmez ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir yüzyıl olma görünümündedir.

Gelişen teknolojiye paralel olarak, ortaya çıkan çağdaş gereksinimler karşısında gün geçtikçe artan elektrik enerjisi sarfiyatı, insanları, yeni enerji kaynakları aramaya itmektedir. Ancak, bu konuda dikkat edilmesi gereken bir nokta da şudur ki, dünya bilinçsizce seçilen, kullanılan enerji kaynakları sebebiyle hızla kirlenmekte ve dünya üzerindeki yaşam olumsuz etkilenmektedir. Sözü edilen gereksinimi karşılamak için atılacak en önemli adım; yenilenebilir, temiz enerji kaynakları kullanımını kabul edip, bu düşüncenin yaygınlaştırılmasına gitmektir. Sayıca artan bilinçli uygulamalar da temiz enerjinin çevre üzerindeki olumlu etkilerini açıkça göstermektedir. Ancak, enerji ihtiyacı karşılanması konusunda temiz enerjiye gereken önemin verilmemesi üzücü bir gerçektir. Ne yazık ki, ülkemizde de bilinçsizce uygulanan, kısa sürede verimliğini yitirecek olan kaynakların seçildiği örneklerle sıkça rastlanmaktadır.

Özetle, elektrik enerjisi üretimi konusunda; söz konusu enerji ihtiyacını karşılarlarken, bir taraftan da üzerinde yaşadığımız dünyayı temiz tutacak uygulamaların yaygınlaştırılmasına bilimsel açıdan yaklaşmak gerekir.

1.1. Enerjinin Tanımı

Üretilmeyen ve ancak mevcut bir formdan diğerine dönüştürülebilen **enerji**; Yunanca “energia” sözcüğünden alınma olup, etkiyen kuvvet anlamına gelmektedir. Ayrıca, enerji fizik biliminde iş yapabilme yeteneği ve depolanan iş olarak da tanımlanır.

Ülkelerin ekonomik kalkınma düzeylerine göre enerji tüketim miktarları incelendiğinde, gelişmiş ülkelerdeki fert başına enerji tüketiminin, gelişmekte olan ülkelerdeki tüketimin on katından fazla olduğu tespit edilmiştir. ABD’ de bir kişinin tükettiği enerjiyi, 3 Fransız/İtalyan/Japon, 4 İspanyol, 7 Türk, 13 Çinli, 35 Hintli, 38 Pakistanlı tüketmektedir (SARIKAYALAR, 1998).

1.2. Enerji Kaynakları

Enerji, değişik kriterlere göre sınıflandırılrsa da, en genel haliyle 7 grupta incelenmektedir. Bu gruplar; mekanik (kinetik ve potansiyel) enerji, ısı (termik) enerji, kimyasal enerji, elektrik enerjisi, ışın enerjisi, nükleer (çekirdek) enerji ve birleşme (fizyon) enerjisidir. Ama, eğer bu sınıflandırmada dünyanın varolma süresi referans alınırsa enerji; tükenen enerji ve yenilenebilir enerji olmak üzere iki grupta incelenir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Tükenebilirliğine göre enerji türleri (ÖZDAMAR, 2000a).

TÜKENEBİLİRLİĞİNE GÖRE ENERJİ TÜRLERİ	
Tükenebilen Enerji	Tükemeyen (Yenilenebilir) Enerji
• Kömür, Linyit, Petrol, Doğalgaz, Nükleer (uranyum) gibi kaynaklardan elde edilen enerjidir. • Çevreyi kirletir ve dünyanın varolma sürecinde tükenirler.	• Su (hidrolik), Güneş, Rüzgar, Jeotermal, Biyomas, Gel-Git Olayı gibi kaynaklardan elde edilen enerjilerdir. • Çevre dostudurlar ve dünya varoldukça tükenmezler.

1.3 Tükenebilen Enerji Kaynakları

Tükenebilen enerji kaynakları, adından da anlaşılacağı üzere, günün birinde kısmen veya tamamen yok olan, biten kaynaklardır. Bu tip enerjiyi sağlayan kaynaklar; petrol, taş kömürü, linyit, doğal gaz, odun ve atomdur (uranyum). Sözü edilen bu farklı kaynakların çıkarıldıkları bölgelere göre miktarları da oldukça farklı değerler almaktadır (SARIKAYALAR, 1998).

Kömür : Yanabilen sedimanter organik kayadır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabaklarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Bu tabakalar üzerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ve arz'ın hareketleri sonucu derinliklere gömülmüştür (ANONİM, 2006a).

Türkiye'nin en büyük kömür havzası Zonguldak yöresinde yer almaktadır. Ayrıca Antalya-Kemer, Diyarbakır - Hazro yörelerinde de önemsiz iki taş kömürü yatağı bulunmaktadır (SENCER, 2001).

Petrol : Petrol sözcüğü, Yunanca-Latince'de taş anlamına gelen “petra” ile yağ anlamına gelen “oleum” sözcüklerinden oluşmuştur. Petrol deyince yalnız belirli bir yakıtı değil ham petrolü kast ediyoruz. Petrol bir takım hidrokarbonların karışımından meydana gelmiş olup, muayyen bir kimyevi bileşimi yoktur. Petrolün yoğunluğu kimyasal bileşimine ve viskozitesine göre değişir. En hafif olarak bilinen bir Rus petrolünün özgül ağırlığı $0,650 \text{ gr/cm}^3$ ve en ağır olarak bilinen bir Meksika petrolünün ise $1,080 \text{ gr/cm}^3$ 'dür (ANONİM, 2006b).

Dünyanın petrol rezervleri olarak en zengin bölgesi 683,6 milyar varil (1 varil yaklaşık 0,7 tondur) ile Orta Doğu Bölgesidir. Bunu 95,2 milyar varil ile Güney Amerika ve 74,8 milyar varil ile Afrika kıtası takip etmektedir. 2000 yılı verilerine göre, dünyada 3,6 milyar ton ham petrol ve 2,4 trilyon m^3 doğal gaz üretilmiş olup, 7 milyon ton petrol ticaret hacmi gerçekleşmiştir. Yine dünya genelinde doğal gaz sektöründe 0,5 trilyon m^3 LNG olarak ticaret yapılmıştır. Yapılan tahminlere göre dünyanın hafif petrol üretimi 2010 yılına kadar en yüksek noktasına ulaşacak ve ondan sonra azalmaya başlayacaktır. Bu tahmin ağır petrol rezervlerini ve petrollü kumları içermemektedir.

Yurdumuzda petrol aramacılığının yapıldığı 57 yıl süresinde 1050 arama kuyusu ve 1808 üretim, enjeksiyon ve geliştirme kuyusu açılmış ve irili ufaklı 23 doğal gaz sahası ile 102 petrol sahası keşfedilmiştir (ANONİM, 2006c).

Doğalgaz : Doğalgaz da petrol gibi karbon bazlı bir fosil yakıttır. Oluşumu petrol ile aynıdır. Büyük oranda Metan (CH_4), daha az oranlarda Etan (C_2H_6), Propan (C_2H_8), Bütan (C_4H_{10}), Azot (N_2), Karbondioksit (CO_2), Hidrojen sülfür (H_2S), Helyum (He) içeren, renksiz, kokusuz, yüksek kalorili bir gaz yakıttır. Yoğunluğu $0,6-0,8 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Havaya göre daha hafif bir gaz olduğu için açık havada uçucu özelliğe sahiptir. Ancak kapalı mahallerde hava içindeki gaz oranı % 5-15 arındaki değere ulaşırsa patlayıcı özelliği vardır (ANONİM, 2006ç).

Doğalgaz ithalinde kaynak çeşitlemesi kapsamında, 1994 yılında Cezayir'den sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG, -164°C de doğalgaz sıvı haline geçer) alımına başlanmış, bunu 1999 yılında Nijerya ile yapılan alım anlaşması ve spot alımlar izlemiştir. Botaş, LNG olarak deniz yoluyla taşınan gazı Marmara Ereğli' sinde bulunan ve $685000 \text{ m}^3/\text{saat}$ enjeksiyon kapasitesine sahip Gazlaştırma Terminali' nde işleme sokarak ana iletim hattına enjekte etmektedir.

Doğalgazın talep noktalarına ulaştırılması için yapılmış olan yatırım planları adım adım gerçekleştirilmektedir. Bugün Bulgaristan sınırında ülkemize giren ve 1988 yılından bu yana işletilmekte olan 842 km.' lik Ana Hattın yanı sıra Doğu Anadolu Doğalgaz Ana İletim Hattı da tamamlanarak 2001 yılının sonunda işletmeye alınmıştır. 2002 yılında Eskişehir – Mihalliçık (75 km. , 40") ve Bozüyük-Eskişehir (75 km. , 40") doğalgaz loop hatları, Bozüyük-Adapazarı Dağıtım Hattı Faz I (63 km. , 36") ve Bozüyük-Adapazarı Dağıtım Hattı Faz II (63 km. , 36") yapım çalışmaları tamamlanmıştır (ANONİM, 2006d).

Türkiye petroleri A.O.' nın 2005 yılında yurtiçinde 282.612 Bin YTL yatırım harcaması yapılmış olup, yurtiçi yatırımlarımız 2006 yılı için ise 450.000 Bin YTL. olarak belirlenmiştir. 2005 yılında yapılan yurtiçi yatırım harcamalarının %48' i arama, %31' i üretim, %18' i sondaj, %3' ü ise diğer harcamalara aittir (ANONİM, 2006e).

Çizelge 1.2. Yurt içi petrol ve doğalgaz arama ve geliştirme yatırım harcamaları (ANONİM, 2006e).

Yurt içi Petrol ve Doğalgaz Arama ve Geliştirme Yatırım Harcamaları (Bin YTL)			
	2003	2004	2005
Arama	47046	92465	137030
Üretim	46431	103100	85939
Sondaj	13287	10443	50177
Diğer	475	3807	9466
Toplam	107239	209815	282612

Nükleer Enerji : Atom çekirdeklerinin parçalanması sonucunda büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucunda bu çekirdeklerin parçalanması sağlanabilir; bu tepkimeye “ fisyon “ adı verilmektedir.

Uygun şekilde tasarlanan bir sistemde tepkime sonucu açığa nötronlar da kullanılarak parçalanma tepkimesinin sürekliliği sağlanabilir. Bunun haricinde hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkimeleri de büyük bir enerjinin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu birleşme tepkimesine “ füzyon “ adı verilmektedir. Fisyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye “ çekirdek enerji “ veya “ **nükleer enerji** “ adı verilmektedir. (ANONİM, 2006f).

Nükleer enerji beraberinde ucuz maliyetli bir enerjiyi getirir. 130 milyon litre petrol yerine 1 kg. uranyum aynı enerjiyi üretir. Ancak atıklar için altyapı ve koordinasyon önemlidir. CANDU reaktörlerinden çıkan radyoaktif atık yakıt, 10 yıl kadar santral içinde özel havuzlarda bekletildikten sonra Nükleer Güvenlik Yasası, Çevre Koruma Yasası ve Tehlikeli Maddeleri Ulaştırma Yasaları çerçevesinde 50 yıl sürecek kuru saklama modüllerine taşınırlar. Bu eylem için müthiş bir sosyal altyapı ve koordinasyon gerekiyor (ANONİM, 2006g).

Türkiye’ de atom enerjisi ile ilgili çalışmaları TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) yürütmektedir. 2004 yılında, Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı, Nükleer santral kurulması ile ilgili TAEK’ in görevlendirildiğini açıklamıştır. Bu kapsamda halkı bilgilendirmek amacıyla, TAEK altında “ Nükleer Bilgi Birimi” oluşturulmuştur.

Kasım 2004 tarihinde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TAEK, inşasına 2007 yılında başlanacak ve ilk ünite 2012 yılında devreye girecek şekilde toplam 5000 MW' lık üç nükleer reaktör yapılacağını açıklamıştır (ANONİM, 2006h).

Odun : Ateşin bulunmasıyla birlikte hemen hemen tek ısı enerjisi kaynağı olmuştur. Bugün az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tüketilen enerjinin büyük kısmı, halen odundan karşılanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise odunun yakıt olarak, yani enerji kaynağı olarak değil; sanayi girdisi olarak değerlendirilmesi esas alınmıştır. Buna örnek olarak, kağıt üretimi verilebilir.

1.4. Tükenmeyen Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendisini dünya varoldukça yenileyen, yani tükenmeyen enerji kaynaklarıdır.

Gelişen sanayi, nüfus artışı, sınırlı olan doğal kaynakların ziyan edilmeden ve zarar verilmeden kullanımı; insanoğlunun gündeminde artık en üst sıraları işgal eder duruma gelmiştir. Özellikle medeniyetlerin oluşmasını sağlayan su, yiyecek, enerji gibi doğal ve sınırlı kaynakların etkin ve temiz bir şekilde kullanılması çok önemli bir yer tutmaya başlamıştır.

1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi, nükleer enerji santrallerine karşı oluşan toplumsal tepkiler ve fosil yakıtlarının kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazları olarak adlandırılan karbondioksit, metan ve azot oksit gibi gazların atmosfere salınımıyla oluşan çevre kirliliği; bilim insanlarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirmeye itmiştir.

Bugünkü enerji kullanım biçiminin devam etmesi durumunda, atmosferdeki karbondioksit gazı miktarı, 2030 yılında ikiye katlanarak; atmosfer sıcaklığının $2,5^{\circ}\text{C}$, deniz seviyesinin ise yaklaşık 18 cm. artmasına neden olacaktır. Bu da, yiyecek sıkıntısının doğması ve kıyılarda yaşayan binlerce insanın göç etmesi anlamına gelmektedir. İşte bütün bu sorunlar, çevre dostu yenilenebilir enerjinin önünü açmıştır (ÖZDAMAR, 2000b).

Yenilenebilir enerji kaynakları enerjinin ana kaynağına göre, güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç grupta incelenebilir (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Yenilenebilir enerji kaynakları (ÖZDAMAR, 2000c).

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI				
Ana Kaynak	Birincil Enerji Kaynakları	Doğal Enerji Dönüşümü	Teknik Enerji Dönüşümü	Kullanım Enerjisi
Güneş	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri	Elektrik Enerjisi
	Rüzgar	Atmosferdeki Hava Hareketleri	Rüzgar Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işınları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
		Güneş Işınları	Kollektörler	Isı Enerjisi
			Güneş Pilleri	Elektrik Enerjisi
	Biyomas	Biyomas Üretimi	Isı Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
			Dönüşüm Tesisleri	Yakıt Enerjisi
Dünya	Yer Merkezi Isısı	Jeotermal Enerji	Jeotermal Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
Ay	Ay Çekimi Gücü	Gel-Git Olayı	Gel-Git Güç Santralleri	Elektrik Enerjisi

Hidrolik enerji : Hidrolik elektrik santrallerden elektrik enerjisi eldesi, barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak olur. Baraj göllerinde biriktirilen suyun potansiyel enerjisi, su türbinlerden geçirilerek, mekanik enerjiye oradan da elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidrolik enerjinin günümüzde dünyadaki en güvenilir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir.

Avrupa ve Kuzey Amerika’da değerlendirilebilecek kapasitenin %60’ı kullanılırken, dünyanın geri kalan kısmında bu potansiyelin %10’ u kullanılmaktadır.

Dünya potansiyelinin hemen hemen 1/5'i değerlendirilmiş bulunmaktadır (SENCER, 2001).

Türkiye'de bugüne kadar 125 Hidroelektrik santral işletmeye alındı. Türkiye' de bugüne kadar işletmeye alınan 11643 Megawatt kurulu güçteki hidroelektrik santralarda yılda ortalama 42,2 milyar kW/sa enerji üretiliyor. İnşa edilen hidroelektrik santrallerin toplam kurulu gücü 9912 MW' dır. İnşa edilen hidroelektrik santrallerde yılda ortalama 35,7 milyar kW/sa enerji üretiliyor (ANONİM, 2006ı).

Jeotermal Enerji : Jeotermal enerji ülkemiz için önemli bir yenilenebilir kaynaktır. Türkiye jeotermal potansiyel açısından dünyanın yedinci ülkesidir, muhtemel jeotermal potansiyelin kullanımının getirebileceği ekonomik kazanım 9 milyar \$ / yıl' dır. Yüzey sıcaklığı 40 °C' nin üzerinde 140 jeotermal saha mevcuttur. Ancak, bunlardan sadece dört tanesi elektrik üretimine uygundur. Bu sahalardan Denizli-Sarayköy' de 20,4 MW kurulu elektrik gücünde bir santral mevcuttur. Diğer üç sahada da elektrik santralleri kurulmalıdır. Ayrıca, bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak, merkezi ısıtma vb. jeotermal uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Geri kalan sahaların ısıtma amaçlı olarak ve düşük sıcaklıkta ısı enerjisi gerektiren uygulamalarda değerlendirilmesi teşvik edilmelidir. Türkiye' nin teorik jeotermal toplam kapasitesi 31500 MW' dir . Bu değer 5 milyon konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir. Ancak, bu muhtemel bir değer olup, hedef olarak bir milyon konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek çalışmalar yapılabilir.

Jeotermal enerjinin çevre dostu karakterde kullanılması için tüm dünyada yasalarla zorunlu hale getirilmiş olan reenjeksiyon (akışkanı yeraltına geri verme) tekniğinin uygulanması, hem rezervuar parametrelerinin korunması hem de jeotermal suyun çevreye zarar vermemesi için şarttır (ANONİM, 2005a).

Güneş enerjisi : Güneş enerjisi güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzünde 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar

özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (ANONİM, 2006i).

Biyomas : Dönüştürülmüş enerji üretmek için yararlanılan organik kökenli maddelere, genel bir terimle biyomas ve bunlardan elde edilen enerjiye ise, **biyomas** enerjisi adı verilmektedir. Terimi oluşturan biyo canlı, mas (mass) ise kütle veya yığın, başka bir ifade ile enerji elde edilecek tesise enerji maddesinin yığılıp depo edilmesi gibi anlamlara gelmektedir. Dolayısıyla da bu gibi organik kökenli atıklardan elde edilen enerjiye, biyomas enerjisi denir. Sözü edilen enerji kaynağı, bugüne kadar ki uygulamalardan anlaşıldığına göre, hayli ekonomik bir kaynaktır. Örneğin, bir ton biyomas maddesinin havasız bir ortamda fermente edilmesi sonucu, 1,2 varil petrol eşdeğeri bir enerjinin elde edilebileceği hesaplanmıştır. Öte yandan biyomas kaynaklarından elde edilen yanıcı gaz karışımının, m³ 'ü başına % 40 ila % 70 oranında metan gazı, % 30 ila % 55 oranında karbondioksit ve diğer oranların ise azot, hidrojen ve hidrojen sülfür gibi maddelerden oluştuğu anlaşılmıştır (ANONİM, 2005b).

Gelgit enerji : Gelgit enerji, kaynaklarının ve zamanlamasının yüksek tahmin edilebilirliğine rağmen, uzun yapım aşaması, yüksek yoğunluklu maliyeti ve düşük yükleme faktörleri, yakın bir gelecekte gelgit teknolojilerindeki önemli fiyat düşmesi ihtimalini de geçersiz kılmaktadır. Dalga enerjisindeki son başarılı gelişmeler, iklim değişimi konusundaki odaklanmalar ve İskoçya, Avustralya, Danimarka, USA' daki teknolojik ilerlemeler sebebiyle enerji temini için yüksek potansiyel, dünyanın mevcut elektrik kaynağının % 10' unu (eğer uygun şekilde faydalanılırsa) karşılayabileceği yolundadır ve potansiyel sinerjileri offshore petrol ve gaz endüstrisi kadar anlamlı olabileceğini gösterir. Buna rağmen teknolojik olarak çözülmemiş çok sayıda önemli nokta vardır. Raporda 3-5 yıl içinde dalga enerjisi birim fiyatının 2-3 pence / kwh' a düşmesi ihtimali, bu maliyetin dalga enerjisindeki tecrübelerden değil, kıyıda (onshore) rüzgar enerjisi maliyet tecrübelerine göre yapıldığını göstermiştir. Bununla birlikte, dalga enerji potansiyelinin tam kullanımı bazı durumlarda ertelenmiş gözükmemektedir (ANONİM, 2005c).

Rüzgar : Alternatif enerji kaynakları içerisinde hidrojenden sonra en faydalı olabilecek enerji kaynağı **rüzgardır**. Temiz, bol, yenilenebilir olmasının yanı sıra hemen hemen tüm dünya genelinde faydalanma imkanı olan bir kaynaktır. Rüzgar enerjisi, yerden belli yükseklikteki direklere iyi yerleştirilmiş rüzgar türbinleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Az sayıda büyük enerji üretim merkezleri kurmak yerine, ülke geneline küçük üniteler halinde yayılmış rüzgar türbinleri kurmak çok daha avantajlıdır. Rüzgar, elektrik üretiminin yanı sıra hidrojen üretiminde de söz sahibi olabilir. Rüzgardan elde edilecek elektrikle suyun elektroliz edilmesi sonucunda; su, oksijen ve hidrojen elementlerine ayrılarak çok ucuz bir yolla hidrojen elde edilmiş olacaktır (ANONİM, 2005d).

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin bir türevidir. Bu nedenle güneş enerjisi potansiyeli ile rüzgar enerjisi potansiyeli arasında ilişki bulunmaktadır. Güneş, dünyaya saatte yaklaşık 1.10^{11} MWh enerji göndermekte, bunun % 1-2' si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Suya göre istikrarlı olan rüzgar, 30 yılda +/- %10 sapma göstermektedir (ÖZGÜR, 2002).

1.5 Türkiye' nin Enerji Güvenliği

Kalkınmakta olan ve nüfusu hızla artan bir ülke olan Türkiye' nin bir yandan enerji tüketimi, diğer yandan da daha büyük bir hızla, elektrik tüketimi artmaktadır. Dünya petrollerinin % 65-75' i Türkiye' nin sınırlarının bitiminde başlar. Bu haliyle Ortadoğu dünyanın rakipsiz en büyük doğalgaz ve petrol rezervlerine sahiptir. Kuzeyde ise Rusya 2005 yılı verilerine göre dünyanın en büyük 2. petrol üreticisidir. Doğalgaz konusunda da Rusya onlarca yıldır Avrupa' nın tedarikçisidir. Doğu' da ise Hazar Havzası yeni gelişiyor olmakla birlikte dünyanın en çok ümit veren petrol ve doğalgaz yataklarına sahiptir. Orta Asya ve Kafkasya bölgelerinin kanıtlanmış petrol rezervleri çeşitli hesaplara göre 15-40 milyar varil arasında değişmektedir. Aynı kaynaklar 70-150 milyar varillik ek bir rezervin de yakın bir zamanda ortaya çıkabileceğini savunmaktadır. Doğalgazda ise 6,7 ile 9,7 trilyon metre küplük bir rezervden bahsedilmektedir. Yine 8 trilyon metre küplük bir ek rezerv de söz konusu olabilir. Bu rakamlar dikkate alındığında Kafkasya ve Orta Asya, dünya petrollerinin % 1,5-4 kadarına, dünya gaz rezervlerinin ise % 6' sına sahiptir.

Rusya, Ortadoğu ve Hazar Havzası' na Kuzey Afrika da eklendiğinde Türkiye' nin gaz ve petrol deryasında yüzdüğü rahatça görülebilir. Ayrıca ülke akarsular, rüzgar ve diğer kaynaklar açısından da oldukça şanslıdır. Türkiye' nin en ucuz enerji kaynağı olarak bilinen hidroelektrik potansiyelini yeterince kullanabildiğini söylemek zordur. Yılın her mevsimi Türkiye' nin önemli bir kısmı güneş almaktadır ve çok sayıda bölge rüzgar enerjisi için çok uygun bulunmaktadır (ANONİM, 2006j).

Türkiye, 1990' lardaki anlaşma ve yatırımların da etkisiyle hızla doğalgaz enerjisine yönelmiştir. Sadece ısıtmada değil elektrik üretiminde de gaz, kömür santralleri ve hidroelektriğin yerini almaya başlamıştır. Doğalgazla çalışan termik santrallerin Türkiye elektrik üretimindeki payı % 50' ye yaklaşmıştır ve eğilim artış yönündedir. Türkiye yıllık toplam 180 milyar kilovat saat elektrik üretiyor (ANONİM, 2006j).

Doğalgaz' da Türkiye neredeyse tamamen dışarıya bağımlı. En önemli alım yapılan ülkeler Rusya ve İran. Türkiye' nin yıllık gaz alımı 31,5 milyar metreküp. Bunun 19 milyar metreküpü Rusya' dan gelirken, 8 milyar metreküp de İran' dan geliyor (ANONİM, 2006j).

Aralık 2005 – Ocak 2006 krizlerinden ders alan AB ülkeleri Hazar gaz ve petrolleri ve Kuzey Afrika üzerinde önemle durmaya başladılar. Rusya' ya karşı kendilerini yasal garantiler ile güçlendirmeye çalıştılar. Depolama kapasitelerini gözden geçirdiler ve elektrik üretiminde gazın payını azaltma yönünde kararlar aldılar. En önemlisi tasarruf ve alternatifler üzerinde duruldu. Buna karşın Türkiye' de gazın depolama sorunu mevcuttur. 2005 Şubat ayının hemen başında Dünya Bankası ile depolamada kullanılacak 325 milyon dolarlık bir kredi sağlandı (ANONİM, 2006j).

Doğalgaz krizinin Türkiye' de bıraktığı belki de en önemli etki nükleer enerji alternatifinin tekrar ve daha güçlü olarak gündeme gelmesi oldu. Sadece Türkiye' de değil, İngiltere ve Fransa gibi Batı Avrupa ülkelerinde de bu yönde bir canlanma var. Hindistan, Çin vb. ülkeler de nükleer enerjiden vazgeçilemeyeceğini anlamış durumdadır ve yeni yatırımlar planlıyorlar. Dünyada şu anda 32 ülkede faal en az 454 nükleer güç santrali var. 30 tanesi de inşa ediliyor. En az 100 tanesi ise planlama aşamasında. Rusya' nın her biri 2 reaktör taşıyan 460 nükleer denizaltısı denizlerde dolaşıyor. Bir o kadar da ABD' nin var. Dünya üzerinde yerin altına gömülmemiş 715 araştırma reaktörü var (ANONİM, 2006j).

Şu ana kadar iki ihaleyi iptal eden Türkiye' nin en az 5 nükleer santral yapacağı belirtiliyor. Her bir santral 3 milyar dolara mal oluyor. Maliyeti ve riskleri nedeniyle bu tür çalışmalar daha çok devletler eliyle yapılıyor.

Türkiye' nin ciddi bir şekilde ihmal ettiği enerji yatırım alanlarının başında yenilenebilir kaynaklar geliyor. Rüzgar ve güneş enerjisi yatırımlarında Türkiye potansiyelinin çok azını kullanıyor. Örneğin rüzgar enerjisinde Türkiye, komşusu Yunanistan' ın 28' de biri kadarlık bir güç durumuna dahi ulaşamamıştır. Yunanistan' ın 2005 yılı sonu itibariyle 573 MW' lık güçlük tesislerine karşılık Türkiye' nin 2005 yılı rüzgar enerjisi üretimi 20 MW düzeyindedir. Kuzey Afrika ülkelerinden Mısır' da bu güç 300 MW' ı, Fas' ta ise 54 MW' ı bulmaktadır. Lüksemburg gibi Türkiye' de bir mahalle kadar dahi büyüklüğü olmayan AB ülkelerinde ise üretim Türkiye' nin kapasitesinin 1,5 katına ulaşmaktadır. Uzmanlara göre eğer yeterli yatırım yapılabilirse Türkiye rüzgar enerjisinde en az 10000 MW' lık bir güce kısa zamanda ulaşabilir.

Güneş enerjisinden yararlanma konusunda Türkiye, rüzgara göre biraz daha iyi durumdadır. Örneğin 1000 eve düşen güneş enerjisi kullanan hane sayısı itibariyle Türkiye, dünyanın ilk 10 ülkesi arasındadır.

Çizelge 1.4. 2005 yılı güneş enerjisinden yararlanma oranları (ANONİM, 2006j).

Güneş Enerjisinden Yararlanma Oranları (Ad./1000)	
İsrail	740
Kıbrıs R.Kes.	620
Yunanistan	260
Avusturya	260
Türkiye	140
Japonya	100
Avustralya	70
Almanya	70
Danimarka	60
Çin	50

Türkiye' nin bir diğer enerji zenginlik kaynağı da jeotermaldir. Uzmanlara göre ilk etapta aylık 40-50 YTL harcanarak bir milyon evi jeotermal enerji ile ısıtmak mümkün. Bunun ekonomiye ilk etaptaki katkısı ise 2 milyar doları bulabilir. Jeotermal Enerji Kaynaklarını Araştırma ve Değerlendirme Vakfı' na göre, jeotermal enerji potansiyeli açısından Türkiye, Avrupa' da 1., dünyada ise 7. sırada yer almaktadır. MTA' nın hesaplamalarına göre bu potansiyel 30 milyar metreküp doğalgazın vereceği 31500 MW' lık bir enerjiye denk düşmektedir. Potansiyel tam olarak kullanılabilirse 5 milyon kadar evi bu şekilde ısıtmak mümkün olabilecektir. Halen Türkiye' de 100000 kadar konut jeotermal enerji ile ısıtılıyor (ANONİM, 2006j).

1.6. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında asıl hedeflenen; enerji ihtiyacının önemine dikkat çekmek, yeni ve dinamik işlevlere sahip enerji projeleri üretilmesine katkı sağlamaktır. Bu bağlamda, enerji konusunun çok geniş kapsamlı olmasından dolayı, tezin adından da anlaşılacağı üzere; özelde rüzgar enerjisi konusuna inilerek bir sınırlama getirilmeye çalışılmıştır.

Son yıllarda sağladığı avantajları nedeniyle, elektrik enerjisinin rüzgar enerjisi yardımıyla elde edildiği uygulamalar artmaktadır. Bu durum doğal olarak, elektrik enerjisi üretimi konusuna yeni bir boyut kazandırmıştır. Ancak, yapılan gözlemler ve araştırmalar sonucunda kuruluş aşamasında düşünülmesi gereken konum, türbin v.s. seçimi gibi faktörlerin genellikle detaylı bir çalışma yapılmadan hesaplanarak bilinçsizce uygulandığı görülmüştür. Bu bağlamda, böyle bir konunun araştırılmasının, ileriki çalışmalar ve yapılan uygulamalar için yol gösterici ve faydalı olacağı beklenmektedir.

Özetle bu tezde amaçlanan ; mühendislerin rüzgar enerjisi konusunda kullanabileceği, somut örneklerle desteklenmiş bir çalışma ortaya koymaktır. Buradaki somut örnek, Belen yerleşkesi rüzgar enerjisi analizidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Rüzgar

Rüzgar, Dünya yüzeyine yakın ve atmosfer içerisinde havanın tabii yatay hareketleridir. Hava hareketlerinin temel prensibi, mevcut atmosfer basıncının bölgeler arasında değişmesidir. Rüzgar, alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır. Rüzgar daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru gider. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa, hava akım hızı, o kadar fazla olur. Rüzgar sahip olduğu hıza göre fırtına, hortum gibi isimler alır. Rüzgarın yönü rüzgar gülü, hızı ise anemometre ile ölçülür. Anemometre; pervanenin dönüş hızından, rüzgar hızını gösteren basit bir ölçü aletidir. Yükseklerdeki rüzgarlar, balonlar yardımı ile ölçülmektedir. Bunun için yükselme hızı bilinen balonlar, belli yüksekliğe gelince rüzgar hızından yol almaya başlar. Balonun birim zamanda kat ettiği yoldan, trigonometrik hesaplarla hızı bulunur. Daha hassas ölçmeler için balon, ya radarla takip edilir veya balona bir telsiz vericisi monte edilir. Okyanuslardaki akımların ve dalgalarının meydana gelmesinde, rüzgarların büyük rolü vardır. Rüzgarlar, karaların şekillerinin değişmesine de sebep olur. Bilhassa çöllerde kimi tepeler, rüzgarlar sebebiyle devamlı değişir. Rüzgarların bitki sporlarını sağa sola taşıyarak, çiçeklerin döllenmesine sebep olması bitki neslinin devamı yönünden çok önemlidir. Rüzgar gücünden yeldeğirmeni, yelkenli gemi işletmesinde istifade edilir. Rüzgar, orman yangınlarında olumsuz etki yapar. Rüzgarın meydana geliş sebepleri: Rüzgarlar yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına akarken;

- Dünyanın dönüşü,
- Yüzey sürtünmeleri,
- Yerel ısı yayılması,
- Rüzgar önünde başka atmosferik hadiselerin oluşu,
- Toprağın topoğrafik yapısı sebebiyle şekillenir.

Rüzgar, alçak (siklon) ve yüksek (antisiklon) alanlarda farklı özellikler taşır. Siklon içerisinde;

- Basınç radyal olarak içe doğru,

- Santrifüj kuvvetler dışa doğru,
- Coriolis kuvvet dışa doğru etki eder,
Antisiklon içerisinde ise;
- Basınç değişmesi radyal olarak dışarıya doğru,
- Santrifüj kuvvet dışarıya doğru,
- Coriolis kuvvet içe doğru etki eder.

Bütün bunların etkisi sonucunda rüzgar eşit basınç noktalarında yoluna devam eder.

Bu hatların bir harita üzerinde çizilmesiyle meteoroloji haritaları elde edilir. Yüzey sürtünmeleri rüzgarın yönünü alçak basınç yönüne doğru çevirir. Denizlerde bu açı 20°, karalarda ise 30° ile 45° arasında değişir.

Atmosferin alt tabakalarında meydana gelen rüzgarlar, yerin ısı ve mekanik özelliklerinden dolayı türbülans meydana getirir. Türbülans meydana getirmeden, basınç alanları arasında dolaşan rüzgarlara, meyilli rüzgarlar denir. Eğer rüzgar hafif meyilli karadan denize doğru eserse logaritmik olarak alçalan bir spiral hat çizerek ilerler. Kuzey yarımkürede bu spiralin dönüş yönü saat ibresinin dönüş yönüdür. Atmosferin üst tabakalarında rüzgar hızı saatte 400 km.'ye kadar çıkabilir (ANONİM, 2006k).

2.1.1. Rüzgar Cinsleri

Rüzgarlar dünya üzerinde bulundukları bölgelere göre ve meydana geliş sebeplerine göre isimler alır. Atmosferin genel devri daimine bağlı olarak meydana gelen devamlı rüzgarlar :

- Kutuplara doğru esen Kutup Rüzgarları,
- 40° ve 60° enlemleri arasında kuvvetli esen Batı Rüzgarları,
- Kuzey yarımkürede kuzeydoğu yönünden, güney yarımkürede güneydoğu yönünden devamlı ve kuru esen Alize rüzgarlarıdır.

Yaz ve kış atmosfer basıncında ters yönde değişiklik olması ve bölgede basınç alanları arasında büyük fark olmasından meydana gelen rüzgarlara ise muson rüzgarları denir. Muson rüzgarları yazın karalara, kışın denize doğru eser. Kış musonları soğuk kuru,

yaz musonları oldukça nemlidir. Rüzgarlar bulundukları bölgelere göre de özellikler taşırlar:

- Meltemler, karalarla denizler arasında eser. Öğlen vakitleri karalar ısınır, alçak basınç sahası meydana getirince denizden karaya doğru eser. Gece bunun tesiri çok daha yavaş olur. Bu hava akımları vadilerle dağlar arasında da meydana gelir.
- Soğuk mahalli (yerel) rüzgarlar, zaman zaman meydana gelen basınç farkından olur. Adriyatik ile Fransa'nın Akdeniz sahillerinde eser. Bora ismini de alır.
- Sıcak yerel rüzgarlar, İsviçre Alpleri kuzey yamaçlarını etkileyen kuru sıcak rüzgarlardır. Bu rüzgarlara föh de denir.

Yüksek süratli rüzgarlar, ayrıca fırtınalara sebep olurlar. Bu fırtınalardan Hint Okyanusunda esenlere tropik siklon; Meksika ile Kaliforniya körfezlerinde esene hurricane; batı Pasifikte esene tayfun, Batı Afrika'da esene tornado denir. Fırtına bazen 300-400 km. çapında bir sahayı etkisi altına alır ve saatteki hızı 250 km.'yi bulabilir. Bölgelere göre isim alan daha birçok rüzgar cinsi vardır. Meltem, mevsim rüzgarları cinsinden olup, Mayıs ile Eylül aylarında Akdeniz bölgesinde kara ile deniz arasında eser. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar yüksekse rüzgarın hızı da o kadar yüksek olur (ANONİM, 2006k).

2.1.2. Türkiye' deki Rüzgar Cinsleri

Rüzgarlar estikleri yönlerle göre isim alırlar. Kuzeyden esen rüzgara kuzey rüzgarları, güneyden esene kıble, doğudan esene gün doğusu, batıdan esene günbatısı, kuzeydoğudan esene poyraz, kuzeybatıdan esene karayel, güneydoğudan esene keşişleme, güneybatıdan esene ise lodos denir.

Türkiye'de Marmara, Trakya, Akdeniz, Karadeniz kıyılarında genellikle kuzey ve kuzeydoğuda poyraz rüzgarları hakimdir. Bu rüzgarlar bahar aylarında bölgelere bol miktarda yağış getirir. İç bölgelerde kuzey ve güneyden gelen rüzgarlar hakimdir. Güney batıdan esen lodos rüzgarları sıcak ve bunaltıcıdır. İzmir'de esen meltem rüzgarına imbat rüzgarı denir (ANONİM, 2006k).

2.2. Rüzgar Çeşitleri ve Oluşumu

Rüzgar için çeşitli kriterlere göre farklı sınıflandırmalar yapılabilir. Örneğin hızının baz alındığı Beaufort Cetveline göre kara ve deniz kriterleri ele alındığında Çizelge 2.1 ve 2.2’de belirtilen sınıflandırma ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.1 Beaufort cetveli kara kriterleri (KARADENİZ, 2002).

KARA KRİTERLERİ			
Beaufort Sayısı	Rüzgar Hızı (m/s)	Tanımı	Gözlenebilir Etkiler
0	0,0-0,4	Durgun	Duman dikey olarak yükselir.
1	0,4-1,8	Hafif	Duman yatay açı yapacak şekilde yükselir.
2	1,8-3,6	Hafif	Rüzgar deride hissedilir, yapraklar hafif hareketlidir.
3	3,6-5,8	Hafif	Yapraklar hareketlidir, bayrak hafif dalgalanır.
4	5,8-8,5	Orta	Küçük dalgalar hareketlidir, toz kalkar, kitap sayfaları uçuşur.
5	8,5-11	Orta	Küçük ağaçlar hareketlidir, rüzgar hissedilir.
6	11-14	Güçlü	Büyük dallar hareketlidir, telefon telleri ses çıkartır.
7	14-17	Güçlü	Bütün ağaçlar hareketlidir.
8	17-21	Fırtına	İnce dallar kırılır, yürümek güçleşir
9	21-25	Fırtına	Küçük çaplı hasar oluşur.
10	25-29	Güçlü Fırtına	Ağaçlar köklerinden sökülür, yapılarda orta dereceli hasar oluşur.
11	29-34	Güçlü Fırtına	Geniş çaplı hasar oluşur.
12	34 <	Kasırga	Sadece tropikal iklimlerde meydana gelir, felakettir.

Çizelge 2.2. Beaufort cetveli deniz kriterleri (ERTÜRK, 1986).

DENİZ KRİTERLERİ			
Beaufort Sayısı	Rüzgar Hızı (m/s)	Tanımı	Gözlenebilir Etkiler
0	0,0-0,4	Durgun	Deniz ayna gibidir.
1	0,4-1,8	Hafif	Dalga sırtı oluşmaksızın, kırıışıkların görülmesi ile şıptırtılar oluşur.
2	1,8-3,6	Hafif	Küçük dalgalacıklar, kısa fakat belirgin kırıışıklar, dalga sırtları cam görünümü alır ve bozulmazlar.
3	3,6-5,8	Hafif	Büyük dalgalar, dalga sırtları bozulmaya başlar, cam görünümlü köpük oluşur, dalga sırtları köpürerek saçılabilir.
4	5,8-8,5	Orta	Küçük dalgalar daha çok uzar, oldukça sık beyaz köpükler oluşur.
5	8,5-11	Orta	Daha belirgin uzun ve orta büyüklükteki dalgalar, birçok beyaz köpük oluşur ve su saçılır.
6	11-14	Güçlü	Büyük dalgalar oluşmaya başlar, beyaz köpükleri ile dalga sırtları her yerde daha yoğun olarak görülür.
7	14-17	Güçlü	Su yukarı doğru sıçrar, rüzgarın yönü boyunca dalgaların kırılmasından oluşan beyaz köpükler, şeritler halinde patlak vermeye başlar.
8	17-21	Fırtına	Daha uzun boylu, oldukça yüksek dalgalar, dalgalar sırtlarının kenarları köpüklenerek şekilde kırılır, köpük rüzgarın yönü boyunca belirgin bir şekilde sürüklenir.
9	21-25	Fırtına	Yüksek dalgalar, rüzgarın yönü boyunca, yoğun köpük şekilleri, dalga sırtları dönmeye başlar, suyun saçılması görüşü etkileyebilir.
10	25-29	Güçlü Fırtına	Çok yüksek dalgalar, görüş nerdeyse sıfırdır.
11-12	29 <	Kasırğa	Sadece tropikal iklimlerde meydana gelir, felakettir.

Ayrıca, rüzgarlar, oluşum bölgelerine göre, üç ana dalda incelenebilir.

2.2.1. Küresel Rüzgarlar

Ekvator ve çevresi dünyanın diğer bölgelerine göre daha çok ısınır. Sıcak havanın yoğunluğu soğuk havaya göre daha az olduğundan, sıcak hava yerden 10 km. kadar yükselerek kuzey ve güneye doğru yayılır. Dünya dönmeseydi, hava kuzey ve güney kutuplara kadar gider, oralarda soğur ve ekvatora geri dönerdi. Bu nedenle hakim rüzgar yönleri kuzey-güney doğrultusunda olurdu. Dünyanın dönmesiyle oluşan Coriolis kuvvetleri, 300 kuzey ve güney enlemlerine gelen sıcak havanın daha ileri gitmesini engeller ve sıcak hava alçalarak, sıcak havanın yükselmesi nedeniyle ekvatorda oluşan alçak basınç bölgesine doğru hareket eder. Böylece küresel rüzgarlar oluşur.

Coriolis kuvvetleri nedeniyle oluşan hakim rüzgar yönlerinin çeşitli enlemlere göre gösterdiği değişim Çizelge 2.3' de belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Enlemlere göre hakim rüzgar yönü (KARADENİZ, 2002).

Enlem	90-60	60-30	30-0	0-30	30-60	60-90
	Kuzey	Kuzey	Kuzey	Güney	Güney	Güney
Rüzgar Yönü	Kuzey-Doğu	Güney-Batı	Kuzey-Doğu	Güney-Doğu	Kuzey-Batı	Güney-Doğu

Yerel coğrafi koşullar küresel rüzgarları, dolayısıyla hakim rüzgar yönlerini çok az etkiler. Çünkü küresel rüzgarlar 1000 metre ve üstü yüksekliklerde oluşurlar. Bu yükseklik rüzgar türbini yüksekliğinden çok fazla olsa da, rüzgar türbinleri yerleştirilirken hakim rüzgar yönlerine az engel oluşturacak yönler seçilmelidir (ŞEN, 2003).

2.2.2. Yüzey Rüzgarlar

100 m.' den düşük yüksekliklerde rüzgarlar, dünya yüzeyinin coğrafi yapısından çok etkilenirler. Yüzey pürüzlülüğü, engeller nedeniyle rüzgarlar yavaşlar ve rüzgar yönlerinde değişimler olur. Rüzgar türbinleri genelde 100 metreden daha az

yükseklikte olduğundan, rüzgar enerjisi söz konusu olduğunda önemli olan rüzgar çeşidi; yüzey rüzgarlarıdır (ŞEN, 2003).

2.2.3. Yerel Rüzgarlar

Hakim rüzgar yönlerini küresel rüzgarlar belirlese de, yerel iklim koşulları hakim rüzgar yönlerini etkiler. Yerel rüzgarları iki başlık altında inceleyebiliriz.

- Deniz rüzgarları
- Dağ rüzgarları

2.2.3.1. Deniz Rüzgarları

Karalar denizlere göre daha çabuk ısınır ve soğurlar. Bu nedenle gündüzleri karadan yükselen sıcak hava yüzeyde bir alçak basınç bölgesi oluşturur. Böylece deniz üzerindeki nispeten soğuk hava, karaya doğru çekilir. Bu şekilde oluşan rüzgarlara deniz rüzgarları denir. Akşama doğru deniz ve kara sıcaklıkları arasındaki fark azalır ve hava durgunlaşır. Gece ise karalar daha çabuk soğuduğundan rüzgar karadan eser. Fakat deniz ve kara arası sıcaklık farkı gece daha az olduğundan rüzgar hızı da gündüze göre daha düşük olur. Muson rüzgarları, deniz rüzgarlarına bir örnektir (ŞEN, 2003).

2.2.3.2. Dağ Rüzgarları

Gündüzleri ısınan hava dağ eteği boyunca yükselir. Geceleri ise hava ters yönde hareket eder. Böylece oluşan ve dağ rüzgarları olarak adlandırılan rüzgarlar çok güçlü olabilirler. Kuzey yarım küre için dağların güneye bakan eteklerinde (güney yarım kürede tam tersi) oluşan vadi rüzgarları buna bir örnektir. Alplerdeki Foehn, Rocky Dağları'ndaki Chinook ve And Dağları'ndaki Zonda rüzgarları bu türün en güçlü örneklerindendir (ŞEN, 2003).

2.3. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, rüzgarı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Bu enerjinin belli bir bölümü yararlı olan enerjiye (elektrik, pompalama, v.s.) dönüştürülebilir.

Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerjinin miktarı, yine rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise, hızın küpü ile orantılı olarak artar. Sağlayacağı enerji; gücüne ve estiği sürece bağlıdır. Özgül rüzgar gücü, hava debisine dik olarak, birim yüzeye düşen güçtür. Topoğrafik koşullara bağlı olarak, rüzgarın yerden 50 metre yükseklikteki özgül gücü, rüzgarın hızı 3,5 m/s' den küçük iken 50 W/m² den az, 11,5 m/s' den büyük iken 1800 W/m² den çok olabilir. Dünya yüzeyinin % 27' sinde yıllık ortalama rüzgar hızının, yerden 10 m. Yükseklikteki 5,1 m/s' den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alan rüzgar enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplamıdır (ŞEN, 2003).

2.3.1. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

İnsanoğlunun, rüzgarın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok eski dönemlere dayanır. Rüzgar gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması gösterilebilir. İlk kez M.Ö. 2800 yıllarında Mısırlıların kürek mahkumlarının gücüne ek olarak rüzgar enerjisini kullandıkları biliniyor. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgarın gücünden yararlanmışlardır. Buharlı gemilerin icadına kadar yelkenliler, kıtalararası ulaşım ve ticarete büyük rol oynamıştır. Kıtalar arası ulaşımın gelişmesinde en önemli katkıyı Fenikeliler yapmıştır. Hatta bu yüzden İngilizler, Batı rüzgarlarına Ticaret rüzgarları (Trade winds) adını vermişlerdir. Yel değirmenlerinin M.Ö. 2000 yıllarında eski Mısır, Çin ve Japonya'da icat edildikleri ve tahıl öğütme işleminde başarıyla kullanıldıkları kabul edilir. Yel değirmenlerinin merkezi olarak Hollanda kabul edilmektedir. Yel değirmenlerinin icadı batıya, Haçlı Seferleri (1096-1270) sırasında Türkler yoluyla geçmiştir. Zamanla Fransa, Almanya, İngiltere inşa edilmeye başlanan

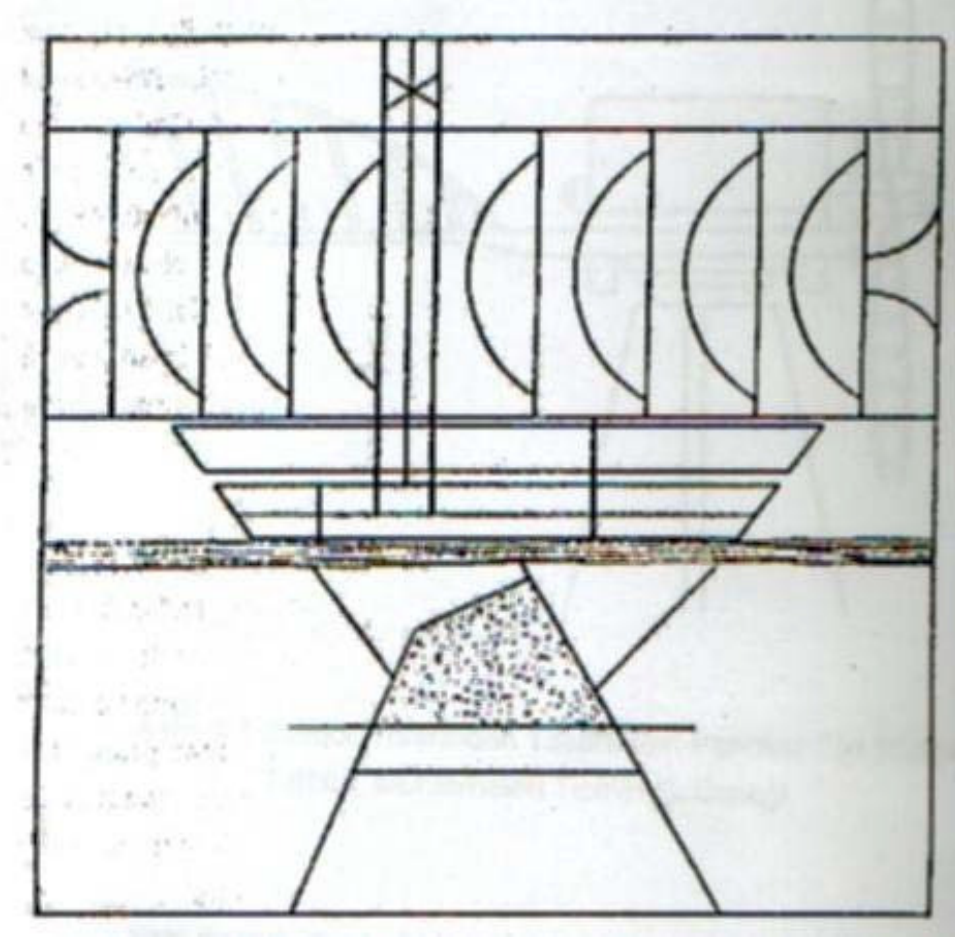
değirmenler, 18. yüzyıl sonlarına doğru Avrupa'da giderek yaygınlaşmıştır. Rüzgar enerjisi tür olarak, endüstriyel devrimde yararlı bir enerji kaynağı olarak benimsenmemiştir. Ancak, 1973-1974 yıllarında ortaya çıkan petrol krizleri , uzak bölgelerin beslenmesi amacıyla elektrik üretimi ve suyun pompalanması için bu teknolojiye gösterilen ilgiyi yeniden canlandırmıştır. 1987'de Kaliforniya'da uygulamaya konulan bir vergi indirimi sistemi, rüzgar endüstrisine yönelik bir atılımın öncüsü olmuştur. Halen dünyada, otuz kadar ciddi rüzgar türbini yapımcısı mevcuttur. Bunların çoğu Avrupa Birliğine üye ülkelerde bulunmaktadır. Yel değirmenlerinin en modern şekli olarak kabul edilen ve onun prensiplerine göre çalışan ilk rüzgar türbini 1890'da Danimarka'da üretilmiştir. Rüzgar enerjisinden en yoğun yararlanan ülke olan ABD'de ilk kez rüzgar enerjisinden yararlanma çalışmaları 1944 yılında gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisi üreten ilk rüzgar santrali ise, ABD'de Vermont eyaletinin Montpelier kenti yakınlarında 1940 yılında General Elektrik firması tarafından inşa edilmiştir. ABD'de de başlayan bu rüzgar enerjisinden yararlanma durumunu zamanla Danimarka, Hollanda, İsveç, Almanya izlemiştir.

Rusya federasyonunda ilk deneme rüzgar türbinleri istasyonu 1952'de Yalta' da kurulmuştur. Kule yüksekliği 50 m. olan rüzgar türbinlerinin kurulu gücü 1000 kW civarındadır. İngiltere'de ülkenin sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyeli etüt edilmiş ve kurulu gücü 2000 kW - 3000 kW dolayında olabilecek çok sayıda santral kurulabileceğini ortaya koymuştur. Bu ülkelerden başka Arjantin, Mısır, İspanya, Hollanda, Danimarka, İsveç, Avustralya da bu konuda çalışmalar yapmaktadırlar (ANONİM, 2005e).

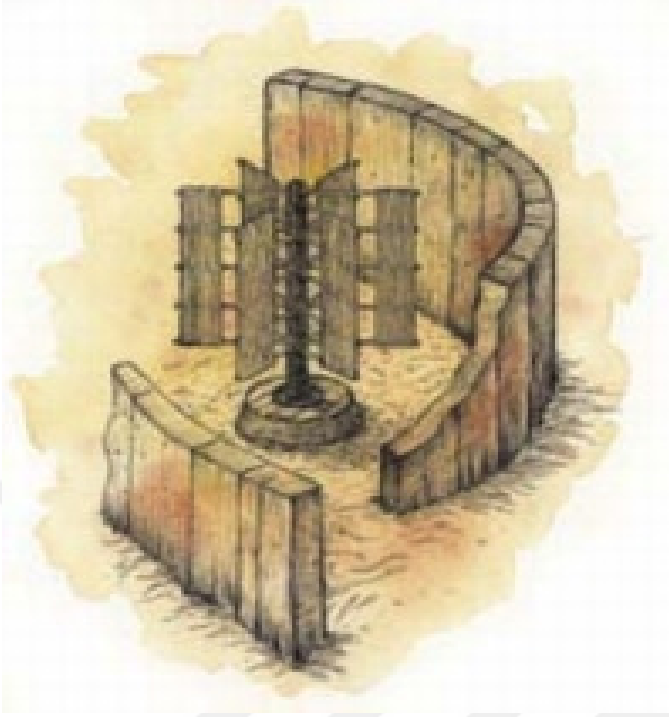
Milattan önceki yıllarda kullanılmaya başlanılan rüzgar enerjisi, denizlerde yelkenli gemilere, karalarda ise, yel değirmenlerine ve rüzgar millerine ana güç kaynağı olmuştur. Özellikle buğday, mısır öğütme ve su pompalama gibi gereksinimler uzun yıllar bu yolla çözülmüştür.

Rüzgar enerjisi kullanımı, M.Ö. 2800'lü yıllarda Orta Doğu'da başlamıştır. M.Ö. 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgar enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel

değirmenlerini ilk olarak haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere’de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlaması ise, 12. yüzyılda olmuştur (ANONİM, 2005f).



Şekil 2.1. Pers Uygarlığında görülen dikey eksen tipli yel değirmeni diyagramı (YALÇIN, 1999).



Şekil 2.2. Pers Uygarlığında kullanılan bir başka yel değirmeni (ANONİM, 2005g).



Şekil 2.3. Balıkesir'in Samlı ilçesinden yel değirmenleri (ANONİM, 2005h).



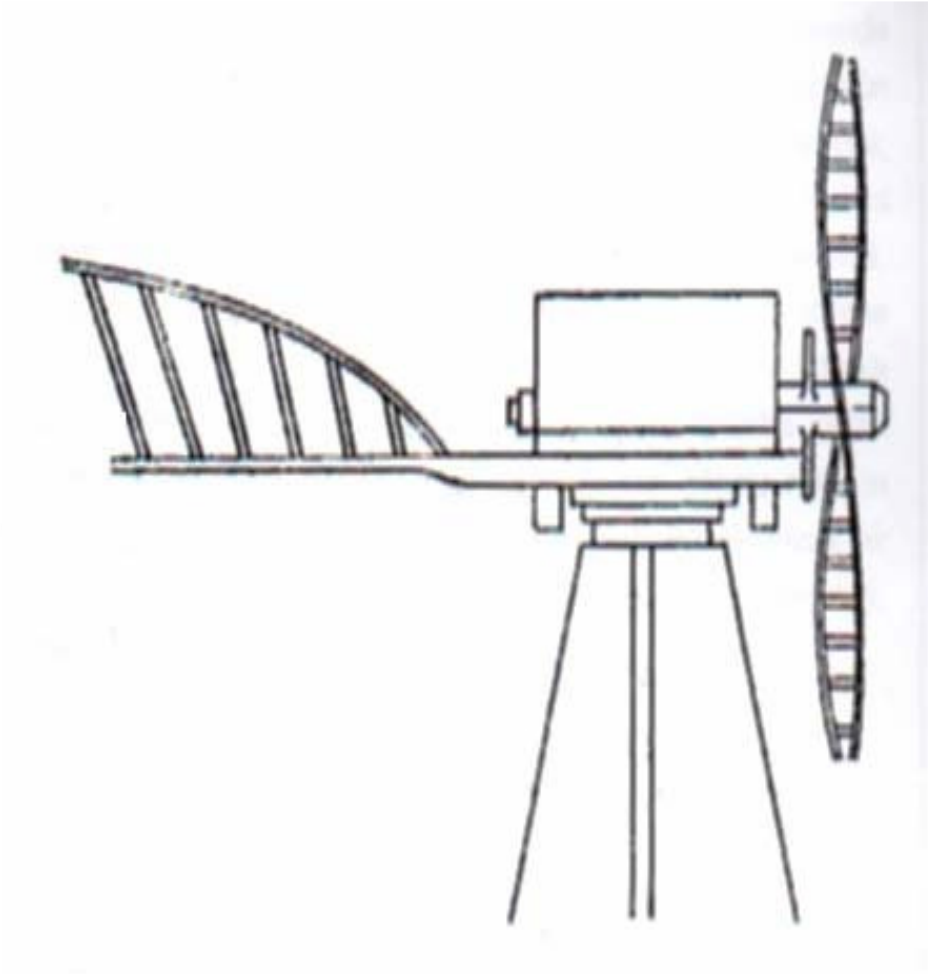
Şekil 2.4. Muğla'nın Bodrum ilçesinden bir yel değirmeni resmi (ANONİM, 2005).

Avrupa, haçlı seferlerinde kazandığı bu teknoloji ile, Roma İmparatorluğu'nun kaçırdığı bir serveti yakalamıştır. Roma İmparatorluğu gücünün zirvesinde iken, para basmak için gereken altın ve gümüşü Avrupa dışındaki eyaletlerinden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra, Avrupa'daki fakir madenlerin işletilmesi denenmiş, fakat bu madenlerin yüzeysel kapasiteleri hızla tükenip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmişti. Altın ve gümüş bulunamayınca paralara bakır katılmaya başlandı. Giderek artan parasal ve ekonomik bunalımla birlikte, o dönemin yüksek hızlı enflasyonu Roma İmparatorluğu'nun sonunu getirmişti. Avrupa'nın Orta Çağ karanlığından sıyrılmasında önemli etmenlerinden birinin, Romalıların terk ettikleri madenlerin yeniden işletmeye açılması olduğu söylenir. Avrupalılar bunu yel değirmenleri yardımıyla, galeri diplerindeki suları dışarı pompalayarak, yani rüzgar enerjisini kullanarak başarmışlardır.



Şekil 2.5. Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi (ANONİM, 2005g).

Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri; Avrupa’da Endüstri Devrimi’ne kadar hızla yayılmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda’da 10000 yel değirmeni bulunuyordu. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile, rüzgar enerjisi önemini yitirmeye başlamıştır. Bununla beraber, rüzgar türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler, 1890’ların başlarında Danimarka’da yapılmıştır. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya’da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgar kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgar enerjisinin kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlamıştır. Ancak, 19. yüzyılda geliştirilen ilk rüzgar türbinlerinin verimi düşüktü.



Şekil 2.6. Muhtemelen tipinin ilk örneği olan ve Belidor tarafından tasarlanan pervane tipi rüzgar türbini (YALÇIN, 1999).

1918 yılında Danimarka’da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimi 20-30 kW’lık rüzgar türbinlerinin kullanımı ile sağlanmıştı. Rusya’da 1931 yılında 100 kW’lık rüzgar türbini yapılmıştı. 1941 yılında ABD’de Vermont yakınlarında Granpa’s Knop’da kurulan Putnam rüzgar türbini, 1250 kW gücü ile dönemin en büyük rüzgar kuvvet makinesi olmuştur. İki kanatlı rotorun çapı 53 m. idi. Putnam türbini, modern rüzgar makinelerinin ilkidir (Şekil 2.7). Toplam ağırlığı 250 ton olan bu rüzgar santraline, bir milyon dolar yatırım yapılmıştı. Ancak titreşim ve malzeme yorgunluğundan dolayı, 26 Mart 1945 sabahı olan bir kazada kanatlarından biri kopmuş, yaklaşık 8 tonluk kanat 230 m. uzağa fırlamıştır.



Şekil 2.7. Putnam rüzgar türbini (ANONİM, 2005g).

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından 1945'de İngiltere'de başlatılan deneysel çalışmalar sonucunda, Enfeld'da 10 kW gücündeki Andreu makinesi kurulmuştur. Bu rüzgar türbininin rotoru üç kanatlı olup, çapı 15 metreydi.

1947 yılında Danimarka'da başlatılan ve modern yaklaşımlar içeren elektrik üretim amaçlı bir başka çalışmanın son ürünü ise, 1959 yılında işletmeye sokulan 200 kW'lık Gedser türbini olmuştur. Bu makinenin 24 metre çaplı rotoru üç kanatlı idi. Aynı dönemde Fransa'da yapılan makinelerden Noget Le Roi'deki rüzgar türbini 300 kW gücündedir. Bu yıllardaki ilgi artışının sebepleri şu şekilde sıralanabilir.

- Hızla artan elektrik enerjisi talebi karşısında, ekonomik olarak geliştirilebilen hidroelektrik kaynakların yakıt tedarikinin yetersiz kalması,
- Hidroelektrik santrallerinin ve buhar türbinlerinin oluşturulmasında, hem ilk yatırım sırasında, hem de enerjinin iletilmesi esnasında hızla artan yüksek maliyetler,
- Savaş sonrasındaki zor ekonomik ve politik koşullar nedeniyle, ülkelerin enerji üretiminde ithal yakıtlar yerine kendi öz kaynaklarına yönelmesi,

- Kömür ve petrol türevli kaynakların yakıt olarak kullanımının yüksek hızla artması ve dolayısıyla rezervlerin azalmaya başlaması,
- Savaş sırasındaki araştırma–geliştirme çalışmalarının sonucunda uçak konstrüksiyonlarında uygulanan aerodinamik bilgi birikiminin büyük bir oranda artması ve bu bilginin büyük rüzgar türbinlerinin konstrüksiyonu yolunda kullanılabilirliği,
- Yaygın enerji ağına farklı kaynaklardan enerji ve güç bağlanabilmesinin avantajlarının değerlendirilmesi,
- Rüzgar türbinleri ile ilgili denemelerin yapılması ve bu tip uygulamaların ekonomik bir tesis olarak başarılı olmamasına karşın, rüzgar enerjisinden faydalanarak elektrik üreten büyük tesislerin pratik olarak iyi bir performansla çalışabileceğinin kanıtlanması (GOLDİNG, 1955).

1961 yılında Roma’da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı’nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgar enerjisi idi. Böylece, çok eskiden buyana tanınan rüzgar enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanmayan rüzgar enerjisi, 1974-1978 yılları arasındaki yapay petrol bunalımları ardından gündeme daha çok girmiştir. Rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980’li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık eski tip rüzgar jeneratörleri yerine , modern ve çağdaş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca rüzgar türbinleriyle beraber dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratörü içeren rüzgar-dizel-PV hibrid sistemler de geliştirilmiştir. Bir tüketiciyi besleyecek tek makine yerine, birden çok türbin içeren rüzgar çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılır olmuştur. ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç’in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıdan uzakta rüzgar santralleri kurulmuştur (ANONİM, 2005f).

2.3.2. Rüzgar Enerji Sistemleri

21. yüzyılda rüzgardan elektrik üretimi için büyük güçlü türbinlerle kurulan rüzgar santrallerinin (rüzgar çiftliklerinin) yanında, küçük güçlü türbinler olan rüzgar jeneratörleri

de kullanılmaktadır. Uygulamada bunlar şebekeden bağımsız çalıştırılan rüzgar jeneratörleri ve şebeke bağlantılı rüzgar santralleri olarak ayrılmaktadır.

Rüzgar santrallerinin ana yapı elemanı türbindir. Günümüz rüzgar türbinleri geliştirilmiş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) olarak tanımlanır. Rüzgar santrallerinde kullanılan türbinlerin hemen tümü yatay eksenli propeller türbinlerdir. Rotor kanat sayıları bir ile üç arasında değişmektedir. Kanatlar kompozite malzemeden yapılır. Çoğunlukla up-wind (üst rüzgarlı – rüzgarın kuleden önce rotora çarptığı) tip türbinler kullanılır.

Şebekeden bağımsız rüzgar elektrik sistemleri birkaç kW ile 100 kW arasında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla 30 kW' ı aşmamaktadır. Bu tür rüzgar jeneratörleri üç palli bir çark, transmisyon sistemi, DC jeneratör, yöneltici kuyruk ve fren sisteminden oluşur. Makine daha çok direk tipi pilon üzerine yerleştirilir. Elde edilen DC elektrik aküler ile depolanabilir.

Şebekeden bağımsız büyük güçlü (10-100 kW) sistemler, yedek enerji kaynağı olarak dizel jeneratörlerle paralel çalıştırılmaktadır. Böyle bir sistemde dizel jeneratörün rüzgardan yararlanarak % 40-50 yakıt tasarrufu sağlaması amaçlanmaktadır. Rüzgar-dizel sistemlerinde DC/AC invertör kullanılarak tüketici AC ile beslenmektedir.

21. yüzyılda rüzgar santralleri tek türbinli olarak değil, genellikle birden çok türbin içeren ve şebeke ile bağlantılı rüzgar çiftlikleri biçiminde kurulmaktadır. Genelde 400 – 1500 kW' lık türbinler kullanılmaktadır. Rüzgar santralleri teknolojisinin geleceğine ilişkin tahminleri, 3 MW' lık türbinlerin önümüzdeki 25 yıl içinde ticari olarak uygulamaya konulabileceği yönündedir. Şebeke bağlantılı rüzgar santralleri genellikle elektrik iletim hatlarına yakın yörelerde kurulmakta, ya da oraya iletim hattı ulaştırılmaktadır. Ayrıca, yöredeki trafo kapasitesinin santrale uygun olması gerekmektedir.

Rüzgar enerjisi bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de deniz üstü (off-shore) tip rüzgar santrallerinin kurulmasına başlanmıştır. Birinci etapta kıydan uzaklığı 10 km.' yi ve derinliği 10 m.' yi geçmeyen alanlar hedeflenmiştir. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği 5 MW güçle Danimarka' da Lolland adası yakınında kurulan Vindeby rüzgar çiftliğidir (GENCOĞLU ve CEBECİ, 2001).

2.4. Dünya' nın Rüzgar Enerji Potansiyeli

Rüzgar enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarla ortak özelliklere sahip, büyük potansiyeline karşın dağınık karakteristikli bir enerji kaynağıdır. Endüstri devrimi sırasında yerini geniş çapta diğer enerji kaynaklarına bırakmıştır. Fakat son yıllarda yapılan atılımlarla rüzgar enerjisi bir ivme kazanmıştır. Dünyada rüzgar enerjisinden yararlanan ülkelerin sayısı artmıştır.

Çizelge 2.4. Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünün kıtalara göre dağılımı (ANONİM, 2005i).

Kıtalar	Kurulu Güç (MW)
Avrupa	40904
Kuzey Amerika	9832
Asya	7135
Pasifik	889
Afrika ve Orta Doğu	349
Güney Amerika	213

Çizelge 2.5. Ülkelere göre rüzgar enerjisi kurulu güç miktarı ve yüzdesi (ANONİM, 2005i).

Ülkeler	Kurulu Güç (MW)	Bulunma Yüzdesi
Almanya	18428	31
İspanya	10027	16,9
Amerika	9149	15,4
Hindistan	4430	7,5
Danimarka	3122	5,3
İtalya	1717	2,9
Birleşik Krallık	1353	2,3
Çin	1260	2,1
Japonya	1231	2,1
Hollanda	1219	2,1
Toplam 10 Ülke	51936	87,5
Diğer Ülkeler	7368	12,5
Dünya Toplamı	59322	100

Dünya Rüzgar Enerji Konseyi (GWEC)' in verilerine göre, 2005 yılında dünya 59322 MW kurulu rüzgar gücü kapasitesine ulaşmıştır. Bu, 2004' e göre % 25 artış demektir. Yine GWEC' in verilerine göre dünyada rüzgar enerjisi kurulu kapasite

bakımından ilk sırada Almanya (18428 MW) gelmektedir. Onu İspanya (10027 MW), USA (9149 MW) ve Hindistan (4430 MW) takip etmektedir. Danimarka'da son yıllarda yaptığı yatırımlarla bu dört büyük ülkenin ardından gelmektedir (3122 MW).

2005 yılında yapılan rüzgar gücü kurulu kapasite yatırımlarına göre Amerika Birleşik Devletleri 2431 MW' lık kurulu güç yatırımıyla birinci gelmektedir. Onu Almanya (1808 MW), İspanya (1764 MW), Hindistan (1430 MW), Portekiz (500 MW) ve Çin (498 MW) ile izlemektedir (ANONİM, 2005i).

2.4.1. Avrupa' nın Rüzgar Enerji Potansiyeli

Çizelge 2.6. 2005 yılı Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisinin durumu (ANONİM, 2006j).

Ülkeler	Kurulu Güç (MW)
Almanya	18428
İspanya	10027
Danimarka	3122
İtalya	1717
İngiltere	1353
Hollanda	1219
Portekiz	1022
Avusturya	819
Fransa	757
Yunanistan	573
İsveç	500
Belçika	167
Lüksemburg	35
Türkiye	20
Litvanya	7
Slovakya	5
Hırvatistan	6

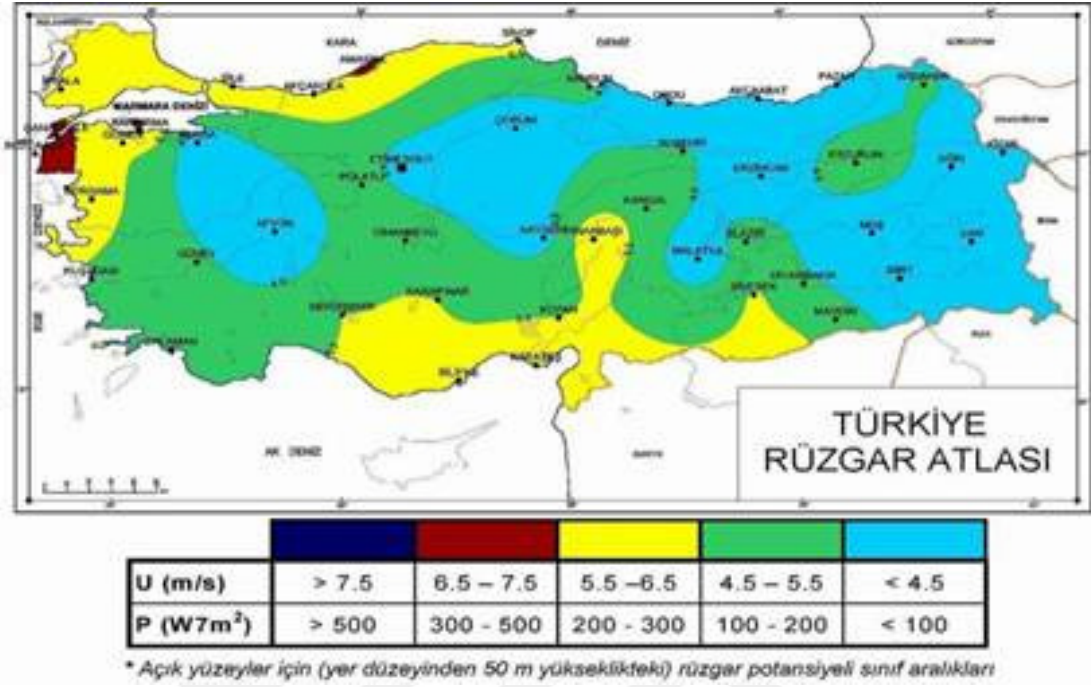
GWEC ‘ in 2005 Dünya Rüzgar Gücü Raporu’ una göre Avrupa kıtası 40904 MW kurulu rüzgar gücü kapasitesiyle dünyada lider konumdadır. Bu rakam dünyadaki mevcut kurulu toplam rüzgar gücünün % 69 ‘ una tekabül etmektedir. Avrupa kurulu rüzgar gücü kapasitesi, 2005 itibariyle 2004 yılına göre % 18 ‘ lik bir artış göstermiştir. Bu rakam, Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (EWEA)’ nın verileri itibariyle Avrupa’ nın 2010 yılı hedefi olan 40000 MW kurulu güç hedefine şimdiden ulaştığını göstermiştir. Bu artışta şüphesiz Almanya’ nın rolü büyüktür. GWEC’ in verilerine göre Almanya 2005 yılında 1808 MW ‘ lık bir artış sağlamıştır. Bu artış dünyadaki toplam kurulu güç artışlarının % 15,4 ‘ üne denk gelmektedir.

2.5. Türkiye’ nin Rüzgar Enerji Potansiyeli

Ülkemizde son yıllarda rüzgar enerjisine olan ilgi her geçen gün hızla artmaktadır. Türkiye’ de rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretim amaçlı kullanılan rüzgar çiftlikleri sayısı son kurulan Bandırma Rüzgar Enerji Santrali ile birlikte 5’ e ulaşmıştır. Türkiye’ nin 2006 yılı toplam kurulu rüzgar gücü 50,1MW’ tır. Aşağıdaki Çizelge 2.7’ de 2005 yılı mevcut kurulu rüzgar gücü değerleri çizelge halinde verilmiştir.

Çizelge 2.7. Türkiye’ de 2005 yılı kurulu rüzgar gücü değerleri (ANONİM, 2005j).

Projenin Adı	Yer	Bölge	İşletmeye Başlangıcı	Türbin Kapasitesi (KW)	Türbin Sayısı (Adet)	Kurulu Güç (MW)	Rotor Çapı (Metre)
Çeşme Germiyan	İzmir Çeşme	Ege	Şubat 1998	500	3	1,5	40,3
Çeşme Alaçatı	İzmir Alaçatı	Ege	Kasım 1998	600	12	7,2	44
Bozcaada	Çanakkale Bozcaada	Marmara	Temmuz 2000	600	17	10,2	44
İstanbul	İstanbul Hadımköy	Marmara	Kasım 2000	600	2	1,2	44
Toplam :					34	20,1	



Şekil 2.8. Türkiye rüzgar atlası (ANONİM, 2005c).

Yukarıdaki haritada görüldüğü gibi Türkiye rüzgar enerjisi açısından iyi bir potansiyele sahiptir. Ülkemizin Marmara, Akdeniz, Ege, İç Anadolu Bölgeleri ve Batı ve Orta Karadeniz kıyıları rüzgar bakımından oldukça yüksek potansiyele sahip bölgelerimizdir. Bu bölgelerimizdeki ortalama rüzgar hız aralığı 4,5 – 5,5 m/s, Gökçeada – Bozcaada bölümünde ise 6,5 – 7,5 m/s aralığındadır.

Çizelge 2.8. 2006 ve 2007 Yılında üretime geçmiş ve geçecek olan rüzgar santralleri (ANONİM, 2006I).

2006 ve 2007 Yılında Üretime Geçmiş ve Geçecekler				
Yer	Firma	Elektrik Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin Sayısı (Adet)
Bandırma	Bares-Bilgin	Mayıs 2006	30	20
Çeşme-İzmir	Demirer-Enercon	Ağustos 2006	39.2	49
Çanakalan-Çanakkale	Demirer-Ado	Kasım 2006	30.4	38
Gelibolu-Çanakkale	Demirer-Polat	Mart 2007	15	19
Sayalar-Manisa	Demirer-Polat	Mayıs 2007	30.4	38
Dares-Datça	Demirer-Enercon	Aralık 2007	28.8	36

2005 yılı itibariyle toplam kurulu rüzgar gücü 20,1 MW olan Türkiye, 2006 yılında üretim devresine girmiş olan Bandırma RES (Rüzgar enerji santrali) ile birlikte 50,1 MW'lık kurulu rüzgar gücü kapasitesine ulaşmıştır. Yukarıdaki çizelge 2.8.'deki Çeşme-İzmir ve Çanakalan-Çanakkale yerlerinde kurulacak olan rüzgar enerji santrallerinin kurulma ve üretime geçiş çalışmaları devam etmektedir. Kurulma çalışmaları devam eden ve yukarıdaki çizelge 2.8.'de görüldüğü gibi 2007 yılında kurulma çalışmaları yapıp devreye girecek olan rüzgar enerji santralleri ile birlikte, Türkiye'deki kurulu rüzgar gücü kapasitesi 2007 yılı sonunda 200 MW'ı bulacaktır. Bu da enerji sıkıntılarının arttığı günümüz şartlarında, Türkiye için önemli bir getiri sağlayacaktır.

Çizelge 2.9. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde 10 m. yükseklikte yapılan ölçümler (ANONİM, 2006i).

Yer	Ay	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Ort.
	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	m/s
Belen	2001	4,8	4,9	5,4	6,0	5,0	9,3	11,5	10,3	8,2	5,3	5,6	5,8	6,8
“	2002	5,0	5,8	5,3	5,4	5,4	7,8	8,8	9,1	6,0	N/A	N/A	N/A	6,5
“	2003	8,0	8,3	8,8	6,4	6,4	5,7	8,9	N/A	N/A	N/A	4,6	6,5	7,1
“	2004	5,5	6,0	6,0	6,2	7,7	9,3	9,2	10,6	7,6	5,0	5,2	5,4	7,0
“	2005	5,8	5,7	5,1	6,1	7,6	9,3	10,8	11,3	7,9	4,9	4,7	3,9	6,9
Datça	2001	4,6	5,1	4,7	4,5	6,5	5,6	8,0	5,9	6,2	5,5	5,3	5,4	5,6
“	2002	5,4	4,0	5,0	5,5	5,4	5,4	6,2	7,0	4,9	4,6	3,5	5,1	5,2
“	2003	4,6	7,6	6,2	5,9	3,9	5,8	8,0	6,6	7,0	5,8	4,3	5,2	5,9
“	2004	5,7	6,4	6,0	4,6	4,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,0	4,8	5,3
“	2005	5,7	5,8	5,8	5,7	5,5	6,9	6,9	7,0	7,3	5,6	N/A	N/A	6,2
Kocadağ	2001	8,5	8,9	8,5	8,5	N/A	N/A	N/A	N/A	6,7	9,0	9,3	10,7	8,8
“	2002	8,0	7,7	8,0	7,0	7,0	8,6	8,6	6,5	7,2	5,3	7,1	N/A	7,4
“	2003	N/A	N/A	10,0	7,3	6,5	8,0	8,6	9,7	7,8	9,2	6,9	9,3	8,3
“	2004	9,2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9,5	7,7	9,1	6,7	N/A	N/A	8,4
“	2005	N/A	11,5	7,4	19,9	6,1	7,8	N/A	7,4	6,9	8,2	9,5	9,7	9,4
Karaman	2003		4,8	3,4	4,6	5,1	4,8	N/A	N/A	N/A	N/A	4,5		
“	2004	N/A	N/A	4,0	3,8	3,7	4,1	5,2	4,1	3,9	3,0	4,2	3,5	4,0
“	2005	4,7	5,4	4,9	4,2	3,9	4,1	4,5	4,4	3,8	3,6	4,2	3,0	4,2
Van	2004	N/A	N/A	N/A	3,1	2,9	2,9	3,0	2,8	3,3	N/A	N/A	N/A	3,0
“	2005	N/A	N/A	N/A	2,9	3,5	3,1	2,9	2,8	2,9	N/A	N/A	N/A	3,0

Yukarıdaki Çizelge 2.9'daki N/A'lar o aylarda ölçüm yapılamadığını göstermektedir.

Çizelge 2.10. Türkiye'de rüzgar enerjisi açısından süreklilik ve yoğunluk gösteren yöreler (GENÇOĞLU ve CEBECİ, 2001).

İSTASYON ADI	Rüzgar gücü yoğunluğu (W/m ²)
Bandırma	152,6
Antakya	108,9
Kumköy	82
Mardin	81,4
Sinop	77,9
Gökçeada	74,5
Çorlu	72,3
Çanakkale	71,3

Batı ve Kuzey-Batı Anadolu'nun rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için, uzun yıllık meteorolojik veriler incelenerek, yıllık ortalama rüzgar hızları 3 m/sn' den daha yüksek olan yöreler belirlenmiş ve Çizelge 2.11 ' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Yıllık ortalama rüzgar hızları 3 m/sn' den yüksek olan Batı ve Kuzey Batı Anadolu Yöreleri (GENÇOĞLU ve CEBECİ, 2001).

YÖRE	HIZ (m/sn)	YÖRE	HIZ (m/sn)	YÖRE	HIZ (m/sn)
Ayvalık	3,1	Florya	3,3	Kırklareli	3,0
Balıkesir	3,1	Gökçeada	4,4	Menemen	4,1
Bandırma	5,2	İpsala	3,6	Muğla	3,4
Bergama	4,0	İzmir	3,4	Sarıyer	4,7
Bodrum	3,8	Kumköy	4,5	Şile	3,1
Bozcaada	7,0	Tekirdağ	3,3	Yeşilköy	4,1
Çanakkale	4,5	Bilecik	3,4	Datça	3,1
Çiğli	4,1	Çeşme	3,8	Erdek	3,2
Çorlu	4,0	Dikili	3,0	Gemlik	3,2

Bu yöreler içerisinde esme saat sayılan ve yıllık ortalama rüzgar hızları potansiyel belirlemeye uygun olan Bandırma, Bergama, Bozcaada, Çanakkale, Çorlu ve Gökçeada olası potansiyelleri yüksek görülen yöreler olarak saptanmış ve bunlara ait detaylı hız verileri DMI' nin saatlik rüzgar cetvelleri incelenerek 1987, 1988, 1989 yılları için çıkartılmıştır. Elde edilen veriler esme saat sayılarını gösteren frekans tablolarının hazırlanması için bilgisayara yüklenmiştir. Potansiyel olanağı yüksek görülmekle birlikte yeterli veri sağlanamadığı için Kumköy, Sarıyer, Çiğli ve Yeşilköy çalışmada değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Rüzgardan üretilen elektriğe, kirlenici emisyonlar olmadan üretilen elektriğin çevresel yararlarını yansıtan, hakça bir bedel ödenmesi ve iyi organize olmuş bir kurumsal alt yapı ve rüzgar enerjisinin planlama yönetmeliklerinin hazırlanması durumunda, Türkiye'de rüzgar enerjisi kurulu gücünün gelişiminde YEKAB (Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaymakları Araştırma Birimi) tarafından ön görülen ve çizelge 2.12' de belirtilen hedeflere kolayca ulaşılacaktır.

Rüzgar enerjisinin geliştirilmesine gereken önem verilerek pazar yaratıldığında Türk Endüstrisi rüzgar gücü santrallerinin imalatına kolayca adapte olabilecektir. Yeni kurulan rüzgar çiftliklerinin kuleleri yerel olarak imal edilmeye başlanmıştır. Türkiye için öngördüğümüz kurulu güç hedefleri ve bu kurulu kapasitenin Türkiye Endüstrisi tarafından imalatı durumunda yaratılabilecek iş potansiyeli aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.12 .Türkiye'de rüzgar enerjisi için mümkün hedefler (YEKAB öngörümü).
(GENÇOĞLU ve CEBECİ, 2001).

Yıl	Kurulu Kapasite (MW)	Yaratılan İş Adam Yıl
2010	10000	200000
2020	20000	400000

2.6. Dünya' da Rüzgar Enerjisinin Kullanımı

Rüzgar enerjisi kullanımının dünyadaki örneklerine baktığımızda, iki kısımda incelenmesi gerektiğini görüyoruz. Küçük türbinler olarak adlandırabileceğimiz, kişisel kullanıma yönelik sistemler ve büyük türbinler adını alan endüstriyel kullanıma yönelik sistemler.

Küçük türbinler, genellikle şebekenin olmadığı, ulaştırmanın ekonomik olmadığı, yada sorunlu olduğu yerlerde uygulanır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, seralar, maden ocakları, deniz vasıtaları ve bazı fabrikalarda küçük türbinler oldukça uygun kullanım alanları bulmaktadır. Üretilen enerjinin depolanması ile güvenilir enerji sağlanır. Küçük türbinlerin güç değerleri, 0,05-20 kW arasındadır. En fazla 4 adet hareketli parçadan oluşan bu tip türbinler bakımsız yada çok az bakımlı olarak dizayn edilirler. Otomatik kontrol mekanizmaları, sistemi aşırı şarjdan koruyan kontrol sistemleri vardır ve ayrıca çok yüksek rüzgar hızlarında otomatik korunmalı dizayn edilmişlerdir.

Şebekeye elektrik enerjisinin verildiği büyük türbinlerin aksine, küçük türbinlerde bu sistem uygulanmaz. Akü şarjı esasına göre çalışan küçük türbinlerle üretilen enerji, kişisel ihtiyaca yönelik olarak kullanılmaktadır. Avrupa Topluluğu tarafından öngörülen, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin toplam üretime oranının, gelecekte %2'lik değere ulaşması için hızlı bir şekilde çalışmaların ilerletilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.9. Küçük türbinlere bir örnek (ANONİM, 2005k).

Büyük türbinler ise, rüzgar çiftlikleri olarak adlandırılan diziler halinde kurulur. Bir rüzgar çiftliğinin toplam gücü 1-150 MW arasındadır. Tek bir türbinin gücü 50 kW' tan 2 MW' a kadar olabilir. Ancak günümüzde ekonomik şartlar açısından 500 kW' tan küçük türbinler pek fazla kullanılmamaktadır.

Büyük türbinler, yatırım amaçlı olarak kurulurlar. Üretilen enerji, şebekeye verilir. Bu yüzden, yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır. Öncelikle bölgenin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi gerekir. En az bir yıl sürecek teknik rüzgar ölçümleri ile, rüzgar hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgar enerjisi değeri belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmalarının sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilecek enerji maliyetleri gibi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışmalarda bölgesel elektrik kurumları ile devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyonel elektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynar. İşte bütün bu parametreler üretilecek olan elektriğin maliyetinde önemli bir yer alır.

Bu tip rüzgar çiftliklerinin türbinlerini üreten rüzgar endüstrisi, günümüzde olgunlaşmış bir endüstri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sektördeki bir çok şirketin beş yıldan 25 yıla kadar tecrübeleri mevcuttur. Çoğu iki yada üç kanatlı olan, rotor çapları 20 m. ile 70 m. arasında değişen ticari tipler üretilmektedir.



Şekil 2.10. Rüzgar çiftliklerine bir örnek. (ANONİM, 2005k).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Belen Rüzgar Ölçüm İstasyonu

Alçak ve yüksek basınç bölgelerindeki havanın yer değiştirmesiyle meydana gelen rüzgarın hızının ve yönünün tespiti, rüzgar potansiyelinin belirlenmesinde önemli ilk adımdır. Rüzgar potansiyeli; kurulması planlanan ya da kurulu bir rüzgar enerji sisteminin, hem ekonomik hem de teknik anlamda uygulanabilir ve varlığını devam ettirebilir oluşunu belirleyici bir etkidir. Bu nedenle Rüzgar Enerji Santralleri kurulmasının ilk aşaması olan rüzgar ölçümü, projenin tüm evresini etkileyeceği için çok önemlidir. Bu nedenle öncelikli olarak rüzgar ölçüm istasyonunun yerinin belirlenmesi, uygun rüzgar hızı ölçüm cihazları ile uygun şartlarda veri alınması ve kaydedilen verilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; ilk olarak Hatay ili İskenderun yerleşkesindeki rüzgar ölçümü yapılacak uygun arazi araştırılarak, en uygun nokta seçilmiştir. Seçimde, tepenin yüksek olması, etrafında rüzgarı engelleyecek herhangi bir engelin olmaması gibi kriterlere dikkat edilmiştir. Ölçüm yapılacak arazinin coğrafik koşullarına göre uygun direk yüksekliği belirlenmiş ve rüzgar ölçüm direğinin kurulacağı alana, direği sabitleyecek, gelen rüzgara karşı direğin salınımlarını sönmeyecek ve ölçüm direğinin tam olarak dik durmasını sağlayacak olan halatların temelleri atılmıştır.

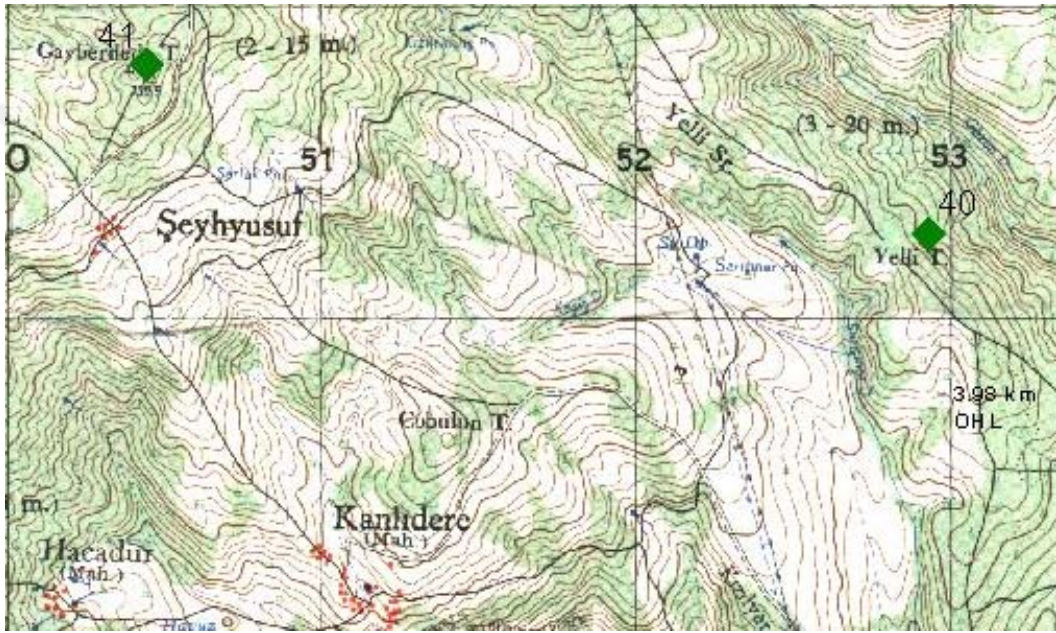
Enerji Bakanlığı için hazırlanacak rapor standartlarında en az 30 m. yükseklikten rüzgar hızının ölçülmesi gereklidir. Bu nedenle ilk olarak ölçüm yapılacak arazinin coğrafi koşullarına göre uygun direk yüksekliği seçilmelidir. Bu projede direk yüksekliği 30 m. olarak alınmıştır. Ölçüm direği gövdesi ister boru konstrüksiyon, ister kafes konstrüksiyon olsun, ölçüm cihazlarını yerleştirebilmek için gövdeye bağlanan traverslerin bulunması gerekmektedir. Kötü dizayn edilmiş taşıma traversleri cihazlara gelen rüzgarı engelleyebilir veya türbülans yaparak ölçüm değerlerinin hatalı olmasına yol açabilir.

3.1.1.1. Site Yerleşkesi

Belen Rüzgar Ölçüm İstasyonu, Hatay' ın en büyük yerleşim yeri olan İskenderun' da kurulmuştur.

Yerleşim yerinin topoğrafyası aşağıda şekil 3.1' de verilmiştir.

3.1.1.1.A. Site Topoğrafyası

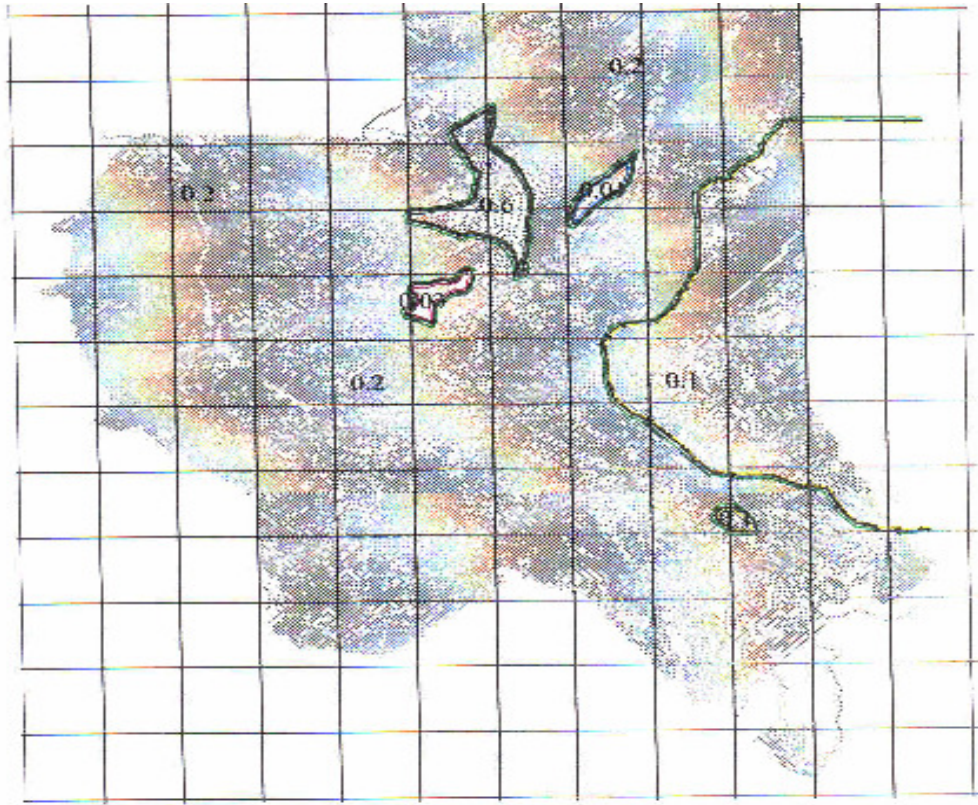


Şekil 3.1. Belen-Yellitepe mevkii topoğrafyası (ANONİM, 2004a).

Yukarıda görülen topoğrafya haritasında projelendirdiğimiz alan 250-300 m. yüksekliğindedir. Bölgede daha çok çam ağaçlarına rastlanmaktadır. Tepelerde ise yabani otlar bulunmaktadır. Yer kırsal alandan uzak olup, sadece hayvancılık için uygundur.

3.1.1.1.B. Arazi Yüzeyi

Aşağıdaki şekil 3.2’ de pürüzsüz uzunluklar gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Belen-Yellitepe mevkiî arazi yüzeyi (ANONİM, 2004a).

Yukarıdaki şekil, çalışma yapılan bölgenin arazi yüzeyi olup, bu bölgedeki engebesiz uzunlukları gösteriyor. Kalın çizgilerle gösterilen çizgiler, engebesiz arazi yüzeyleridir. Çalışma bölgesindeki arazi yüzeyi genelde engebesiz yerlerde seçilmiş olup çalışma sahasının bir bölümü engebeli yüzeylere denk gelmiştir. Bulunulan bölgenin büyük bir kısmı eğimli bir yüzeye sahiptir.

3.1.2. Ölçüm Cihazları

3.1.2.A. Anemometre

Belen rüzgar ölçüm istasyonunda kullanılan anemometre NRG marka olup, fincanlı tip anemometredir. Ölçüm istasyonunda, 10. ve 30. m.' lerde olmak üzere iki adet anemometre kullanılmıştır. Anemometrede ölçülen rüzgar hızları 10'ar dakikalık aritmetik ortalamalar şeklinde dataloggere gönderilmiştir.

Çizelge 3.1. Anemometrenin teknik özellikleri (ANONİM, 2004b).

Ölçüm Aralığı (m/s)	1 – 96
Doğruluk (m/s)	± 0.1
Eşik (m/s)	0.78
Eylemsizlik Momenti	68x10
Maksimum Ölçtüğü Hız (m/s)	96
Tipi	Fincanlı
Malzeme	Siyah ABS Plastik Kaplama
Çalışma Sıcaklığı (C ⁰)	-55 – 60
Besleme	5 V DC, 0.3 mA
Anemometre Ağırlığı (kg)	0.14
Dış Sinyal Mesafesi	0-125 Hz

3.1.2.B. Yön Kontrol Cihazı

Belen rüzgar ölçüm istasyonunda; NRG marka potansiyometrik yön kontrol cihazı kullanılmıştır. Ölçüm istasyonunda 30. m' de anemometrenin 60 cm. altında olmak üzere bir adet yön kontrol cihazı kullanılmıştır. Yön kontrol cihazı da, tespit ettiği yön bilgilerini, 10'ar dakikalık bilgilerin ortalamaları şeklinde dataloggere göndermiştir. Aşağıdaki çizelge 3.2'de yön kontrol cihazına ait teknik bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yön kontrol cihazının teknik özellikleri (ANONİM, 2004c)

Ölçüm Aralığı	0 – 360 ⁰
Doğruluk (m/s)	±1%
Çözünürlük (m/s)	1
Maksimum Ölçüm Yaptığı Hız (m/s)	96
Tipi	Potansiyometrik
Elektrik Çıkışı (kΩ)	0 – 2
Çalışma Sıcaklığı (C ⁰)	-55-60
Mevcut Voltaj (V)	1-15
Sensör Ağırlığı (kg)	0.14
Malzeme	Siyah stabilize edilmiş Statik UV Plastik

3.1.2.C. Datalogger

Datalogger; anemometre, yön kontrol cihazı ve rüzgara ait çeşitli özellikleri ölçen ekipmanlardan gelen verileri depolayan cihazdır. Belen rüzgar ölçüm istasyonunda, NRG marka datalogger kullanılmış olup, sadece rüzgar hız ve yön bilgileri depolanmıştır. Dataloggerin beslemesi bir adet solarcell ve akü tarafından sağlanmış olup, kalibrasyonu ise ekipmanlar bağlandıktan sonra yapılmıştır.

Böyle anemometrelerde rüzgar hız ve yön bilgileri batarya ile uzun bir süre çalıştırılabilen küçük bir bilgisayarın, bir dataloggerinin elektronik çipleri üstünde toplanır. Böyle bir datalogger'in bir örneği altta gösterilmiştir. Ayda bir, dataloggerin yanına gidip dolu çipi boş çiple değiştirmek gerekecektir.



Şekil 3.3. Datalogger cihazı. (ANONİM, 2004d).

Çizelge 3.3. Datalogger cihazının teknik özellikleri (ANONİM, 2004e).

Malzeme	Polikarbonat
Boyutlar (mm)	120×200×75
Ağırlık (kg)	4
Besleme	2 adet alkali pil (2x9V) veya solarcell
Nominal Kapasite (Ah)	13.5
Nominal Voltaj (V)	3.6
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-55 /+60

Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için ölçüm ekipmanlarının sahip olması gereken parçalar ve özellikleri çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bir rüzgar ölçüm istasyonunda bulunması gereken parçalar ve özellikleri (OĞUZER, 2001).

EKİPMAN	AÇIKLAMA
Üst Anemometre	Minimum 30. metrede olmalıdır. Arazinin yüzey yapısı kompleks ise verimli bir ölçüm için 40. veya 50. metrede olması gereklidir.
Yön Cihazı	Üst anemometreden 0,6 metre aşağıda olmalıdır.
Alt Anemometre	Üst anemometreden minimum 20 metre aşağıda olmalıdır.
Topraklama Çubuğu	Anemometreye gelen rüzgarı engellemek, rüzgar hakim yönüne ters bir şekilde ve 500 mm açığa yerleştirilmelidir.
Üst Anemometre Kolu	Anemometre monte edilecek kısmı ölçüm direğinin tepe noktasından 800-900 mm. yukarıda olmalıdır. Bu şekilde anemometre, direğe gelen rüzgarın oluşturduğu türbülansan etkilenmemiş olur.
Yan Windvane Kolu	Cihazın direktten uzaklığı; direk çapının en azından 7 katı olmalıdır. Yatay traversin uç kısmına bağlı 30-60 cm arası yüksekliğinde dikey bir traversin ucuna monte edilmelidir.
Yan Anemometre Kolu	Cihazın direktten uzaklığı; direk çapının en azından 7 katı olmalıdır. Yatay traversin uç kısmına bağlı 30-60 cm arası yüksekliğinde dikey traversin ucuna monte edilmelidir.
Taban Plakası	Direk gövdesini taşıyan parçadır. Yerinden hareket etmeyecek ve zemine batmayacak şekilde sabitlenmesi gereklidir.

Diğer yandan;

- Anemometrenin gövdesi keskin hatlara sahip olmamalı, küçük ve simetrik bir dizayna sahip olmalıdır. Aksi takdirde anemometre gövdesine gelen rüzgar türbülans oluşturarak ölçüm sonuçlarının hatalı olmasına yol açacaktır.
- Rüzgarı yakalayan çanakların hassasiyeti çok önemlidir. Kötü dizayn edilmiş çanakların yatay hassasiyetleri ve dinamik tepkileri yetersiz olacağından yine hatalı ölçüme neden olacaklardır.
- Çanakları ana gövdeye bağlayan bilyalı yataklar mekanik sürtünmeyi asgariye indirmek için yüksek kalitede olmalıdır.
- Kullanılacak anemometreler kesinlikle kalibrasyonlu olmalı ve bu kalibrasyon değerleri verileri toplayan cihaza tanıtılmalıdır.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Hız ve Yön Ölçümü

Ölçüm sistemi, anemometre ve yön kontrol cihazı çıkışını her 12 saniyede bir okuyarak sonuçları 10 dakikalık aritmetik ortalamalar olarak dataloggera kaydetmektedir. Belen ölçüm istasyonunda kullanılan anemometrelerin karakteristik eğrileri yaklaşık düzgün bir hat çizer. Anemometre dataloggere verileri, $v = a \times f + b$ formülüyle göndermekte olup, burada v: rüzgar hızı(m/s), a: karakteristik eğrinin eğimi, f: sinyallerin sayısı (Adet), b: durdurma (offset)'i ifade etmektedir. Yön kontrol cihazında, başlangıçta ve sonda kuzey yöne dahili resistans yerleştirilmiştir. Çoğu basit yön kontrol cihazlarında bu iki nokta arasında boşluk vardır. Eğer yön kontrol cihazı, kuzeye konumlanırsa, kısa devreye sebep olur. Böylece 15 mA'lık bu uyarıcı sinyaller vasıtasıyla yön bilgileri, dataloggere aktarılır. (ANONİM, 2004a).

3.2.2. Ölçüm Verilerinin Değerlendirilmesi

Rüzgar enerjisi hesaplamalarında kullanılacak rüzgar verilerini alma periyodu belirlenirken, bunun spektral boşluk içerisinde yer almasına ve 5-10 dakika gibi kısa sürelerde gerçekleşen ani ve güçlü fırtınaları da tespit edebilecek kadar kısa olmasına dikkat edilmiştir.

10 dakikalık ortalamalar şeklinde dataloggere kaydedilen 10. ve 30. metredeki rüzgar hız ve yön bilgileri bir aylık periyodlarla alınarak DL 9210 Plus isimli bir program vasıtasıyla okunmuştur. Bu okuma DL 9210 Plus isimli programa takılan her biri 32 Kb. olan iki adet çip vastası ile olmaktadır. Çiplerden biri yedek olarak beklemektedir. Program, rüzgar hız ve yön bilgilerini günlük dosyalar haline getirmektedir. DL 9200'ler iki çeşit dosya oluşturmaktadır :

1- Raw dosyası, 2- ASC2 dosyası. Raw dataya x dersek, diğerine L dersek okumamızda yardımcı olur. Yani isim oluşturuyoruz. Fakat DL 9210 Plus'ta dosya oluşturma otomatik oluyor. Ve isimleri kendisi veriyor. Böylece biz ölçüm yaptığımız yerleri kayıt altına almış oluyoruz. Dosya altına alınan veriler, dosyasının içerisinde 10'ar dakikalık ortalamalar şeklinde günlük olarak saklanmaktadır.

Dataloggerdan, DL 9210 Plus programı vasıtasıyla alınan değerler, rüzgar potansiyelini belirleyen Micro Site isimli programda değerlendirilmiştir. Bu program vasıtasıyla; rüzgar potansiyeli, hız yoğunluğu, en çok rüzgar alan yön, en güçlü rüzgar yönü ve mevcut potansiyele göre, elektrik enerjisi üretim potansiyeli belirlenmiştir.

Bir bölgeye ait rüzgar potansiyeli, o bölgeye kurulacak olan rüzgar ölçüm istasyonundan alınan veriler vasıtasıyla saptanabilir. Bunun için ölçüm istasyonundan en az 12 ay boyunca rüzgar hız ve yön bilgilerini almak gerekir. Bütün bir yıl ele alındığında, rüzgar bazen esmez ya da rüzgar türbininin devreye girmesi için gereken rüzgar hızının altında eser. Yani, rüzgar enerji sistemleri, diğer klasik üretim sistemleri (termik santral, nükleer santral vb.) ile karşılaştırıldığında tüm yıl boyunca devamlı olarak enerji üretemezler.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Aylık Rüzgar Ölçüm Sonuçları

Çizelge 4.1. Ocak-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

OCAK AYI				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	5,19	0,46	4,33	0,63
2	6,66	1,17	5,17	1,24
3	4,61	1,25	3,34	1,18
4	5,07	1,28	3,35	1,1
5	9,96	1,42	5,85	1,58
6	1,99	0,89	1,53	0,77
7	9,58	1,4	6,11	1,63
8	7,82	1,34	5,07	1,41
9	4,93	0,94	3,28	0,98
10	3,59	0,84	2,57	0,8
11	7,35	0,78	4,87	0,89
12	4,6	0,61	3,45	0,6
13	2,99	0,65	2,22	0,68
14	4,63	0,85	3,12	0,86
15	6,5	1,31	4,3	1,26
16	4,88	0,58	3,56	0,75
17	6,25	0,77	4,59	0,92
18	11,96	2,26	7,84	2,32
19	7,76	1,54	5,83	1,45
20	9,84	2,26	7,76	1,98
21	5,98	1,12	4,4	1,02
22	3,81	0,62	3,49	0,73
23	2,62	0,42	2,58	0,58
24	8,62	1,29	5,86	1,43
25	5,75	1,5	4,17	1,4
26	7,52	1,89	5,8	1,68
27	3,38	0,98	2,69	0,88
28	5,13	0,85	4	0,83
29	9,65	1,04	6,82	1,25
30	6,82	0,9	5,28	1,08
31	8,75	1	6,31	1,32
Genel Ort.	6,264194	1,103548	4,50129	1,136452

Sena1 : 30 m.'deki rüzgar hızı (m/s)

Signal 1 : 30 m.'deki signal verisi (Adet)

Sena 2 : 10 m.'deki rüzgar hızı (m/s)

Signal 2 : 10 m.'deki signal verisi (Adet)

Çizelge 4.2. Şubat-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

ŞUBAT AYI				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	4,83	0,91	3,27	0,92
2	7,2	1,12	4,59	1,14
3	5,58	0,61	4,21	0,8
4	5,9	0,62	4,53	0,86
5	9,7	1,21	7,05	1,53
6	11,38	1,56	7,7	1,72
7	6,05	0,9	4,23	0,97
8	5,44	0,52	4,16	0,68
9	3,63	0,63	2,72	0,61
10	8,35	1,16	5,53	1,35
11	8,79	1,19	5,91	1,43
12	10,68	1,45	6,85	1,7
13	5	0,93	3,6	0,91
14	3,82	0,87	2,85	0,81
15	6,41	1,02	4,35	1,06
16	7,17	1,65	4,6	1,55
17	6,68	1,22	5,12	1,1
18	6,6	0,98	4,56	1,1
19	10,26	2,02	7,46	1,97
20	5,59	0,95	4,07	0,85
21	6,14	0,86	4,45	1,01
22	5,16	1,33	3,6	1,24
23	2,72	0,9	2,12	0,82
24	5,06	0,94	3,5	0,95
25	5,86	1,18	4,3	1
26	4,84	0,7	3,74	0,68
27	6,5	1,12	4,62	1,1
28	3,09	0,85	2,3	0,83
Genel Ort.	6,3725	1,05	4,499643	1,096071

Çizelge 4.3. Mart-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

MART AYI				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	9,08	1,26	5,86	1,5
2	10,64	1,87	6,43	1,85
3	6,98	1	5,05	1
4	3,56	0,72	2,59	0,7
5	6,78	1,12	4,62	1,15
6	2,27	0,94	1,7	0,83
7	13,76	1,9	11,1	1,97
8	13,48	1,53	9,26	1,88
9	8,07	0,92	5,49	1,1
10	3,2	0,93	2,2	0,8
11	5,49	1,6	4,21	1,31
12	4,05	0,86	3,14	0,84
13	6,66	0,86	4,7	0,93
14	3,17	0,77	2,29	0,73
15	5,74	0,64	4,43	0,85
16	7,45	0,89	5,09	1,1
17	12,06	1,73	7,64	1,94
18	6,91	1,69	4,97	1,46
19	4,37	1,29	3,19	1,15
20	6,76	1,16	4,43	1,27
21	3,03	0,89	2,4	0,78
22	5,06	0,8	3,82	0,86
23	5,57	0,9	3,81	0,96
24	11,12	1,24	8	1,31
25	8,63	1,04	6,15	1,06
26	3,57	0,67	2,78	0,7
27	4,48	0,73	3,57	0,73
28	7,78	0,87	5,9	0,9
29	9,08	0,88	6,8	0,98
30	6,78	0,7	5,19	0,8
31	4,55	0,7	3,51	0,72
Genel Ort.	6,778387	1,067742	4,849032	1,101935

Çizelge 4.4. Nisan-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

NİSAN AYI				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	6,65	1	4,46	1,05
2	10,4	1,53	6,27	1,63
3	5,55	1,24	3,85	1,13
4	4,39	1	3,17	0,87
5	4,47	0,89	3,37	0,83
6	5,35	1,05	4,12	0,97
7	8,27	1,26	5,68	1,33
8	3,61	1,23	2,59	1,03
9	4,69	1,39	3,3	1,18
10	7,16	1	4,87	1,03
11	8,06	1,17	5,9	1,28
12	11,39	1,58	8,39	1,8
13	13,4	2,1	8,69	2,15
14	6,75	1,14	4,6	1,15
15	10,53	1,04	7,61	1,23
16	3,56	0,72	2,67	0,74
17	8,3	1,31	5	1,33
18	13,02	2,1	7,79	2,1
19	7,79	2	5,47	1,73
20	5,36	1,09	3,76	1,04
21	3,02	0,88	2,13	0,75
22	5,39	1,1	3,79	1,06
23	5,9	0,81	4,04	0,85
24	4,86	1,04	3,34	1,02
25	7	0,85	5	0,88
26	4,74	0,76	3,59	0,75
27	9,53	1,7	5,88	1,64
28	4,83	1,23	3,19	1,1
29	6,5	1,06	4,51	1,05
30	7,42	1,08	4,78	1,18
Genel Ort.	6,929667	1,211667	4,727	1,196

Çizelge 4.5. Mayıs-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

MAYIS				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	6,36	0,73	4,69	0,79
2	4,38	0,69	3,34	0,74
3	7,27	0,82	5,59	0,88
4	7,32	1,52	5	1,44
5	3,82	1,07	2,79	0,98
6	5,2	1	3,53	0,98
7	7,82	0,98	5,8	1
8	11,12	1,45	8,04	1,39
9	10,02	1,05	7,31	1,15
10	4,34	0,81	3,09	0,86
11	5,37	1,16	3,82	0,75
12	6,16	0,74	4,53	0,76
13	9,83	0,82	7,09	0,96
14	10,48	1,1	7,46	1,12
15	9,1	1,04	6,58	0,94
16	9,31	1,07	6,77	1,14
17	8,81	1,27	6,26	1,21
18	6,81	1,12	4,87	1,16
19	9,37	1,11	6,18	1,28
20	9,47	0,97	6,75	1,15
21	9,7	0,93	7	1,08
22	8,48	0,83	6,27	0,92
23	9,66	0,91	7,23	1,05
24	12,02	1,21	8,97	1,34
25	8,82	1,13	6,28	1,21
26	7,99	1,19	5,41	1,19
27	10,15	1,18	6,83	1,35
28	9,2	0,97	6,48	1,1
29	8,7	0,87	6,42	0,92
30	8,71	1,11	6,29	1,06
31	9,47	1,06	7	1,1
Genel ort.	8,234194	1,029355	5,924839	1,064516

Çizelge 4.6. Haziran-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

HAZİRAN				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	8,4	0,94	5,98	1
2	8,03	0,77	5,85	0,88
3	8,95	1,08	6,54	1,12
4	8,56	1,2	6,09	1,16
5	10,56	1,12	7,47	1,25
6	11,79	1,24	8,03	1,33
7	12,91	1,31	9,32	1,42
8	13,5	1,33	9,41	1,44
9	12,12	1,23	8,57	1,43
10	9,69	1	7,08	1,1
11	11,44	1,12	8,22	1,22
12	8,62	0,85	6,32	0,96
13	5,8	0,72	4,33	0,76
14	5,99	0,79	4,85	0,81
15	11,44	0,98	3,84	0,92
16	8,62	0,74	3,11	0,76
17	5,8	0,73	4,23	0,76
18	5,99	1,29	7,24	1,21
19	5,21	1,18	7,92	1,15
20	4,06	1,27	7,68	1,24
21	5,61	0,87	4,76	0,88
22	9,81	0,88	6,14	0,92
23	10,59	0,83	6,39	0,9
24	10,63	0,97	6,49	1,08
25	6,38	0,91	7,23	0,98
26	8,39	0,95	7,68	1,03
27	8,73	1,03	7,56	1,05
28	8,82	0,97	7,52	1,03
29	9,84	0,88	7,41	0,97
30	10,34	0,82	6,6	0,87
Genel Ort.	8,887333	1	6,662	1,054333

Çizelge 4.7- Temmuz-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

TEMMUZ				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	10,58	1	8	1,06
2	9,96	0,9	7,21	1
3	11,63	1,09	8,4	1,14
4	11,71	1,04	8,46	1,13
5	10,81	0,95	7,91	1,04
6	8,61	0,94	6,35	1
7	6,73	0,61	5,08	0,76
8	8,96	0,77	6,42	0,91
9	7,6	0,84	5,44	0,95
10	10	0,93	7,38	1,01
11	10,63	1,01	7,83	1,04
12	12,9	1,13	9,56	1,22
13	9,39	0,85	6,97	0,92
14	11,26	1,06	8,41	1,06
15	12,98	1,25	9,64	1,33
16	15,09	1,46	11,22	1,47
17	16,2	1,39	12,05	1,51
18	17,04	1,57	12,23	1,91
19	15,5	1,48	11,35	1,65
20	10,93	1,05	8,24	1,13
21	7,01	0,92	5,24	0,92
22	9,05	0,86	7,03	0,93
23	11,78	1,12	8,93	1,23
24	11,89	1,18	8,72	1,32
25	8,62	0,87	6,26	0,96
26	9,8	0,86	7,1	0,95
27	11,43	1	8,32	1,03
28	11,09	0,97	8,15	1,05
29	8,32	0,75	6,07	0,85
30	7,18	0,71	5,21	0,83
31	8,96	0,79	6,56	0,89
Genel Ort.	10,76258	1,01129	7,927097	1,103226

Çizelge 4.8. Ağustos-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

AĞUSTOS				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	10,5	0,92	7,89	1,01
2	11,69	1,51	8,56	1,44
3	11,04	1,11	8,15	1,17
4	8,74	1,07	6,32	1,08
5	8,28	0,86	6,16	0,97
6	6,96	0,71	5,17	0,79
7	9,47	0,83	7,03	0,94
8	10,48	0,97	7,8	1,04
9	12,1	1,03	9,15	1,16
10	12,14	1,03	9,21	1,15
11	11,54	1,04	8,71	1,25
12	11,8	1,12	9	1,23
13	9,18	1,02	6,95	1,08
14	11,57	1,22	8,55	1,23
15	7,34	0,78	5,27	0,83
16	7,91	0,7	5,81	0,83
17	8,95	0,83	6,4	0,96
18	9,81	0,94	7,29	1,01
19	12,09	1,1	9	1,21
20	11,18	1,09	8,06	1,26
21	6,72	1,84	4,95	0,9
22	6,66	0,79	4,98	0,81
23	12,95	1,21	9,5	1,31
24	12,19	1,38	8,4	1,57
25	9,45	1,21	6,9	1,23
26	8,02	1,09	5,77	1,03
27	6,46	0,93	4,84	0,96
28	8,48	1,11	6,24	1,04
29	8,85	1	6,48	1,1
30	7,9	1	5,7	1,08
31	8,42	1	5,86	1,09
Genel Ort.	9,640968	1,046452	7,1	1,089032

Çizelge 4.9. Eylül-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

EYLÜL				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	8,3	0,98	5,86	1,09
2	12,04	1,2	8,73	1,28
3	11,81	1,22	8,77	1,25
4	11,73	1,21	8,53	1,42
5	12,09	1,21	8,95	1,27
6	11,81	1,16	8,67	1,23
7	7,13	1,13	5,02	1,14
8	5,5	0,87	3,87	0,87
9	7,92	0,87	5,94	0,88
10	13,01	1,27	9,23	1,42
11	7,9	0,88	5,59	1,01
12	10,3	1,05	7,38	1,16
13	8,1	1,06	5,36	1,18
14	7,09	0,84	5,09	0,93
15	9,18	1	6,69	1,07
16	7,34	0,85	5,37	0,9
17	6,12	0,91	4,37	0,94
18	5,98	0,74	4,37	0,76
19	7,05	0,77	5,03	0,82
20	7,52	0,73	5,14	0,85
21	7,9	0,83	5,47	0,97
22	3,8	0,85	2,84	0,86
23	4,15	0,7	3,14	0,69
24	8,16	0,74	6,09	0,86
25	10,95	1,15	7,84	1,25
26	6,7	0,9	4,09	1,03
27	5,58	0,92	3,48	1
28	3,77	1,17	2,75	1,03
29	4,78	1,09	3,53	0,97
30	6,41	0,77	4,75	0,84
Genel ort.	8,004	0,967	5,731333	1,032333

Çizelge 4.10. Ekim-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

EKİM				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	4,43	1	3,43	1
2	3,33	0,56	2,72	0,6
3	5,35	0,45	4,17	0,62
4	6,99	0,83	5,14	0,98
5	6,08	0,6	4,48	0,77
6	6,12	0,63	4,54	0,73
7	6,1	0,73	4,65	0,87
8	7,49	1,05	5,3	1,19
9	9,44	1,82	5,55	1,66
10	4,59	0,73	2,89	0,74
11	8	1,06	5,75	1,03
12	7,1	1,23	4,8	1,19
13	7,16	2,2	4,46	1,81
14	4,64	0,66	2,85	0,72
15	6,34	0,95	4,29	0,94
16	4,05	0,8	3,06	0,75
17	6,96	0,79	5,06	0,96
18	7,64	1,12	5,27	1,23
19	4,11	0,71	2,9	0,71
20	4,96	0,97	3,41	0,89
21	3,97	1,06	2,53	0,87
22	7	0,85	4,85	1
23	13,89	1,76	8,74	2,02
24	10,3	1,52	6,82	1,67
25	6,38	0,96	4,13	0,96
26	4,74	0,75	3,07	0,73
27	6,87	0,88	5,36	1,03
28	10,93	1	7,82	1,34
29	15,26	1,66	10,43	2,04
30	13,81	1,86	9,98	2,06
31	10,43	1,13	7,58	1,39
Genel Ort.	7,240645	1,042581	5,033226	1,112903

Çizelge 4.11. Kasım-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

KASIM				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	4,76	0,6	3,11	0,72
2	4,52	0,6	3,43	0,61
3	3,83	0,54	3	0,61
4	2,26	0,59	1,67	0,57
5	3,45	0,63	2,63	0,64
6	2,95	0,58	2,29	0,6
7	2,03	0,52	1,58	0,54
8	2,82	0,62	2,21	0,64
9	5,23	0,64	3,75	0,66
10	4,1	0,64	2,91	0,67
11	3,16	0,52	2,46	0,56
12	2,89	0,44	2,2	0,46
13	3,29	0,82	2,28	0,78
14	5,22	0,79	3,69	0,9
15	4,14	0,78	2,85	0,79
16	4,45	0,94	2,86	0,88
17	7,01	1,51	4,31	1,33
18	7,84	1,34	5	1,29
19	3,36	0,65	2,48	0,65
20	4,95	0,68	3,27	0,73
21	5,23	0,9	3,66	0,81
22	5,08	0,9	3,24	0,81
23	2,78	0,63	1,76	0,64
24	5,76	0,56	4,03	0,78
25	4,74	0,49	3,36	0,63
26	5,01	0,6	3,57	0,72
27	7,72	1,16	5,35	1,27
28	11,7	2,02	7,65	2
29	14,89	2,68	9,16	2,45
30	7,84	1,4	4,97	1,37
Genel Ort.	5,100333	0,859	3,491	0,870333

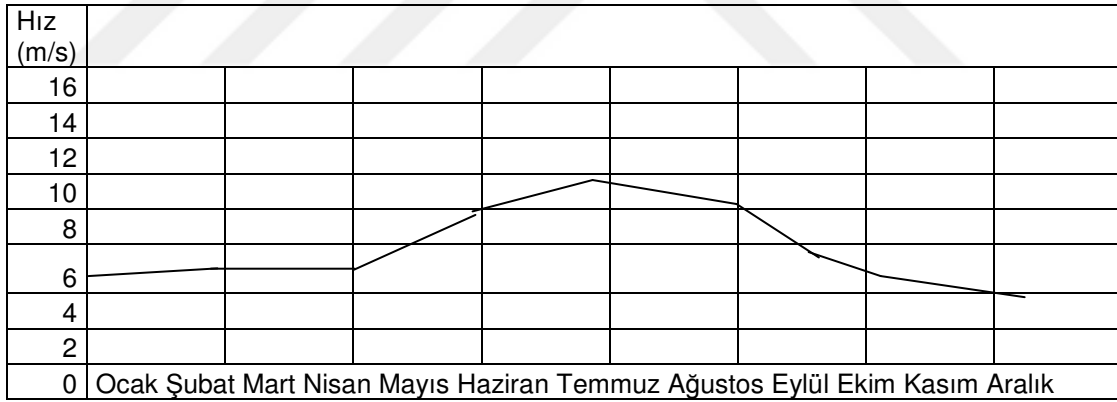
Çizelge 4.12. Aralık-2004 ayına ait rüzgar verileri (ANONİM, 2004a).

ARALIK				
GÜN	Sena1	Signal1	Sena2	Signal2
1	7,86	0,88	5,3	1
2	5,88	0,91	3,81	0,98
3	3,87	1,02	2,65	0,96
4	5,54	0,95	3,53	0,97
5	5,44	0,72	3,77	0,83
6	4,49	0,7	3,24	0,8
7	6,7	0,85	4,96	0,93
8	7,95	1	5,55	1,14
9	5,55	0,94	4,12	0,9
10	4,01	0,94	3,09	0,83
11	5,85	1,27	4,32	1,06
12	5,24	0,65	3,95	0,68
13	3,97	0,76	2,78	0,76
14	5,07	1,14	3,3	1,08
15	6,45	1,24	4,2	1,18
16	4,06	0,77	3,04	0,75
17	9,07	0,96	6,02	1,13
18	8,08	0,96	5,5	1,1
19	7,59	0,82	5,34	0,91
20	5,51	1,21	3,88	1,06
21	5,88	0,67	4,33	0,68
22	4,97	0,92	3,7	0,83
23	1,9	0,75	1,18	0,7
24	4,11	1,04	2,65	0,98
25	4,15	0,91	2,94	0,92
26	2,14	0,66	1,67	0,61
27	3,83	0,68	2,67	0,66
28	5,3	0,73	3,68	0,8
29	3,3	0,73	2,25	0,75
30	3,98	0,77	2,75	0,84
31	3,01	0,7	2,23	0,71
Genel Ort.	5,185484	0,879032	3,625806	0,888065

30 metredeki mevcut rüzgar hız verilerine göre elde edilen ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, (Çizelge 4.1- Çizelge 4.12) rüzgar hızının aylara göre dağılımında, yaz aylarında rüzgar hızlarında belirgin bir artış görülmektedir. Özellikle Temmuz ayı içerisinde rüzgar hızı 17,04 m/s seviyesine kadar çıkıp, o güne ait olan değer, bir yıl içerisinde en yüksek potansiyele sahip değer olmaktadır. Ayrıca yaz mevsimi, 9,77 m/s rüzgar hız ortalama değeriyle en yüksek ortalama değere sahip mevsimdir.

Buna karşın, sonbahar mevsiminde ortalama rüzgar hız değeri 6,78 m/s, kış mevsiminde ortalama rüzgar hız değeri 5,94 m/s, ilkbahar mevsiminde ise, 7,31 m/s' dir. Ayrıca yıl içinde en düşük rüzgar hız değeri aralık ayında olup, bu değer 1,9 m/s' dir.

Bu veriler doğrultusunda, ölçüm aldığımız bölge, rüzgar türbini kurulduğu takdirde buradan, yaz aylarında, diğer aylara göre, daha fazla elektrik üretimi olacaktır. Aşağıdaki şekil 4.1' de 30 metrede ölçülen rüzgar hız verilerinin aylık ortalaması verilmiştir. Bu grafiğe göre aylık ortalamanın en fazla olduğu ay temmuz ayı olup, bu değer 10,76 m/s' dir.



Şekil 4.1. 30 m. yükseklikte ölçülen aylık ortalama rüzgar hız dağılım grafiği
(ANONİM, 2004a).

Çizelge 4.15. 102 dB(A)' daki güç (kW) tablosu (ANONİM, 2004a).

Yoğ. Hız	1,060 [kg/m ³]	1,090 [kg/m ³]	1,120 [kg/m ³]	1,150 [kg/m ³]	1,180 [kg/m ³]	1,210 [kg/m ³]	1,225 [kg/m ³]	1,240 [kg/m ³]	1,270 [kg/m ³]
4 [m/s]	20,4	21,3	22,3	23,2	24,1	25,1	25,5	26,0	27,0
5 [m/s]	56,6	58,6	60,5	62,5	64,5	66,4	67,4	68,4	70,4
6 [m/s]	106	109	112	116	119	123	124	126	129
7 [m/s]	172	177	182	188	193	198	201	204	209
8 [m/s]	254	262	270	278	286	293	297	301	309
9 [m/s]	350	360	371	382	392	403	408	413	424
10 [m/s]	454	467	481	494	506	519	525	532	544
11 [m/s]	561	577	593	606	619	631	638	644	657
12 [m/s]	663	678	694	704	715	725	730	735	745
13 [m/s]	744	756	770	776	783	789	792	796	802
14 [m/s]	799	807	815	818	822	825	826	828	831
15 [m/s]	829	833	837	838	840	841	842	842	844
16 [m/s]	842	844	846	846	847	847	848	848	848
17 [m/s]	848	848	849	849	849	849	849	849	850
18→25	849	850	850	850	850	850	850	850	850

Çizelge 4.16. 101 dB(A)' daki güç (kW) tablosu (ANONİM, 2004a).

Yoğ. Hız	1,060 [kg/m ³]	1,090 [kg/m ³]	1,120 [kg/m ³]	1,150 [kg/m ³]	1,180 [kg/m ³]	1,210 [kg/m ³]	1,225 [kg/m ³]	1,240 [kg/m ³]	1,270 [kg/m ³]
4 [m/s]	20,4	21,3	22,3	23,2	24,1	25,1	25,5	26,0	27,0
5 [m/s]	56,6	58,5	60,5	62,5	64,4	66,4	67,4	68,4	70,4
6 [m/s]	105	109	112	115	119	122	124	126	129
7 [m/s]	170	175	181	186	191	197	199	202	207
8 [m/s]	249	257	265	272	280	288	292	296	303
9 [m/s]	340	350	360	371	381	391	396	402	412
10 [m/s]	438	451	464	477	490	502	508	514	527
11 [m/s]	540	555	570	585	600	612	619	625	637
12 [m/s]	640	655	670	684	699	709	714	719	729
13 [m/s]	726	737	749	761	772	779	782	785	791
14 [m/s]	787	794	801	809	816	820	821	823	826
15 [m/s]	822	826	830	834	838	839	840	840	841
16 [m/s]	840	841	843	844	846	847	847	847	847
17 [m/s]	847	847	848	848	849	849	849	849	849
18→25	849	849	849	850	850	850	850	850	850

Çizelge 4.17. 100 dB(A)' daki güç (kW) tablosu (ANONİM, 2004a).

Yoğ. Hız	1,060 [kg/m ³]	1,090 [kg/m ³]	1,120 [kg/m ³]	1,150 [kg/m ³]	1,180 [kg/m ³]	1,210 [kg/m ³]	1,225 [kg/m ³]	1,240 [kg/m ³]	1,270 [kg/m ³]
4 [m/s]	20,4	21,3	22,3	23,2	24,1	25,1	25,5	26,0	27,0
5 [m/s]	56,5	58,5	60,5	62,4	64,4	66,4	67,4	68,4	70,3
6 [m/s]	105	108	112	115	118	122	124	125	129
7 [m/s]	168	173	178	184	189	194	197	200	205
8 [m/s]	243	251	258	266	273	281	284	288	296
9 [m/s]	327	337	347	357	367	376	381	387	397
10 [m/s]	416	429	441	454	466	479	485	491	503
11 [m/s]	512	527	541	555	570	584	591	598	611
12 [m/s]	608	625	640	653	667	681	688	695	706
13 [m/s]	696	712	724	735	746	757	763	768	777
14 [m/s]	764	776	786	793	800	806	810	813	819
15 [m/s]	808	816	822	825	829	832	834	836	839
16 [m/s]	833	837	839	841	842	844	845	845	846
17 [m/s]	844	845	847	847	848	848	848	849	849
18→25	848	849	849	849	849	850	850	850	850

Yukarıdaki çizelgeler, As Makinsan A.Ş.' nin 2004-2005 arşivinden alınan; Bölgede çalışma yapan Vestas türbin firmasının çeşitli hava yoğunluklarında ve farklı rüzgar hızlarında V-52 850 kW türbininin farklı gürültü seviyelerinde ürettiği enerji değerleridir . İlgili firma tarafından bu bölgedeki hava yoğunluğu 1,225 kg/m³ olarak kabul edilmiş olup bu değer standart bir değer olarak seçilmiştir. Bölgede çalışma yapan firma için hava yoğunluğunun standart bir değer olarak seçilmesinin nedeni; Bölgedeki hava sıcaklıklarının günlük olarak sürekli değişmesi ve yıl baz alındığında ise sürekli farklılıklar göstermesidir. Fakat sonuç itibariyle bu değerlerin birbirine yaklaşık değerler olduğu ve üretim tahmininde pek fazla değişiklikler oluşturmayacağıdır.

Yukarıdaki çizelgelerdeki asıl elde edilmek istenen şey; çalışma yapılan bölgede seçilmiş V-52 850 kW' lık türbinin, 1,225 kg/m³ hava yoğunluğunda, farklı rüzgar hızlarında ve farklı gürültü seviyelerinde elde ettiği enerji üretim değerleridir.

Yukarıdaki çizelgelerden de görüldüğü gibi enerji üretimi 104,2 dB(A)' da diğer gürültü seviyelerine nazaran aynı rüzgar hızlarında belirgin bir şekilde fazla enerji üretim değeri vermektedir. 4 m/s' den 6 m/s' ye kadar türbinin farklı gürültü seviyelerinde ürettiği değerlerde belirgin bir değişiklik olmayıp, bu değerden sonra gürültü seviyeleri

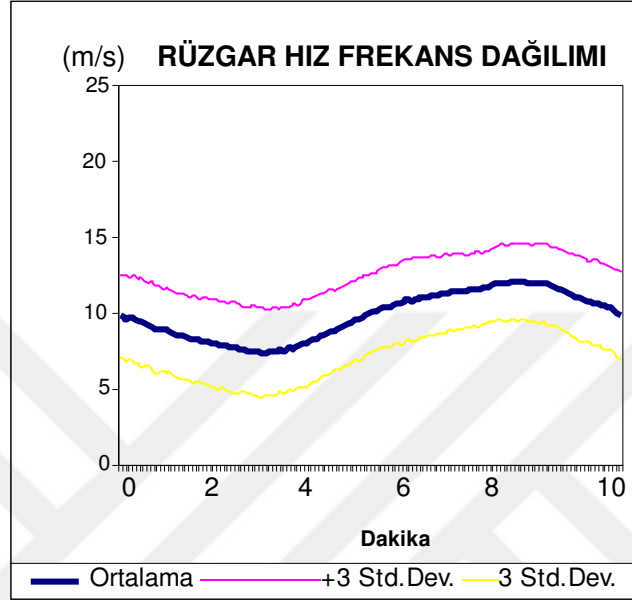
değiştikçe farklılık belirgin bir şekilde görülüyor. Örneğin 104,2 dB(A)' da, 1,225 kg/m³ ' de ve 12 m/s' de türbinin ürettiği enerji değeri 759 kW' dır. 100 dB(A)' da aynı değerlerde enerji üretim değeri 688 kW' dır. Bu değerlerde farklı gürültü seviyelerinde enerji üretim değerlerindeki farklılığı belirgin bir şekilde ifade ediyor. 18-25 m/s' de ise türbin maksimum hız seviyesinde olup seviyesinde olup, enerji üretim değeri 850 kW' dır.

4.2 Micro Site Ölçüm Değerlendirme Programı Sonuçları

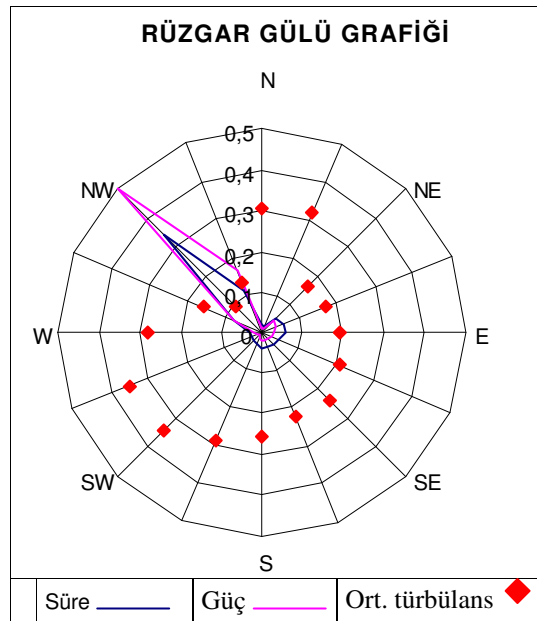
Bir yıl boyunca alınan veriler değerlendirilerek şekil 4.2'de görülen ortalama hakim ve şekil 4.3'deki en güçlü rüzgar yönü grafikleri elde edilmiştir. Aşağıdaki şekil 4.2 rüzgar hız frekans dağılımı olup, rüzgar hızının standart sapmasını göstermektedir. Şekildeki grafiğe göre elde edilen veriler, 12 saniyelik frekans değerleri toplanıp ortalamaları alınarak 10 dakikalık veriler halinde hesaplanmıştır. Bu verilerin grafikteki seyri ise aşağıdaki şekildeki gibi dalgalanmalar oluşturmuştur. Grafikte gösterilen mor ve sarı çizgilerin oluşturduğu dalgalanmalar, yıllık ortalama rüzgar hızı olan 9,75 m/s' in ± 3 değerlerinde olup, dalgalanmalı bir seyir izlemiştir. Standart sapmalar bölgede incelenen rüzgar rejimi açısından önemli olup, bir sonraki yıldaki verileri görmemizde faydalı olur. Bu bakımdan çalışma yapılan bölgedeki rüzgar hız verileri çok fazla değişiklik içermemekte olup, rüzgar kaynağı açısından verimlidir.

Aşağıdaki Şekil 4.3'de kuzeybatı yönünde görülen koyu mavi çizgi, bu yönde esen rüzgar esintilerinin belirli bir süre zarfında hangi yönde estiğini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, rüzgar esintileri daha çok kuzeybatı yönünde olup, çok az kısmı diğer yönlerde olmak üzere dairenin merkezinde toplanmıştır. Şekilde görülen pembe renkli çizgi ise; hangi yönde enerji yoğunluklu güç değerlerinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Enerji yoğunluklu güç değerleri, kuzeybatı yönünde rüzgarın geliş hızına göre belli değerlere türbinin kapasitesine göre ulaşabilmektedir. Şekilde görülen küçük kırmızı işaretler ise; rüzgar hızlarının hangi yönde daha yoğun olarak türbülansa uğradığını göstermektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere, kuzeybatı yönünde türbülans yoğunluk değeri 0,00-0,10 arasında olup, düşük yoğunluklu değerdedir.

Hesaplanan türbülans yoğunlukları 0,00-0,10 değerleri arasında ise düşük yoğunluklu, 0,10-0,25 değerleri arasında ise orta yoğunluklu ve 0,25 değerinden büyükse yüksek yoğunluklu olarak sınıflandırılmaktadır (ANONİM, 2006i).



Şekil 4.2. Rüzgar hız frekans dağılımı (ANONİM, 2004a).



Şekil 4.3. Rüzgar gülü grafiği (ANONİM, 2004a).

Türbülans yoğunluğu seviyesinin yüksek olması enerji üretim miktarını düşürür, rüzgar türbini üzerine etkiyen kuvvetlerin şiddetini ve malzeme yorulmasının hızını artırır. Bu durum rüzgar enerji santrallerinin ekonomik ömürlerinin azalmasına neden olmaktadır (ANONİM, 2006i).

O halde burada bir rüzgar enerji santrali kurulacak olacak olursa; rüzgar türbinlerinin yerleşimi kuzeydoğu ve güneybatı aralığında yerleştirilmelidir. As Makinsan A.Ş.'nin verilerine göre özellikle esintinin fazla olduğu kuzeybatı yönü, türbinlerin yerleşimi açısından ve enerji verimliliği açısından seçilmiş bir yöndür. Bu bölgedeki kapasite faktörünü hesaplamak için kurulacak olan 22 türbininde kurulum yönü bu yönde olacaktır. Böylelikle türbinlerden elde edeceğimiz enerji bu yönde daha fazla olacak ve bu da enerji verimliliğimizi arttıracaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bir bölgede rüzgar enerji sisteminin ekonomik ve teknik olarak kurulup kurulamayacağına, ölçüm sonucu elde edilen değerler irdelenerek karar verilir. Bu çalışmada da bir yıl boyunca bölge ortalama sıcaklığı olan 15 °C’de ve 1,225 kg/m³ hava yoğunluğunda ölçüm yapılmış ve Hatay ili Belen-Yellitepe mevkiindeki rüzgar hız ve yön bilgileri çizelge 4.1-4.12’ de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Mevcut bilgilere göre bu bölgeden, rüzgar türbini kurulduğu takdirde ne kadarlık bir enerji eldesi mümkün olabileceği örnek olarak Vestas V-52-850 kW türbin modeli üzerinde incelenmiş olup, aylara göre net enerji üretim sonuçları aşağıdaki çizelge 5.1.’ de verilmiştir. Ayrıca şekil 5.1’ de 850 kW ve 52 m. rotor çapına sahip örnek olarak seçilen türbin tipine göre çeşitli rüzgar hızlarında elde edilebilecek güç eğrisi verilmiş olup, rüzgar hızına göre türbinin elektriksel çıkış gücü görülmektedir. Şekil 5.1 incelendiğinde, rüzgar hızının 4 m/s’ nin altında olması halinde türbinin elektrik üretemediği, rüzgar hızının 4 m/s’ yi aştığı zaman elektrik üretmeye başladığı görülmektedir. Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi rüzgar hızı 17-24 m/s olursa bu türbinin tam kapasite çalıştığını gösterir.

Yine şekil 5.1 incelendiğinde, rüzgar hızının 17 m/s’ nin üzerine çıktığında türbin gücündeki yatay seyrin nedeni;

Rüzgar türbinlerinin çok sayıda hareketli parçalardan oluşmasıdır. Rüzgar hızı arttıkça türbin kanatları üzerine binen yük de artacağından rüzgar türbinin kontrol mekanizması, artan mekanik kuvvetlerden kaynaklanacak malzeme ve donanım hasarlarını önlemek amacıyla kendisini devreden çıkaracaktır.

Bu nedenle 17 m/s rüzgar hızından sonra türbin güvenlik sistemi devreye girerek, türbinin kanatlarının dönüş hızını yavaşlatmaktadır. Seçilen rüzgar türbininin ekonomik ve teknik olarak uygulanabilirliğinin belirlenebilmesi için, rüzgar santralinin kapasite faktörünün bulunması gerekmektedir. Yani bir türbinin bir yılda ürettiği enerjinin, aynı türbinin üretebileceği maksimum enerjiye bölünmesi ile ortaya çıkmaktadır.

Bir türbinin bir yılda üretebileceği maksimum enerji, o türbinin nominal gücünün 8760 saat (365x24) ile çarpılması sonucunda bulunur (ŞEN, 2003). Kapasite faktörü analizinde dünya ortalaması % 20 civarındadır. Bu oranın üzerindeki kapasite faktörüne

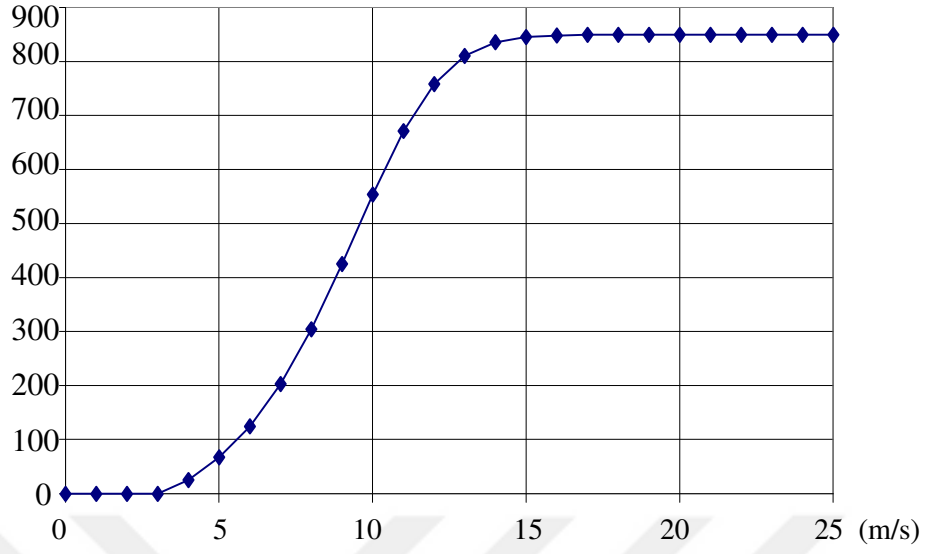
sahip yerler, enerji üretimi açısından verimlidir. Ve bu yerlerde fizibilite çalışmaları yapıldıktan sonra enerji santrali kurulabilir.

Çizelge 5.1. Aylara göre net üretim değerleri (ANONİM, 2004a).

NET ÜRETİM kWh	
Ocak	3.198.279
Şubat	3.328.415
Mart	3.913.077
Nisan	5.074.464
Mayıs	6.003.770
Haziran	10.055.730
Temmuz	11.924.877
Ağustos	9.845.099
Eylül	8.641.425
Ekim	5.574.650
Kasım	2.521.773
Aralık	2.266.890
Toplam (Net)	72.338.449

Yukarıdaki çizelge 5.1’ de verilen değerler hesaplanırken; park yeterliliği % 90, türbinlerin kullanılabilirliği (mevcudiyeti) % 97, hat kayıpları % 3 olarak alınmıştır. Türbinlerin kullanılabilirliğine baktığımızda, % 97’ lik oran enerji üretim değerleri açısından oldukça iyidir. Rüzgar hız değerleri hesaplanırken de 30 m.’ deki rüzgar raw verilerinden yararlanılmıştır. Çizelge 5.1’ de verilen aylık enerji üretim değerleri, 22 türbinin ürettiği enerji değerleri olup, üretimin en fazla olduğu mevsim yaz mevsimidir. Nominal üretimin olduğu ay temmuz ayıdır. Bu aydaki net üretim, 11924,877 MW’ dır. Üretimin en az olduğu mevsim kış mevsimidir. Aşağıdaki şekil 5.1’de güç eğrisi-rüzgar hız grafiği verilmiş olup, rüzgar hızlarında elde edilen güç sonuçları birleştirilerek grafik oluşturulmuştur. Buna göre 4 m/s’ nin altında elektrik üretilmeyip üstündeki sonuçlar tablo halinde aşağıdaki çizelge 5.2’ de sunulmuştur.

(kWh)



Şekil 5.1. Rüzgar hız değerlerine göre güç eğrisi tablosu (ANONİM, 2004a).

Çizelge 5.2. V 52-850 kWh rüzgar türbinin rüzgar hızlarına göre elektrik enerjisi üretim değerleri (ANONİM, 2004a).

Rüzgar Hızı (m/s)	V52-850 kWh Güç (kWh)
3	0,0
4	25,5
5	67,4
6	125
7	203
8	304
9	425
10	554
11	671
12	759
13	811
14	836
15	846
16	849
17	850
18	850
19	850
20	850
21	850
22	850
23	850
24	850
25	850

Yukarıdaki grafik ve şekillerden ve bunların sonuçlarından yararlanarak kapasite faktörünü hesaplayabiliriz.

As Makinsan A.Ş.' nin arşiv verilerine göre 22 adet türbinin kurulu kapasitesi 19,8 MW olup, bir türbin için günlük kurulu kapasite : $19,8 \times 24 / 22 = 21,6$ MW olup, bir yıl için;

$21,6 \times 365 = 7884$ MW' dır. Net üretim miktarı yukarıdaki çizelge 5.1' deki verildiği üzere 72338,449 MW' dır. Bir türbinin üreteceği yıllık enerji değeri ise; $72338,449 / 22 = 3288,11$ MW' dır. Bu sonuç bir türbinin bir yılda ürettiği net miktar olup, aynı türbinin bir yılda ürettiği nominal üretime bölersek kapasite faktörünü buluruz. Yani;

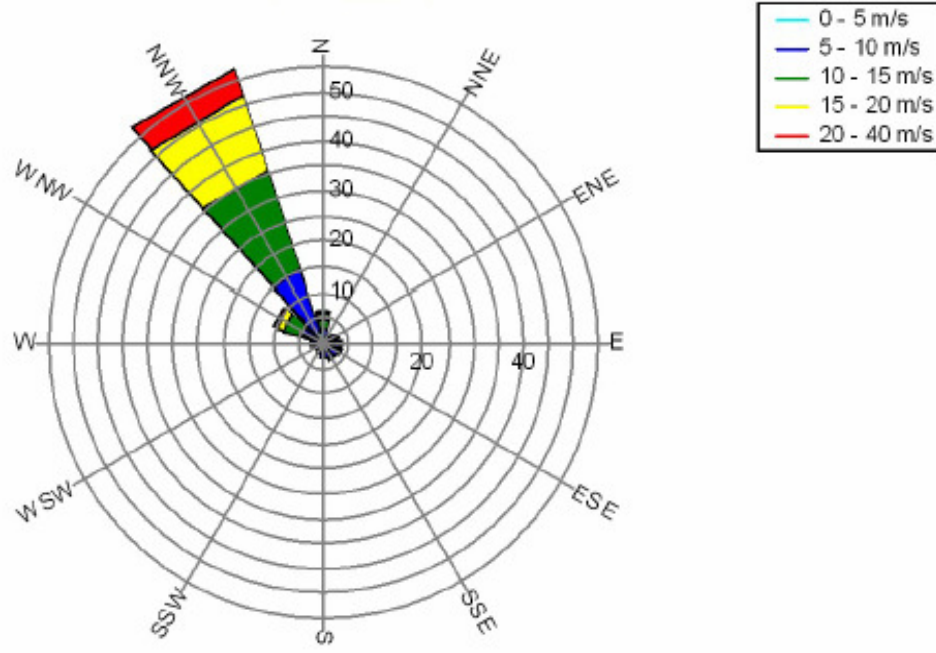
$3288,11 / 7884 = \% 41$ olarak bulunur. Bu değer, kapasite faktörü açısından dünya ortalaması olan $\% 20$ ' nin üzerinde olup, bu bölgedeki rüzgar potansiyelinin verimli olduğunu ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretim santrali kurulabileceğini göstermektedir.

Belen-Yellitepe mevkiindeki rüzgar yön grafikleri aşağıdaki şekil 5.2 ve şekil 5.3' de verilmiş olup, rüzgar hız değerlerine göre hem yöne bağlı frekans değerleri verilmiş hem de enerji üretim değerleri grafiklerden okunabilir.

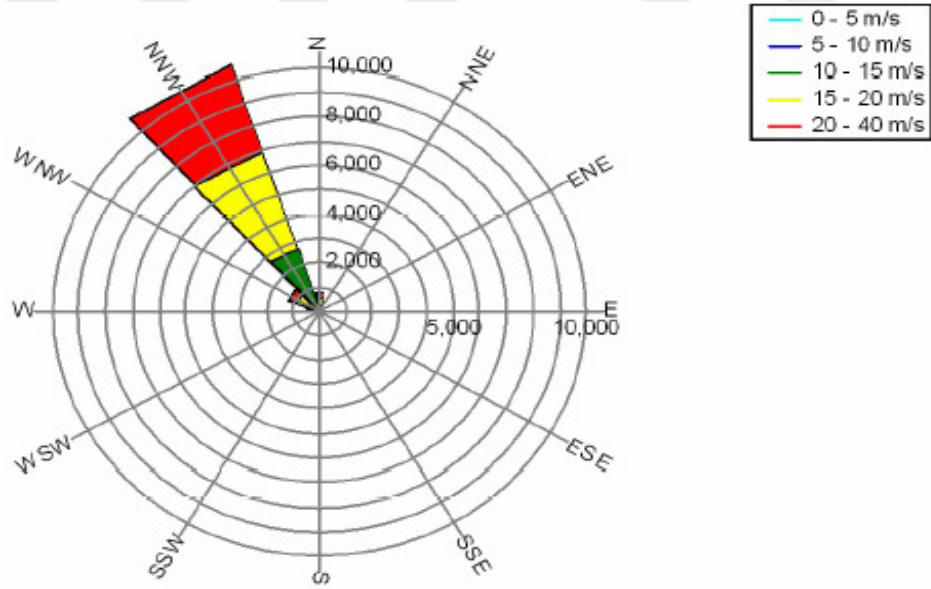
Şekil 5.2'deki rüzgar yönü-frekans dağılım grafiğinde, rüzgarın kuzeybatı yönünde çeşitli rüzgar hızlarında yıllık esme saati yüzdeleri görülüyor.

Rüzgarın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretim değerlendirmeleri için çok önemlidir. Türbin tasarımcıları ; türbin iyileştirmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgar dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Bu yüzden yıllık esme saati yüzdesi, bu bölgedeki çalışma yapacak yatırımcılar için bir olasılık dağılımı çıkartmaları için yardımcı olacaktır. Bölgedeki hangi rüzgar hızının hangi yönde daha çok estiğinin tespiti için gereklidir.

Şekil 5.3'de ise, çeşitli rüzgar hızlarında, 1 m^2 alanda 1 yılda elde edilen kwh cinsinden elde edilen enerji değerlerinin çember üzerinde dağılımı görülmektedir. Örneğin Şekil 5.3'de yeşil renkli işaretli kısım 10-15 m/s değerleri arasındaki rüzgar hız değerlerinin 1 yılda, 1 m^2 alanda ürettiği enerji değeri 2000 kwh olup, bunun Şekil 5.2'de frekans dağılım grafiğindeki yıllık esme saati yüzdesi $\%15-35$ değerlerinde olduğu görülür.



Şekil 5.2. Rüzgar yönü-frekans dağılım grafiği (%), (ANONİM, 2004a).



Şekil 5.3. Rüzgar yönü-enerji dağılım grafiği (kWh/m²/yıl), (ANONİM, 2004a).

Enerji sektöründe uzun vadeli ve istikrarlı planlama, uygulamada da süreklilik gerektirdiğinden yönetimde liyakat ve süreklilik büyük önem kazanmaktadır. Sektördeki kuruluşların toplam kalite yönetimine uygun özerk ve dinamik yapı kazanmaları sağlanmalıdır.

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir oranını sağlayan fosil yakıtların yakın ve orta gelecekte tükenerek olması gerçeği, ülkeleri enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve mevcut kaynaklarını da daha verimli kullanmaya zorlamaktadır.

Ülkemizde ise yenilenebilir enerji kaynakları politikaları genelinde belirsizlikler yaşanmaktadır. Bu yaklaşım belirli ve takip edilen bir rüzgar enerjisi politikasının da olmaması sonucunu doğurmaktadır. Halbuki enerjide uzun vadeli bir planlama yapılması zorunludur. Ancak, bu tür planlamalar yapılırken de temel verilerin doğru olarak saptanması gerekmektedir. Bu bağlamda, yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle de elektrik enerjisi alanında rüzgar enerjisi kaynakları, kullanımını özendirecek teşvik uygulamaları, dünyadaki örnekleri incelenerek ve toplumsal fayda ön planda tutularak, yasal düzenlemelere yansıtılmalıdır. Önümüzdeki süreçte, bu politikaların yeniden yaşama geçirilmesi yönünde üniversiteler ile ilgili meslek odalarının da içinde olacağı katılımcı bir ortam yaratılmalıdır. Devlet politikası haline getirilecek olan böyle bir uygulama da, hükümetlerin siyasal tercihlerine bırakılmadan, tutarlı bir şekilde sürdürülmelidir.

Değişik enerji kaynaklarının birim yatırım maliyetleri karşılaştırılırken çevresel ve toplumsal etkileri de dikkate alınmalıdır. Bunun için, üretim maliyetlerinde marjinal maliyet yerine alternatif maliyetlerin gözönüne alınması daha doğru olacaktır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının lehine bir durum yaratacaktır. Aksi takdirde çok yanıltıcı bir durum ortaya çıkacaktır.

Rüzgar enerjisi santralleri kurulmasının ilk aşaması olan uzun dönemli rüzgar değerleri ölçümü, tüm projeyi etkilemesi açısından çok büyük bir öneme sahiptir. Standartlara uygun ölçüm cihazları ile uygun şartlarda veri toplama ve değerlendirme işlemlerinin yapılması kapasite tahminlerindeki hatayı en aza indirecektir. Bu nedenle, ölçümlerin uzman kişiler tarafından gerçekleştirilmesi, eğitim konusunda ilgili meslek odalarının ve üniversitelerin görev üstlenmesi sağlanmalıdır. Bu şekilde hassas olarak elde edilen verilerin bir araya getirilmesi ile oluşturulacak Türkiye Rüzgar Atlas'ı, kullanılabilir rüzgar potansiyelimizi belirlemede çok faydalı olacaktır.

Özellikle rüzgar potansiyelimizin yoğun olduğu bölgelerdeki üniversitelerimizin bu alandaki araştırma geliştirme çalışmaları desteklenmelidir. Büyük çoğunluğu ithal edilen türbinlerin öncelikle belli donanımlarının ulusal olanaklarla yapılması için bu gereklidir. Oluşturulacak teknolojik bilgi birikimi ve arttırılacak istihdam, rüzgar enerjisi politikalarının temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmelidir.

Sektörle ilgili yurtdışındaki politikalar, teknolojik gelişmeler ve uygulamalar yakından izlenmeli ve ülkemiz açısından olumlu olabileceklerin ulusal rüzgar enerjisi politikamıza katkısı sağlanmalıdır. Unutulmamalıdır ki, kendi ulusal kaynaklarını teknolojik olarak daha fazla kullanabilen ülkeler gelecekte daha etkin konumlarda olacaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından, özellikle rüzgar enerjisinden faydalanma konusu da, bu etkin konuma gelmek için gereken parametrelerin başında gelecektir.

KAYNAKLAR

- ANONİM, 2004a. **As Makinsan A.Ş.** Arşivi (2004-2005), Ebu Ziya Tevfik Sok., 1/7-8, Çankaya-Ankara.
- ANONİM, 2004b. Anemometrenin teknik özellikleri. http://www.nrgsystems.com/store/product_detail.php?c=11&s=1899.
- ANONİM, 2004c. Yön kontrol cihazının teknik özellikleri. http://www.nrgsystems.com/store/product_detail.php?c=10&s=2032.
- ANONİM, 2004d. Datalogger cihazı. <http://www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/yenienerji/ruzgarhiz.pdf>.
- ANONİM, 2004e. Datalogger cihazının teknik özellikleri. http://www.nrgsystems.com/store/product_detail.php?c=10&s=1970.
- ANONİM, 2005a. Jeotermal enerji. http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/bolum6_2.html.
- ANONİM, 2005b. Biyomas enerjisi. http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/biogaz.htm.
- ANONİM, 2005c. Gelgit enerjisi. <http://www.meteor.gov.tr/2005/arastirma/yenienerji/ruzgarhiz.pdf>.
- ANONİM, 2005d. Rüzgar. http://www.wikipedia.org.tr/wiki/Enerji_kaynakları.
- ANONİM, 2005e. Rüzgar enerjisi. <http://www.gyte.edu.tr/enerji/Ruzgarenerji/d2.html>.
- ANONİM, 2005f. Rüzgar enerjisi. www.odevsitesi.com.
- ANONİM, 2005g. Rüzgar enerjisinin tarihçesi. www.newton.mec.edu.
- ANONİM, 2005h. www.samli.com.tr.
- ANONİM, 2005i. www.safatur.com.
- ANONİM, 2005j. www.gwec.net.
- ANONİM, 2005k. www.wwindea.org.
- ANONİM, 2005l. www.windpower.com.
- ANONİM, 2006a. www.tki.gov.tr.
- ANONİM, 2006b. www.pmo.org.tr.
- ANONİM, 2006c. www.pal.metu.edu.tr.
- ANONİM, 2006ç. http://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji_kaynakları.
- ANONİM, 2006d. www.botas.gov.tr/projeler/ihale.
- ANONİM, 2006e. www.tpao.gov.tr.
- ANONİM, 2006f. www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/nukleerenerji.html.
- ANONİM, 2006g. www.ntvmsnbc.com/news/363511.asp.
- ANONİM, 2006h. www.nukleer.web.tr.
- ANONİM, 2006ı. www.dsi.gov.tr.
- ANONİM, 2006i. www.eie.gov.tr.
- ANONİM, 2006j. **Harb-İş dergisi**, sayı: 219, ss. 19-25, şubat, 2006.
- ANONİM, 2006k. <http://tr.wikipedia.org>.
- ANONİM, 2006l. **Demirer Holding A.Ş.** Enerji Üretimi, Uzun Çayır cad. No: 41, D:1 Blok Daire: 28, Hasan Paşa, Kadıköy, İstanbul.
- ERTÜRK,E., (1986). **Rüzgar Enerjisinden Yararlanma ve Eskişehir ilinde Enerji Üretim Olanaklarının Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Anadolu Üniversitesi, 104 s, Eskişehir.
- GENÇOĞLU, M. T. ve CEBECİ, M., 2001. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi.

- Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu**, 18-20 Ocak, 312-323, İzmir.
- GOLDİNG, E.W., 1955. **The Generation of Elektricitiy by Wind Power**, Pitman Press, 318 p, London.
- KARADENİZ, Z., 2002. **Rüzgar Enerjisi ve Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımı**, Bitirme Projesi (yayınlanmamış), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- OĞUZER, C., 2001. Rüzgar Ölçüm Sistemlerinin Esasları, **Rüzgar Enerji Sempozyumu**, 1 : 49-52, Alaçatı, İzmir.
- ÖZDAMAR, A., 2000a.” Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma”, Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak., **Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Sayı: B.30.2.PAU.0.45.00.00./600-2000-58, Denizli.
- ÖZDAMAR, A., 2000b.” Alman Yenilenebilir Enerjiler Yasası ve Ülkemiz Rüzgar Enerjisi Açısından Değerlendirilmesi”, **Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi**, Sayı: B.30.2.EGE.0.96.00.00/SD00034, İzmir.
- ÖZDAMAR, A., 2000c.” Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma : Çeşme Örneği” Ege Üniversitesi, **Su Ürünleri Fakültesi Dergisi**, Sayı : B.30.2.EGE.0.96.00.00/SD00029, İzmir.
- ÖZGÜR, A., 2002. **Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgar Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması**, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 74 s, Kütahya.
- SARIKAYALAR, O., 1998. **Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisinin Türkiye Potansiyeli**, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- SENCER, A., 2001.” **Alternatif Enerji Kaynakları** “, Ders Notları, “Yayınlanmamış”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- ŞEN, Ç., 2003. **Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılanması**, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 128 s, İzmir.
- YALÇIN, C., 1999. **Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Alternatif Enerji Kaynaklı Sistemler ve Birleşik Isı-Güç Santralleri ile Karşılaştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.