



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**AKSARAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem ALTINSOY

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ömer KÖSE**

AKSARAY, 2013



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**AKSARAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem ALTINSOY

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ömer KÖSE**

AKSARAY, 2013

T.C.

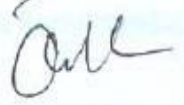
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

092303405 numaralı Öğrenci Adem ALTINSOY'un "Aksaray Bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi" başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ömer KÖSE
(Aksaray Üniversitesi İnşaat Müh. A.B.D.)

İmza



Üye : Doç. Dr. Gürol YILDIRIM
(Aksaray Üniversitesi İnşaat Müh. A.B.D.)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Turgay POLAT
(Aksaray Üniversitesi Makine Müh. A.B.D.)



Tezin Savunulduğu Tarih : 14.01.2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 18.01.2013 tarih ve 2013/03-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Unvan-Ad-Soyad

Enstitü Müdürü
Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Enerji sosyo-ekonomik gelişmenin ve ekonomik büyümenin temel taşıdır. Artan nüfus ile ülkelerin enerji ihtiyaçları da artmaktadır. Fosil kökenli yakıtların giderek sona doğru yaklaşma eğiliminde olması, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelerine sebep olmuştur. Ülkeler enerji politikalarını belirlerken enerjinin en etkin bir şekilde kullanılmasının yanı sıra rüzgar, güneş, biokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını da gündemlerine almaktadırlar. Fosil kökenli yakıtlara nazaran yenilenebilir enerji kaynaklarının birçok avantajları vardır. Çevre dostu, temiz sınırsız kullanılmalarının olması gibi avantajlar sıralanabilir. Doğada çok fazla bulunması ve kolaylıkla ihtiyaç duyulan enerji türüne dönüştürülebilmesinden dolayı rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının en gözdesi konumundadır.

Bütün bunları göz önüne aldığımızda bölgemizin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin ne şekilde enerjiye dönüştürüleceği hususunda şimdiye kadar bir çalışma yapılmamış olması da düşünüldüğünde bu çalışma ciddi önem kazanmaktadır. Günümüzde gelişmiş bir çok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarından azami derecede faydalanmak üzere çalışmalar yapmakta ve buna uygun politikalar üretmektedir. Her bölgenin rüzgar potansiyeli belirlenerek kullanıcıların ve paydaşların hizmetine sunulmaktadır. Kısa ve orta vade de bölgemizde bu tür yatırım planlayan yatırımcıların var olduğu düşünülürse bu çalışmanın onlara rehberlik edeceği düşüncesini taşımaktayız.

Ocak 2013

Adem ALTINSOY
(Meteoroloji Mühendisi)

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yardımları ve tecrübesi ile her zaman bana yol gösteren Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer Köse'ye ve Sevgili dostum Bahadır Yalnız' e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1. RÜZGAR ENERJİSİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	2
1.1 Rüzgar Türbinleri ve Çeşitleri	5
1.1.1 Rüzgar Türbini Çeşitleri	7
1.1.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)	7
1.1.1.1.1 Rüzgarı Önden Alan Makineler.....	8
1.1.1.1.2 Rüzgarı Arkadan Alan Makineler	8
1.1.1.1.3 Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	8
1.1.1.1.4 Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	9
1.1.1.1.5 Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	9
1.1.1.1.6 Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri:	10
1.1.1.2 . Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)	10
1.1.1.2.1 Savonius Rüzgar Türbinleri:.....	11
1.1.1.2.2 Darrieus Rüzgar Türbinleri:	12
1.1.1.2.3 H-Darrieus Rüzgar Türbinleri:	12
1.1.1.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT)	12
1.1.2 Rüzgar Türbinlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılması	12
2. ATMOSFER VE RÜZGAR	15
2.1. Atmosfer	15
2.1.1. Basınç Gradyan Kuvvetleri.....	16
2.1.2. Coriolis Kuvvetleri.....	16
2.1.3. Merkezci Kuvvet	16
2.1.4. Sürtünme kuvveti.....	16
2.2. Rüzgarın Sınıflandırılması	17

2.2.1.	Küresel rüzgarlar	17
2.2.2.	Yerel rüzgarlar	18
2.2.2.1.	Kara - Deniz Meltemleri.....	19
2.2.2.2.	Dağ - Vadi Meltemleri	20
2.3.	Rüzgar Üzerinde Yer Etkisi	21
3.	RÜZGAR ÖLÇÜM SİSTEMLERİ	26
3.1.	Ölçüm Direkleri	26
3.2.	Ölçüm Cihazları Kurulum Ve Kontrol İşlemleri	27
3.2.1.	Rüzgar Ölçüm Direği.....	27
3.2.2.	Topraklama ve Yıldırımdan Koruma	34
3.2.3.	Rüzgar Hız ve Yön Ölçerler:.....	34
3.2.4.	Diğer Sensörler	35
3.2.5.	Veri Toplama Ünitesi (Datalogger)	35
3.2.6.	Kablolama	36
3.2.7.	Rüzgar Ölçüm İstasyonunda Kullanılacak Sensörlerin Asgari Özellikleri.....	37
3.3.	Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulması Aşamaları.....	38
4.	TÜRKİYEDE ve DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİNİN DURUMU	41
4.1.	Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu	41
4.1.1.	Milres Projesi.....	43
4.2.	Dünya’ da Rüzgar Enerjisinin Durumu.....	45
5.	RÜZGAR ENERJİSİ MALİYET ANALİZİ.....	47
5.1.	Dış Maliyetler	48
5.2.	Enerji Pazarı Teşvikleri	49
5.3.	Ödeme Mekanizmaları.....	49
5.3.1.	Gönüllü Sistem ve Yeşil Pazar	49
5.3.2.	Sabit Tarife Sistem	49
5.3.3.	Yatırım Teşvikleri	50
6.	HESAPLANABİLİR RÜZGAR GÜCÜ.....	52
6.1.	Rüzgar Verisinin İstatistiksel Analizi.....	53
6.1.1.	Rayleigh Dağılımı:.....	55
6.1.2.	Weibull Dağılımı:	55
6.2	İstatistiksel Metotlar Kullanılarak Rüzgar Türbini Enerji Üretim Tahmini	57
6.2.1.	Rayleigh Dağılımı Kullanılarak İdealize Edilmiş Rüzgar Gücü Hesabı	58

6.3. Aksaray Ölçüm İstasyonu Verileri Kullanılarak Yıllık Enerji Üretimi ...	59
6.3.1. Rayleigh Dağılımı Kullanılarak İdealize Edilmiş Türbin Üretim Hesabı	62
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKSARAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI

Adem ALTINSOY

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç.Dr. Ömer Köse

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji alanında yatırımlar artmaktadır. Bu kaynaklardan biri olan Rüzgar Enerjisi de son yıllarda gözde yatırım alanlarından biri haline gelmiştir.

Bu çalışmada önce Rüzgar Enerjisinin dünyada ve ülkemizdeki yeri ele alınmış, ülkemizde rüzgar enerjisi üzerine planlanan devlet destekli projelere değinilmiştir. Rüzgar hız verisi işlenmesinde kullanılan olasılık dağılım fonksiyonları açıklanmış, olasılık dağılım fonksiyonlarında kullanılacak parametrelerin hesabı üzerinde durulmuştur.

Aksaray Bölgesi Rüzgar Enerji potansiyeli hesaplanırken Aksaray Meteoroloji ölçüm istasyonunda kaydedilen son on yıllık saatlik ortalama rüzgar verileri kullanılarak, Rayleigh Olasılık yoğunluk fonksiyonu yardımıyla farklı yükseklik ve kanat uzunlukları için güç yoğunluğu hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca yörenin enerji potansiyelini daha net olarak ortaya çıkarabilecek önerilerde bulunulmuştur.

2013, 80 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Rüzgar Enerjisi, Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF WIND ENERGY POTENTIAL OF AKSARAY REGION

Adem ALTINSOY

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Asst.Prof.Dr. Ömer KÖSE

Investments in the field of renewable energy in our country, as well as all over the world is increasing. Wind energy which is one of these sources, has become one of the popular investments in recent years.

In this study the state of wind power in the world and in our country is explained, In addition to this the planned wind power on state-funded projects are mentioned. Wind speed probability distribution functions for the processing of data are described and the parameters of the probability distribution function used in calculations of the wind power density are explained.

Wind energy potential in Aksaray region is determined using the data recorded at Aksaray Meteorological Station. Power density calculations are made using the hourly recorded wind data for last ten years. Rayleigh probability density function is used in determining the power density for different height and lengths of the wing, In addition, suggestions were made that could indicate more clearly of the energy potential of the region.

2013, 80 Pages

Keywords : Wind Energy, Probability Density Function

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Tek Kanatlı Rüzgar Tribünü	9
Şekil 1.2. Üç Kanatlı Rüzgar Tribünü	10
Şekil 2.1. Atmosferde Hava Akışı	15
Şekil 2.2. Gradyan rüzgâr ve eğrilik yarıçapı	16
Şekil 2.3. Küresel Sirkülasyon.....	17
Şekil 2.4. Kara-deniz meltemi	19
Şekil 2.5. Dağ – Vadi Meltemleri	20
Şekil 2.6. Sınır Tabaka.....	21
Şekil 2.7. Bir momentum iz şeması (Manwell ve diğ., 2002)	22
Şekil 2.8. Düz arazi koşulu gösterimi (Manwell ve diğ., 2002)	22
Şekil 2.9. Doğal engellerin gösterimi	24
Şekil 2.10. Türbin alanının yeterliliği üzerine sırtın pozisyonu ve şeklinin etkisi (Manwell ve diğ.,2002)	25
Şekil 3.1. (a)Boru tip ölçüm direği(b)Boru tip ölçüm direğinin ginpole ile kaldırılması	26
Şekil 3.2. (a) Kafes tip ölçüm direği (b) Kafes tip ölçüm direği kurulumu	27
Şekil 3.3. Boru Tipi Direk	29
Şekil 3.4. Kafes tipi Direk.....	30
Şekil 3.5. Direğin En Üst Noktasındaki Rüzgar Ölçerler	31
Şekil 3.6. 30m. Yükseklikte Rüzgar Ölçerler	32
Şekil 3.7. Rüzgar Ölçüm İstasyonu Şematik Gösterimi (Örnektir)	33
Şekil 3.8. Toplam Sensör Belirsizliği (Hata miktarı) ile Rüzgar Enerjisi Değişimi (%)	35
Şekil 4.1. Türkiye’de 2000-2009 rüzgar kurulu gücü gelişimi (ETKB, 2010).....	41
Şekil 4.2. Yıllara göre Türkiye’deki rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından kümülatif dağılımı	43
Şekil 4.3. Global Kümülatif Res Kurulu Güç Artışı.....	46
Şekil 4.4. Global Yıllık Kurulan Res Kapasitesi	46

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1.1. Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması	13
Tablo 1.2. Rüzgarı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması	13
Tablo 1.3. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması	13
Tablo 3.1. Sensörlerin Asgari Özellikleri.....	37
Tablo 4.1. MILRES Hedefleri	44
Tablo 5.1. Değişik Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretim Maliyetleri	48
Tablo 5.2. İç ve Dış Maliyet Kıyaslamaları	48
Tablo 6.1. Rüzgar Hız/Güç İlişkisi.....	52
Tablo 6.2. Aksaray ölçüm istasyonu için farklı yüksekliklerde (m/s) ortalama rüzgar hız değerleri.....	59
Tablo 6.3. Hava yoğunluğunun rakım ile değişimi	60
Tablo 6.4. Hava yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi	61
Tablo 6.5. 1m Kanat Çapı İçin Muhtemel Enerji Üretimi (kwst)	62
Tablo 6.6. 10m Kanat Çapı İçin Muhtemel Enerji Üretimi (kwst)	63
Tablo 6.7. 20 m Kanat Çapı İçin Yıllık Muhtemel Enerji Üretimi (kwst)	63
Tablo 6.8. 50 m Kanat Çapı İçin Muhtemel Enerji Üretimi (kwst)	64
Tablo 6.9. 100 m Kanat Çapı İçin Muhtemel Enerji Üretimi (kwst)	64

SİMGELER DİZİNİ

α	: “Inflow” Faktör
$\Gamma(y)$	: Gama Fonksiyonu
μ	: Ortalama Rüzgar Hızı
φ	: Faz açısı
ρ	: Yoğunluk
ρ_d	: Diskten Geçiş Bölgesi Yoğunluk
ρ_w	: Uzak İz Bölgesi Yoğunluk
ρ_∞	: Uzak Rüzgar üstü Bölge Yoğunluk
a	: Yüzey Özelliklerine Bağlı Katsayı
A	: Kesit Alanı
Ad	: Diskten Geçiş Bölgesi Kesit Alanı
Aw	: Uzak İz Bölgesi Kesit Alanı
A_∞	: Uzak Rüzgar üstü Bölge Kesit Alanı
b	: Rayleigh Dağılım Fonksiyonu Parametresi
c	: Boyut Parametresi
C_p	: Güç Katsayısı
CT	: “Thrust” Katsayısı
F	: Kuvvet
g	: Yerçekimi İvmesi
h	: Yükseklik
$h(v)$	: Herhangi Bir Zaman Aralığındaki Rüzgar Hızı Olasılığı
$h1$	: Ölçüm Yapılan Yükseklik
$h2$	: Rüzgar Hızı Öğrenilmek İstenilen Yükseklik
h_∞	: Uzak Rüzgar üstü Bölgesi İçin Yükseklik
k	: Şekil Parametresi
p	: Statik Basınç Enerjisi
U	: Akış Hızı
v	: Herhangi Bir Zaman Aralığındaki Rüzgar Hızı Olasılığı
vd	: Diskten Geçiş Bölgesi İçin Rüzgar Hızı
vw	: Uzak İz Bölgesi İçin Rüzgar Hızı
$v1$	: Ölçüm Yapılan Yükseklikteki Rüzgar Hızı
$v2$	: $h2$ Yüksekliğindeki Rüzgar Hızı

KISALTMALAR DİZİNİ

EİE:	Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EPDK:	Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
ETKB:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EWEA:	Avrupa Rüzgar Enerji Birliği
MGM:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
RES:	Rüzgar Enerji Santrali
RT:	Rüzgar Türbini
WWEA:	Dünya Rüzgar Enerji Birliği

GİRİŞ

Tüm dünyada ilerleyen teknolojiye bağılı olarak kişilerin elektrik enerjisine olan ihtiyaçları da artış göstermektedir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan mevcut fosil kaynakların sınırlı olması ve gün geçtikçe azalmaları nedeniyle, bir yandan elektrik enerjisi tasarruf çalışmaları sürdürölürken diğerk taraftan da yenilenebilir kaynakları kullanarak elektrik enerjisi üretilmesi üzerinde çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretiminde kullanılması için yapılan çalışmaların dışı olan bağımlılığı azaltmasından dolayı, ölkelerin geleceğı için önemi açıktır. Bu kapsamda yürütölün çalışmalardan bir tanesi de son yıllarda Dünyada büyük bir gelişim gösteren rüzgar potansiyellerinin kullanılmasıyla elektrik enerjisi üretilmesidir.

Rüzgar enerjisi yerli, dışı bağımlı olmayan, doğall ve tükenmeyen, gelecekte de aynı oranda temin edilebilecek, asit yağmurlarına ve atmosferik ısınmaya yol açmayan, CO2 emisyonu olmayan, doğall bitki örtüsü ve insan sağığına olumsuz etkisi bulunmayan, fosil yakıt tasarrufu sağılayan, radyoaktif etkisi olmayan, teknolojik gelişimi hızlı, döviz kazandırıcı bir kaynaktır. Ayrıca kısa sürede devreye alınabilmekte ve kısa sürede sökülebilmektedir. Bunun yanı sıra istihdam olanağına sahiptir . Tüm bu olumlu katkılarının yanında gürölütü, görsel ve estetik kirliliğı, kuş öölümleri, 2-3 km lik alan içinde radyo ve TV alıcılarında parazitlere neden olması, gibi bir takım dezavantajları vardır. Fakat rüzgar türbini teknolojisinde gelineen bugünkü nokta, tüm bu olumsuz etkileri son derece azaltmış veya ortadan kaldırmıştıır. İlk türbin modelleri yeni ve daha büyük modellerine göre daha gürölütölüyken şu andaki modern türbinler oldukça sessizdir. Kuş sığınakları ve kuşların toplu olarak yaşadıkları yerlere rüzgar santralı kurulmamasına dikkat edilerek ve önemli kuş göç yolları da rüzgar santralı kurulmasında göz önünde bulundurularak kuş öölümlerinin en aza indirilmesi söz konusudur. Görölüdüğü gibi bu kadar çok avantajlara sahip bir enerji kaynağı olan ve oldukça yüksek bir potansiyele sahip olduğumuz rüzgardan elektrik enerjisi üretiminde faydalanılması şüphesiz kaçınılmazdır.

Bu alışmada Aksaray ili ve çevresinin rüzgar enerji potansiyeli araştırılmış olup Aksaray Meteoroloji Müdürlüğü rüzgar verileri esas alınarak bölgenin rüzgar performans analizleri yapılması hedeflenmiştir.

1. RÜZGAR ENERJİSİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi özdeş ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgarı oluşturur. Rüzgar enerjisi ise; rüzgarı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Bu enerjinin belli bir bölümü yararlı olan enerjiye (elektrik, pompalama, vs.) 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 süreye 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 yükseklikte 5,1 m/s'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alan rüzgar enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplamıdır.

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.

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 eyaletlerden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra, Avrupa'daki fakir madenlerin işletilmesi denemiş, fakat bu madenlerin yüzeysel kapasiteleri hızla tükenip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmişti. Altın ve gümüş bulunamayınca paralara bakır takılmaya 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.

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 10.000 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. (Bergey B., 1997)

1918 yılında Danimarka'da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimini 20-30 kW'lık rüzgar türbinlerinin kullanımı 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. 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. (Manwell , McGowan , Rogers , 2002)

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 Noeget 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 sonrasında 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 (Turhan,2009)

1961 yılında Roma’da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı’nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgar enerjisi idi. Böylece, çok eskiden bu yana 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 eşgüdümünden 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 (Turhan , 2009)

1.1 Rüzgar Türbinleri ve Çeşitleri

Binlerce yıldır teknelerin yelkenini şişiren, mısır ve buğday öğütmekte kullanılan rüzgar enerjisi, artık ortak enerji üretimi için esmektedir. İnsanlık yel değirmenlerinden, modern rüzgar santrallerine doğru uzanan teknolojik bir süreç yaşamıştır. Fosil yakıtların ucuzluğu yedeniyle yeterli seviyede önemsenmeyen rüzgar enerjisi, 1970'li yıllardaki petrol krizleri nedeniyle tekrar hatırlanmıştır. 1980 sonrasındaki gelişmelerle, Avrupa ve ABD'de rüzgar santralleri ekonomi, çevre ve enerji açısından çağdaş mühendislik ürünleri haline gelmiştir.

Rüzgar Türbinlerinin (RT'lerin) seri üretimine geçilmesi ile bu alandaki yatırımlar ve türbin üzerindeki gelişmeler gün geçtikçe artmış ve rüzgar santralleri kurulmuştur. Önceleri kara parçaları üzerinde kurulan rüzgar santralleri, artık denizlerin üzerine (Alarga – Offshore) kurulmaktadır. 1970'li yılların sonlarında, rüzgar enerjisi sağlayan küçük RT'ler, diğer alternatif enerjilerle karşılaştırıldığında, yatırım maliyetlerinin azlığı ve gelişen teknolojilerin etkisiyle, pek çok kişinin ilgisini çekmiştir. 1979–1985 yılları arasında uygun devlet kredileri ile 4500'den fazla 1 ile 25 kW arasında değişen güçlerde rüzgar santralleri yapılmıştır. Aynı dönemde çeşitli özellikte 1000 adet uzaktan kontrollü sistem tesis edilmiştir. (Bergey, 1997)

Dünyada; rüzgar enerjisinden elektrik üreten ilk türbin, 1891'de modern aerodinamiğin önemli mühendisi olan Paul la Cour tarafından Danimarka'da inşa edilmiştir. Elektriğin birim fiyatı yüksek olduğundan, 1980–1981 yıllarında, endüstriyel ve teknolojik gelişmeler sonucu 55kW kapasiteli RT'ler yapıp, üretimine başlanmıştır. Rüzgar endüstrisi daha çok yaygınlaşmış ve Risoe National Laboratuvarı yardımı ile Avrupa Rüzgar Atlasının gelişmesine paralel olarak elektrik birim fiyatlarında önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir. (Danish Wind History, 1999).

En küçük RT'ler 1982 yılında California piyasasına girdiğinde, Danimarka'da uzun süredir kullanılmaktaydı. California'da 1979–1985 yılları arasındaki devlet yardım programı etkisini göstermiş ve 1981 yılında 150 adet olan küçük RT sayısı, 1985 yılı sonlarında 16000'e ulaşmıştır. California'daki bütün RT'lerin %75'ine ortak olan Danimarkalı üreticiler, 55kW'lık RT'ler için bir endüstri kurmuşlardır. Danimarkalı RT üreticileri, bugün bile dünya çapındaki piyasada en büyük üretici olma özelliğini elinde

bulundurmaktadır. 1985 yılında 25m kanat çapında ve 250kW gücündeki RT prototipi California’da yapılmış ve kısa bir zaman içinde piyasaya sürülmüştür. Danimarka da ise piyasayı canlı tutmak amacıyla ev tipi RT’ler tekrar geliştirilerek piyasaya sürülmüştür. Bugün bile 0,1–10kW arasında bağımsız çalışan çeşitli güçlerde ev tipi RT’ler imal edilmektedir.

Küçük RT’lerin gelişmesine paralel olarak, 1976–1980 yılları arsında piyasanın talebi üzerine birkaç ülke büyük RT’ler için yatırım yapmıştır. Almanya ve dünyada, büyük RT’lerin geliştirilmesi için çok büyük yatırımlar yapılmış, fakat teknik problemlerle karşılaşılıp olumsuz düşünceler ortaya çıkınca, destek azalmıştır. İkinci büyük RT üretimi maliyet ve performans bakımından başarılı olmasına rağmen tüketiciler tarafından ilgi görmemiştir. Böylece büyük RT’lerin geliştirilmesi mümkün olmamıştır. (DEWI, 1998).

1989 yılından itibaren Almanya’da RT teknolojisi hızla gelişmiştir. Rotor çapı 25m, çıkış gücü 150-250kW olan RT’ler imal edilmiş ve bunu rotor çapı 30-35m, çıkış gücü 300kW’dan büyük türbinler izlemiştir. Bu türbinler 2–3 yıl piyasaya egemen olmuştur. 1992 Ağustos ayında ilk Tacke-Windtechnik’in yaptığı 500kW’lık RT çalışmaya başlamıştır. Bunu ENERCON’un E40 ve diğer Avrupalı üreticilerin ürettiği türbinler takip etmiştir. 500kW’lık RT’nin gelişmesi için 37m kanat çapında rotor imalatına başlanmıştır. Bunu 46m çapında ve 600kW gücünde ve özellikle iç bölgelerde, düşük rüzgarlı alanlarda kullanılmak üzere dizayn edilmiş RT’ler izlemiştir. Tacke-Windtechnik’in yaptığı 500kW’lık RT’den dört yıl sonra 1996 yılı sonlarına doğru ENERCON 66m çaplı 1,5 MW gücünde RT üretmeye başlamıştır. Bu ilerlemeyi; 66m çaplı ve 1,65 MW gücündeki türbinler izlemiştir.

Artık günümüzde karadaki uygulamalar için 70m, 80m hatta 100m rotor çaplı ve 2 MW ve üzeri güçlerdeki bir RT görmek olağan dışı değildir. Rüzgar enerjisi bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de deniz üstü (Offshore - Alarga) rüzgar santralleri kurulmasına başlanmıştır. Birinci etapta kıyıdan uzaklığı 10km’yi ve derinliği 10m’yi geçmeyen alanlar hedeflenmiştir. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği 5 MW güçle Danimarka’ da Lolland adası yakınlarında kurulan Vindeby rüzgar çiftliğidir. Diğer ülkeler (İngiltere, İsveç) ile birlikte Avrupa’da şu anda 12MW’lı offshore santrali çalışır durumdadır. Ve Avrupa bu kurulu gücünü 180MW’a çıkarmayı planlamaktadır. 2030 yılında ise Avrupa da rüzgar enerjisi kurulu gücünün

%25'ini Offshore RT'lerinin oluşturacağı beklenmektedir. (TUSIAD, 1998, "21. yy. Giren Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi" TUSIAD-T/98-12/239).

Daha yüksek enerji elde etme rüzgar enerjisinde genel amaçtır. Yüksek enerji üreten ve daha uzun ömürlü santral kurulması için Avrupa da uygun yer bulunamadığından Offshore Rüzgar santralleri kullanıma geçmiştir. Deniz üzerinde olduklarından dolayı, kurulum maliyeti karadakilere oranla çok daha fazladır. Bu durum büyük bir dezavantaj oluşturmalarına rağmen 50 MW ve üzeri projelerde tercih edilmektedirler. (Consult,A,J, 2001).

Offshore RT'lerin bakım ve işletme masrafları karadaki türbinlere göre daha pahalı ve zor olmaktadır. Ağır kış koşullarında bu türbinlerde rutin bakım ve ulaşım büyük sorun olmakta, bazen türbinlere günlerce erişilememektedir. En iyi hava koşullarında bile bakım ve işletme maliyetleri karadakilere göre daha pahalıdır.

1.1.1 Rüzgar Türbini Çeşitleri

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgar makinelerinde kullanılan türbinler farklı tiplerdedir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştiren bu RT'lerden bazıları günümüzde ticari hale gelmiştir. RT'ler dönme eksenine göre üç gruba ayrılırlar:

- Yatay eksenli rüzgar türbinleri
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri
- Eğik eksenli rüzgar türbinleri

1.1.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)

Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30 m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir. Eğer;

- $\lambda = 1-5$ Çok kanatlı rotor,
- $\lambda = 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda = 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler.

1.1.1.1.1. Rüzgarı Önden Alan Makineler

Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgar gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duyarlar.

1.1.1.1.2. Rüzgarı Arkadan Alan Makineler

Bu makinelerin rotorları kule arkasına konur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayışlarıdır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa, nacelle rüzgarı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür. Böylece bu makinelerin avantajları; önden rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir.

1.1.1.1.3. Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Tek kanatlı RT’ nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için hub çok iyi yapılmalıdır. MBB firması tarafından tasarlanan, her birinin tesis gücü 630kW olan ve rotor çapı 56m üç tip RT Almanya’nın Wilhelmshaven yakınında çalışmaktadır. En önemli ticari dezavantajı, 120m/sn civarındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Bir kanatlı RT’nin kanat uç hızı, üç kanatlı RT ile karşılaştırıldığında, iki kat daha yüksektir ve daha fazla gürültü içermektedirler. Almanya’da, gürültü ve görsel rahatsızlık nedeniyle bu RT’leri piyasada kullanılmamıştır.



Şekil 1.1. Tek Kanatlı Rüzgar Tribünü (Alyamaç , 2010)

1.1.1.1.4. Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ila 100m rotor çaplı ölçülerde RT'ler tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat maalesef iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artışına sebep olmaktadır.

Hub'ın titreşimi azaltmak için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına dik yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu RT'nin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgar hızlarında (3m/sn) çalıştırılması dezavantajıdır. Günümüzde iki kanatlı rotor, şimdi birkaç ünitedir ve en az bir an için artan piyasaya dikkat edecek olursak iki kanatlı rotora hiçbir eğilim bulunmamaktadır.

1.1.1.1.5. Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momentini olmadığından, hub içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz

estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Küçük güçlü RT'lerde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemleri ortaya çıkar. Bu problemin çözümü için düşük devirde dönen rotorun devir sayısını $1/n$ oranında arttıran dişliler kullanılır ve "Cut in" olarak adlandırılan hız değerine ulaşıncaya kadar, jeneratör boşa çalıştırılır.



Şekil 1.2. Üç Kanatlı Rüzgar Tribünü (Alyamaç , 2010)

1.1.1.1.6. Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri:

Çok Kanatlı RT'ler (rüzgargülleri), RT'lerin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı RT'ler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır. Rüzgargülleri, rüzgargülü pervane düzleminin rüzgar hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, rüzgargülü yönlendiricisi taşımaktadırlar.

1.1.1.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi

yaklaşık %35'dir Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve “Yaw” mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışır. Rotor çapı 5m olan türbinden yaklaşık 0,5kW güç elde edilir. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.

1.1.1.2.1. Savonius Rüzgar Türbinleri:

Savonius RT, 1925 yılında Finlandiyalı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır.

Diğer DERT'lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT'lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT'nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirmesi yönünde olmuştur. (Ushiyama,I. ve Nagai,H., 1988).

Aldoss ve Najjar, bu çarkın performansı üzerine; “sallanan kanatlı çark” kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT'nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir. Reupke ve Probert, Savonius RT'nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT'lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir (URL-1.).

1.1.1.2.2. Darrieus Rüzgar Türbinleri:

1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980’lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir.

1.1.1.2.3. H-Darrieus Rüzgar Türbinleri:

Dikey eksenli en önemli RT’lerden biridir. Darrieus RT’ nin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbindir. Darrieus RT’ den iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- Aerodinamik profili düzdür.
- Kanatlara pitch kontrol uygulanır.

1.1.1.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT)

Dönme eksenleri dikeyle, rüzgar yönünde bir açı yapan RT’ lerdir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır.

1.1.2 Rüzgar Türbinlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılması

Rüzgar çiftlikleri kurulumunda; rüzgar şartları, kurulacak alan ve ciddi kayıplardan kaçınmak için RT’lerin özellikleri bilinmelidir. RT’ler incelendiği üzere kanat çeşitleri, rüzgarı alışı şekilleri ve kullanım alanlarına göre birkaç çeşitte imal edilebilmektedir. Aşağıdaki Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’de RT’lerin birbirleri ile çeşitli özellikleri ve tipleri dikkate alınarak kıyaslanması verilmiştir. Bu tablolarda; türbinin kullanım amacı, bölgedeki rüzgar ve maddi imkanlara göre nasıl bir türbin seçimi gerektiği veya kurulmak istenen türbinin özellikleri görülmektedir.

Tablo 1.1. Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması

	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
Büyük RT.'ler	Endüstriyel	50kW-2MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük RT.'ler	Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Telekomünikasyon Alıcısı, Radyo Kulesi, Seralar Acil Telefonları vb.	Var	Yok	Düşük

Tablo 1.2. Rüzgarı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması

	Yaw Mekanizma İhtiyacı	Kanat Malzeme Yapısı	Kuleye Binen Yük	Rüzgarın Türbine Verdiği Zarar
Rüzgarı Önden alan RT	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgarı Arkadan alan RT	Yok	Esnek	Hafif	Çok

Tablo 1.3. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması

	Tek Kanatlı	2 Kanatlı	3 Kanatlı	Çok Kanatlı	Savonius	Darrierus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule İhtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama
Günümüzde Kullanımı	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun Dönmesi için Rüzgarı	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler

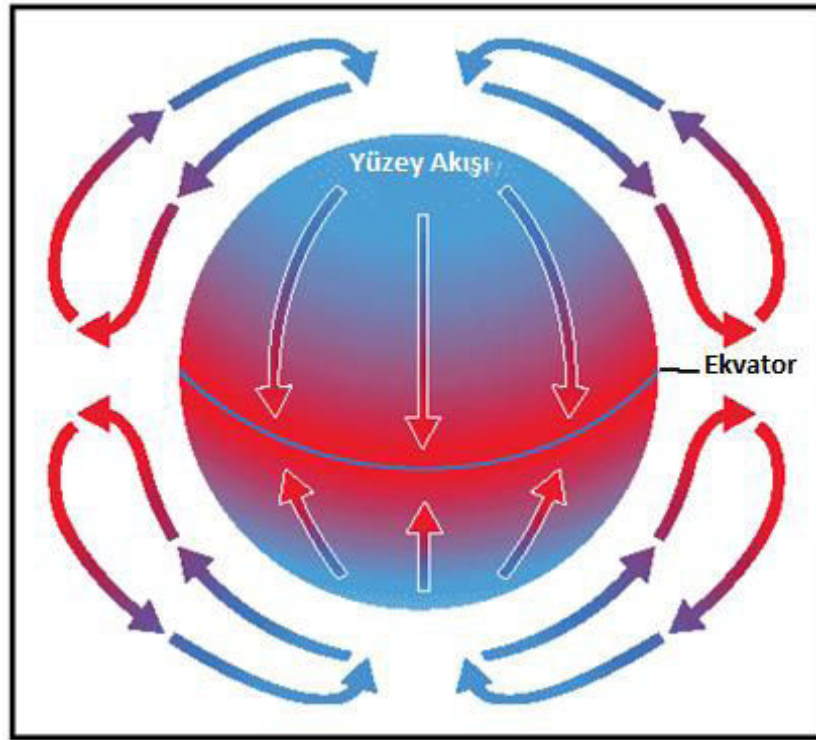
Yerel yüzey yapısı, bitki örtüsü ve yüksek bina gibi engeller rüzgar hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Türbinler düz tepelerde, en yüksek noktaya; vadi, kanyon ve geçitlerde ise hakim rüzgarı alabilecek ve tüketiciden uzak olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Kanat yerleşiminde, asgari kanatın yerden 3m yüksekte olması ve kullanım yerinden 40m uzakta olması avantajdır. Rüzgar çiftliklerinde yapılan düzenlemelerde her bir türbin, rüzgarı en iyi alacak şekilde ve birbirlerinin arkasına, gölgeleme etkisi en az olacak şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir.

Neticede daha önceki bölümlerde de ifade edilen ve ticari olarak en çok kullanılan YERT türbinleridir. Bu türde: kanat çapları 100m ve kule yükseklikleri 75m olan türbinler bulunmaktadır. Belirli bir uygulamada kullanılan RT'ler o uygulamanın gerektirdiği özelliklere sahip olmalıdır. Çok hızlı dönen bir kanat, çok yavaş dönen fakat çok kanatlı bir pervane ile aynı düzeyde enerji toplamaktadır. Böylece az kanat yapılması malzeme tasarrufu sağlayıp maliyeti ve kule ağırlığını düşürmektedir. Ana amaç verimin yüksek, maliyetin düşük olmasıdır. Küçük bir arazide RT sayısının artışı ile toplam enerji miktarında artma olmasına rağmen, rüzgar çiftliğinin veriminde azalma görülür. Bu nedenle arazi özelliklerine, rüzgar hızına ve kullanım amacına uygun RT seçilmelidir.

2. ATMOSFER VE RÜZGAR

2.1. Atmosfer

Atmosferi dev bir ısı makinesi olarak ele alırsak, atmosfer sıcak rezervuar olan güneşten aldığı ısıyı daha düşük sıcaklıktaki rezervuar olan uzaya aktarır. Süreç içinde, iş atmosferdeki gazlar üzerinden yeryüzü-atmosfer sınırında yapılır. Hava basıncının geçici olarak ortalama değerden düşük ya da yüksek olacağı yerler bulunur, hava basıncındaki bu fark atmosferik gazların diğer adıyla rüzgarın yüksek basınç alanlarından düşük basınç alanlarına doğru akmasına sebep olur ki genel olarak bu alanların çapı yüzlerce kilometre olabilir (Şekil 2.1). Güneş kaynaklı radyasyon, su buharı, bulut kaplaması (cover) ve yüzey özellikleri gibi özelliklerin hepsi atmosfer şartlarını belirlemede önemli rol oynar. (Johnson, 2001).



Şekil 2.1. Atmosferde Hava Akışı (URL-2).

Rüzgarın temel kaynağı güneş olmakla beraber, rüzgar oluşumuna sebep olan temel atmosferik kuvvetler; basınç gradyan kuvvetleri, dünyanın dönmesinden kaynaklanan Coriolis kuvvetleri, merkezci kuvvet (kaynakta merkezkaç olarak ifade edilmiş), dünya yüzeyindeki sürtünme kuvvetleridir (Donn, 1975).

2.1.1. Basınç Gradyan Kuvvetleri

Basıncın belirli bir mesafedeki değişimine basınç gradyanı denmektedir. Bu basınç farklılığının hava kütlesi üzerinde oluşturduğu kuvvet basınç gradyan kuvvetidir ve yönü basıncın yüksek olduğu yerden düşük olduğu yere doğrudur. Basınç gradyanının değeri arttıkça buna bağlı olarak basınç gradyanının kuvveti ve dolayısıyla rüzgar şiddeti de artacaktır (Şekil 2.2). (Johnson, 2001).

2.1.2. Coriolis Kuvvetleri

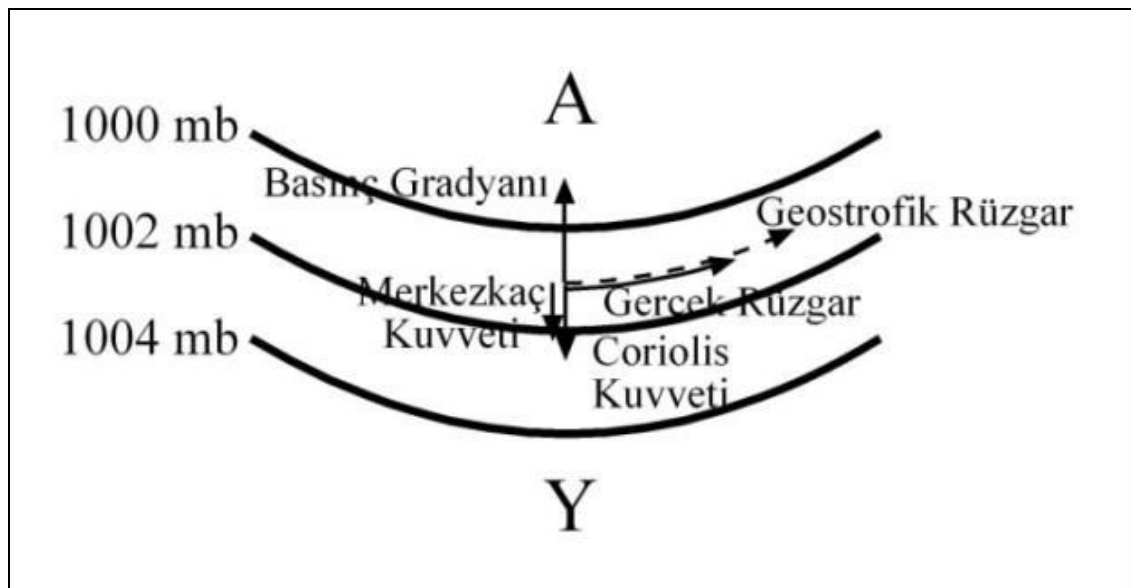
Coriolis kuvvetleri, dünyanın dönüş hareketinin hareket halindeki hava kütleleri üzerinde oluşturduğu bir kuvvettir. Bu kuvvetin büyüklüğü rüzgarın hızı, bulunulan enlem ve dünyanın açısal hızına bağlı olarak değişir (Johnson, 2001).

2.1.3. Merkezil Kuvvet

Dönme hareketi yapan hava kütlelerinde, rüzgarın yönüne ve şiddetine bağlı olarak oluşan kuvvettir. Merkezdeki izobar eğrileri daireselliğine bağlı olarak merkezil kuvvet etkisi de o kadar etkili olmaktadır (Johnson, 2001).

2.1.4. Sürtünme kuvveti

Sürtünme kuvveti tanımı gereği hareketin yönüne zıt yönde etkiyen bir kuvvettir yüzden hareket halindeki hava kütlelerinin hızını düşürücü bir etki yaratır. Sürtünme kuvvetinin bu etkisi yeryüzü koşullarına bağlıdır. Deniz üzerinde esen rüzgara etkiyen sürtünme kuvveti daha azken, kara üzerinde esen rüzgara etkiyen sürtünme kuvveti daha fazla olmaktadır. Ayrıca yeryüzünden uzaklaştıkça yeryüzünün rüzgar üzerindeki sürtünme etkisi azalmaktadır (Johnson, 2001).



Şekil 2.2. Gradyan rüzgâr ve eğrilik yarıçapı

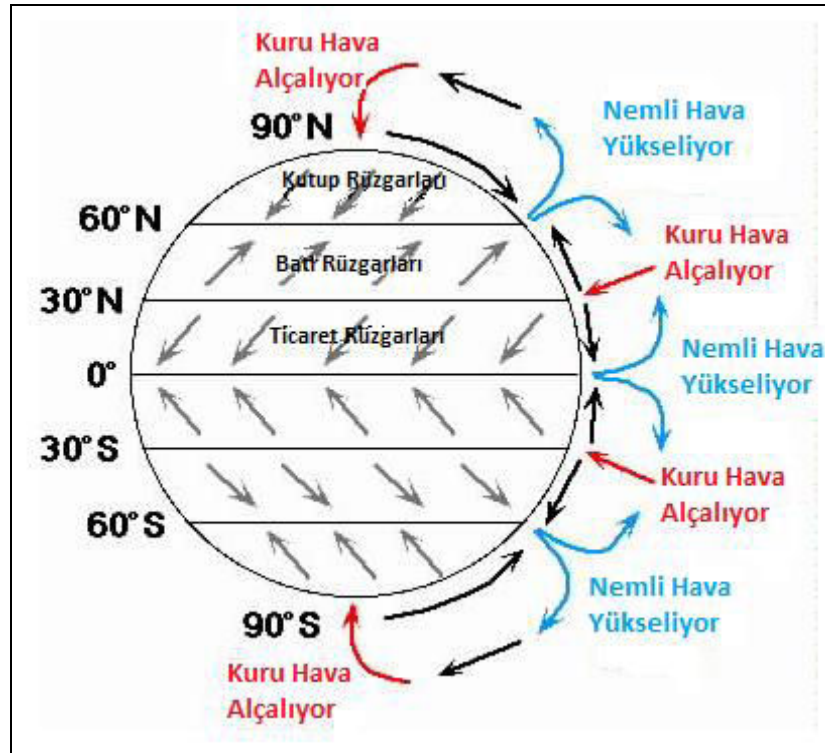
2.2. Rüzgarın Sınıflandırılması

Rüzgar etki alanları göz önünde bulundurularak iki temel kısımda ele alınabilir. Bunlar küresel rüzgar sistemleri ve yerel rüzgarlardır.

2.2.1. Küresel rüzgarlar

Yeryüzündeki basınç farklılıkları rüzgar oluşumunun ana sebebidir. Bu basınç farklılıklarını oluşturan güneş radyasyonu yeryüzünde en çok ekvatorda en az kutuplarda emilir. Bu emilim farkının yarattığı ısı değişimi atmosferin troposfer tabakasında küresel ölçekte sirkülasyona sebep olur. Bu sirkülasyona “Atmosferin Genel Sirkülasyonu” adı verilir (Şekil 2.3). (Durak ve Özer, 2007). Bu tanım atmosferde enerji dengesini sağlayan bütün hava hareketlerini resmetmek için kullanılır (Johnson, 2001).

Gelen güneş radyasyonunun ekvatorda fazla, kutuplarda az olması genel olarak ekvatorda bir enerji kazancı, kutuplarda ise enerji kaybına sebep olur. Atmosfer bu farkı dengelemek amacıyla ekvatordaki sıcak hava kütesini kutuplara, kutuplardaki soğuk hava kütesini ise ekvatora aktarır. Bu şekilde oluşan genel sirkülasyon, dünyanın kuşakları arasında küresel rüzgara (hava hareketlerine) sebep olur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Küresel Sirkülasyon (URL-3)

Ekvatorial bölgelerde yılın hemen hemen her zamanı güneş ışınlarının dik veya dike yakın açılarla gelmesi ve gün boyu uzunluğunun aynı kalmasıyla sürekli bir ısınma söz konusudur. Bu ısınma topraktan hava kütlelerine geçer, ısınan hava kütleleri genişleşerek yoğunluğu azalır ve yükselmeye başlar. Tropopoz seviyesine kadar yükselen hava kütlesi burada yayılır ve kutuplara doğru ilerler. 25-35 kuzey-güney enlemlerine gelindiğinde burada sıkışan hava kütlesi, radyatif soğumanın ve sıkışmanın etkisiyle alt tropikal bölgelere ilerler. Coriolis kuvvetinin etkisiyle kutba doğru yönelmekte olan bu hava kütlesi kuzey yarım kürede sağa, güney yarım kürede sola sapar. Tropikal bölgeden kutup bölgelerine doğru ilerlerken radyasyon ile soğuyarak yoğunlaşır ve orta enlemlerde gelindiğinde toplanma (konverjans) oluşturur. Yukarı kesimlerde oluşan toplanma, aşağı kesimlerde ayrılma (diverjans) oluşumunu tetikler ve böylece yüksek basınç alanlarının oluşmasını sağlar. Bu yüzden 30 enlemleri subtropik yüksek basınç kuşağı bölgesidir. Yukarı kesimlerde toplanma yapan bu hava kütlesi aşağı inerek daha sıcak ve kuru bir hava kütesine dönüşür. Bunun sonucu olarak bu enlemlerde açık ve sıcak yer yüzeyi meydana gelir. Deniz kesimleri için bu enlemlere at enlemleri denir. 30 enlemlerinde hava kütesinin bir kısmı da kutuplara yönelimine devam ederek kutuplardan gelen soğuk hava kütlesi ile karşılaşır ve farklı fiziksel özelliklere sahip olduklarından karışmayıp bir sınır oluştururlar. Burada corolis etkisiyle 30N ve 60N enlemlerinde sağa sapma ile batılı rüzgarlar oluşur (Durak ve Özer, 2007).

Kutuplarda ısı kaybı nedeniyle yoğunluğu artan oldukça soğuk olan hava kütlesi yeryüzüne doğru iner ve yüksek basınç alanları oluşturur. Ekvatora doğru hareket etmekte olan bu soğuk hava kütlesi 60N-S enlemlerinde batılı rüzgarlarla karşılaşarak subpolar alçak basınç kuşağını meydana getirir. Bu şekilde küresel rüzgar ve basınç kuşakları üç hücreli modelle tanımlanmış olur (Johnson, 2001). Bilinen bazı küresel rüzgar akımları; yüksek basınç kuşağı olan subtropikal tropikal arasında ekvator yönelimli ticari rüzgarlar olarak adlandırılan alizeler, 30.enlemlerdeki yüksek basınç alanından 60.enlemlerdeki alçak basınç alanına doğru esen ve değişken bir karakter gösteren batı rüzgarları, kutuplardaki yüksek basınç alanından 60. Enlemlerdeki alçak basınç alanına doğru yönelmiş soğuk kutup rüzgarlarıdır.

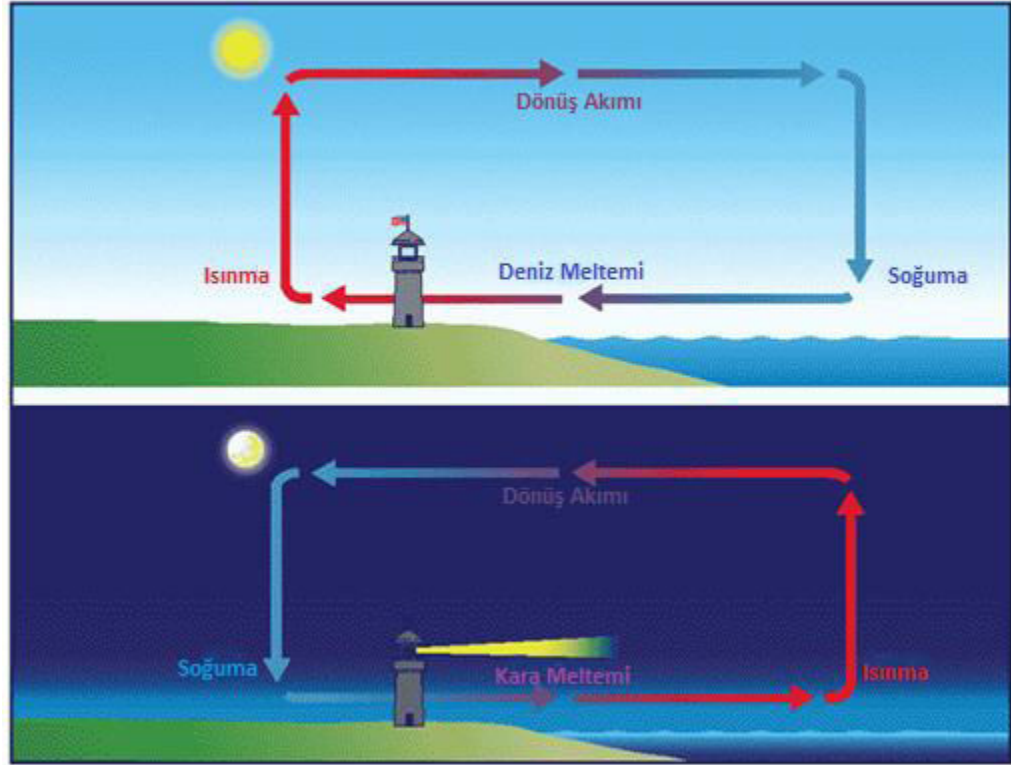
2.2.2. Yerel rüzgarlar

Yerel rüzgarlar genelde bulundukları bölgenin coğrafik yapılarına bağlı olarak kara-deniz etkileşimlerinden, gece-gündüz değişimlerinden, kanal etkisi vs. gibi sebeplerden oluşur (Durak ve Özer, 2007).

Esiş yerleri ve zamanları bilinir ve oluştukları yere göre soğuk veya sıcak veya soğuk karakterli olabilirler.

Türkiye ve Dünyada gözlemlenen bazı yerel rüzgarlar: Afrika, Güney Akdeniz'e yönelmiş alçak basınç merkezleri önünde gözlemlenen sıcak karakterli Samyeli, fön dağlık alanlarda gözlemlenen nemli hava kütlelerinin dağ yamacı boyunca yükselip sonunda burada yağış bırakarak dağın öteki kısmında sıcak ve kuru karakterli bir rüzgar, soğuk, şiddetli ve kuru karakterli rüzgarlar olan Bora, Dalmaçya, Adriya denizi kıyılarında kış ve ilkbahar mevsimleri gözlenirken, Mistral, Fransa'da kuzey-kuzeybatı yönünde eser, Krivetz Romanya'da kış ve ilkbahar mevsimlerinde gözlemlenir, Poyraz ise Karadeniz ve Marmara bölgelerinde kuzeydoğudan esen yağış getiren rüzgarlardır (Donn, 1975).

2.2.2.1. Kara - Deniz Meltemleri

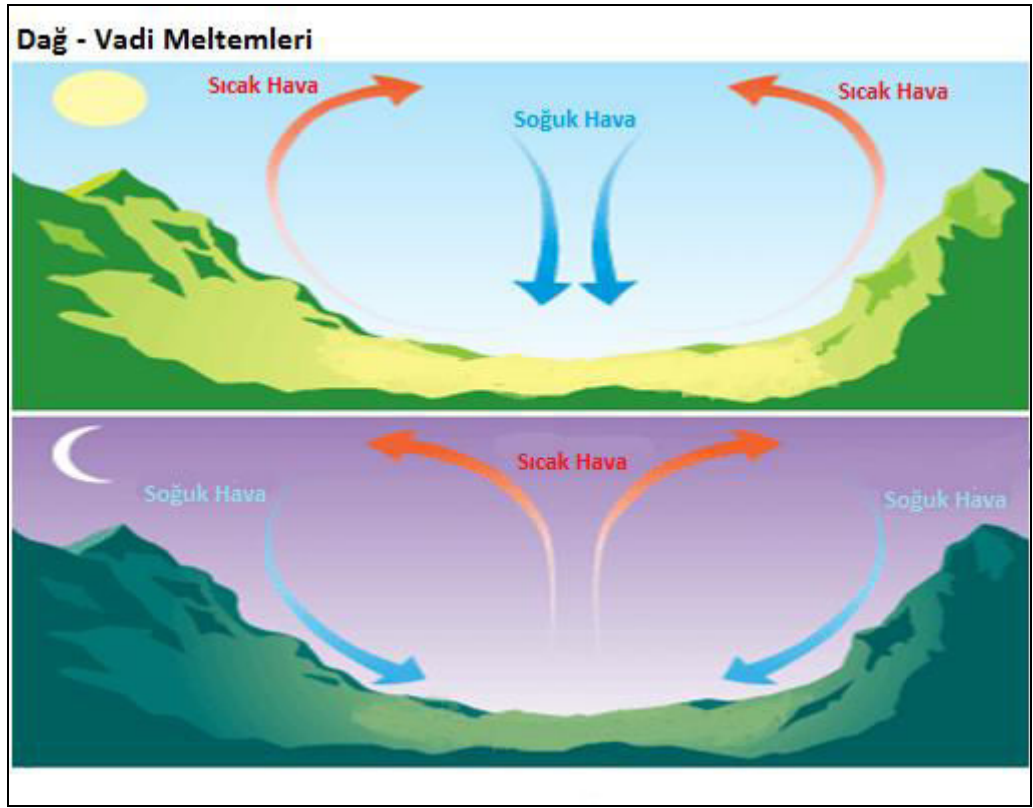


Şekil 2.4. Kara-deniz meltemi (URL-4.).

Kara ve deniz meltemlerinin ana sebebi, karaların ve denizlerin gün içerisinde farklı zamanlarda ısınması ve soğuması ve sahip oldukları ısıyı farklı zamanlarda kaybetmelerinden ileri gelir (Şekil 2.4). Gündüz karalar denizlere oranla daha kolay ısındığından, kara üzerinde alçak basınç alanı meydana gelirken, karaya oranla daha soğuk olan deniz üzerinde ise yüksek basınç meydana gelir, bu durum denizden karaya doğru bir hava akımı meydana getirir. Bu hava akımına deniz meltemi denir. Benzer

şekilde gece, karalar denize oranla ısınıpı daha çabuk yitirdiğinden (birim ktle başına kaybedilen ısı miktarı daha fazla olduğundan) daha kolay soğur, kara üzerinde yüksek basınç alanı oluşur, buna karşın deniz ısınıpı daha geç kaybettiğ için alçak basınç alanı deniz üzerinde oluşur ve bu sefer hava akımı karadan denize doğrudur. Bu hava akımına ise kara meltemi denir. Kara ve deniz meltemleri genel olarak yaz aylarında, ekvator kuşağında ve orta enlemlerde gözlemlenir. Deniz meltemi nemli ve serinken, kara meltemi kurudur ve deniz meltemlerine oranla daha az şiddetli rüzgarlardır. Etki alanları kıyıda iç kesimlere doğru 20-40km ve yükselti olarak 300-400m arasında değışir (Donn, 1975).

2.2.2.2. Dağ - Vadi Meltemleri



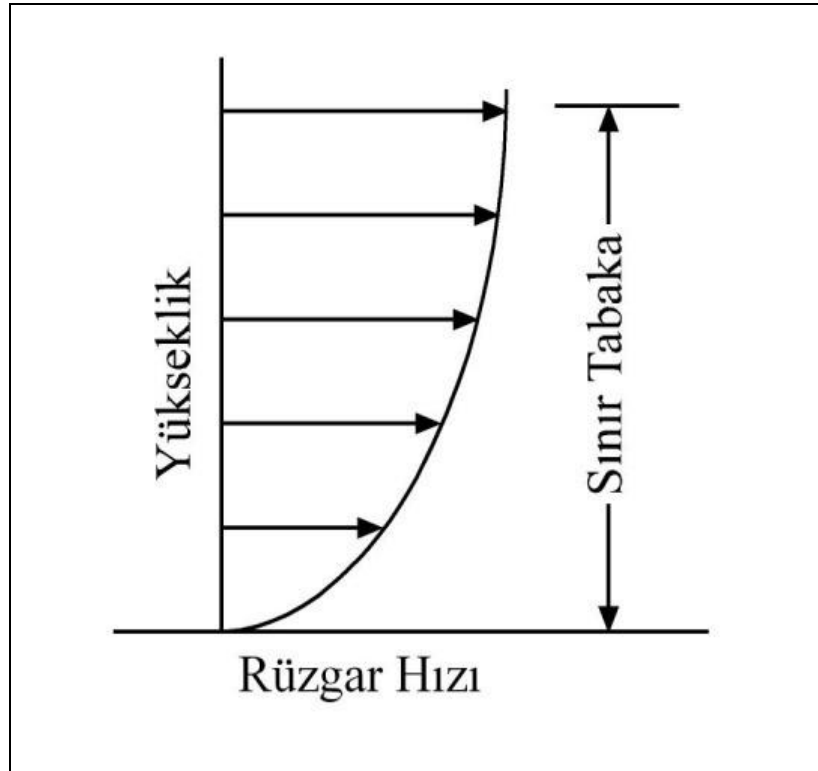
şekil 2.5. Dağ – Vadi Meltemleri (URL-4.).

Gündüzleri dağın güneşe bakan yamaçları, vadilere oranla daha çabuk ısınır, bu dağ yamacında alçak basınç alanı oluştururken, dağ yamacına oranla daha soğuk olan vadiye yüksek basınç alanı oluşur (şekil 2.6). Buna bağlı olarak, vadiden dağ yamacına doğru rüzgar gözlemlenir. Geceleri ise tam tersine dağ yamacının vadiye oranla daha çabuk soğumasına bağlı olarak yüksek basınç alanı oluşturur ve bu esnada daha sıcak olduğu için alçak basınç alanı olan vadiye doğru rüzgar esişi gözlemlenir. Dağdan vadiye doğru esen bu rüzgarla dağ meltemi denirken, vadiden dağla doğru esen rüzgarla vadi meltemi denir (Donn, 1975).

2.3. Rüzgar Üzerinde Yer Etkisi

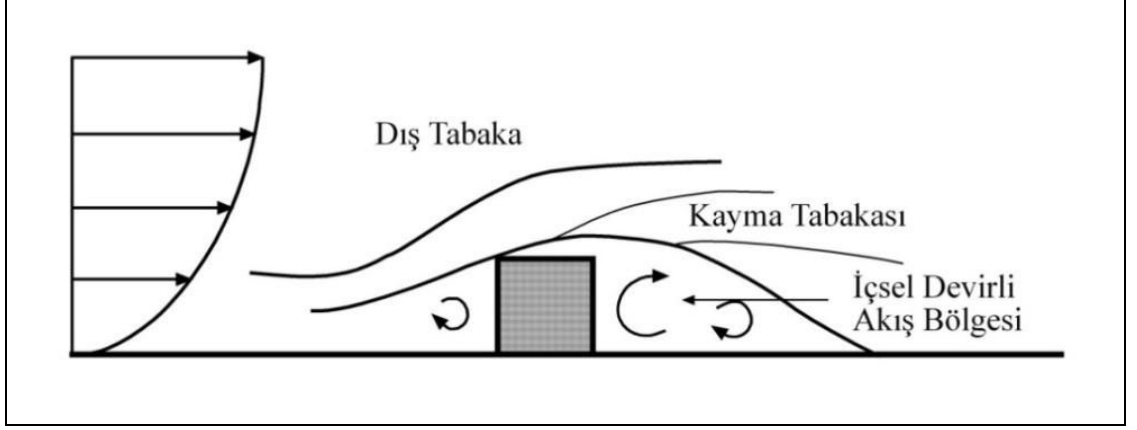
Meteorolojik etkilerle birlikte, coğrafik özellikler de rüzgar profilinde etkili bir faktördür. Rüzgarın estiği yerin engebeli veya engebesiz olması, orografi, yapılar, pürüzlülük gibi yüzey koşulları rüzgarın akışını etkiler (Durak ve Özer, 2007).

Yüzeye yakın yerde rüzgar profili engebeye bağlı olarak bozulma gösterir ve türbülans oluşturur. Yüzey engebesinin rüzgar üzerindeki türbülans etkisi yer yüzünden yukarı çıkıldıkça azalmaktadır. Atmosferik sınır tabakanın üstünde, laminar akış gözlemlenmeye başlar. Yeryüzüne çok yakın kısım olan laminar akış gösteren ince alt katmanda moleküler transfer akı iletimini sağlar. Bu akış Newton'un viskozite kanunu ile açıklanabilir. (Durak ve Özer, 2007) Rüzgar profili nötr olan bir akışta rüzgarın hızı önce artmakta ardından belirli bir yüksekliğe ulaşıncaya sabitlenmektedir (Şekil 2.6).



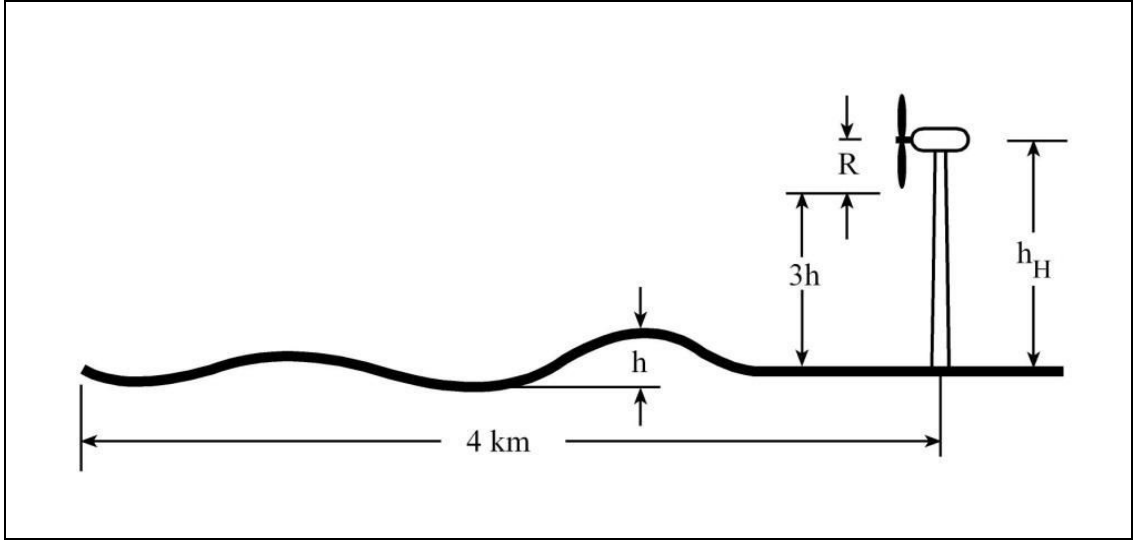
Şekil 2.6. Sınır Tabaka

Rüzgarın esiş yönündeki yapılar, bu yapıların birbirine olan mesafesi, ağaçlar, vs. gibi doğal ve ya insan yapımı oluşumlar rüzgarın akışını karmaşıklaştırır. Örneğin dikdörtgen bir engele dik olarak gelen rüzgarın hızı yavaşlar ve buna bağlı olarak momentumu düşer (Şekil 2.8). Engelin arka kısmında bir iç sirkülasyon gözlemlenir. Ancak akış dış tabaka da bozulmadan devam eder (Durak ve Özer, 2007).



Şekil 2.7. Bir momentum iz şeması (Manwell ve diğ., 2002).

Akıшта arazinin düz veya kompleks oluşu, yüzeydeki yapıların uzunluğu, pürüzlülüğü de önemlidir. Yükseklik farkı, tepe, vadi gibi coğrafik öğeler barındıran araziler kompleks araziler olarak tanımlanırken, rüzgarın estiğı 11.5 km çapındaki bölge ve çevresinde 60m'yi geçmeyen yükselti, rüzgar türbinin kurulacağı alanın 4 km öncesinde türbin boyunun üçte birini aşmayan yükselti araziye düz kabul edilmesini sağlar (Şekil 2.9) (Durak ve Özer, 2007).



Şekil 2.8. Düz arazi koşulu gösterimi (Manwell ve diğ., 2002)

Engellerin varlığı rüzgar hızının yüksekliğe bağılı olarak değişmesine sebep olur. Belirli bir yükseklikten ölçülen rüzgar hızı bu yükseklikten yukarıda veya bu yükseklikten aşağıda farklı değerler alacaktır. Bu hızların belirlenebilmesi için basit bir eşitlik olan eşitlik 2.1 kullanılır.

$$V_2 = V_1(h_2/h_1)$$

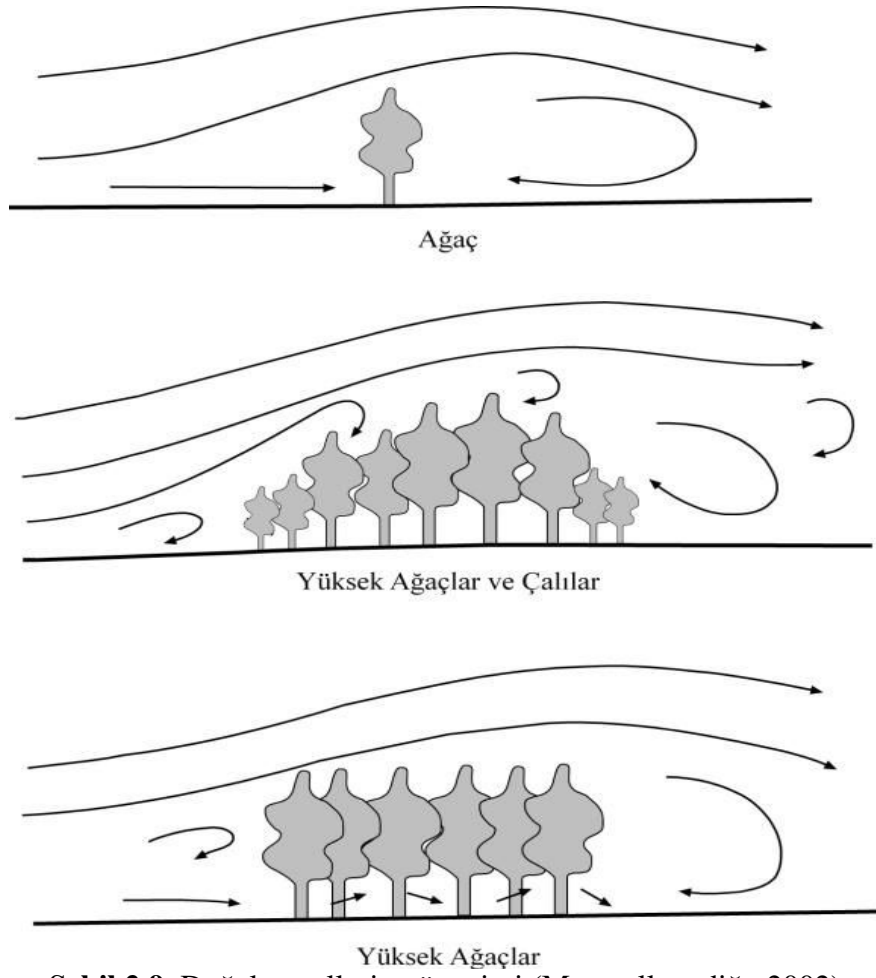
(2.1.)

Burada $h1$, ölçüm yapılan yüksekliği, $h2$, rüzgar hızı öğrenilmek istenilen yüksekliği, $v1$, ölçüm yapılan yükseklikteki rüzgar hızını, $v2$, $h2$ yüksekliğindeki rüzgar hızını verir, α deneysel, yüzey özelliklerine bağlı bir katsayıdır (Johnson, 2001).

Düz bir arazide akışı bozan engeller, doğal engeller (ağaç, kaya, vs.) ve insan yapımı engeller (ev, site, vs.) olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

İnsan yapımı engeller genel olarak geometrik yapılar oldukları için akışın bozulmalara uğradığı yer; türbülans gözlemlendiği, rüzgar hızının düşüş gösterdiği bölgeler tahmin edilebilir. Rüzgar ölçümünün yapıldığı bu tarz engeller içeren bölgelerde, ortaya çıkan akış bozukluklarına perdeleme etkisi denir. Perdeleme etkisi, engelin uzunluğuna, yüksekliğine, ölçüm alınan noktanın engele olan uzaklığına, ölçüm alınan noktanın yüksekliğine ve engelin geçirgenlik değerine bağlıdır. Geçirgenlik değer katı olan ev duvar gibi yapılarda sıfır iken, yoğun cisimler için 0.35-0.5 arasında değişir.

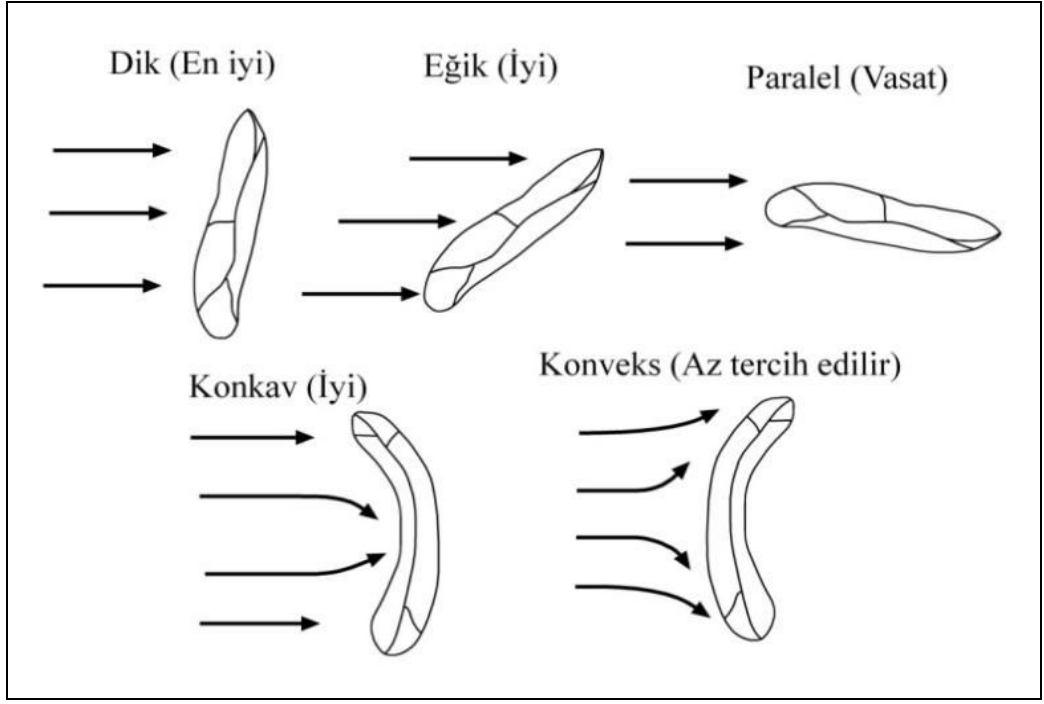
Doğal engeller (ormanlık arazi, su yüzeyleri, çalılık, çimen, vs) heterojen bir dağılıma sahip olup yüzey pürüzlülük özellikleri değişkenlik gösterir (Şekil 2.10). Bu durum rüzgarın akışında iki yüzey arasındaki geçişlerde bir geçiş tabakası oluşturmaya sebep olur ve bu geçiş tabakası rüzgar profilini değişmesinde etkilidir (Durak ve Özer, 2007).



Şekil 2.9. Doğal engellerin gösterimi (Manwell ve diğ., 2002)

Düz olmayan araziler, tepeler, sıradağlar ve dağlar olarak tanımlanır. Akışın zorlandığı bu tarz arazi yapısına bakıldığında esiş profilinde engele yaklaşan rüzgarın engelin hemen önünde bir iç sirkülasyon meydana getirdiğini, ardından engelin hemen üzerindeki akış profilinde bir türbülans oluşturduğunu, belli bir mesafeden sonra engelin akış profili üzerindeki etkisini kaybeder ve bu rüzgar hızını artırır (Durak ve Özer, 2007).

Sıradağlar, yeryüzüne yakın kesimlerde görülen soğumayla oluşan durağan havanın olmaması ve sırt üzerinde ivmelenme etkisiyle hızlanmış bir akışın gözlemlenmesi açısından rüzgar profili açısından olumlu, ancak yüksek kesimlerde hava yoğunluğunun düşmesi ve türbülanslı bir rüzgar profili gözlemlenmesi açısından olumsuz etkileyebilecek özelliklere sahip oluşumlardır (Şekil 2.11). Bununla birlikte rüzgarın akış yönüne göre uzanma şekli ve akışın denk geldiği sırtın şekli de rüzgar profili açısından önem teşkil eder (Durak ve Özer, 2007).



Şekil 2.10. Türbin alanının yeterliliği üzerine sırtın pozisyonu ve şeklinin etkisi (Manwell ve diğ., 2002).

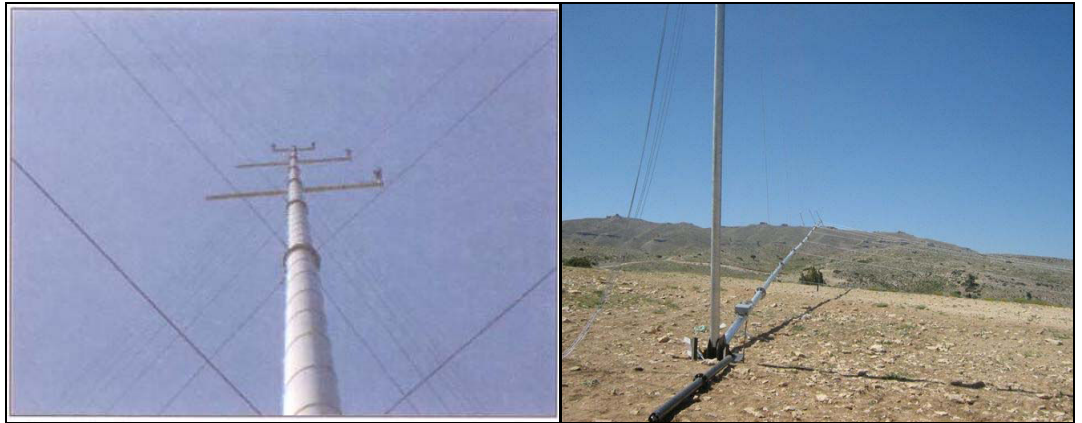
Bununla birlikte tepe ve dağ gibi lokal engellerde, hava engel üzerinden ve etrafından geçerken bir kanal içinde hareket eder gibi davranır. Havanın akışında tepenin biçimi ve boyutları da etkilidir. Pürüzsüz bir tepe üzerinden aşağı doğru akarken rüzgar akım vektörleri sıklaştığından rüzgar hızı artar. Bu hız artışı bitki örtüsüne de bağlı olarak 20-30 dereceden daha az eğime sahip tepelerde uygun bir rüzgar profili oluşturur. Bununla birlikte rüzgarın çarptığı tepenin dış bükey kısımlarından iç bükey kısımlarına doğru hızlanarak akacağı düşünüldüğünde daha uygun bir rüzgar profili oluşturduğu görülmektedir. Türbülans etkileri göz önünde bulundurulduğunda 400 metreden fazla uzun kayalıkların rüzgar profilini bozabileceği gözlemlenmiştir (Durak ve Özer, 2007).

3. RÜZGAR ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Rüzgâr elektrik santralinin projelendirilmesi, santral sahasından üretilebilecek enerji miktarına göre yapılır. Santral sahasından üretilebilecek enerji miktarı da proje sahasından alınan rüzgâr ölçümlerine göre belirlenebilmektedir. Bu nedenle Rüzgâr Enerji Santrallerinin kurulmasının ilk aşaması rüzgâr ölçümüdür. Rüzgâr ölçümleri, projenin veri değerlendirmesi, enerji üretiminin belirlenmesi, türbin seçiminin yapılması gibi projenin ileri aşamalarında en önemli unsurdur. Bu nedenle kaliteli ölçüm yapılmasına özen gösterilmektedir. En az 1 yıl süreyle rüzgâr değerleri kaydedilmektedir. Rüzgâr ölçüm işlemi bittikten sonra da en az bir ölçüm sistemi ölçüme devam ettirilmelidir (Durak ve Özer,2007)

3.1. Ölçüm Direkleri

Santral sahasının karmaşıklığına göre santral sahasını en iyi temsil edecek 1 ya da daha fazla ölçüm noktası belirlenir ve direkler bu noktalara kurulur. Ölçüm direkleri santral sahasındaki hakim rüzgâr yönüne dik olacak şekilde yerleştirilir. Ölçüm direğinin yüksekliği en az rüzgâr türbininin kule yüksekliğinin 2/3 katı kadar yapılır. Ölçüm direklerinin boru (tubular) ve kafes (lattice) tipleri mevcuttur. Boru tip direk bir bütün olarak yerde kurulur. Direk kurulduktan sonra ölçüm cihazları üzerine monte edilir ve ginpole adı verilen bir kaldırma mekanizması ile kaldırılarak yerine oturtulur. (Şekil.3.1) Bu tip direklerin dezavantajı, direktteki ölçüm cihazlarından herhangi birinde bir problem olduğunda direğin komple yere indirilip sorunu giderildikten sonra da yeniden kaldırılması gerektiğidir.



Şekil.3.1. (a) Boru tip ölçüm direği (b) Boru tip ölçüm direğinin ginpole ile kaldırılması
(Ataseven M., Ataseven S.)

Kafes tip direk topraktan başlayıp yukarıya doğru bir kedi basamağı gibi örülerek yapılmaktadır (Şekil.3.2). En önemli avantajı ölçüm cihazlarında bir problem olduğunda direğe tırmanarak sorunun giderilebilmesidir.



Şekil.3.2. (a) Kafes tip ölçüm direği (b) Kafes tip ölçüm direği kurulumu
(Ataseven M., Ataseven S.)

3.2. Ölçüm Cihazları Kurulum Ve Kontrol İşlemleri

Rüzgâr ölçüm sistemlerinde rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, nem ve basınç değişkenlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu değişkenleri ölçmek için ölçüm direğine sensörler monte edilir.

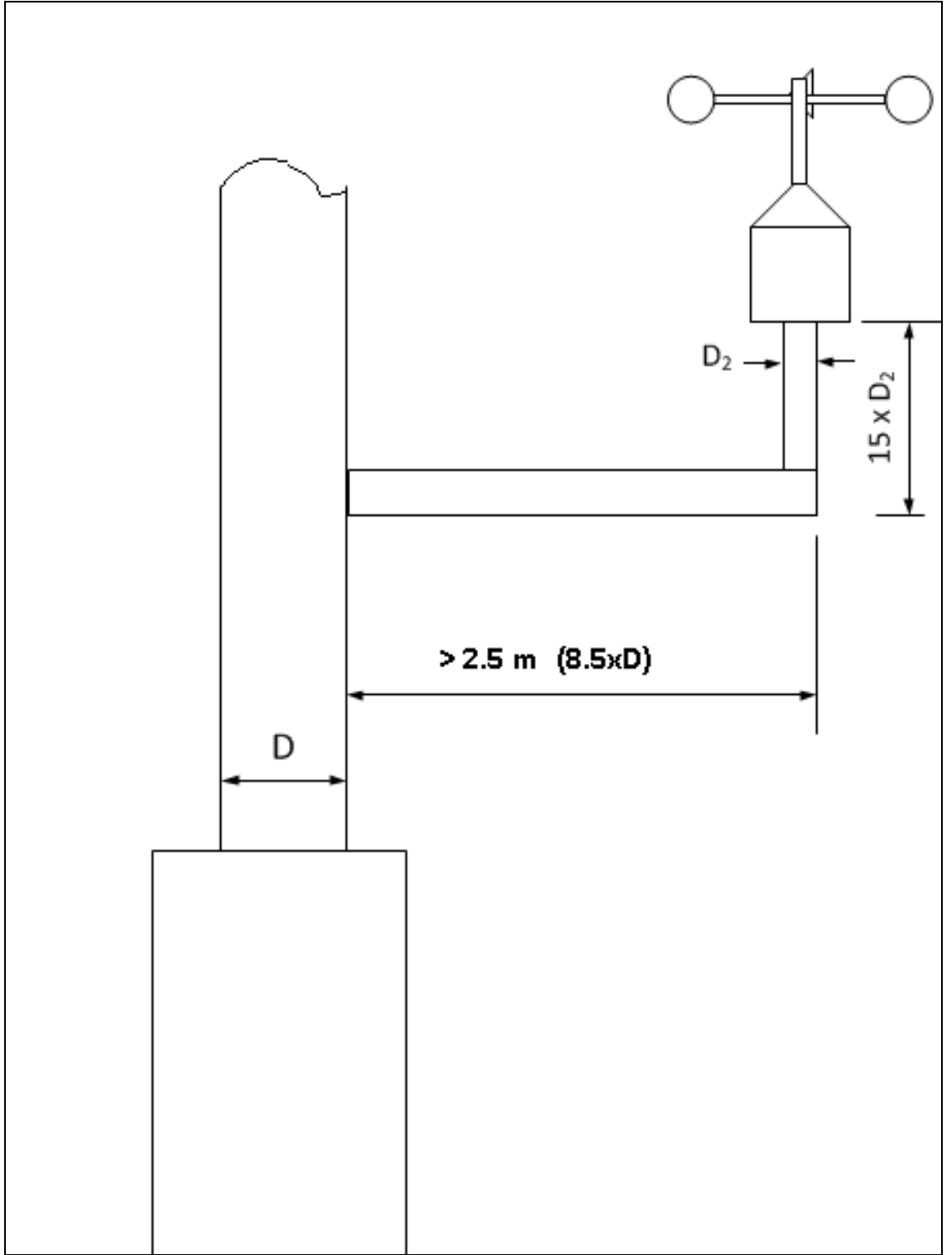
Rüzgar ölçüm direğinde ölçülecek meteorolojik değişkenler ve algılayıcının adı aşağıda verilmiştir:

Değişken adı	Ölçen Cihaz
Rüzgar Hızı	Rüzgar Hız Ölçer, Anemometre
Rüzgar Yönü	Rüzgar Yön Ölçer
Hava Sıcaklığı	Hava Sıcaklık Ölçer, Termometre
Bağıl Nem	Bağıl Nem Ölçer
Hava Basıncı	Basınç Ölçer, Barometre

3.2.1. Rüzgar Ölçüm Direği

1. Rüzgar ölçüm direği boyu en az 60 m. olmalıdır. Direk, boru veya kafes yapı şeklinde olabilir. Tüm direk, bağlantı kolları, ek malzemeleri ile gergi mekanizmaları paslanmaz malzemeden imal edilmiş olmalıdır.
2. Direk ve kolların dikey ve yatay konumları ile dengesini kaybetmemesi için direğin farklı yüksekliklerden yeterli sayıda gergi telleri ile zemine sabitlenir. Gergi telleri paslanmaz çelik halat olmalı ve kışın oluşabilecek buz yüküne ve gergiye dayanmalıdır. Zemin özelliğine göre, gergi telleri zemine beton ankraj, kimyasal çelik dübel gibi yöntemlerle sabitlenir.
3. Rüzgar ölçüm istasyonunda can ve mal emniyetine yönelik, gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması amacıyla koruma çiti ve uyarı tabelaları konulur.

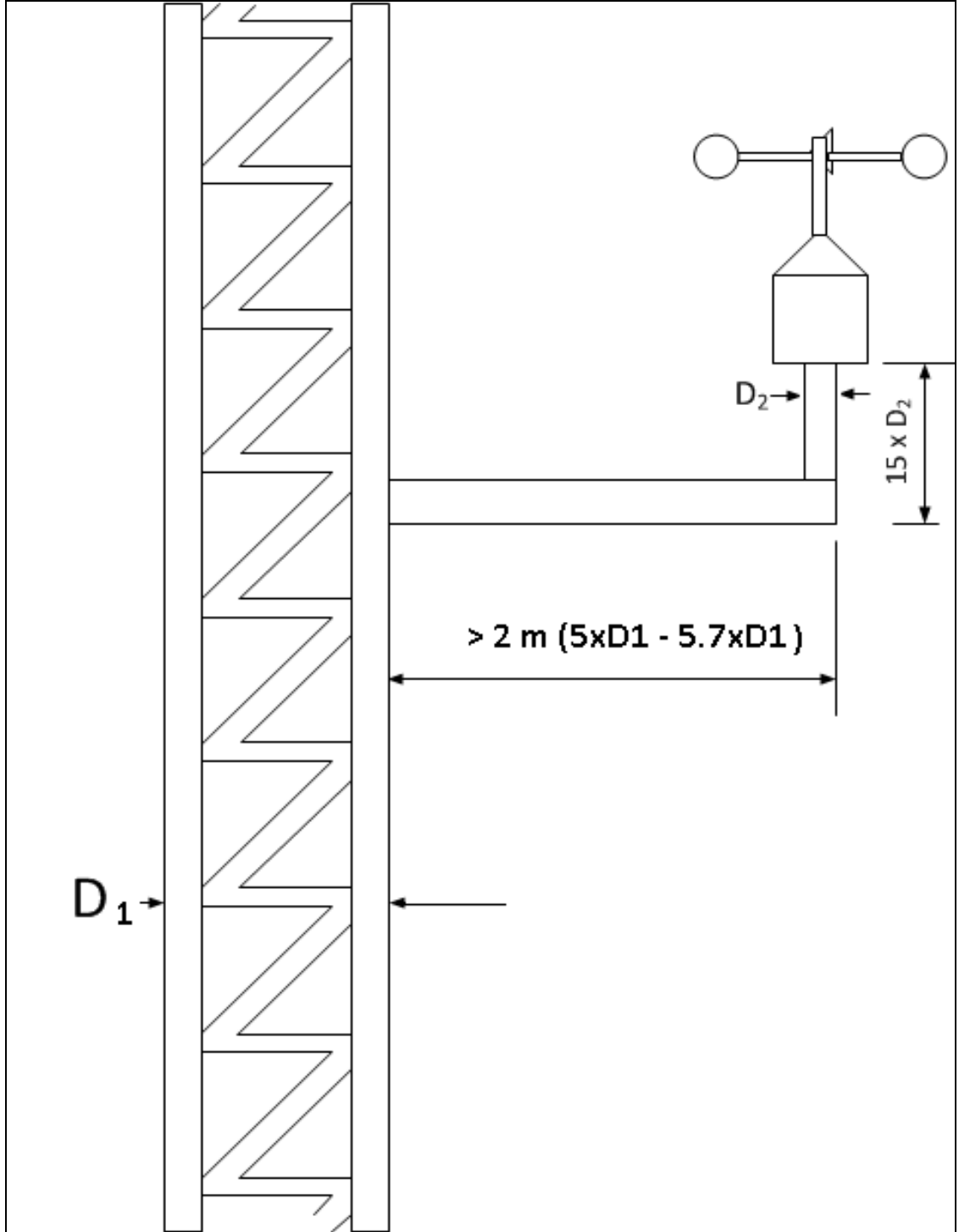
4. Rüzgar direğinin hava taşıtlarına tehlike oluşturmasını önlemek için, direğin tepesine gece ve gündüz sensörlü, kırmızı ışık yayan LED aydınlatmalı en az 1 adet uygun bir ikaz lambası kurulmalıdır.
5. Rüzgar hız ve yön ölçümü en az iki seviyede; birincisi 30 m. yükseklikte, ikincisi direğin en üst noktasında yapılır. En üstte bulunan anemometrenin direk eksenini üzerinde monte edilebilir. İlgili kuruluş en üst seviyedeki rüzgar hız ölçerinde arıza meydana gelmesi ihtimaline karşın, ikinci bir hız ölçeri uygun şekilde konuşlandırabilir.
6. İlgili kuruluş isterse, daha yüksek bir direk kurarak, ara seviyelerde de ölçüm yapılabilir.
7. Direk boru ise rüzgar ölçerin konulduğu yükseklikteki kesit çapı “**D**” Direk kafes yapılı ise rüzgar ölçerin konulduğu yükseklikteki kesit uzunluğu “ **D1** “ Rüzgar ölçerin bağlantı kolunun çapı veya kesit uzunluğu “ **D2** “ ise direğe bağlanan kolların ölçüleri şekildeki gibi olabilir (Şekil-3.3 ve Şekil-3.4).



Şekil 3.3. Boru Tipi Direk (URL-5.).

Yatay Kol uzunluğu $> 2.5 \text{ m. } (8.5 \times D)$

Düşey Kol uzunluğu $= (15 \times D_2)$



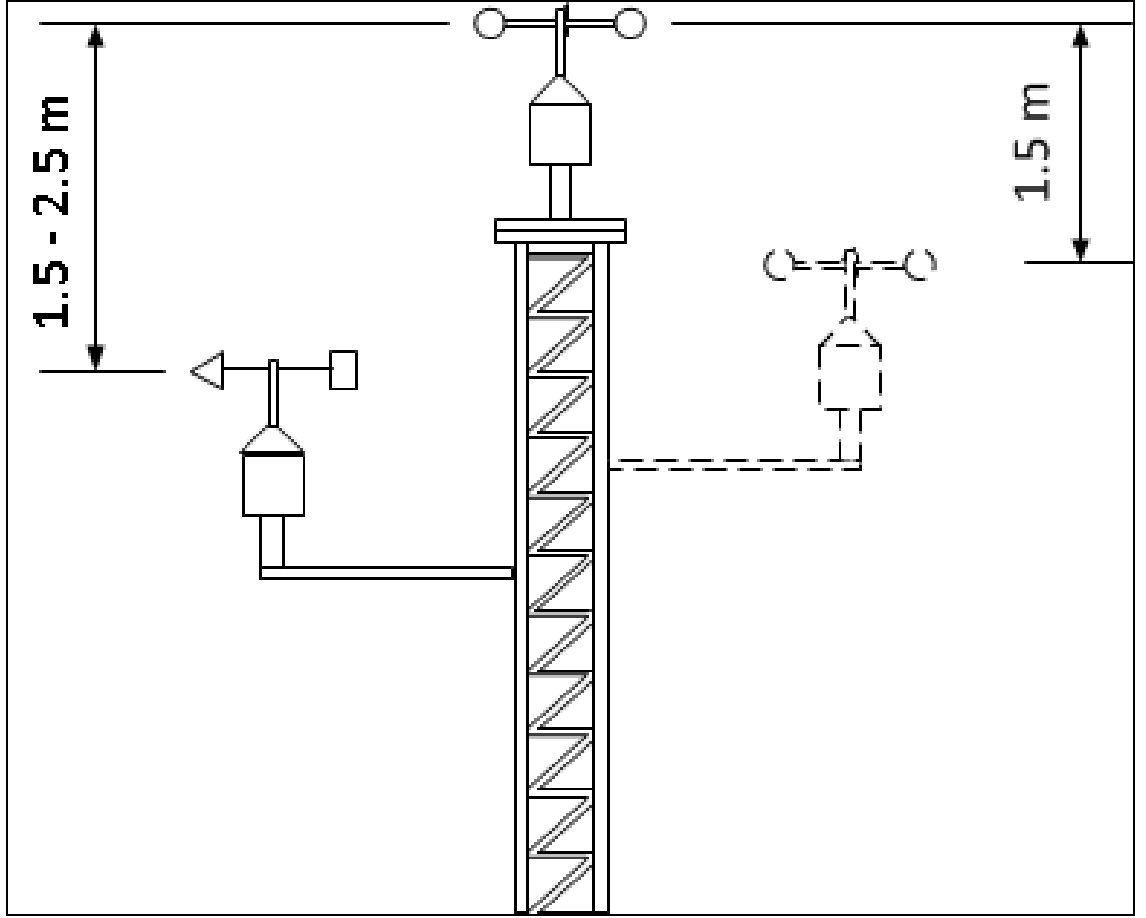
Şekil 3.4. Kafes tipi Direk (URL-5.).

Yatay Kol uzunluğu $> 2 \text{ m. } (5 \times D1 - 5.7 \times D1)$

Düşey Kol uzunluğu $= (15 \times D2)$

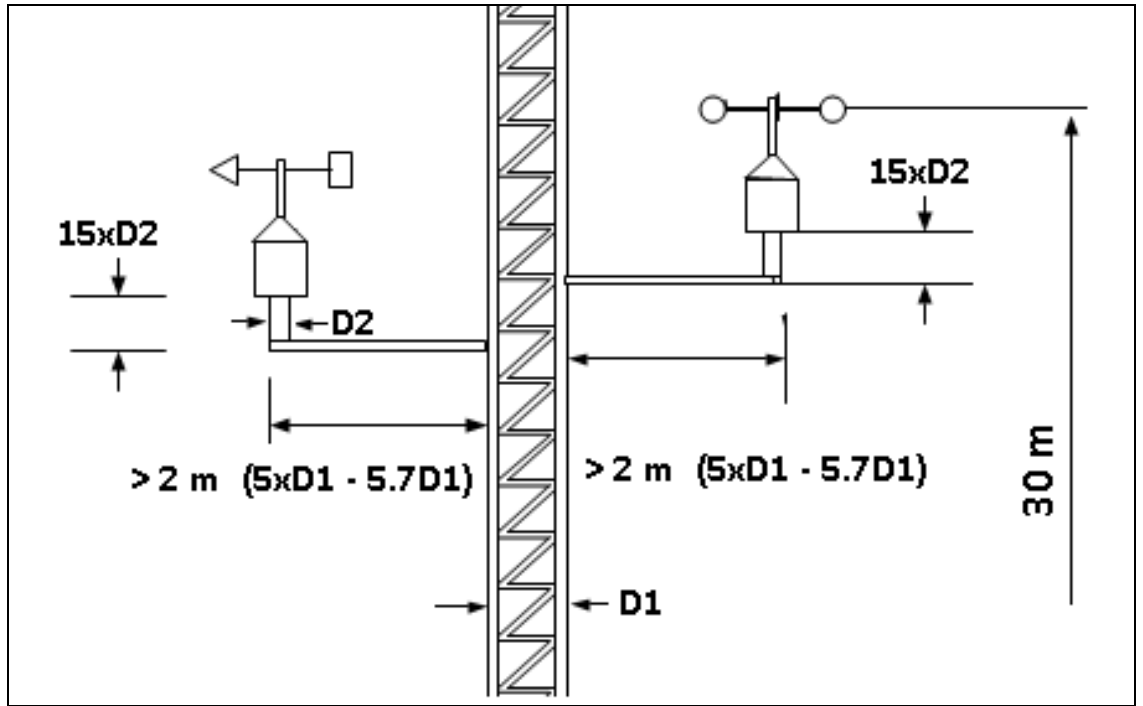
Yatay kolların mümkün olduğunca hakim rüzgar yönüne dik konuşturılabilir.

8. Anemometrelerden birisi direğin en üst noktasına ve direğin ekseninde kurulabilir.
9. Anemometrenin türbülans etkisinde kalmaması için rüzgar yön ölçer, anemometreden 1.5 ile 2.5 m. aşağıya kurulabilir.
10. En üst seviyedeki rüzgar hız ölçerde arıza meydana gelmesi ihtimaline karşın, ikinci bir hız ölçer kurulacaksa, en üst noktadaki hız ölçerden 1.5 m. aşağıya kurulabilir.

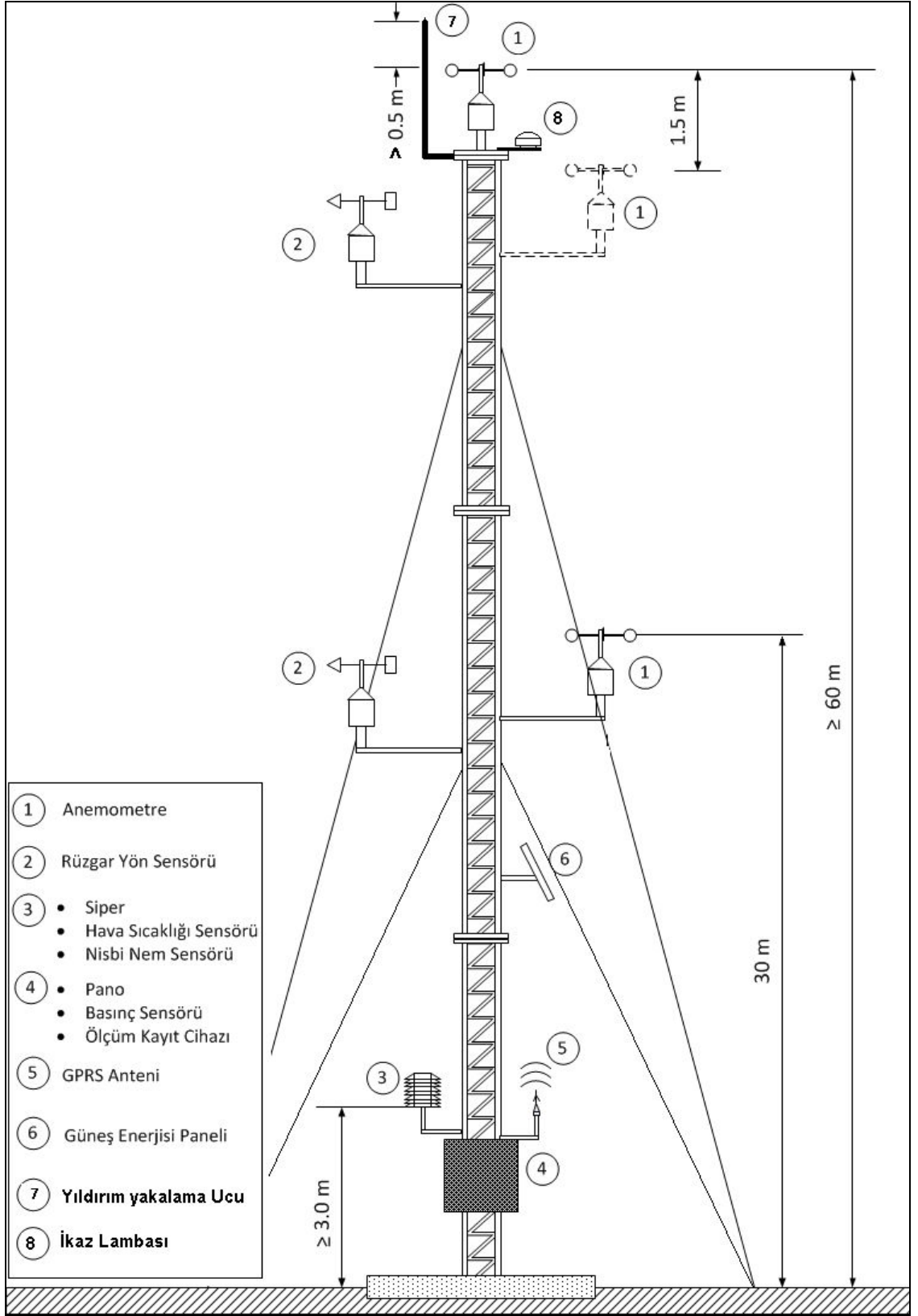


Şekil 3.5. Direğin En Üst Noktasındaki Rüzgar Ölçerler (URL-5.).

11. Anemometrelerden ikincisinin 30 m. yüksekliğe kurulması zorunludur.
12. Rüzgar Yön ölçer, hız ölçerin türbülans etkisinde kalmaması için 1.5 ile 2.5 m. Yukarı veya aşağı kurulabilir.
13. Yatay bağlantı kollarının direğe bağlantısı sağlam olmalı ve yatay durmalı, titreşim ve sallanma yapmamalıdır. Düşey kolların yatay eksene dik olacak şekilde (direğe paralel) kurulur.



Şekil 3.6. 30m. Yükseklikte Rüzgar Ölçerler (URL-5.).



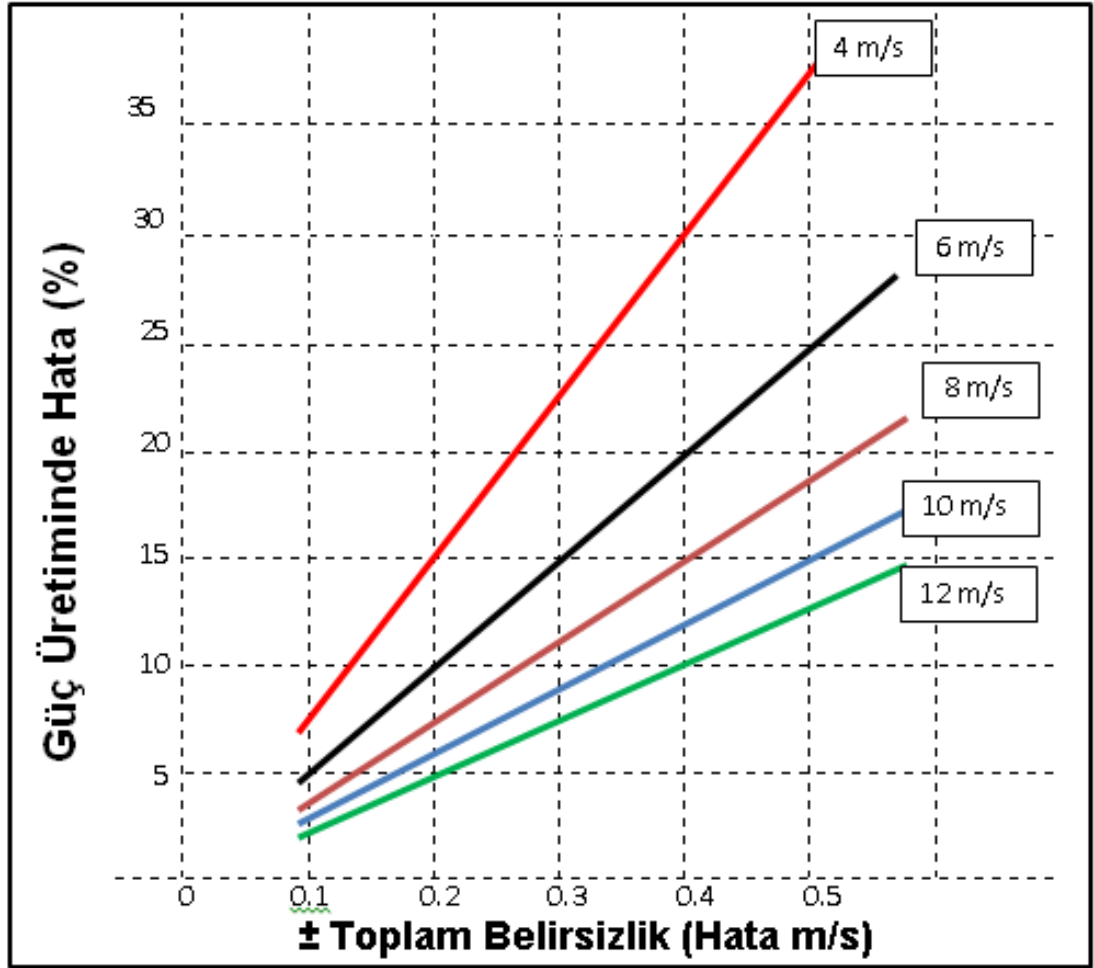
3.2.2. Topraklama ve Yıldırımdan Koruma

Ölçüm istasyonunun yıldırımdan ve ani voltaj dalgalanmalarından korunması için etkin bir yıldırımdan korunma ve topraklama sistemi kurulur. Önerilen yıldırımdan korunma ve topraklama sistemi aşağıda tanımlanmıştır:

- a. Direğin en üst seviyesindeki anemometreden en az 50cm. yukarı çıkacak ve anemometreyi 60° açıyla koruyabilecek uzunlukta (2 – 2.5m) som bakır yıldırım yakalama çubuğu konulabilir.
- b. Bu yakalama ucu, direğe mekanik olarak sabitlenmiş iniş iletkeni ile yere çakılacak en az iki adet topraklama çubuğuna bağlanması ve topraklama direnci en fazla 10Ω olacak şekilde topraklama yapılabilir.
- c. Tüm topraklamalar aynı noktaya bağlanılarak eş potansiyel sağlanabilir.
- d. Topraklama iniş iletkeni boğum veya sarkık görüntü yaratmayacak şekilde direğe mekanik olarak 2m. aralıkla sabitlenir.

3.2.3. Rüzgar Hız ve Yön Ölçerler:

- a. Rüzgar hızı ölçümü amacıyla kepçeli tip, rüzgar enerji projeleri için yaygın olarak kullanılan kendisini kanıtlamış anemometreler kullanılabilir. (Ölçüm hata oranı yüksek sensörler ile yapılan ölçümlerden elde edilecek rüzgar verilerinden yapılacak güç hesaplarında büyük yanılgılar ortaya çıkar. Aşağıdaki grafikte ± 0.4 m/s doğrulukla çalışan bir anemometre ile ölçülen ortalama 6 m/s rüzgar hızından üretilebilecek enerjide $\pm \%20$ hata yapılabileceği görülmektedir).
- b. Rüzgar yön ölçerler manyetik kuzey esas alınarak kurulmalıdır. Bu kurulumun, veri toplama ünitesinde (dataloger) herhangi bir düzeltme değerine ihtiyaç duymadan yapılabilir. Kurulumdan sonra pusula ile kuzey ayarı kontrol edilmeli ve dört yön testi yapılmalıdır.
- c. Ölçüm kontrolüne esas olan 30 metrede ve direğin en üst seviyesindeki ölçümler kepçeli tip rüzgar ölçerlerle yapılır, kombine rüzgar ölçer (hız ve yön bir arada), ultrasonik rüzgar ölçer, propeller rüzgar hız ölçer (pervane tip) kullanılmaz. Ancak, farklı seviyelerdeki ilave ölçümler için, başvuru sahibi bu sayılan tipte rüzgar ölçerlerden kullanabilir.



Şekil 3.8. Toplam Sensör Belirsizliği (Hata miktarı) ile Rüzgar Enerjisi Değişimi (%)

3.2.4. Diğer Sensörler

1. Hava sıcaklık ve nem ölçer direğin en az 3 m. yüksekliğine, güneş radyasyonundan doğrudan etkilenmeyecek ve hava sirkülasyonunu sağlayacak siper içerisine konularak direğe kurulumu yapılır.
2. Hava basıncı ölçer veri toplama kutusu içerisine konulabilir.
3. Firma farklı seviyelerde sıcaklık, nem veya basınç ölçümleri de yapabilir.
4. Başvuru sahibi; basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı sensörüne ait güncel (öngörülen ölçüm periyodunu kapsayan) kalibrasyon sertifikasını kurulum kontrolünde MGM personeline verir.

3.2.5. Veri Toplama Ünitesi (Datalogger)

1. Veri toplama ünitesi (datalogger), koruma üniteleri, iletişim cihazları ile enerji besleme üniteleri IP66 koruma sınıfına sahip bir kutu içerisine konulur. Kutu çevresel etkilerden etkilenmeyecek şekilde uygun yüksekliğe kurulur.

2. Veri toplama ünitesi (datalogger), sensörlerden gelen elektriksel sinyalleri meteorolojik parametrelere çeviren bir programın çalıştığı elektriksel ölçüm ve kayıt cihazıdır. Başvuru sahibi tüm sensörler için elektriksel sinyallerin meteorolojik parametrelere çevrilme katsayı, düzeltme vb. değerleri veri toplama ünitesi programında gösterir.
3. Veri toplama ünitesi, sensörlerden ölçülen ve hesaplanan verileri en az 1 (bir) yıl saklama özelliğine, iletişim elemanları ve bakım amaçlı bağlantılar için iletişim portları ile sensörlerden ve yıldırımdan gelebilecek darbeler için koruyucu devrelere sahip olabilir.

3.2.6. Kablolama

1. Tüm sensör ve enerji kabloları, cihaz emniyeti, görsel iyileştirme, direk üzerinde yük ve titreşim oluşturmaması için düzgün bir şekilde 1 m. aralıkla direğe ve kollara klipsle bağlanır.
2. Veri toplama ünitesinde sensör, enerji ve iletişim sistemi bağlantıları dayanıklı ve anlaşılır şekilde etiketlenir.
3. Tüm sensörlere ait kalibrasyon sertifikaları ve broşürleri ile sahada çekilen panoramik kurulum fotoğrafları rapora eklenir.
4. Rüzgar ölçüm sisteminde, herhangi bir sebeple oluşabilecek hasar, bozulma veya veri kaybı gibi durumlar başvuru sahibinin sorumluluğundadır.
5. Aynı saha içerisinde farklı veya aynı kuruluşlara ait birden fazla rüzgar ölçüm istasyonu kurulması halinde, bir istasyonun diğer istasyonlardan uzaklığı, kurulan direk boyunun en az 3 katı olmalıdır.

(R.G 22.02.2012 tarih ve 2012/01 sayılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tebliği)

3.2.7. Rüzgar Ölçüm İstasyonunda Kullanılacak Sensörlerin Asgari Özellikleri

Tablo 3.1. Sensörlerin Asgari Özellikleri

Sensör Adı	İstenilen Özellikleri	İlave Özellikler
Rüzgar Hız Ölçer	Ölçüm aralığı : 0 - 75 m/sn Eşik değeri : 0.5 m/sn Çözünürlük : 0.1 m/sn Doğruluk : ± 0.5 m/sn (5 m/sn ye kadar), ± 10 % (5 m/sn'nin üzerinde) Mesafe sabiti : 2 - 5 m	
Rüzgar Yön Ölçer	Ölçüm aralığı : 0. . . 360° Çözünürlük : 1° Doğruluk : $\pm 5^\circ$	
Hava Sıcaklığı Ölçer	Ölçüm aralığı : - 40 °C. . . +60 °C Çözünürlük : 0.1 °C Doğruluk : ± 0.3 °C	Sensör uygun şekilde havalandırılan özel siperi içine kurulacaktır. Sıcaklık sensöründe kullanılan siper güneşlenmeden en az etkilenen bir maddeden yapılmış olmalıdır.
Hava Nemi Ölçer	Ölçüm aralığı : %0. %100 Çözünürlük : %1 Doğruluk : % 3	Sensör uygun şekilde havalandırılan özel siperi içine kurulacaktır. Nem sensöründe kullanılan siper güneşlenmeden en az etkilenen bir maddeden yapılmış olmalıdır.
Basınç Ölçer	Ölçüm aralığı : 750.....1050 hPa Çözünürlük : 0.1 hPa Doğruluk : ± 0.3 hPa (tam ölçüm aralığında) Kararlılık : ± 0.5 hPa / yıl	
NOT: Başvuru sahibi; basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı sensörlerine ait güncel (öngörülen ölçüm periyodunu kapsayan) kalibrasyon sertifikalarını kurulum kontrolünde verir.		

3.3. Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulması Aşamaları

Bir yörede rüzgar gücünün türbinler vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi için aşağıda sayılan ön çalışmaların tamamlanması gereklidir. Bu çalışmalara ofis, arazi, varsa MGM rüzgar verileri ve uzman kişi görüşleri ile halktan alınacak bilgilerinde işlenmesi girer. Ön çalışma olarak aşağıdaki adımların sırası ile tamamlanması gereklidir.

- a. Potansiyeli olan arazinin tespiti: Bunun için önce topografya haritaları, ortofoto resimler, önceden bu yöre veya onunla yakından ilgisi olabilecek yakın yöreler için yapılmış çalışmalar ve bunlarında ötesinde gerekli ön bilgilerin ofiste elde edilmesinden sonra arazi çalışmaları başlanır. Rüzgar enerjisi üretimine uygun yerlerin haritalardan ve daha önce yapılan rüzgar kayıtlarından bir dereceye kadar tespit etmek mümkün olmasına karşılık nokta bazında yerlerin tespit edilmesi için mutlaka araziye gidilmesi gereklidir. Bu arazi gidişi bir gün için değil yerine göre birkaç hafta da olabilir. Bu esnada o yörenin mülki amirlerinden, muhtarlarından, belediye başkanlarından ve hatta kahvelerde halktan gerekli bilgiler alınmalıdır. Daha sonra tespit edilen noktalara kişisel ziyaretlerin yapılarak buralar için kişinin uzman görüş ve bilgileri ışığı altında son kararların verilmesine gidilir.
- b. En az bir yıl boyunca kayıt yapılmış olması: Bakanlığa müracaat edilebilmesi için rüzgar enerjisi verimliliğinin olduğu sanılan yerde veya yakınında en az bir yıl boyunca saatlik rüzgar yön ve hızlarının kayıtları bulunmalıdır. Böyle ayrıntılı bilgilerin MGM tarafından yapılmış ölçümleri yoksa şayet MGM'ye müracaat edilerek ölçüm yapılması sağlanmalıdır.
- c. Verilerin uygun analizinin yapılması: Elde edilen veriler genel olarak bir zaman serisi şeklindedir. Buradan gerekli veri türlerinin işlenerek üretilmesi gereklidir. Bunun için önce yönler göre esme sayıları, sıklık analizleri, gerekirse teorik dağılım fonksiyonları (özellikle Weibull veya Logaritmik normal dağılım) elde edilmelidir. İstatistik büyüklüklerin gün ve ay bazında elde edilmesinde yarar vardır.
- d. Arazinin potansiyelinin çalışılması: İlgi duyulan bölgede birden fazla küçük alan veya noktada rüzgar enerjisi üretmek elverişli olabilir. Bunun için o yöre gezilerek ve değişik noktalar için elde edilen bilgilerin haritalar haline (yaklaşık bile olsa) getirilmesi ile rüzgar enerjisinin bölgeselleştirilmesi yönüne gidilir. Böylece o bölgede ne kadarlık bir rüzgar gücünün (MW) elde edilebileceği

hesaplanır. Burada daha önce hazırlanmış ve adına WASP denilen bir yazılımdan da faydalanma yoluna gidilebilir. Bu program verilen bilgilerin ışığı altında, o bölgede topografya haritası, meteorolojik şartlar ve sınır tabakası pürüzlülük katsayısı gibi büyüklüklerin verilmesi ile kaç tane noktaya ve nerelere rüzgar türbininin kurulabileceği hakkında bilgi verir. Programın verdiği bu noktaların daha sonradan yapılacak arazi çalışmaları ile ekonomiklik, ulaşılabilirlik ve elektrik hattı sorunları da göz önünde tutularak son şekil verilmelidir. Yoksa programın verdiği her noktaya olduğu gibi türbin kurulması yoluna gidilirse çözüm pratik olmayabilir ve aynı zamanda pahalıdır.

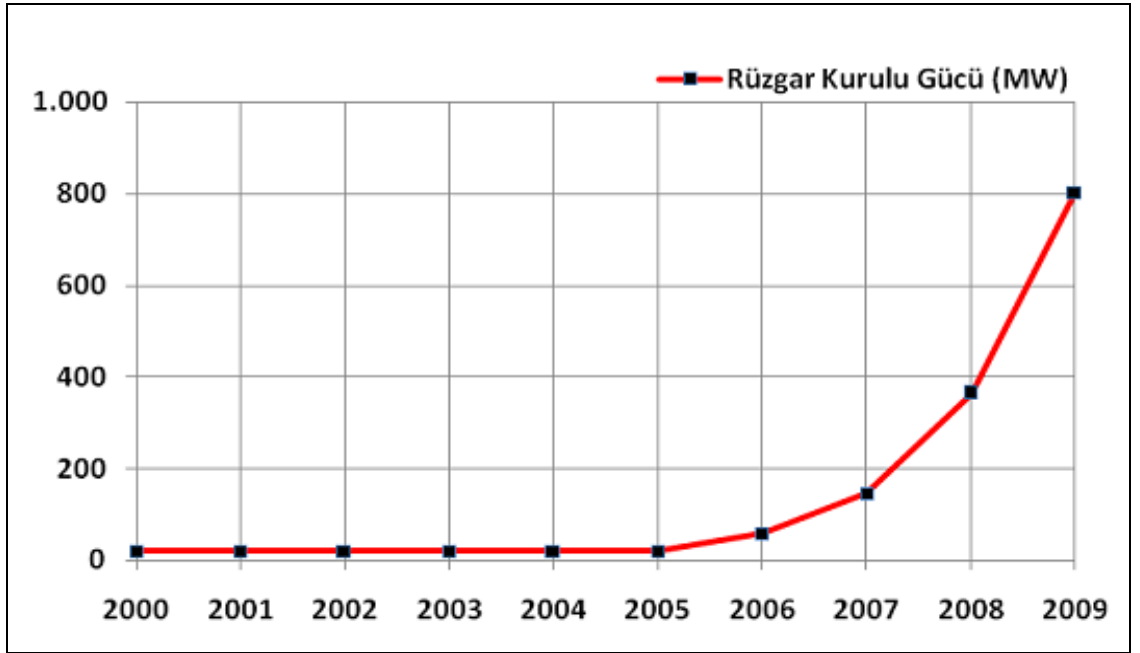
- e. Uygun türbin kapasitesi seçimi: Bölgedeki rüzgar yön ve özellikle hızlarının göz önünde tutulması ile yapılan rüzgar gücü hesaplamalarından sonra piyasada mevcut olan türbinlere göre kapasite belirlenir. Son zamanlarda pratikte yaygın olarak 600 kW veya 1 MW'lık türbinlerin kullanılması yoluna gidilmektedir. Buradan o bölgede kaç tane rüzgar türbininin çalışmasının mümkün olacağı tespit edilir. Bu tespit bir bakıma arazi şartları bakımından da sınırlı kalabilir. Bazı yerlerde türbinler arasında en azından 200 m mesafe bulunması istendiğinden fazla sayıda türbin kurulmasına elverişli açık bir alan bulunmayabilir.
- f. Santral projesinin hazırlanması: Bölgedeki rüzgar türbini konumuna, sayısına ve gücüne karar verdikten sonra türbinlerin inşası için gerekli projenin hazırlanması yoluna gidilir. Burada türbini taşıyacak olan zeminin taşıma gücüne kadar incelemelerin yapılması gereklidir. Çok ayrıntılı olan böyle bir projenin bir takım halinde hazırlanarak geliştirilmesinde yarar vardır. Burada da değişik arazi çalışmalarına gidilmelidir.
- g. Gerekli kurumlara başvurarak izinlerin alınması: Yukarıdaki hazırlıkların tümünün yapılmasından sonra Enerji Bakanlığının yap işlet devret (BOT) veya kendin-üret (otoprodüktör) usulüne göre hazırlanacak evraklarla Ankara'ya başvurulması gerekmektedir.
- h. Zemin çalışmalarının yapılması: Rüzgar türbininin her biri 35-40 ton ağırlığında olduğundan ve üzerine fırtınalı zamanlarda dinamik rüzgar yükleri de geldiğinden sağlam zemine sağlam biçimdeki temellerle oturtulması gereklidir. Bunun için gerekli ön zemin etütlerinin türbinler dikilmeden önce yapılmış olması şarttır. Zeminin gerekli yükleri taşıyamaması halinde önceden planlanan rüzgar türbini konumu daha sağlam, yakın bir noktaya taşınabilir.

- i. Türbinlerin kurulması: Türbinlerin dikilmesi özel ihtisası olan kişiler ve firmalar tarafından yapılmalıdır.
- j. Elektrik iletim hatlarının çekimi: Türbinlerin kurulmasına karar verildikten sonra rüzgardan üretilecek elektrik enerjisinin ne kadarlık bir kısmı yerel tüketilerek ne kadarının başka kullanım yerlerine iletileceğine göre iletim hatlarının da inşasına başlanmalıdır.
- k. Deneme üretimi: Projenin gerçekleştirilmesi sırasında konumlardan bir veya birkaçına öncelik tanınmalıdır. Bu öncelik ekonomik ve enerji üretimi yüksekliği ile ulaşım imkanlarının kolaylığı bakımında olmalıdır. Böylece başlangıçtaki bir veya iki türbin tam olarak bitirilerek üretime geçilirse o yörede hesaplara göre beklenen sonuçların bir kıyası yapılarak daha sonraki türbinlerin konumlarında olabilecek değişimlere veya türbin sayısında olabilecek azaltmalara karar verilebilir.

4. TÜRKİYEDE ve DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİNİN DURUMU

4.1. Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu

1998’de otoprodüktör olarak İzmir, Çemede bölgesinde 1.74 MW kurulu güç ile ilk rüzgar enerjisi santralinin kurulmasıyla Türkiye’de rüzgar sektörüne giriş yapılmıştır. Bundan sonra 2006 yılıyla birlikte rüzgar sektöründe gelişmeler başlamıştır. 2000 yılından 2009 yılına kadar Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücü 800 MW’a ulaşmıştır (ETKB, 2010). Yıllık gelişimine göre kurulu güç artışı Şekil 1.12’de verilmiştir. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından bildirilen Türkiye’de kurulma imkanı olan toplam rüzgar enerjisi santrali kurulu gücü 131,756.40 MW’dır.



Şekil 4.1. Türkiye’de 2000-2009 rüzgar kurulu gücü gelişimi (URL-6.).

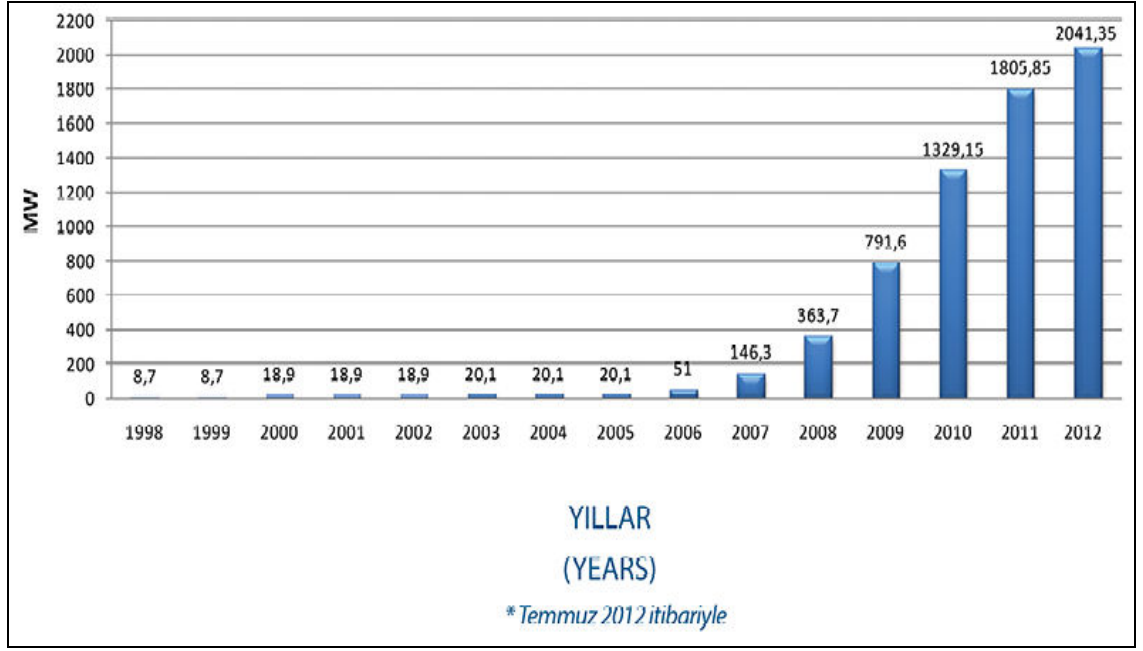
Türkiye’de bu kapsamda çıkarılmış kanunlardan; “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği” gereğince “Bir bağlantı noktasında, sistemin kısa devre gücünün en fazla %5’i kadar kurulu güçte rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilir.” (T.C. Resmi Gazete S. 25639, 2004; T.C. Resmi Gazete S. 27007, 2008) denilerek tesisin gücü kısa devre gücünün %5’i ile sınırlandırılmıştır.

Ayrıca 18/4/2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunun 17. Maddesiyle, 10/5/2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 6. maddesinde yapılan değişiklikle yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik enerjisinin satın alınması için uygulanacak fiyat “c) Bu Kanun kapsamında satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat; her yıl için, EPDK’nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye

ortalama elektrik toptan satış fiyatıdır. (T.C Resmi Gazete S.25819, 2005, T.C. Resmî Gazete, S. 26510, 2007) Ancak uygulanacak bu fiyat 5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5.5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamaz. Ancak 5.5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişiler bu imkândan yararlanırlar.” (T.C. Resmî Gazete, S. 26510, 2007) ile belirlenmiş, aynı yasanın 8. Maddesi, 5627 sayılı kanunun 18. Maddesi ile değiştirilerek (T.C. Resmî Gazete, S. 26510, 2007) rüzgar enerjisi kaynaklı elektrik üreten santrallere alım garantisi getirilmiş, teşvik amaçlı olarak kurulum için arazi ve santral sahası temininde kolaylık sağlanmıştır.

Bununla birlikte 2009 yılında Türkiye, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda uluslararası tek anlaşma olan Kyoto protokolüne imza atmasıyla, atmosfere salınan sera gazı miktarının %5’e çekilmesini, endüstri motorlu taşıt ve ısıtmadan kaynaklanan sera gazını azaltmayı amaçlayan mevzuatların düzenlenmesini, daha az enerjiyle ısınma, araçların daha uzun yol katetmesi, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerinin endüstride kullanılmasının sağlanması, atmosfere bırakılan metan ve karbondioksit oranının düşürülmesi için alternatif enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi, fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten fazla vergi alınması gibi şartları da uygulayacağını kabul etmiştir (T.C Resmi Gazete S.27227, 2009).

Aynı zamanda WWEA 2009 raporuna göre Türkiye Rüzgar sektöründe büyüme oranı olarak %132 ile ikinci en yüksek oranda büyümeyi göstermiştir. Raporda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Anlaşması’na uyum sağlamak amacıyla yaptığı çalışmalarla Türkiye’nin yenilenebilir enerji alanında, hızla dünya çapında bir gelişme göstereceği belirtilmektedir. Yıllara göre Türkiye’deki rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından kümülatif dağılımı Şekil 4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yıllara göre Türkiye’deki rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından kümülatif dağılımı (URL-7.).

4.1.1. Milres Projesi

Ülkemizde gelişen elektromekanik, imalat ve inşaat sanayileri uluslararası pazarlarda yüksek rekabet gücüne sahip oldukları halde bu sanayilerin bir çeşit entegrasyonu sayılabilecek rüzgâr türbinleri teknolojisinde tam bir dışa bağımlılık söz konusudur. Üstelik tamamıyla yurtdışından ithalat yoluyla gelen rüzgâr türbinlerinin ülkemiz rüzgâr rejimine ve iklim şartlarına uygunlukları sıkıntılıdır, verim problemleri ve ciddi işletme zorlukları söz konusudur. Rüzgâr teknolojisindeki bu aşırı dışa bağımlılık önemli bir milli gelir kaybına yol açmaktadır.

2 Kasım 2011 tarihi itibariyle 662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile kuruluşuna dair kanunun yürürlükten kaldırılmasıyla "Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü" haline getirilen Elektrik İşleri Etüt İdaresi, ülke olarak halen 2 GW civarında işletmeye alınmış toplam RES kurulu gücümüzün önümüzdeki 10 yılda, Cumhuriyetimizin 100. yılı olan 2023’de, 20 GW olacağını öngörmektedir. 20 yıllık dönemde bu rakamın 40 GW olması beklenmektedir. Şu anda orta ve büyük ölçekli (500 kW ve üstü) endüstriyel rüzgâr türbinlerinin maalesef tamamı ithal edilmektedir. MW başına 1.5 milyon Amerikan doları (USD) piyasa değerinden hesaplarsak 20 yıl içinde rüzgâr türbinleri için yurt dışına akacak milli kaynağın 60 milyar USD civarında olacağı beklenmelidir. Ülkemiz rüzgâr sınıfına uygun, özgün ve ulusal rüzgâr türbin tasarımları geliştirilerek

20 yıl içinde iç pazarın hiç değilse %25'inin yerli üretim olması ve dolayısıyla 15 milyar USD milli kaynağın yurtdışına akmasının önlenmesi hedeflenmelidir.

Bu düşünceyle çeşitli üniversiteler, araştırma kurumları ve özel sektörden firmaların oluşturduğu ülke çapında büyük bir konsorsiyum kurularak **“Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi - MİLRRES”** başlıklı bir Ar-Ge ve uygulama projesi hazırlanmıştır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı için yapılacak olan bu TÜBİTAK projesi için beş yürütücü kurum ortaklığı kurulmuştur.

1. Sabancı Üniversitesi
2. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ/TAI)
3. İstanbul Ulaşım A.Ş.
4. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü
5. İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu beş yürütücü kurumun yönetiminde çalışan GYTE, YTÜ ve KOÜ (Kocaeli Üniversitesi) gibi başka üniversiteler ile imalatçı ve mühendislik firmaları bulunmaktadır. Endüstriyel ölçekli büyük rüzgâr türbinlerinin geliştirilmesi ve yerli imkânlarla imalatının gerçekleştirilmesi için başlatılacak proje ile ilk aşamada 500 kW'lık rüzgâr türbinlerinin geliştirilmesi ve bu prototipler deneme amaçlı kullanılarak tasarımları olgunlaştırıldıktan sonra 2.5 MW'lık türbin prototipinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Tablo 4.1' de MİLRRES projesi ve sonrası hedefler tasvir edilmiştir. Projede geliştirilecek tasarımlar özgün olup bu tasarımlardan uygulamaya uygun olanlar bilimsel analizler ve prototip testleri ile belirlenecektir. Denemeleri başarıyla geçen tasarımlar 2.5 MW'lık türbin sistemlerine aktarılacaktır. Proje kapsamında hazır alınacak bazı alt sistemler (frenler, hidrolik ekipman, asansör, trafo, kaplin vb) dışında kule dâhil bütün ana bileşenler (kanatlar, göbek, dişli kutusu, generatör, evirici, makine dairesi vb) kurulan ekibin çalışmalarıyla geliştirilecek olup tamamen özgün tasarımlar olacaktır. Ortaya çıkacak tasarımlar olabildiğince yerli imkânlarla seri imalata geçirilebilecektir.

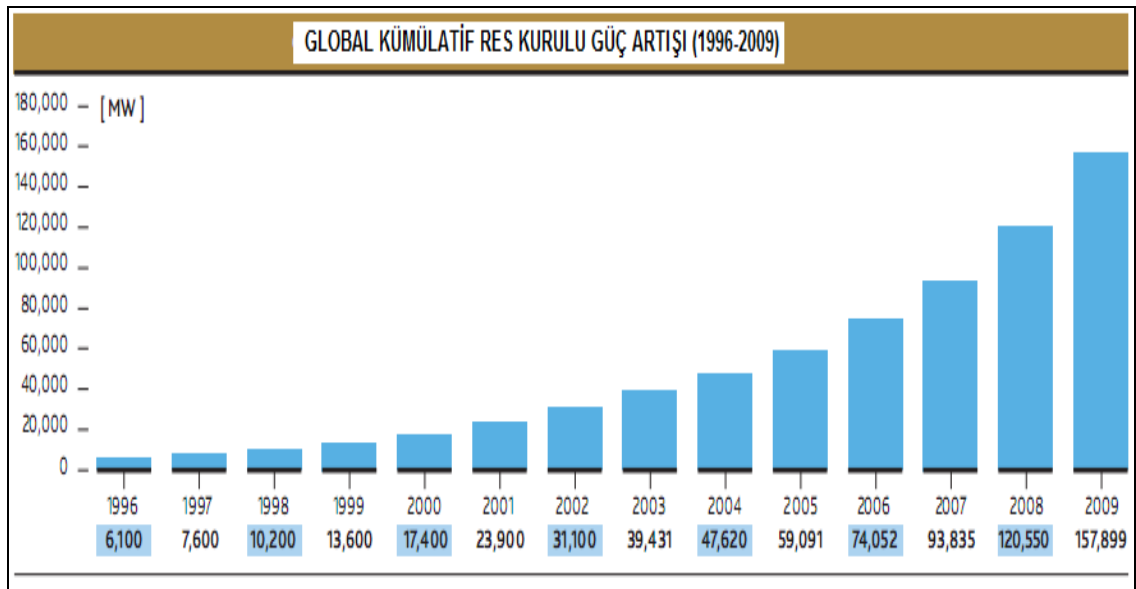
Tablo 4.1. MİLRRES Hedefleri

Üretim	Yıl
2x500 kW	2012
2.5 MW	2014
5.0 MW	2016
8.0 MW	2018

Ülke olarak henüz başlangıç seviyesinde bulunduğumuz rüzgâr enerjisi teknolojilerinde tamamıyla yerli rüzgâr enerji santralleri geliştirmek ve kurmak gibi büyük bir hedefi olan böylesi projelerin gerçekleşmesinde devlet desteği kaçınılmaz olmaktadır. Nitekim Almanya hükümetinin ülkedeki rüzgâr teknolojilerini olgunlaştırmak maksadıyla 2 MW' lık bir prototip geliştirilmesi için 110 milyon Avro harcadığı bilinmektedir. Benzer bir düşünceyle MİLRES Projesi kapsamında kurulan çok ortaklı konsorsiyum vasıtasıyla ağırlıklı olarak dışa bağımlı olduğumuz enerji sektöründe yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımızın değerlendirilmesi ve dahası teknolojiye dışa bağımlılığımız azaltılarak bu alandaki yeteneklerimizin yaygınlaştırılmasına yönelik büyük bir atılım yapılmış olacaktır. Rüzgâr teknolojilerinin ülkemiz rüzgâr koşulları da dikkate alınarak gelişimi sağlanacak, bu sayede istihdam ve iş alanları oluşturularak enerji sektörümüzün ve bağlı birçok alt imalat sanayimizin gelişimi temin edilecektir.

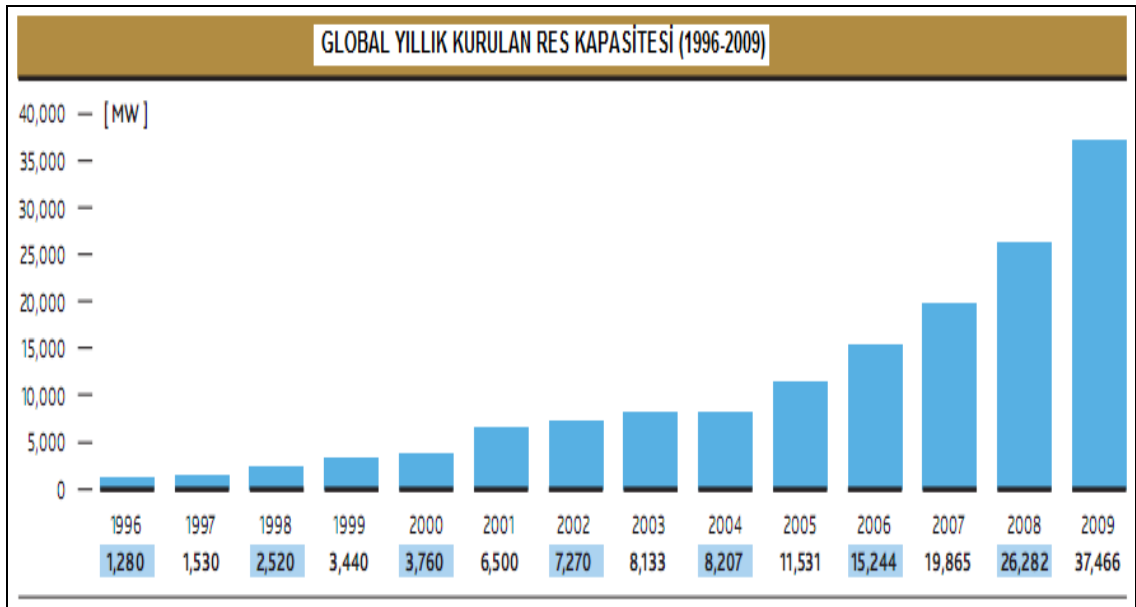
4.2. Dünya' da Rüzgar Enerjisinin Durumu

Avrupa'da olduğu gibi, bütün dünyada rüzgar enerjisi en hızlı yayılan enerji kaynağı olmuştur. Global olarak 1996-2009 yılları arasındaki yıllık kümülatif artış Şekil 4.3. ile görülmektedir. Özellikle 2005 yılından sonra ciddi bir artış gözlenmiştir. Bunda sadece Avrupa ülkelerinin değil; Amerika, Çin ve Hindistan'ın kurulu güç artışları etki etmiştir. WWEA' nın 2009 rüzgar enerjisi raporuna göre bu sene eklenen 38,312 MW güç ile rüzgar enerjisi toplam kurulu gücü 159,213 MW' a ulaşmıştır. Bu artış ile birlikte %31,7'lik büyüme oranı ile 2001'den beri en yüksek büyüme oranını sergilemiştir. 2009'un sonunda kurulan bütün rüzgar türbinleri ile beraber 340 TWh üretim yapılabilmektedir, bu rakam dünyanın yedinci büyük ekonomisine sahip İtalya'nın toplam elektrik talebine ve küresel elektrik tüketiminin %2'sine denk gelmektedir. Rüzgar sektörünün 2009 yılı itibariyle toplam cirosu 50 milyar Euro'yu bulmuştur. Sektörün 2009 yılında 550,000 kişiye sağladığı istihdamın 2012 ile birlikte bir milyon kişiye iş imkanı sağlanması beklenmektedir. Dünyadaki toplam kurulu güç artışları senelere göre Şekil 4.' de görülmektedir. (WWEA, 2010)



Şekil 4.3. Global Kümülatif Res Kurulu Güç Artışı (URL-8.).

1996-2009 arasındaki yıllık global rüzgar enerjisi kurulu gücünün artışı Şekil 3 ile görülmektedir. 2006 yılından sonra yıllık 15,000 MW üzerine çıkan bir RES kapasitesi, 2009 yılında 37,466 MW olarak rekor kırmıştır.



Şekil 4.4. Global Yıllık Kurulan Res Kapasitesi (URL-8.).

5. RÜZGAR ENERJİSİ MALİYET ANALİZİ

Rüzgâr Enerjisi mevcut üretim teknolojileri ile kW başına yüksek sermaye gerektiren ancak yakıt ve işletme maliyeti en düşük olan bir enerji kaynağıdır.

Rüzgar enerji maliyetini belirleyen etkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Yatırım giderleri (kurulum alanı, şebeke bağlantısı dahil)
- İşletme ve bakım giderleri
- Kapasite faktörü
- Türbin çalışma ömrü
- Dış maliyetler

Özellikle yatırım giderleri ve kapasite faktörü ekonomik verimlilik açısından kritik önem taşımaktadır.

Kapasite faktörü, tesisin kurulacağı alanın, yapılan rüzgâr ölçümleri ile belirlenen yıllık ortalama rüzgâr hızında üretilen elektrik enerjisinin türbinin maksimum gücüne ulaştığı rüzgâr hızında üreteceği elektrik enerjisine bölünmesinden elde edilen “%” cinsinden değerdir. Genelde rüzgâr santrallerinde kapasite faktörü %20-%45 arasında değişmekte olduğundan üretilen enerji için yatırım maliyetini etkilemektedir (EİE).

2009 işletme giderleri yeni bir türbinde üretilen birim kW enerji başı %10-15 arasında değişmekte olup, türbin yaşı ilerledikçe maliyetler içindeki payı %35 düzeyine kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle üreticiler daha nadir bakım ihtiyacı duyan yeni dizayn türbin oluşturmak için çalışmaktadırlar (Gökçınar ve Uyumaz , 2008)

Rüzgâr enerjisi üretim maliyetinin %75 ini kurulum giderleri (alan, türbin, şebeke bağlantısı) oluşturmakta olup, maliyetin %40-%60 arasında işletme giderlerinin oluşturduğu konvansiyonel kömür fosil teknolojilerine göre kurulum eksenli bir sistemdir. Rüzgâr türbinlerinin enerji üretim birim maliyetleri ülkelere göre değişiklik göstermekte olup, genellikle 900 Avro/kW ile 1.150 Avro/kW arasındadır.

Aşağıda verilen Tablo 5.1’ de muhtelif enerji kaynaklarından elektrik üretim maliyetleri sunulmuştur.

Tablo 5.1. Değişik Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretim Maliyetleri (Gökçınar ve Uyumaz , 2008)

Enerji Kaynağı	Maliyet (c €/kWh)
Kömür	4,8-5,5
Gaz	3,9-4,4
Su	5,1-11,3
Biokütle	5,8-11,6
Nükleer	4,2-5,3
Rüzgar	4-6

5.1. Dış Maliyetler

Dış maliyetler üretim veya tesisle doğrudan ilgisi olmayan, çevreye, enerji sektörüne veya diğer sektörler verilen zararların maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak rüzgâr enerjisi santralleri için dikilen türbinlerin her biri en fazla 100 m²’lik bir alan kaplamaktadırlar. Rüzgâr türbinleri arasında kalan arazinin ise başka faaliyetler için kullanılmasında hiçbir sakınca yoktur. Ayrıca dünya genelinde rüzgâr santrallerinin deniz üstünde kurulan (Offshore) tipleri oldukça yaygınlaşmaktadır. Bu durumda santral inşaatı için alan kaybı olmamaktadır. Küresel iklim değişikliği ve çevre kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşmasıyla rüzgâr enerjisi yatırımları neticesinde sera etkisi doğuran gaz salınım miktarları düşürülmüştür. Bu aşamada gelişmiş ülkelerin dış maliyetler için kurumlara ek vergiler getirilmiştir. Tablo 5.2’ de kömür, gaz ve rüzgar enerjisi için iç ve dış ortalama maliyetler karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi rüzgâr enerjisi dış maliyetler göz önüne alındığında en avantajlı enerji kaynağı olmaktadır.

Tablo 5.2. İç ve Dış Maliyet Kıyaslamaları(Gökçınar ve Uyumaz , 2008)

	İç Maliyet(c€/kWh)	Dış Maliyet (c€/kWh)
Kömür	4,8	5,0
Gaz	4,0	2,5
Rüzgar	4,2	0,1

5.2. Enerji Pazarı Teşvikleri

AB üye ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi 5 ana uygulama şekli ile yapılmaktadır. Bunlar; araştırma desteği, sabit fiyatlandırma uygulaması, sabit prim uygulaması, artırmalı fiyat uygulaması ve sertifikasyon uygulaması şeklindedir. Tüm bu uygulamaların amacı çevresel etki maliyetleri ihmal edilerek mevcut rekabet olumsuzluklarının aşılmasını sağlamaktır.

Enerji üretiminde çevresel etki maliyetleri enerji satış fiyatlarına yansıtıldığı takdirde rüzgâr enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji sistemlerinin desteğe ihtiyacı kalmayacağı Avrupa Birliği Enerji Komisyonu raporunda yer almaktadır (EWEA, 2004).

Komisyonun raporuna göre çevresel etki maliyetleri ve sağlık giderleri gibi dolaylı maliyetler enerji fiyatlarına yansıtıldığında kömür ve petrol kaynaklı enerji üretim maliyetleri iki katı, gaz kaynaklı enerji üretim maliyetleri %30 oranında artacaktır.

5.3. Ödeme Mekanizmaları

Bu çerçevede üç ana teşviklendirme uygulaması geliştirilmiştir (EWEA, 2004).

- Enerjinin miktarının ve fiyatının pazar tarafından belirlendiği gönüllü uygulama sistemi (yeşil pazar)
- Üreticiye ödenecek üretim bedelinin devlet tarafından belirlendiği, üretilecek enerji miktarının pazar tarafından belirlendiği sistem (sabit fiyat sistemi)
- Üretim miktarının devlet tarafından belirlendiği, fiyatın pazar tarafından belirlendiği sistem (sabit üretim sistemi)

Sabit fiyat ve sabit üretim sistemleri korumalı bir pazar ortamı oluşturarak pazara yeni giren rüzgâr enerjisinin rekabet noktasında yaşayacağı zorlukları aşmasında yardımcı olmaktadır.

5.3.1. Gönüllü Sistem ve Yeşil Pazar

Teorik olarak düşünüldüğünde rüzgâr enerjisinin gönüllü kullanım talebi ve hükümet politikasından bağımsız bir pazar oluşturulabilmesi mümkün görünse de, yeşil Pazar ve gönüllü sistem uygulamaları ile daha fazla ödeyerek temiz enerji kullanılması düşüncesinin rüzgâr enerjisi gelişimine etkisi olmadığı uygulamalardan görülmektedir.

5.3.2. Sabit Tarife Sistem

Üretilmesi istenen enerji miktarının hükümetin koyduğu kota ile sınırlandırılarak enerji fiyatının pazar tarafından belirlendiği bir sistemdir.

Rüzgâr enerji pazarında iki çeşit sabit üretim uygulaması vardır:

- İhale uygulaması
- Yeşil enerji sertifika uygulaması

İhale uygulamasında; yatırımcılar ihaleye davet edilerek belirlenen zaman aralığında istenen enerji üretimi için teklif alınır. En düşük teklif sahibi ile sözleşme yapılarak yatırım çalışmalarına bağlanır. İhale sisteminde elektrik fiyatı hükümet tarafından değil pazar içerisinde oluşmaktadır. Sistemin uygulandığı ülkeler; İngiltere ve İrlanda'dır.

Yeşil enerji sertifikası, üretimini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan kuruluşlara proje bazında verilen bir belgedir. Üretici firma, yatırımını yeşil sertifika sistemine dahil etmekle uluslararası sertifika ticareti yaparak mevcut üretiminden kWh başına ilave gelir kazanma imkanını da bulabilmektedir. Hollanda, Danimarka ve İtalya'da uygulanmaktadır. Sabit Üretim Sistemi üretilmesi istenen enerji miktarının hükümetin koyduğu kota ile sınırlandırılarak enerji fiyatının pazar tarafından belirlendiği bir sistemdir.

5.3.3. Yatırım Teşvikleri

Rüzgâr enerjisi yatırımlarının ilk yıllarında üreticiye verilen teşvik kurulacak türbinin kW cinsinden kapasitesine göre verilirdi. Bunun sonucunda rüzgâr şiddeti düşük bölgelerde kapasitenin üzerinde güce sahip türbinler kullanıldığından enerji üretim verimi düşmüş, maliyetler yükselmiştir. Zaman içinde bu teşvik hem kapasiteye hem de üretilen enerji verimine bağlı olarak düzenlenmeye başlanmıştır.

Türkiye elektrik piyasası lisans yönetmeliği ile ülkemizde uygulanan teşvikler şunlardır (Altuntaşoğlu, 2007), (Şahin, 2008).

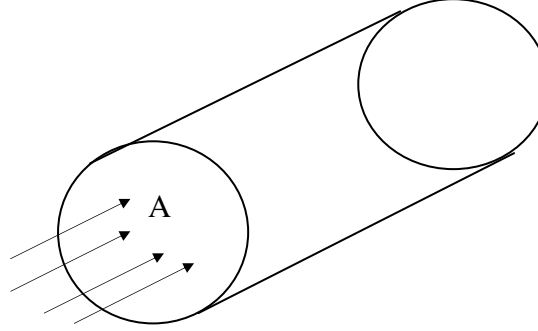
- Uygulanacak fiyat her yıl için EPDK'nın belirlediği bir yıl önceki Türkiye Ortalama Toptan Satış Fiyatıdır. Bu fiyat 5 c €/kWh karşılığı TL'den az, 5,5 c€/kWh karşılığı TL'den fazla olamaz.
- Sabit fiyat tarifi 31.12.2011 tarihine kadar işletmeye giren tesislerin ilk 10 yılı geçerlidir.
- TEDAŞ ya da lisanslı dağıtıcılar YEK kullanan üretim tesislerinin şebeke bağlantıları için öncelik sağlayacaktır.

- Geliştirilecek projelerde devlete ait araziler yasaklı bölgeler haricinde rüzgâr enerjisi yatırımcılarına tahsis edilecektir.
- 2011 yılı sonuna kadar devreye alınacak bu tesislerden ulaşım yollarından ve şebekeye bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk 10 yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izin bedellerinde %85 indirim uygulanacaktır.

6. HESAPLANABİLİR RÜZGAR GÜCÜ

Kütlesel hava akımı alanı A olan bir rüzgar türbinindeki hava kütle akımı $\frac{dm}{dt}$ dir.

Akışkanlar mekaniğindeki süreklilik denkleminde birim zamandaki kütle akımı ρ yoğunluk ve hızın fonksiyonudur.



Birim zamanda üretilen güç veya kinetik enerji,

$$P = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} U^2 = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (6.1.)$$

Birim alandaki güç P/A veya güç yoğunluğu,

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho U^3 \quad (6.2.)$$

Güç yoğunluğu havanın yoğunluğuyla doğrudan ilişkilidir. Standart şartlarda (deniz seviyesinde 15°C de) havanın yoğunluğu 1.225 kg/m³ dür. Rüzgardan elde edilen güç doğrudan kanadın taradığı alanla orantılıdır. Rüzgar güç yoğunluğu hızın kübüyle orantılıdır. Pratikte en modern yatay eksenli rüzgar türbinleriyle bile potansiyel rüzgar gücünün ancak % 45 i kadar enerji üretilebilmektedir. (J.F. Manwell, J.G McGowan, A.L. Rogers) kararlı bir rüzgarda ($\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$) birim alandaki teorik güç:

Tablo 6.1. Rüzgar Hız/Güç İlişkisi

Rüzgar Hızı (m/s)	Güç/Alan (W/m ²)
0	0
5	80
10	610
15	2070
20	4900
25	9560
30	16550

Eğer saatlik ortalama rüzgar hızı U_i biliniyorsa saatlik hesaplanan rüzgar gücünü kullanarak yıllık ortalama güç bulunabilir. Saatlik ortalamalara dayanan ortalama rüzgar gücü yoğunluğu hesabı,

$$\bar{P}/A = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^3 K_e \quad (6.3.)$$

$\bar{U}$ yıllık ortalama rüzgar hızı, K_e enerji pattern faktörü olarak isimlendirilir.

$$K_e = \frac{1}{N \bar{U}^3} \sum_{i=1}^N U_i^3 \quad (6.4.)$$

N bir yıldaki saat sayısı yani 8760 dır.

Eğer bu hesaplar sonunda;

- $\bar{P}/A < 100 \text{ W/m}^2$ ise rüzgar zayıf
- $\bar{P}/A \cong 400 \text{ W/m}^2$ ise rüzgar iyi
- $\bar{P}/A > 700 \text{ W/m}^2$ ise rüzgar çok iyi olarak sınıflandırılabilir.

6.1. Rüzgar Verisinin İstatistiksel Analizi

İstatistiksel analiz bir bölgedeki rüzgar enerji potansiyelini belirlemede kullanılabilir. İstenen bir nokta ve yükseklikte rüzgar zaman serisi verisi elimizde varsa, istatistiksel teknikler ve olasılık dağılım fonksiyonlarıyla analiz çok önemli olmayabilir ancak bir lokasyondaki rüzgar verisinin başka bir lokasyona projeksiyonu veya özet rüzgar verisi olan bir noktanın geniş kapsamlı analizi gerektiğinde rüzgar hızı verisinin olasılık dağılımı avantaj sağlar.

Bu tip bir analiz olasılık yoğunluk fonksiyonunun kullanılmasını gerektirir. $P(U)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu tanımlamanın bir yolu U_a ile U_b değerleri arasındaki rüzgar hızının olasılık değerini bulmaktır.

$$p(U_a \leq U \leq U_b) = \int_{U_a}^{U_b} p(U) dU \quad (6.5.)$$

Olasılık yoğunluk eğrisinin altındaki toplam alan,

$$\int_c^{\infty} p(U) dU = 1$$

$$\bar{u} = \int_c^{\infty} U p(U) dU \quad (6.6.)$$

Standard sapma σ_u :

$$\sigma_u = \sqrt{\int_c^{\infty} (U - \bar{U})^2 p(U) dU} \quad (6.7.)$$

Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu, $\bar{P}/A$

$$\frac{\bar{P}}{A} = (1/2)\rho \int_c^{\infty} U^3 p(U) dU = (1/2)\rho \bar{U}^3 \quad (6.8.)$$

Burada $\bar{U}^3$ rüzgar hız verisinin kübünün beklenen değeridir.

Bir başka istatistiksel parametre ise kümülatif dağılım fonksiyonudur. $F(U)$ zaman olarak bir U' değerinin belli bir U hız değerinden küçük veya eşit olma olasılığıdır.

$F(U)$ =Olasılık ($U' \leq U$)

$$F(U) = \int_c^U p(U') dU' \quad (6.9.)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonunun eğimi olasılık yoğunluk fonksiyonunu verir,

$$p(U) = \frac{dF(U)}{dU} \quad (6.10.)$$

Genel olarak rüzgar hızı analizinde (1) Rayleigh veya (2) Weibull dağılımı kullanılmaktadır. Rayleigh dağılımı tek parametre kullanmaktadır o da ortalama rüzgar hızıdır. Weibull dağılımı ise iki parametre kullanmaktadır böylece daha geniş bir rüzgar dağılım rejimini yansıtabilmektedir. Her iki dağılımda çarpık dağılımlardır ve sıfırdan büyük değerler için tanımlıdır.

6.1.1. Rayleigh Dağılımı:

Bu dağılım tek bir parametreye ihtiyaç duyan en basit rüzgar hızı olasılık dağılım fonksiyonudur. Parametre olarak $\bar{U}$ ortalama hız değerine ihtiyaç duyar. Olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonları,

$$p(U) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{U}{\bar{U}^2} \right) \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{\bar{U}} \right)^2 \right]$$

$$F(U) = 1 - \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{\bar{U}} \right)^2 \right] \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (6.11.)$$

6.1.2. Weibull Dağılımı:

Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun hesabı için şekil parametresi k ve ölçek parametresi c nin hesaplanmasına ihtiyaç vardır. Bu iki parametrenin ikisi de $\bar{U}$ ve σ_u' değerlerinin bir fonksiyonudur. Weibull olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

$$p(u) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{U}{c} \right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{U}{c} \right)^k \right] \quad (6.12.)$$

Kümülatif yoğunluk fonksiyonu ise,

$$F(U) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{U}{c} \right)^k \right] \quad (6.13.)$$

$\bar{U}$ ve σ_u' değerlerini kullanarak k şekil ve c ölçek parametrelerini hesaplamak için metotlar aşağıda verilmiştir.

Weibull dağılımı için ortalama hız şu şekilde hesaplanabilir.

$$\bar{U} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (6.14.)$$

Burada Γ Gama fonksiyonunu göstermektedir. Gama fonksiyonu;

$$\Gamma = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (6.15.)$$

Gama fonksiyonu pratik olarak şu şekilde gösterilebilir. (Jamil, 1994)

$$\Gamma(x) = (\sqrt{2\pi x})(x^{x-1})(e^{-x}) \left(1 + \frac{1}{12x} + \frac{1}{288x^2} - \frac{139}{51840x^3} + \dots\right)$$

Ayrıca Weibull dağılımı için şu ifade geçerlidir:

$$\sigma_U^2 = \bar{U}^2 \left[\frac{\Gamma(1 + 2/k)}{\Gamma^2(1 + 1/k)} - 1 \right] \quad (6.16.)$$

$\bar{U}$ ve σ_u değerlerini kullanarak c ve k parametreleri doğrudan bulmak mümkün değildir.

Ancak bu parametreleri pratik şekilde veren yaklaşık metotlar vardır. Bu metotlar aşağıda sırayla verilmiştir.

1. Analitik veya amprik (Justus, 1978)

Bu metot $1 \leq k < 10$ aralığı için daha doğru sonuç vermektedir.

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{\bar{U}}\right)^{-1.086} \quad (6.17.)$$

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma(1 + 1/k)} \quad (6.18.)$$

Verilen ifadelerden de görüldüğü gibi k, c parametrelerinin bulunması gama fonksiyonunun kullanımını gerektirmektedir.

2. Amprik (Lysen, 1983)

k parametresini bulmak için metot 1 deki formül kullanılır; Diğer parametre c ise aşağıdaki ifadeden bulunur.

$$\frac{c}{\bar{U}} = (0.568 + 0.433/k)^{-\frac{1}{k}} \quad (6.19.)$$

6.2 İstatistiksel Metotlar Kullanılarak Rüzgar Türbini Enerji Üretim Tahmini

Verilen bir rüzgar rejimi olasılık dağılım fonksiyonu ve bilinen bir türbin güç eğrisi $P_w(u)$ kullanılarak ortalama rüzgar gücü $\bar{P}_w$ şu şekilde hesaplanabilir.

$$\bar{P}_w = \int_0^{\infty} P_w(U) p(U) dU \quad (6.20.)$$

Rüzgar içindeki güç potansiyelini ve rotor güç katsayısı C_p yi kullanarak türbin güç eğrisi,

$$P_w(U) = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta U^3 \quad (6.21.)$$

η sistem verim parametresi (Jeneratör gücü/rotor gücü). Rotor güç katsayısı ise:

$$C_p = \frac{\text{Rotor gücü}}{\text{Dinamik güç}} = \frac{P_{motor}}{\frac{1}{2} \rho A U^3} \quad (6.22.)$$

C_p genellikle kanat uç hızı oranının bir fonksiyonu λ olarak ifade edilebilir. λ sembolü,

$$\lambda = \frac{\text{Kanat uç hızı}}{\text{Rüzgar hızı}} = \frac{\Omega R}{U} \quad (6.23.)$$

Ω sembolü kanat ucunun açısal hızını, R de kanat yarıçapını göstermektedir. Bu noktada verim parametresini sabit kabul edersek, ortalama rüzgar gücü için bir başka ifade şu şekildedir.

$$\bar{P}_w = \frac{1}{2} \rho A \eta \int_0^{\infty} C_p(\lambda) U^3 p(U) dU \quad (6.24.)$$

Bu noktada elimizdeki minimum bilgiyi kullanarak istatistiksel metotlarda bazı basitleştirmeleri kullanarak enerji üretim hesabı üzerinde duralım.

6.2.1. Rayleigh Dağılımı Kullanılarak İdealize Edilmiş Rüzgar Gücü Hesabı

Verilen bir kanat çapı için maksimum ortalama yıllık güç değeri, ideal bir rüzgar türbini için Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak Carlin (1997) çalışması esas alınmak suretiyle şu şekilde hesaplanabilir. Öncelikle iki kabul yaparsak:

- İdeal bir rüzgar türbini için, kayıpları ihmal edersek ve türbin güç katsayısını Betz katsayısı olarak alırsak C_p ($C_{p, \text{Betz}} = 16/27$). Betz katsayısı maksimum mümkün teorik güç katsayısıdır.
- Rüzgar hızı olasılık dağılımının Rayleigh olasılık dağılımına uyduğunu kabul edersek.

$$\bar{P}_w = \frac{1}{2} \rho A \eta \int_0^{\infty} C_p(\lambda) U^3 \left\{ \frac{2U}{U_c^2} \exp \left[-\left(\frac{U}{U_c} \right)^2 \right] \right\} dU \quad (6.25.)$$

Yukarıdaki formülde geçen U_c değeri karakteristik rüzgar hızı olarak adlandırılır ve

$U_c = 2\bar{U}/\sqrt{\pi}$ şeklinde ifade edilir. İdeal bir türbin için $\eta=1$ alırsak, ve güç katsayısını Betz limit değeri $C_{p, \text{Betz}}$ ile yer değiştirirsek böylece,

$$\bar{P}_w = \frac{1}{2} \rho A U_c^3 C_{p, \text{Betz}} \int_0^{\infty} \left(\frac{U}{U_c} \right)^3 \left\{ \frac{2U}{U_c} \exp \left[-\left(\frac{U}{U_c} \right)^2 \right] \right\} dU / U_c \quad (6.26.)$$

Rüzgar hız oranını $x = U/U_c$ şeklinde normalize edersek. Bu işlem yukarıdaki integrali aşağıdaki gibi sadeleştirir:

$$\bar{P}_w = \frac{1}{2} \rho A U_c^3 C_{p, \text{Betz}} \int_0^{\infty} (x)^3 \{ 2x \exp [-(x)^2] \} dx \quad (6.27.)$$

Yukarıdaki ifadedende görüldüğü gibi, rüzgar türbin sabitleri integralden elimine edilmiştir. İntegral bütün rüzgar hızları için integre edilebilir durumdadır. Verilen aralıklar için integrali değeri $(3/4)\sqrt{\pi}$ dir. Bu durumda ifademiz:

$$\bar{P}_w = \frac{1}{2} \rho A U_c^3 (16/27) (3/4) \sqrt{\pi} \quad (6.28.)$$

Türbin kanat alanı , $A = \pi D^2/4$ ve karakteristik hız değeri, U_c ifadelerini yerine yazarsak, ortalama güç değerini verecek nihai eşitlik aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\bar{P}_w = \rho \left(\frac{2}{3} D \right)^2 \bar{U}^3 \quad (6.29.)$$

6.3. Aksaray Ölçüm İstasyonu Verileri Kullanılarak Yıllık Enerji Üretimi

Aksaray bölgesi rüzgar enerjisi üretim hesaplarında kullanılan veriler Aksaray meteoroloji istasyonunda Anemometre tekniği kullanılarak 10 metre yükseklikte ölçülmüştür. Daha sonra veriler $\frac{U(z)}{U(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha$ formülü kullanılarak 30, 50 ve 100 metre yükseklikler için interpolate edilmiştir. Burada $U(z)$ z yüksekliğinde rüzgar hızı. $U(z_r)$ ise z_r referans yüksekliğindeki hız değeridir. İnterpolasyon yaparken $\alpha = 0.3$ alınmıştır.

Tablo 6.2. Aksaray ölçüm istasyonu için farklı yüksekliklerde (m/s) ortalama rüzgar hız değerleri.

Yıl	Yükseklik (m)			
	10	30	50	100
2011	1,99	2,77	3,22	3,97
2010	2,39	3,32	3,87	4,76
2009	2,60	3,61	4,21	5,18
2008	2,68	3,72	4,34	5,35
2007	2,56	3,56	4,14	5,10
2006	2,62	3,65	4,25	5,23
2005	2,66	3,69	4,31	5,30
2004	2,70	3,75	4,37	5,38
2003	2,76	3,83	4,47	5,50
2002	2,38	3,31	3,86	4,76

Tablo 6.3. Hava yoğunluğunun rakım ile değişimi

15° C' de hava basıncının ve yoğunluğunun rakım ile olan değişimi Rakım (m)	Basınç (atm)	Hava Yoğunluğu (kg/m3)	Yükseklik Değişimi İçin Basınç Oranı,
0	1,000	1,225	1,000
100	0,988	1,211	0,988
200	0,977	1,197	0,977
300	0,965	1,182	0,965
400	0,954	1,168	0,954
500	0,942	1,155	0,942
600	0,931	1,141	0,931
700	0,920	1,128	0,920
800	0,910	1,114	0,910
900	0,899	1,101	0,899
1000	0,888	1,088	0,888
1100	0,878	1,075	0,878
1200	0,867	1,063	0,867
1300	0,857	1,050	0,857
1400	0,847	1,038	0,847
1500	0,837	1,026	0,837
1600	0,827	1,014	0,827
1700	0,817	1,002	0,817
1800	0,808	0,990	0,808
1900	0,798	0,978	0,798
2000	0,789	0,967	0,789
2100	0,780	0,955	0,780

Tablo 6.4. Hava yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi.

1 atm basıncı altında hava yoğunluğunun hava sıcaklığı ile değişimi Sıcaklık(°C)	Hava Yoğunluğu (kg/m ³)	Sıcaklık Değişimi İçin Yoğunluk Oranı,
-21	1,400	1,143
-18	1,384	1,130
-15	1,368	1,116
-12	1,352	1,104
-9	1,337	1,091
-6	1,322	1,079
-3	1,307	1,067
0	1,293	1,055
3	1,278	1,044
6	1,265	1,032
9	1,251	1,021
12	1,238	1,011
15	1,225	1,000
18	1,213	0,990
21	1,200	0,980
24	1,188	0,970
27	1,176	0,960
30	1,165	0,951
33	1,153	0,941
36	1,142	0,932
39	1,131	0,923
42	1,120	0,915

6.3.1. Rayleigh Dağılımı Kullanılarak İdealize Edilmiş Türbin Üretim Hesabı

Enerji üretim hesabı için Rayleigh dağılımı kullanılarak bulunan

$$\bar{P}_w = \rho \left(\frac{2}{3} D \right)^2 \bar{U}^3 \quad (6.30.)$$

Formülü kullanılmıştır. Formülde ρ simgesiyle verilen hava yoğunluğu değeri için sabit 1,225 kg/m³ değeri alınmıştır. Hesaplama 10 m, 30 m, 50 m ve 100 metre olmak üzere farklı kanat çapları için yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda sırasıyla tablolar halinde verilmiştir. Gene aynı formülün derivasyonu esnasında verimlilik parametresi $\eta=1$ alınmıştır. Bu kayıpların olmadığı %100 verimli bir duruma karşılık gelmektedir. Ancak pratikte verim %40-50 düzeylerindedir. Bu nedenle enerji üretim sonuçları yorumlanırken ideal değerlerin %50-60 civarlarında bir enerji üretimi beklenebilir. Örneğin 10 m kanat çapına sahip 30 metre yükseklikteki bir türbin için hesaplanan ideal yıllık ortalama enerji üretimi tablodan 21249,41 kwh olarak okunursa pratikte bu değerlerin %50 sini almak daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır, oda 21249,41*0.5=10624,70 kwh dir.

Tablo 6.5. 1m Kanat Çapı İçin Muhtemel Enerji Üretimi (kwh)

Yıl	Yükseklik (m)			
	10	30	50	100
2011	37,58	101,37	159,23	298,42
2010	65,11	174,53	276,43	514,37
2009	83,83	224,38	355,88	662,90
2008	91,80	245,52	389,88	730,33
2007	80,02	215,18	338,42	632,66
2006	85,78	231,92	366,12	682,28
2005	89,76	239,63	381,85	710,04
2004	93,88	251,51	398,02	742,68
2003	100,27	267,95	425,97	793,50
2002	64,30	172,96	274,30	514,37
Ortalama	79,23	212,50	336,61	628,16

Tablo 6.6. 10m Kanat Çapı İçin Muhtemel Enerji Üretimi (kwh)

Yıl	Yükseklik (m)			
	10	30	50	100
2011	3758,52	10136,71	15923,02	29842,09
2010	6511,06	17453,07	27643,34	51437,34
2009	8382,58	22437,75	35588,03	66289,84
2008	9180,41	24551,98	38987,63	73032,98
2007	8001,61	21518,29	33842,21	63265,68
2006	8577,52	23191,90	36612,08	68228,02
2005	8976,41	23962,76	38184,71	71004,40
2004	9387,48	25150,78	39801,73	74268,48
2003	10027,32	26795,02	42597,12	79349,78
2002	6429,67	17295,84	27429,61	51437,34
Ortalama	7923,26	21249,41	33660,95	62815,60

Tablo 6.7. 20 m Kanat Çapı İçin Yıllık Muhtemel Enerji Üretimi (kwh)

Yıl	Yükseklik (m)			
	10	30	50	100
2011	15034,08	40546,84	63692,06	119368,35
2010	26044,22	69812,30	110573,37	205749,38
2009	33530,32	89750,99	142352,12	265159,35
2008	36721,64	98207,91	155950,53	292131,92
2007	32006,45	86073,14	135368,83	253062,73
2006	34310,06	92767,59	146448,34	272912,06
2005	35905,63	95851,03	152738,84	284017,61
2004	37549,91	100603,12	159206,93	297073,90
2003	40109,28	107180,06	170388,48	317399,13
2002	25718,67	69183,36	109718,43	205749,38
Ortalama	31693,02	84997,63	134643,80	251262,39

Tablo 6.8. 50 m Kanat Çapı İçi Muhtemel Enerji Üretimi (kwh)

Yıl	Yükseklik (m)			
	10	30	50	100
2011	93963,01	253417,73	398075,36	746052,18
2010	162776,38	436326,85	691083,59	1285933,60
2009	209564,51	560943,72	889700,78	1657245,94
2008	229510,24	613799,46	974690,82	1825824,50
2007	200040,34	537957,14	846055,22	1581642,09
2006	214437,91	579797,42	915302,14	1705700,40
2005	224410,20	599068,91	954617,73	1775110,10
2004	234686,97	628769,53	995043,34	1856711,86
2003	250683,03	669875,37	1064928,02	1983744,58
2002	160741,70	432396,00	685740,18	1285933,60
Ortalama	198081,43	531235,21	841523,72	1570389,89

Tablo 6.9. 100 m Kanat Çapı İçi Muhtemel Enerji Üretimi (kwh)

Yıl	Yükseklik (m)			
	10	30	50	100
2011	375852,04	1013670,91	1592301,46	2984208,73
2010	651105,52	1745307,39	2764334,36	5143734,39
2009	838258,03	2243774,88	3558803,13	6628983,77
2008	918040,96	2455197,86	3898763,26	7303298,02
2007	800161,36	2151828,58	3384220,88	6326568,36
2006	857751,63	2319189,68	3661208,54	6822801,61
2005	897640,80	2396275,65	3818470,92	7100440,39
2004	938747,88	2515078,12	3980173,35	7426847,46
2003	1002732,11	2679501,46	4259712,09	7934978,33
2002	642966,80	1729584,00	2742960,73	5143734,39
Ortalama	792325,71	2124940,85	3366094,87	6281559,55

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aksaray merkez meteoroloji istasyonuna ait rüzgar verisi incelendiğinde, 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar şiddetinin 2.53 m/sn olduğu hesaplanmıştır. Güç yoğunluğu (P/m^2 -Watt/ m^2) hesabı yapılırken tek parametrelili Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Güç yoğunluğu olarak 10 m yükseklik için 11,52 W/ m^2 , 30 m yükseklik için 30,89 Watt/ m^2 , 50 m yükseklik için 48,93 Watt/ m^2 , 100 m yükseklik içinde 91,31 W/ m^2 değerleri bulunmuştur. Bu sonuçlar Bölüm 6 da verilen güç yoğunluğu değerleriyle karşılaştırıldığında P/A ortalama güç yoğunluğu değerinin 100 W/ m^2 nin altında kalması halinde rüzgar zayıf olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca güç yoğunluğu hesaplamaları yapılırken ideal bir türbin varsayımı yapılarak verim katsayısı $\eta=1$ alınmıştır. Uygulamada ise toplam türbin ve jeneratör verimi % 40 lar civarında kabul edilmektedir. Bu da hesaplanan güç yoğunluğu ve enerji değerlerinin 0.40 ile çarpılması anlamına gelmektedir. Örneğin 100 metre yükseklikte bir rüzgar türbini için gerçek güç yoğunluğu $0.4 \times 91,31 \text{ Watt}/m^2 = 36.52 \text{ Watt}/m^2$ dir ki bu değer oldukça düşük bir değerdir. Sonuç olarak Aksaray merkezdeki ölçüm istasyonu verileri baz alınarak hesaplanan güç yoğunluk değerlerinin uluslar arası kabul görmüş standartların altında kaldığı ve cazip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Aksaray merkezde bulunan meteoroloji ölçüm istasyonunun yeri göz önüne alındığında istasyonun yapıldığı yıllarda şehir dışı sayılan bölgenin artık şehir içi sayılabilecek bir yer haline geldiği ve son yıllarda istasyon çevresindeki yapılaşmanın hızla arttığı görülmektedir. Bu durum istasyonda ölçülen rüzgar değerlerinin olması gerekenden daha düşük ölçüldüğü sonucunu doğurur. Örneğin ölçülen ortalama hız değerinin iki katına çıkması durumunda üretilen güç, değeri hızın kübüyle orantılı olduğu için sekiz kat artmaktadır. Gene 100 metre yükseklik için istasyonda ölçülen 5.053 m/sn değeri için bulunan güç yoğunluğu değeri 91,31 Watt/ m^2 iken hızın 10,11 m/sn değerine çıkması durumunda yeni güç yoğunluğu değeri 730,50 Watt/ m^2 olmaktadır.

Aksaray bölgesinde rüzgar enerji potansiyelinin daha sağlıklı belirlenebilmesi için yeni rüzgar ölçüm istasyonlarına ihtiyaç vardır. Bir öneri olarak Altınkaya(Çardak)-Çalören (Mezgit), Yenipınar ve Ekecik yörelerinde kurulacak yeni istasyonların daha büyük rüzgar potansiyelini ortaya çıkaracağı beklenmektedir. Ayrıca son yıllarda gittikçe düşmekte olan türbin maliyetleri yakın gelecekte elde edilebilecek verilerle beraber Aksaray için rüzgar enerji yatırımlarını cazip bir seçenek haline getireceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alyamaç D , İTÜ RT-1 Rüzgar Türbini performans analizi (Y.Lisans Tezi,2010)

Ataseven M., Ataseven S., Rüzgar Ölçüm Sistemleri Ankara

Bergey. B., 1997, “Wind Energy History”. Windpower.com, USA

Consult,A,J, 2001, “Wind Turbine Technology Offshore” Dukes Avenue, London, W4 2AF.

Danish Wind History, 1999, “Danish Wind Turbine Manufacturers Association Wind Power” Danimarka

Dewi, 1998, “German Wind Energy” Instute Wind Energy Converters, Germany

Donn,W.L.,1975, Meteorology, 4. edition,

Durak, M. ve Özer, S., 2007: Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama

Ewea, (2004). European Wind Energy Association, Volume 5, ‘Market Incentives’, <http://www.ewea.org>.

Gökçınar E., Uyumaz A., Rüzgar Enerjisi Maliyetleri ve Teşvikleri VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008 (İTÜ İnşaat Fakültesi)

Hau, E., 2006: Wind Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd ed, Springer, Berlin, Germany, 10 3- 540- 24240- 6

Johnson, G. L., 2001: Wind Energy Systems, Electronic Edition, Manhattan, USA

Manwell J.F, Mcgowan J.G, Rogers A.L., “Wind Energy Explained”, University of Massachusetts, Amherst, USA , 2002

Nurbay N., Çınar A. Kocaeli Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması

T.C Resmi Gazete Sayı:28212, 2012 Tebliğ No: 2012/01 Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvuruları için yapılacak Ölçümlerin Uygulamalarına Dair Tebliğ
Turhan, F., Rüzgar Enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımı(Y. Lisans Tezi, Osmangazi Üni,2009)

- Tusiad, 1998, “21. yy. Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”
Tusiad-T/98-12/239
- Ushiyama,I. ve Nagai,H., 1988, “Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors” Wind Engineering Vol. 12 (1), 59-75
- URL-1 ,[www.vestas.com/Rüzgar Türbin Çeşitleri](http://www.vestas.com/Rüzgar_Türbin_Çeşitleri), 15 Ekim 2011
- URL-2,[www.colorado.edu/Atmosfer ve Rüzgar](http://www.colorado.edu/Atmosfer_ve_Rüzgar), 20 Ocak 2012
- URL-3,[www.wikipedia.org/Küresel Sirkülasyon](http://www.wikipedia.org/Küresel_Sirkülasyon), 20 Ocak 2012
- URL-4,[www.southwestclimatechange.org/Yerel Rüzgarlar](http://www.southwestclimatechange.org/Yerel_Rüzgarlar), 10 Şubat 2012
- URL-5,[www.mgm.gov.tr/22.02.2012 tarih ve 2012/01 sayılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tebliği](http://www.mgm.gov.tr/22.02.2012_tarih_ve_2012/01_sayılı_Meteoroloji_Genel_Müdürlüğü_Tebliğı), 10 Nisan 2012
- URL-6,[www.enerji.gov.tr/2010 Yılı Genel Enerji Dengesi](http://www.enerji.gov.tr/2010_Yılı_Genel_Enerji_Dengesi), 12 Mayıs 2012
- URL-7,[www.tureb.org/Yıllara Göre Rüzgar Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Kümülatif Dağılımı](http://www.tureb.org/Yıllara_Göre_Rüzgar_Enerji_Santrallerinin_Kurulu_Güç_Bakımından_Kümülatif_Dağılımı), 28 Mayıs 2012
- URL-8,[www.ewea.org/Dünyada Rüzgar Enerjisinin Durumu](http://www.ewea.org/Dünyada_Rüzgar_Enerjisinin_Durumu), 16 Haziran 2012

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adem ALTINSOY

Doğum Yılı : 15.07.1969

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans :Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Ana Bilim Dalı

İletişim Bilgileri :

Adres :Tacin Mahallesi 1814 Sokak No:1 AKSARAY

Telefon : 0 382 2152139

E-posta : altinsoy_adem@hotmail.com