

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL'DA RÜZGAR SANTRALLERİNİN  
UYGULANABİLİRLİĞİ VE EKONOMİKLİĞİ**

End. Müh. Mehmet ERTEK

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zehra Yumurtacı**

**İSTANBUL, 2008**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL'DA RÜZGAR SANTRALLERİNİN  
UYGULANABİLİRLİĞİ VE EKONOMİKLİĞİ**

End. Müh. Mehmet ERTEK

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zehra Yumurtacı**

**İSTANBUL, 2008**

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
İÇİNDEKİLER	i
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1.MEVCUT DURUM ANALİZİ.....	1
1.1.Literatür Araştırması.....	1
1.2.Rüzgâr Enerjisinin Tanımı.....	16
1.3.Rüzgâr Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.....	16
1.4.Rüzgâr Enerjisinin Avantajları.....	17
1.5.Rüzgâr Enerjisinin Küresel Durumu.....	19
1.6.Rüzgâr Enerjisinin Türkiye'deki Durumu.....	22
2.POTANSİYEL HARİTALARI VE YER SEÇİMİ.....	28
2.1.Türkiye 'nin RES Potansiyeli.....	28
2.2. Potansiyel Haritaları.....	28
2.3. Yer Seçimi.....	33
2.4.REPA Projesi.....	33
2.5. Rüzgâr Enerjisi Kurulumu Esnasında Dikkat Edilmesi Gerekenler.....	33
2.6. Değerlendirme Sonucu Ortaya Çıkan Tablonun Enerji Potansiyeli Kritiği.....	34
3.RÜZGÂR ENERJİSİ İSTATİSTİKLERİ VE ENERJİ GENEL İHTİYAÇ ANALİZİ	36
3.1. Rüzgar Enerjisi İstatistikleri.....	36
3.2.Enerji Genel İhtiyaç Analizi.....	41
3.2.1. Nüfus.....	41
3.2.2. Kişi başına düşen enerji tüketimi.....	43
3.2.3. Tesisten Elde Edilecek Yıllık Elektrik Üretim Miktarı Hesaplama Yöntem...	44

4.RÜZGÂR ENERJİSİNİN MÜHENDİSLİK BOYUTU.....	48
4.1.Rüzgâr Türbininde Kuleler.....	48
4.1.1.Kule Seçimi.....	48
4.1.2. Kule Uzunluğunun Seçimi.....	49
4.1.3. Rüzgâr Türbini Generatörleri.....	49
4.1.4. Gerilim Üretme.....	49
4.1.5. Soğutma Sistemi.....	51
4.1.6. Generatörü Başlatma ve Durdurma.....	51
4.1.7. Generatör Seçimi ve Şebeke Bağlantısı.....	51
4.1.8. Rüzgâr Gücünden Elektriksel Güç Elde Etmede Kullanılan Dönüşüm Sistemleri ve Kontrol Teknikleri.....	52
4.1.8.1.Sabit Hız Sabit Frekans Dönüşüm Sistemleri (SHSF).....	53
4.1.8.2.Değişken Hız Sabit Frekans Dönüşüm Sistemleri (DHSF).....	53
4.1.8.3.Değişik Frekansta Alternatif Akım Üretme.....	54
4.1.8.3.1.DC Akıma Dönüştürme.....	54
4.1.8.3.2.Sabit Frekanslı Alternatif Akıma Dönüştürme.....	54
4.1.8.4. Alternatif Akımın Filtre Edilmesi.....	55
4.1.8.5.Değişken Hız Değişken Frekans Dönüşüm Sistemleri.....	56
4.1.8.6. Üretilen Gücün Kalitesi.....	57
4.1.8.7.Rüzgâr – Dizel Sistemleri.....	58
4.1.8.7.1.Eş Zamanlı Yük Kontrolü.....	58
4.1.8.8. Elektro – Kimyasal Depolama.....	58
4.1.8.8.1. Mekanik Depolama.....	59
4.1.8.8.2. Hidrolik Depolama.....	59
4.1.9. Rüzgâr Türbinlerinde Şebeke Bağlantı Kriterleri.....	60
4.1.9.1.Üretim Şalt Tesisleri Tasarım Esasları.....	60
4.1.9.2.Ekonomik Analiz.....	65
5.RES UYGULAMA KRİTERLERİ VE KAPASİTE PLANI.....	66
5.1. Rüzgâr Çiftliği İçin Gerekli Parametrelerin İncelenmesi.....	66
5.2. Teknik Fizibilite ve Mühendislik Tasarımları.....	66
5.3. Enerji Üretimi İncelemesi.....	67

5.4. Elektriksel Alt Yapı Tasarımı.....	67
5.5. RES Kapasite Planı.....	67
5.5.1. RES için Kapasite Planlamasının İçeriği.....	67
5.5.2. RES’ de Kapasite Türleri.....	68
5.5.2.1. Maksimum (Planlanan) Kapasite.....	68
5.5.2.2. Normal Kapasite.....	68
5.5.2.3. Kullanılan Kapasite.....	69
5.5.2.4. Optimum Kapasite.....	69
5.5.2.5. Atıl (Boş) Kapasite.....	69
5.5.3. Kapasite İhtiyaçlarının Belirlenmesi.....	69
6. RÜZGÂR POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ, TÜRBİN TAYİNİ VE İSTANBUL’ UN ENERJİ İHTİYACININ RÜZGÂR ENERJİSİ İLE KARŞILANMASI.....	71
6.1. Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi.....	71
6.1.1. WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi.....	71
6.1.2. Veri.....	71
6.1.2.1. Rüzgâr Verisi.....	72
6.1.2.2. Yakın Çevre Engelleri.....	72
6.1.2.3. Topografya ve Pürüzlülük Bilgileri.....	72
6.1.2.4. Hesaplamalar ve Sonuçlar.....	72
6.1.3. İstanbul’ un Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi.....	72
6.2. Türbin Tayini.....	73
6.3. İstanbul’ un Enerji İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi ile Karşılanması.....	76
6.3.1. Rüzgârdan Üretilcek Potansiyel Enerji Hesabı.....	78
6.3.2. Enerji İhtiyacının Mevcut Rüzgâr Enerji Potansiyeli ile Karşılanma Oranı.....	78
6.3.3. Uygun Türbin Sayısı ve Tipinin Seçilmesi.....	79
6.3.4. Toplam Enerji Üretim Maliyeti Hesabı.....	80
6.3.4.1. Kabuller cetveli.....	80
6.3.4.2. Hesaplanan Enerji Üretim Maliyeti.....	81
6.3.4.3. İnşaat Süresince Eskalasyon ve Faiz Yüğü.....	84
6.3.4.4. Sermaye Masrafları Yatırım Kredisi ve O&M Masraflarının Geri Ödeme Planı.....	85

7. RÜZGAR SANTRALLERİ İÇİN HİZMET ALIM SÜRECİ, YATIRIMCI REHBERİ VE ENERJİ VİZYONU.....	88
7.1. RES İçin Hizmet Alım Süreci.....	88
7.1.1. Sözleşmeler.....	88
7.1.2. Yatırım Süreci.....	88
7.1.2.1. Yatırımın Dizaynı.....	88
7.1.2.2. İzinler ve Lisanslar.....	88
7.1.2.3. İnşaatın Tamamlanması ve Tesis Kullanım İzinleri.....	89
7.1.2.4. Rüzgâr Enerji Santrali Projelerinde Paydaşlar.....	89
7.2. Rüzgâr Enerjisi Santrali Yatırımcı Rehberi ( Yol Haritası).....	89
7.2.1. RES Projelerinde Karşılaşılan Genel Sorunlar.....	90
7.3. Türkiye'nin ve Metropol Kent İstanbul'un Enerji Stratejileri.....	90
7.3.1. TÜBİTAK Vizyonu.....	90
7.3.2. AB Yenilenebilir Enerji Politikası.....	92
7.3.3. AB'deki Gelişmeler.....	92
7.3.4. Avrupa Stratejilerinin Değerlendirmesi.....	94
7.3.5. Türkiye' de Kaliteli Elektrik İçin Atılması Gereken Adımlar.....	95
7.3.6. İstanbul İçin Oluşturulabilecek Rüzgâr Enerjisi Politikalarının Temel İlkeleri...	96
8. ENERJİ GELECEK SENARYOLARI.....	99
8.1. Neden Senaryo.....	99
8.2. Gelecek Senaryoları.....	100
8.3. Öneriler.....	101
8.3.1. Bağımlılık.....	101
8.3.2. Yerli Kaynaklar.....	102
8.3.3. Verimlilik.....	102
8.3.4. Enerji Verimliliği.....	102
8.3.4.1. Enerji Verimliliğinde Mevcut Durum.....	103
8.3.5. İklim değişikliği önlemleri.....	104
8.4. Enerji Yoğunluğu (E / GSYİH).....	104
8.5. Enerji Sepeti.....	105
8.6. Çevre.....	106

8.7. Araştırma-Geliştirme.....	107
8.8. Diploması.....	107
SONUÇ.....	108
KAYNAKÇA.....	110
EKLER.....	114
EK 1 Yüksek Lisans Tez Süreci.....	114
EK 2 Veri Akış Diyagramı.....	115
EK 3 Program Akış Diyagramı.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	117

## SİMGE LİSTESİ

$C_k$	Yıllık sermaye maliyeti (\$)
$C_m$	Yıllık işletme ve bakım maliyeti (\$)
$C_s$	Santralin birim tesis bedeli (\$/kWe) (İnşaata başlama tarihinde)
$e$	Ortalama aylık eskalasyon (%)
$E_e$	Yıllık elektrik enerjisi tüketimi (kWh/yıl)
$g$	Elektrik enerjisi üretim maliyeti ( \$ /kWeh)
$g_k$	Birim enerji başına sermaye maliyeti ( \$ /kWeh)
$g_m$	Birim enerji başına işletme ve bakım maliyeti (Q&M) ( \$ /kWeh)
$GW$	Giga Watt
$GWh$	Giga Watt Saat
$i$	Yıllık faiz oranı (%)
$i_l$	Aylık faiz oranı (%)
$I_d$	Fiziki inşaat tutarı (\$ )
$k$	İnşaat süresince faiz ve eskalasyon etki katsayısı
$kcal$	Kilo Kalori
$kW$	Kilo Watt
$kWh$	Kilo Watt Saat
$L_f$	Santralin şebeke yük faktörü (%)
$m$	Sermaye masrafının yüzdesi olarak O&M masrafı (%),
$m^2$	metrekare
$m^3$	metreküp
$MW$	Mega Watt
$MWh$	Mega Watt Saat
$n$	Amortisman süresi (yıl)
$N_e$	Santral Gücü (kW)

P	Yatırımın inşaata başlama tarihindeki değeri (\$ )
r	iskonto oranı (%)
\$	Dolar
T	İnşaat süresi (ay)
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
%	Yüzde
m/s	1 saniyede alınan yol
km	kilometre
F(V <sub>i</sub> )	Rüzgârın “V <sub>i</sub> ” hızında esme olasılığı
V <sub>i</sub>	Rüzgâr Hızı (m/s)
C	REPA’dan hesap edilen, Weibull-c ölçek parametresi (m/s)
k	REPA’dan hesap edilen Weibull-k şekil parametresi
PT(V <sub>i</sub> )	RES alanında kullanılacak türbinin her bir rüzgâr hızındaki gücü (MW)
ρ	RES alanının yıllık ortalama hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
P	Rüzgâr türbininin RES alanındaki ortalama gücü (MW)
L <sub>f</sub>	Şebeke yük faktörü
V <sub>o</sub>	Ortalama rüzgar hızı
V <sub>g</sub>	Gerekli rüzgar hızı
E	RES alanındaki türbinin yıllık elektrik üretim miktarı (MWh)
V	Volt
Hz	Hertz
Rpm	Dakikadaki devir sayısı
C <sub>p</sub>	Rüzgâr türbinin güç katsayısı
ρ	Rüzgâr türbininin A alanından geçen hava yoğunluğu
v	Rüzgâr hızıdır

$\lambda$	Uç-hız oranı
$T_a$	Hızlanma torku (Nm)
$T_w$	Rüzgâr türbininden elde edilen tork (Nm)
$T_d$	İndüksiyon generatörünün ürettiği tork (Nm)
$J$	Tüm sistemin eylemsizlik momenti ( $\text{kgm}^2$ )
$\omega$	Rotor milinin açısal hızı (rad/s)
$T_\omega$	Rüzgâr hızı ile mil hızının bir fonksiyonu
$T_d$	Mil hızı ve rotor direncinin bir fonksiyonu
$P_p$	Güç sargısı kutup sayısı
$P_c$	Kontrol sargısı kutup sayısı
$F_p$	Şebeke frekansı
$f_r$	Mil hızı
$f_c$	Gerekli kontrol sargıları frekansı
$X_d''$	Sub transiyent reaktans
$X_d'$	Transiyent reaktans veyahut
$X_d$	Senkron reaktans
$U_{rgen}$	Generatorun nominal gerilimi
$S_{rgen}$	Generatorun nominal gücü

## KISALTMALAR

AŞ	Anonim Şirketi
AB	Avrupa Birliği
AC	Alternatif Akım
APK	Araştırma Proje Koordinasyon
AR-GE	Araştırma - Geliştirme
dB	Desibel
DC	Doğru Akım
DHSF	Değişken Hız Sabit Frekans Dönüşüm Sistemleri
DM	Alman Markı
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EREC	Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi
GSYİH	Gayrı Safi Yurtiçi Hasıla
GW	Giga Watt
GWEC	Global Wind Energy Council
GWH	Giga Watt Saat
HZ	Hertz
IEA	International Energy Association
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KW	Kilo Watt
KWH	Kilo Watt Saat
Mj	Megajoule
MW	Mega Watt
MWH	Mega Watt Saat
OECD	Organization for Co-Operation and Development
PLC	Programmable Logic Control
PWM	Pulse Width Modulation
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
RESSİAD	Rüzgar Enerji Santrali Sahibi İş Adamları Derneği
RPM	Dakika Devir Sayısı
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SHSF	Sabit Hız Sabit Frekans Dönüşüm Sistemleri

TEAŞ	Türkiye Elektrik Anonim Şirketi
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TUREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TW	Tera Watt
TWH	Tera Watt Saat
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
WASP	Rüzgar Atlas Analizi ve Uygulama Programı
WEC	Dünya Enerji Konseyi
OME	Observatoire Mediterranien de l'Energie) - Fransa
BP	British Petroleum
CDER	Center for the Development of Renewable Energies - Fas
CESI	Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano - İtalya
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energeticas - İspanya
EDF	Electricite de France - Fransa
ENCORE	Endesa Cogeneration Renovables - İspanya
NREA	New and Renewable Authority - Mısır
EIE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi - Türkiye
RISO	Risoe National Laboratory - Danimarka
STEG	Societe Tunisienne de l'Electricite et du Gaz - Tunus
ARMINES	Association pour la Recherche et le Developpement-Fransa
ENSMMP	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris - Fransa

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Küresel kümülatif rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi 1995-2006.....	20
Şekil 1.2. Ülkemizdeki RES ' nin coğrafik olarak dağılımı.....	26
Şekil 2.1. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	29
Şekil 2.2.İstanbul Ölçekli Mikro Değerlendirme.....	29
Şekil 2.3. Tesis yapımına uygun birinci bölge.....	30
Şekil 2.4. Tesis yapımına uygun ikinci bölge .....	30
Şekil 2.5. Tesis yapımına uygun üçüncü bölge.....	31
Şekil 2.6. Tesis yapımına uygun dördüncü bölge.....	31
Şekil 2.7. Tesis yapımına uygun beşinci bölge.....	32
Şekil 2.8. Tesis yapımına uygun altıncı bölge .....	32
Şekil 3.1. AB 15 üye ülkesi için rüzgâr kurulu güç gelişimi (MW).....	37
Şekil 3.2. AB 15 üye ülkesi için rüzgâr üretim gelişimi TWh.....	38
Şekil 3.3. Ülkelere göre 15 AB ülkesi için rüzgâr kurulu güç gelişimi MW.....	39
Şekil 3.4. AB 15 Üye Ülkesi İçin Rüzgâr Kurulu Gücünün Dağılımı % Olarak.....	40
Şekil 3.5. Orta dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim potansiyelleri.....	41
Şekil 4.1. Tüp Kule.....	48
Şekil 4.2. Halat Destekli Direk Tipi Kule.....	48
Şekil 4.3.Kule Uzunluğu Seçimi.....	49
Şekil 4.4. Rüzgar Türbin Elemanları.....	50
Şekil 4.5. İletim Sistemine Bağlı Rüzgar Türbinlerinin Arıza ve Arıza Sonrasında Sağlaması Gereken Tepkileri.....	64
Şekil 5.1. Kapasiteye Bağlı Çalışma Evreleri.....	70
Şekil 6.1. Rüzgâr İstatistikleri.....	73
Şekil 7.1.Rüzgâr Enerjisinde Politika, Strateji ve Hedefler.....	91
Şekil 8.1. Senaryoların gerekliliği.....	99
Şekil 8.2. Senaryo Tekniği.....	100
Şekil 8.3. Farklı 4 senaryo için ilişki diyagramı.....	101
Şekil 8.4. AB – Türkiye Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması.....	105

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 1.1.</b> Enerji Üretim Metotlarının Maliyet - Ömür İlişkisi.....	19
<b>Tablo 1.2.</b> Dünya kurulu gücünün ülkelere göre dağılımı.....	21
<b>Tablo 1.4.</b> Lisans Başvuru Trendi.....	23
<b>Tablo 1.5.</b> Ülkemizdeki Mevcut Projeler Ve Kurulu Güç Değerleri.....	24
<b>Tablo 3.1.</b> Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Güç – Doğrudan Teşvik Bedelleri.....	36
<b>Tablo 3.2.</b> Yıllara Göre Yatırım ve Yedek Kapasite Bedelleri.....	36
<b>Tablo 3.3.</b> İstanbul İlçeleri Ortalama Nüfus Dağılımı.....	42
<b>Tablo 3.4.</b> Kişi başına Düşen Elektrik Tüketimi.....	43
<b>Tablo 3.5.</b> Rüzgâr hızı, esme olasılığı ve rüzgâr türbininin güç değerleri kullanılarak hesap edilen enerji üretim tablosu.....	46
<b>Tablo 4.1.</b> Kutup Sayısı Ve Dönüş Hızına Bağlı Olarak Frekans Oluşumu.....	52
<b>Tablo 4.2.</b> VDE normlarına göre k katsayısı	
<b>Tablo 4.3.</b> 66 kV iletim sisteminde yer alan baraların kısa devre akım güçleri ve çeşitli yüzdesel değerler için dağılımları.....	63
<b>Tablo 6.1.</b> Rüzgâr türbinleri piyasasındaki seçilmiş türbinlerin karakteristikleri.....	74
<b>Tablo 6.2.</b> Kentin Enerji İhtiyaç Analizi.....	76
<b>Tablo 6.3.</b> Rüzgâr hızına göre türbin güçleri (kW).....	79
<b>Tablo 6.4.</b> İstanbul İçin Türbin İhtiyaç Analizi.....	80
<b>Tablo 6.5.</b> Kabuller Cetveli.....	81
<b>Tablo 6.6.</b> Hesaplanan Enerji Üretim Maliyeti.....	83
<b>Tablo 6.7.</b> İnşaat Süresince Eskalasyon ve Faiz Yüğü.....	84
<b>Tablo 6.8.</b> Sermaye Masrafları Yatırım Kredisinin Geri Ödeme Planı.....	85
<b>Tablo 6.9.</b> Operasyon Bakım Masraflarının LEVELİSED COST Metodu ile Hesabı..	87

## ÖNSÖZ

Alternatif enerji kaynaklarına yönelim trendini tetikleyen unsurlar, ihtiyaçlar ve karşılanabilirlik düzeyidir. Fosil yakıt kaynaklarının tükenmekte olduğu günümüzde bu kaynakların bir yüzyıla yetmeyecek potansiyelinden bahsedilmektedir. Dünya ülkelerinin mikro ve makro ekonomik zeminde etkilendiği enerji krizleri ve kaynak sıkıntılarını sona erdirecek bir çözüm önerisi olarak son yüzyılda artan bir ivme ile önem kazanan RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRALLERİ kavramı tez konunun çıkış noktasını teşkil etmektedir.

Enerji odaklı kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektör yatırımlarının bu tip santraller ve rüzgâr çiftliklerini kurarken karşılaştığı en büyük sıkıntı yol haritası ve mevcut durum değerlendirmesidir. Türkiye'nin mega kenti İstanbul'un da ülkedeki her dört kişiden birinin yaşadığı kent olması itibariyle yetkililerin; proje aşamasındaki her RES için, projenin uygunluğunu test edebileceği, maliyet boyutunu inceleyebileceği, küresel enerji senaryoları ve geliştirilebilecek politikaların verildiği bu çalışmadan faydalanacağı düşüncesindeyim. Yüksek lisans tez çalışmamda iyi niyetiyle hep yanımda olan ve çalışmalarımda bana güç veren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sayın Zehra YUMURTACI' ya, fikir telakkisinde bulunduğu Enerji Bakanlığı Planlama ve Dış İlişkiler Departmanı mühendisi Bilal ŞİMŞEK' E, İstanbul Enerji A.Ş. tesis şefi Müfit ERDOĞAN' a, değerli arkadaşım İbrahim CİNGİL'e ve uzakta olmalarına rağmen benden manevi desteğini hiç esirgemeyen başta BİRİCİK ANNEM olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

### İSTANBUL'DA RÜZGAR SANTRALLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ VE EKONOMİKLİĞİ

Bu çalışmanın amacı; İstanbul' da ki yatırımları devam eden Rüzgar Enerji Santrallerinin uygulama ve mali etütlerinin araştırılmasıdır. Rüzgar enerjisi potansiyel haritalarının Elektrik İşleri Etüt İdaresi iletişim kanallarında yayımlanmıştır. Bu haritanın Marmara bölgesi sınırları içerisindeki İstanbul şehri değerlendirilmesine çalışılmıştır. İstanbul için istikrarlı altı noktasal bölgenin ve hattın fizibiliteye uygun ve rüzgar potansiyeli açısından İstanbul'un en zengin bölgeleri belirlenmiştir. Rüzgâr enerjisi potansiyel haritaları üzerindeki yoğunluk değerleri ve uygun bölgeler mikro ölçümlene ile incelenmiştir. İstanbul için yapılan analizde mevcut rüzgâr potansiyelinin kent ihtiyacının % 35' ini karşıladığı belirlenmiştir. Bu kapsamda arazinin enerji verimliliği noktasında İstanbul sınırları içerisinde altı stabil bölge belirlenmiştir. Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi maliyeti hesaplama aşamasında; TOPLAM ENERJİ ÜRETİMİ MALİYETİ ile BİR DEĞERE GETİRİLMİŞ (Levelised Cost) MASRAFLAR METODU ile sermaye maliyeti hesaplanmış ve 10 MW gücündeki tesisin direk yatırım bedelinin 12.080.865 \$ olacağı saptanmıştır. Farklı türbin güçlerine göre, ihtiyacı karşılayacak optimum türbin sayısı belirlenmiştir. Dünyadaki mevcut enerji senaryoları incelenerek yatırımların anlamlılığı, Avrupa Rüzgâr Türbin Standartları analizi ile de sistemin müdahale odakları deşifre edilmiştir. Yatırım projelerinin yol haritası niteliğindeki yatırımcı rehberi ile sürecin unsurları verilmiştir. Bu adımların tümünde Rüzgâr çiftliklerinin şebekeye bağlanacak değerlerinde artış amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar Türbinleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Potansiyeli, İstanbul Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Analizi

## **ABSTRACT**

### **FEASIBILITY AND ECONOMY OF WIND TURBINES IN ISTANBUL**

The subject of this master thesis is; researching application and economic studies also reaching feasibility basis of the wind energy facilities in Istanbul. Wind energy potential maps that are published on communication resources by Electricity Studies Department of the Turkish Government are analysed and Istanbul city in Marmara region is evaluated. There are six stabilized locations and lines that's feasibility determined and the richest wind potential regions are identified. The density values of wind potential maps are studied by micro evaluation for suitable areas to calculate the electricity manufacturing by wind potential. Total energy manufacturing cost and levelised cost method is used to determine capital and total energy costs in the economic analysis period of thesis. World energy scenarios are discussed to find the significance level of the investments in concerned projects. European Turbine Standarts are studied to designate the intermeddling focuses of the system. The components of the investment process is given by investors guide as a road map for investment projects. All these steps are aimed to increase the values of connection to city electricity network.

**Keywords:** Wind Turbines, Renewable Energy Resources, Wing Energy, Wind Potential, Istanbul Wind Energy Potential Analysis

## 1.MEVCUT DURUM ANALİZİ

### 1.1.Literatür Taraması

**Y.Himri ve S.Rehman** tarafından Kral Fahd Petrol ve mineral üniversitesinde 2007 yılında yapılan ve Arap Ulusal Elektrik ve Gaz Yayınları'nda basılarak, Mısır'da üç farklı lokasyon için rüzgar potansiyelinin belirlenmesi konulu çalışmada; 1977 ve 1988 yılları arasında Adrar, Timimoun ve Tindufta yerleşik üç farklı istasyondan elde edilen değerler incelenerek ortalama rüzgar potansiyel değerleri alınmıştır. 30 MW kapasiteli tesis için yıllık enerji potansiyelinin hesaplandığı çalışmada, 1000 Kw lık 30 adet rüzgar türbini kullanılmıştır. Yerküre üzerinden 10 metre yükseklikte istasyonlardan elde edilen rüzgar hızları sırası ile 5.9 ,5.1 ve 4.3 m/s düzeyindedir. Ölçümler 09:00 ve 18:00 saatleri arasında yapılmış ve sonuç olarak her bir lokasyondan elde edilecek yıllık rüzgar enerjisi değerlerinin sırası ile 98.832, 78.138 ve 56.040 MWh olduğu anlaşılmıştır.burada % 6 lık basınç ve yaklaşık % 10'luk kayıp değerleri de hesaplamalarda alınan referans değerlerdir. Kapasite faktörleri sırası ile %38 , %30 ve %21 olarak bulunmuştur. Birim enerji maliyet değerleri sırası ile; 3.1,4.3 ve 6.6 cent/kWh olarak ortaya çıkmış ayrıca yine sırasıyla 48000, 38000 ve 27500 tonluk eşdeğer CO2'in atmosfere yayılmasının önlendiği ortaya çıkmıştır.

**Shafiqur Rahman** tarafından Suudi Arabistan'da gerçekleştirilen ve Suudi Arabistan Enerji Araştırma Enstitüsü tarafından yayınlanan bir başka çalışma da; rüzgar etki katsayısı, türbülans hassasiyeti ve yine rüzgar potansiyeli hesaplamasının gerçekleştirildiği çalışmada; 20,30 ve 40 metre yüksekliklerdeki ölçümlerde 1998 ve 2002 yılları arasında mevsimsel farklılıklar ortalaması olarak hava etki katsayısı 0.255 olarak bulunmuş ancak bu değer rüzgar hızları hesabında %10-20 lik bir farklılık doğurarak gerçek ölçüm olan 0.143 lük değeri aştığı belirlenmiştir. Bu farklılık hub bağlantı yükseklikleri ve mevsimsel değişikliklere bağlı olarak gelişmiştir. Sonuç olarak yükseklik arttıkça bu katsayının artış göstereceği belirlenmiştir.

**Ricardo Dutra** tarafından Rio De Janerio Federal Üniversitesi Elektriksel Güç Araştırma Merkezinden yayınlanmış bir başka çalışma Brezilya'da uzun vadeli rüzgar gücü implementasyonları için Coğrafi Bilgi Sistemleri temelli metotların incelenmesi ve etki değerinin araştırılmasını konu alır. 2002 yılında Brezilya'da alternatif enerji kullanım programı (PROINFA) kapsamında GIS parametreleri uygulanabilirlik açısından değerlendirilerek ülkenin çeşitli lokasyonlarında 18.7 ile 28.9 GW kapasiteli tesis kurulmasına

uygun olduğu saptanmış, hidroelektrik enerji bakımından ise 15.5 ile 65.4 GW arasında kurulabilecek üretimin varlığı ortaya konulmuştur. Yerel rüzgar endüstrisinin gelişimine bağı olarak kurulu gücün 29.1 ile 217.1 GW arasında değişebileceği sonucuna varılmıştır.

**J.M.L.M. Palma** tarafından 2006 yılında gerçekleştirilmiş ve CesA, Rüzgar Enerjisi ve Atmosferil Akışlar Araştırma Merkezi tarafından gerçekleştirilmiş bir çalışmada rüzgar kaynaklarının lineer ve nonlinear modellenmesi ile komplike lokasyonlarda mikro yerleşim yöntemi ile rüzgar kaynaklarının değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ölçüm hızları farklı parametrik değerler açısından irdelenerek matematiksel model kapsamında şekillendirilmiş ve kaynakların değerlendirilmesi bir nevi simüle edilerek potansiyeli ve hız dağılımları analiz edilmiştir. Sonik anemometre ve türbülans hassasiyetleri de dikkate alınarak hava akım ekisinin 1-7 dakikalık periyotlarda değerliği gözlemlenmiştir. Türbin dizayn parametrelerinin de referans alabileceği ölçüm sonuçları kritize edilmiştir.

**Chen-Ching Ting** tarafından 2007 yılında Taipei Ulusal Teknoloji Üniversitesi Enerji Mühendisliği bölümü tarafından rüzgar değermeni verimlilik analizi çalışmasında mekanik ve elektriksel verim ifadeleri incelenerek türbin ve kompresör arasında 1.20 lik bir transmisyon dönüşüm oranı saptanarak rüzgar türbini kullanımı ile geliştirilen bir yeldeğermenin %21.28 lik bir verimle çalışacağı belirlenmiş ve eski elektriksel sistemlere göre verimlilik artışı olacağı saptanmıştır.

**Lulian Munteanu, Antoneta Iuliana Bratcu ve Emil Ceanga** tarafından 2007 yılında Dunărea de Jos Galati Üniversitesi'nde gerçekleştirilen değerken rüzgar hızları dönüşüm sistemlerinde MPPT girdi sinyalleri olarak rüzgar türbülansı kullanımı isimli çalışmada; enerji dönüşüm sistemlerinde maksimizasyon problemi için tanımlanmış parametrelerin eksikliğinden yola çıkılarak jenerik adı Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) yaklaşımı irdelenerek, optimal güç çevriminin sağlanacağı rüzgar türbini çalışma pozisyonunun saptanması amaçlanmıştır. Araştırma dağılımı için sinüsoidal arama sinyalleri yerine rüzgar türbülansı kullanılmıştır. Sonuç olarak yüksek hızlarda řaft ortalama rotasyonu; hızlı Fourier Dönüřümü kullanılarak optimal çevrimi verecek şekilde ayarlanmış ve optimal çevrim için rüzgar türbülansının bir parametre olarak ele alınabileceği gösterilmiştir. Çalışmada kanuni kontrol düzeni esas alacak sayısal simülasyonlar kullanılmıştır.

**Erasmus Codenas ve Wilfrido Rivera** tarafından 2008 yılında Meksiko Ulusal Otomasyon Üniversitesi'nde yapılan "Yapay sinir ağları kullanımı ile La Venta, Oaxaca ve Meksiko'da kısa dönem rüzgar hızı tahminlemesi" alışmasında Federal Elektrik Komisyonu verilerinden

faýdalanılarak 7 yıllık ölçümlerle değerleri analiz edilmiştir. İstatistik analiz çalışmasında mutlak hata olarak 0.0016 -0,0399 aralığı alınmıştır. 3 katmanlı 7 nöronlu bir model oluşturularak tahmin süreci matematiksel olarak şekillendirilmiştir. Sonuç olarak 3 lokasyonda Elektrik Enstrümanları Kontrol Merkezi'nce yüksek kullanım değerinde güvenilir enerji kaynağı saptanmıştır.

**Alvaro Pinilla, Luis Rodriguez ve Rodrigo Trujillo** tarafından Kolombiya Üretim Planlama Yönetim Ofisi'nce 2008 yılında gerçekleştirilen Jepirachi Rüzgar çiftliği performans değerlendirmesi çalışmasında; 19.5 MW gücündeki tesise ilişkin bazı sonuçlar derlenmiştir. Buna göre 15 adet Nordex N60 model türbinin Kolombiya'nın ana elektrik şebekesini beslediği, SCADA değerlemesi ile 180.000 saatlik çalışma süresinin olduğu (2004 yılından bu yana) , benzer türbin sistemleri ile karşılaştırıldığında 65-75% oranında verimli çalıştığı, metrekare başına 1750 kWh lik üretimi bir yıl içerisinde sağladığı belirlenmiştir.

**Simon Philippe Breton ve Geir Moe** tarafından 2008 yılında Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi İnşaat ve Ulaşım Mühendisliği Bölümünde yapılan; Avrupa ve Kuzey Amerika kıyı rüzgar türbinlerinde mevcut durum ve teknolojileri konulu çalışmada Danimarka'nın enerji ihtiyacının %20 sinin rüzgar enerjisinden karşılandığı ve bu değerin %50 ye yükseltilmesinin planlandığı ifade edilmiştir. Deniz üzeri ve kıyılardaki tesislerin yakın zamanda güçlü bir alternatif olarak değerlendirileceği vurgulanmıştır.

**Jonathan Whale** tarafından 2008 yılında Murdock Üniversitesi Sürdürülebilir Enerji Araştırmaları Enstitüsü'nde gerçekleştirilen küçük rüzgar türbinleri için yüzey tipi pervane ölçümlerle sisteminin tasarım ve imalatı konulu çalışmada; türbin imalatçılara pervane kaplama teknikleri ile ilgili temel bilgilerin görüntülenmesini sağlayacak basit bir sistem sunmaktadır. Sistem (BPMS) Sürdürülebilir Enerji Araştırmaları Enstitüsü tarafından dizayn edilerek üretilmiş ve üreticilere küçük türbinler için; test, optimizasyon süreçlerinde makinelerine entegre kullanabilecekleri şekilde sunmuştur. Sistem 20-30 kW gücündeki türbinlerde denenmiş, aşırı yüklemelerde güvenilir regülasyon değerlerinin korunmasına yardımcı olmuştur.

**Cihan Dünder** tarafından 2006 yılında Rüzgar Enerjisi ve Türkiye Rüzgar Atlası adlı çalışmada; son yıllarda artan enerji gereksiniminin karşılanmasında, fosil enerji kaynaklarından yapılan üretimle ortaya çıkan çevre kirliliğinin, Türkiye'nin enerji gündeminde önemli bir yer tutmakta olduğu, tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yönelme gözlemlendiğinden bahsedilmektedir.

Çalışmada temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi üzerinde durulmuştur. Çalışma için, Türkiye üzerinde homojen dağılım gösteren 96 adet meteoroloji istasyonu için yerinde incelemeler yapılmış ve bu istasyonlardan 45 adetinin verileri kullanılmıştır. Türkiye rüzgar atlası, Avrupa rüzgar atlasının hazırlanmasında da kullanılan WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) modeli kullanılarak veriler değerlendirilmiştir. Veri olarak da rüzgar verisi, pürüzlülük bilgileri, topoğrafik dağılımlar ve yakın çevre engelleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak engellerin sonuçlara etkisinin 3 kat ve üzeri olduğu belirlenmiştir.

**Nida Nurbay ve Ali Çınar** tarafından gerçekleştirilen ve Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması konulu makale çalışmasında; Enerji gereksinimini karşılamak için çeşitli tipleri olan rüzgar türbinleri (RT'ler) yüzyıllardır kullanılmakta olduğu ifade edilerek, insanların rüzgar enerjisinden faydalanmalarının, yel değirmenlerinden günümüzün Offshore'larına doğru bir gelişme içerisinde olduğu vurgulanmıştır. Çok çeitli alanlarda yararlanılan rüzgar enerjisinden verimli bir enerji elde etmek için, mevcut artlara göre kurulacak RT'in seçimi çok önemli olduğu belirtilmiş, her bir RT farklı özelliklere ve kullanım alanlarına sahip olduğu deklere edilmiştir. Çalışmada, bilinen RT'lerin özellikleri incelenerek, birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

Sonuç olarak; 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 yava 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.

**Makina Mühendisliği Odası Doğan Özgür ve Hasan Heperkan** tarafından yayınlanan Sanayide Enerji Tasarrufu konulu bildiriye göre; Türkiye çeşitli enerji kaynaklarına sahip olmakla beraber ürettiği toplam enerjinin yarısından fazlasını ithalatla karşılamaktadır, Türkiye toplam enerji tüketiminde %34 paya sahip olan sanayi sektöründe enerjinin %42 si petrolden elde edilmektedir, Sosyopolitik nedenlerle sürekli dalgalanma gösteren enerji fiyatları karşısında dışa bağımlılık özelliğini azaltabilmek için ülkemiz endüstrisinin enerji tasarrufu konusuna daha fazla önem vermesi gerekmektedir. Sanayide enerji tasarrufu elektrik enerjisi,

ısı enerjisi, mekanik enerji ve proses enerjisi tasarrufu, madde geri kazanılması ve kullanma suyu temini ve rüzgar enerjisi yollarıyla gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Sonuç olarak sanayii üniversite işbirliğinin önemine atıfta bulunulmuştur.

**TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu kapsamında Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesinden Barış Şanlı** tarafından gerçekleştirilen Enerji Senaryoları ile Enerji Politikalarına Farklı Bir Bakış adlı çalışma odak olarak; Enerji politikalarını geliştirmede bir çok araç olduğu, bunlardan bir tanesinin de senaryo çalışmaları olduğu, senaryo çalışmaları ülkemizde DPT ve diğer kurumlar tarafından yapılmakta olup, çalışmada anlatılan senaryo çalışmaları geçmişte yapılanlardan biraz farklı olduğu ifade edilmiştir.. Geçmişteki çalışmalarda senaryo olarak yüksek büyüme ve düşük büyüme gibi iki senaryo adı altında rakamların sunulmuş olduğu, mevcut çalışmada ise çalışmada anlatılan senaryo metodolojisinin ise daha kalitatif(rakamsal olmayan) ve adım adım senaryonun gelişiminin anlatıldığı yöntem olduğu ifade edilmiştir. Senaryo metodolojisinin başlangıç noktası belirsizlikleridir. Genelde bu alanda yapılan bir çok çalışmada 3 veya 4 senaryo belirlendiğinden bahsedilmiştir. Bunlar da belirsizliklere göre seçilmektedir. Temelde seçilen iki belirsizlik için uç durumlar alınarak birbirine dik iki eksen oturtulmaktadır. Bu eksenlerdeki her bir bölge birer senaryoyu temsil etmektedir. Bu senaryolar üzerinden, belirlenen parametrelerin değişimleri tartışılarak çalışma yapılmaktadır. Çalışmanın sonunda ise parametre değişimlerinin sayısallaştırılarak, modellenmesinin önemli olduğu ancak bir zorunluluk olmadığı ifade edilmiştir. Enerji politikalarında, senaryo çalışmaları ile model çalışmalarında yer almayan bir çok değişken ve etken göz önüne alınmıştır. Sürekli sayısal verilere odaklanmak yerine, daha çok beyin fırtınası şeklinde, ortaya çıkabilecek engeller ve fırsatlar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Burada önemli olan, senaryo çalışmalarının doğasında olan alternatif geleceklerin etkilerini incelemek ve enerji politikaları için a,b,c planları yapmaktır. Çünkü gelecek beklentilerimizin sürekli yanıldığına dikkat çekilmiştir.

**2008 yılı haziran ayında Ankara’ da gerçekleştirilen ENERJİ SENARYOLARI ve POLİTİKALAR PANELİ’nde Turgay Topkaya** tarafından sunulan bildiri; Dünya Enerji Konseyi tarafından ortaya 4 farklı senaryo konulmuştur. WEC tarafından Ankara’da gerçekleştirilen çalıştay ile ulaşılan ve ortaya konulan dört senaryonun incelenmesi sonucunda ulaşılan sonuçlar ve çalışma grubunun önerileri ele alınmıştır. Senaryolar olarak ortaya konulan yaklaşımlar; Asya’nın yükselişi, Çin ve Hindistan Darboğazı, Yükselen Rusya, Petrol Tepe Noktası, Enerji Terminali Türkiye şeklinde sıralanmaktadır. Sonuç olarak ülkemiz

lehine gerçekleşecek senaryonun güçlenmesi için; ülkemizin Enerji Terminali fonksiyonunu kazanması ve sürdürülebilir kılması açısından işbirliklerinin artırılması ve devlete bağımlılıkların azaltılmasının gerekliliği öngörülmektedir.

**Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB)** tarafından 2008 yılında yayınlanan Rüzgar Enerjisi Sektör Raporunda; rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak hazırlanmış , ülkemizdeki son durumun gösterildiği tablo ile Türkiye'deki 02.06.2008 itibarı ile RES piyasasına ait bilgiler verilmiştir. 2008, 2009 ve 2010'da devreye girecek olan RES'ler ile ilgili rüzgar türbin üreticisi ile satış anlaşması imzalamış projeler gösterilmektedir. Bilgiler, EPDK, TÜREB ve sektördeki firmalardan alınmıştır. Projelerde kullanılan RT model ve adedi de eklenmekle beraber, güncellemelerin devam edeceği ifade edilmiştir.

**Dr. Tanay Sıdkı Uyar** tarafından gerçekleştirilen Türkiye Rüzgar Enerjisi Kullanım Programı adlı çalışma da; yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının Türkiye'de hayata geçirilmesi için bir dizi önlemler sıralanmaktadır. Burada elverişli koşulların hazırlanması amacıyla kısaca; diğer dünya ülkelerinde olduğu gibi rüzgar enerjisinden elektrik üretimi hükümetlerin yaygın olarak kullanımını teşvik ettiği teknolojiler arasında değerlendirilmeli, çevreci kişi ve kuruluşlar rüzgar enerjisinin doğal çevrede enerji üretimi konusunda yardımcı olabileceği konusunda bilgilendirilmeli, rüzgar enerjisi sandallarından elektrik üretim esaslarını düzenleyen özel bir kanun TBMM'den geçirilmeli, rüzgar enerjisi diğer çevre dostu olmayan enerji kaynakları ile bir tutulup değerlendirilmemeli, rüzgar kaynağının özelliği nedeniyle rüzgar enerjisinin kamu kuruluşları dışında üretilip, kamunun kullanımına sunulabilmesi için elverişli koşullara sahip olduğu, rüzgar santrallerinin ticari kullanıma girmesini engelleyen tüm kurumsal engeller ve belirsizliklerin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için yasal düzenlemelerin yapılması gerekliliği, ülkemizde gelecek yıllarda kullanılacak enerji teknolojileri değerlendirilirken çevresel kısıtlar ve aday teknolojilerin neden oldukları toplumsal maliyetler de değerlendirme kapsamına alınmalı, halen kullanılmakta olan çevreyi kirleten ve ürettiği birim enerji başına yüksek enerji tüketen teknolojilerin olumsuzluklarını ortadan kaldırmaya aday olan rüzgar güç santrallerinin ülkemizde üretilmesi ve kullanılmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, TÜBİTAK ve Devlet Planlama Teşkilatı araştırma fonlarınınca desteklenmesi gerekliliği üzerinde durulmaktadır.

**Faruk Köse ve Muammer Özgören** tarafından Mühendis ve Makina adlı derginin 551. Sayısında yayınlanan Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgar Türbini seçimi konulu

akademik makale çalışmasında; Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü bölgesinde kurulan ölçüm istasyonunda yapılan ölçümlerden elde edilen veriler değerlendirilerek, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Uluslararası standartlara uygun olarak yapılan ölçümler 2003-2005 yılları arasında 21 aylık periyodu kapsamakta olup, yerden 10 m ve 20 m yüksekliklerdeki ortalama rüzgâr

hızını ve 20 m yükseklikteki rüzgâr yönü değerlerini içermektedir. Ölçülen değerler ve yerli imalat faktörleri göz önüne alınarak kapasite, yatırım maliyeti ve basit geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bölgeye kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali için minimum maliyet ve geri ödeme süresi verecek şekilde uygun türbin tipi seçilmiştir. Yapılacak yatırımın, ilk yatırım maliyetini 6 yıldan daha az sürede karşılayacak olduğu bulunmuş olup, bu değer rüzgâr türbinlerinin literatürde verilen kullanım sürelerine göre oldukça kısa olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak; çalışmada değerlendirilerek, üç farklı marka ve yedi değişik tipteki türbin için ekonomik analiz yapılmış ve basit geri ödeme süreleri bulunmuştur. Ölçüm sonuçları ve istatistik hesapları tablo ve grafiklerle verilmiştir. Üç farklı durum için rüzgâr enerji santralinin maliyet analizinde geri ödeme süresinin 5.21-6.37 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Literatürde, rüzgâr enerji santrallerinin ömrünün asgari 25 yıl olduğu düşünüldüğünde; yapılacak yatırım, ömrünün %25 kadar sürede kendini amorti etmekte olduğu bulunmuş, kalan %75 çalışma süresince ise, çok düşük bir işletme ve bakım maliyeti ile elektrik enerjisi üretimine devam etmektedir. Yurdumuzda, rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminin yaygın olarak gerçekleştirilmesi ile, milli ekonomiye azımsanmayacak oranda katkı sağlanabileceği vurgulanmaktadır.

**Çağın Şen** tarafından 2003 yılında 9 Eylül Üniversitesi'nde yüksek lisans tezi olarak hazırlanan Gökçeada'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılanması adlı tez çalışmasında; dünya ve Türkiye ekseninde gerçekleştirilen çalışmalara paralel olarak "rüzgar enerjisi" konusu "Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması" özelinde bilimsel olarak ele alınmıştır. Çalışma dahilinde; rüzgar enerjisinin temel kriterlerinden yola çıkılarak bir bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması konusunda genel prensipler araştırılmış ve bir türbin üreticisi firmanın ürettiği türbinler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Özetle, bu tez kapsamında rüzgar enerjisinin önemi anlatılmaya çalışılmıştır. Belirtilen amaca yönelik olarak hazırlanan çalışma, yedi bölümden oluşmakta ve sonuç olarak; Gökçeada gibi verimli rüzgar hızlarına sahip bir bölgede kurulacak rüzgar enerjisi santralleri ile zannedildiğinden daha verimli, ucuz, temiz ve yenilenebilir bir enerji ile

elektrik üretimi sağlanabilirliği ifade edilmiş sonuç olarak, hazırlanan tez çalışmasında elde edilen veriler ve bulgulara göre; enerji üretim sisteminin seçilmesinde alınacak ilk kararlardan belki de en önemlisi, sistemin kurulacağı bölgenin artlarına en uygun enerji tipinin saptanarak, bu doğrultuda bir santral kurulmasına gidilmesinin olduğu vurgulanmaktadır.

**Kerem Tuncay Mermer** tarafından yapılan “Enerji Santrallerinde Performans İzleme ve Optimizasyon” konulu 2004 yılında gerçekleştirilen Ulusal Temiz Enerji Sempozyumunda yayımlanan çalışmada; küresel anlamda enerji sektöründeki rekabet, daha az girdi ile daha fazla üretme ve kapasiteyi arttırırken maliyetleri düşürme gerekliliği ortaya konularak, üretim araçlarının yüksek performanslı çalışmasıyla birlikte üretim maliyetlerinin de optimize edilmesi anlamına geldiği ifade edilmiştir. Makinaların anlık durumlarının izlenmesi, ekipmanların performansını öngörmeye dolayısıyla daha az enerji tüketerek daha fazla kaliteli ürün (dönüştürülmüş enerji) elde etmeye büyük ölçüde yardımcı olmaktadır. Doğru ve zamanda verilerin toplanması, işlenmesi ve yönetime sunulması, şirketin karar verici mekanizmalarına çok önemli bir destek sağladığı belirtilmiş ve bunun bir enformasyon sistemi için olmazsa olmaz bir unsur olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, proses verilerini performans bilgilerine çeviren, bu bilgileri gerçek zamanlı ve kronolojik olarak bilgisayarda depolayan bir Performans İzleme ve Optimizasyon Sistemi yazılımının çalışma prensibi, genel özellikleri ve bileşenleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak ilgili yazılımın yeterlilik noktasında eksiklik arzetmediği ve gerçek zamanlı performans ölçümü için değerlendirilebilir alternatifler arasında alınabileceği savunulmuştur.

**Levent Yılmaz** İ.T.Ü İnşaat Fakültesi bünyesinde gerçekleştirdiği Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Kapasitesi konulu çalışma kapsamında; yapılan fizibilite çalışmalarının, Türkiye’nin özellikle Marmara ve Ege Bölgelerinin rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri için uygun olduğunu gösterilmekte, elektrik sarfiyatının en yüksek olduğu bölgelerin Marmara ve Ege olduğu göz önüne alındığında buralara kurulacak olan rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri ile elektriğin iletimi sırasında ortaya çıkacak kayıpların da azalacağı açıkça ortaya konulmaktadır. Ayrıca, yapılan son kanuni düzenlemelerle özel şirketlerin kuracağı rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin ulusal şebekeye vereceği elektrik enerjisini satması veya verdiği elektrik enerjisi kadarını kullanmasının gündeme geldiği sonucu üzerinde durulmaktadır.

**Ana Simao, Paul J. Densham ve Mordechai (Muki) Haklay** tarafından 2007 yılında Londra Üniversitesi İleri Uzaysal Araştırmalar Merkezinde gerçekleştirilen rüzgar çiftlikleri

için stratejik planlama odaklı web tabanlı işbirliği planlama ve halkın katılımını sağlama konulu çalışmada; rüzgar çiftliklerinin implementasyonu konulu yönetim mekanizmasına halkın katılımının sağlanması amaçlanmış, bir işbirliği portalı ile de karar uzayının tanımlanması sürecinde çoklu kriter uzay seçimi karar destek sistemi dizayn edilmiştir. Çalışmada sistemin detaylarına yer verilerek sistemin karar uzayını tanımlama süreci hakkında bilgiler verilmiştir. Karar sürecinde öğrenme ve tüm planlama sorumlularının sürece katılımı hedeflenmiştir.

**Julija Matevosyan, Magnus Olsson ve Lennart Söder** tarafından 2008 yılında Büyük Teknoloji Enstitüsü bünyesinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada; enerji arzında yaşanan bölgesel tıkanıklığın düzenlenebilmesi için rüzgar ve hidrosantral koordinasyonunda giderilmesi konusu irdelenmiştir. Çalışmada multireservuar yaklaşımı geliştirilerek arz etkisini güçlendirecek bir hibrid sistem geliştirilmiştir. Sistem hidrosantrallerin öncelikli olarak şebeke yükünü giderdiği gerçek sistemler üzerinde test edilmiş aynı şebekeye bağlanabilecek rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri koordineli olarak ele alınmıştır. Model rüzgar santrallerinin belirsiz fiyat pozisyonları için değerlendirilerek tanımlanmış algoritma için arz dengesinin fiyat dengesini de koruyacağı ifade edilmiştir. Plan algoritması bir vaka analizinde kullanılarak olumlu etkileri verilmiştir.

**M.El Mokadem, V.Courtecuisse, C.Saudemont, B.Robyns ve J. Deuse** tarafından 2007 yılında Belçika Brüksel şehri Ulusal Teknoloji Araştırmaları Merkezinde ortaya konulan ve değişken hızdaki rüzgar generatörünün birincil frekans kontrolüne katılımının deneysel çalışması konulu makalede; 2.2 kW gücündeki test düzeneği kurularak değişken rüzgar hızına sahip bir sistem generatörünün şebekeye bağlantı olasılığı araştırılmıştır. Sistemde önce düşük daha sonrada yüksek tork üreten sistem generatörü çalıştırılmıştır. Düzensiz generatör üretiminin birincil frkansta şebekeye katılımı incelenmiştir.

**C.Carillo, A.Feijoo ve J.Cidras** tarafından 2008 yılında İspanya Vigo Üniversitesi Elektrik Mühendisliği'nde yapılan izole bir rüzgar türbininin dizel gruplu enerji depolama aygıtları ile karşılaştırılmasının yapıldığı bir başka çalışmada; hidrostatik transmisyon mantığında çalışan bir diesel gruplu enerji depolayıcı ele alınmıştır. Sabit ve değişken hızlı elektronik güç dönüştürücüler karşılaştırılarak düzenek davranışlarının değerlendirilmesi için simülasyon ortalamalarından yararlanılmıştır.

**D.Aouzellag, K.Ghedamsi ve E.M. Berkouk** tarafından 2008 yılında Mısır A.Mira Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilen Bir Rüzgar Generatöründe

Güç Şebekesi Değişkenlik Kontrolü konulu çalışmada; rüzgar generatörünün şebekede meydana getirdiği değişkenlikler araştırılmıştır. Şebekeye bağlı çift beslemeye sahip rüzgar türbiniye şebekeye enerji depolama gereci ile bağlanmıştır. Çalışma modeli olarak ikiz beslemeli indüksiyon generatörlü AC/AC girişli dönüştürücü incelenmiştir. Çalışmada enerji depolamak için değişken generatöre bağlı klasik sincap kafesi makinesi metodu kullanılmış, metodu doğrulamak için amaçlanan sistem farklı çalışma noktaları için simüle edilerek sistemin performansı ispatlanmaya çalışılmıştır.

**Ali Mostafaeipour ve Hossein Abarghoeei** tarafından İran Yazd Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde 2006 yılında gerçekleştirilen Kuzey İran bölgesi Manjil lokasyonunda rüzgar enerjisi kullanımı konulu çalışmada; yılın çeşitli zamanlarında rüzgar hızı ölçüm değerleri çok iyi olan 6 farklı noktadan bahsedilmiştir. Bölgenin dünyada rüzgar çiftliği kurulacak en iyi yerlerden biri olduğuna değinilmiş ve altlık olarak uluslararası değerler ve istatistiki veriler incelenmiştir. Bölgede kurulu olan 51 rüzgar türbini olduğu ancak gelecekte bu sayının artırılmasının hedeflendiği ifade edilmiştir.

**M.Carolin Mabel ve E.Fernandez** tarafından 2007 yılında Hindistan Teknoloji Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümünde yapılan Rüzgar Enerjisinin Hindistan'da büyümesi ve trendleri konulu çalışmada; Hindistan'da teknolojik gelişmelere bağlı olarak rüzgar enerjisi konusunda önemli yol katettiği ve özellikle optimal rüzgar enerjisi eldesi için atağa geçtiğinden bahsedilmekte, dünyada kurulu güç bağlamında hızlı bir yükselişle dünyada kurulu güç bakımından en yüksek 4. Ülke olduğu vurgulanmış, ve kurulu kapasitesinin 6018 MW olduğu belirtilmiştir. Çalışma Hindistandaki 5 eyalette enerji potansiyel gelişimini incelemektedir. Teknik potansiyelin artırılması için yol haritası ve zaman periyodu analiz edilmiştir.

**Karoly Tar** tarafından 2006 yılında Macaristan Debrecen Üniversitesi Meteoroloji Bölümünde gerçekleştirilen Farklı yüksekliklerde aylık ortalama rüzgar hızlarının bazı istatistiksel karakteristikleri konulu çalışmada; 1991 – 2000 yılları arasında Macaristan'daki 7 farklı bölgedeki meteorolojik ölçüm değerleri dikkate alınmıştır. aylık ortalama ölçüm değerleri ampirik dağılımları teorik dağılıma yaklaşmış olup Weibull dağılımı ile elde edilen aylık ortalama tahmin karakteristikleri anemometreden farklılık göstermiş olup Hellman yükselme bağıntısı ile Weibull dağılımının korelasyon gösterdiği ispatlanabilir bir noktaya getirilmiştir.

**R.D. Fernandez, R.J. Mantz ve P.E. Battaiotto** tarafından 2006 yılında Arjantin Patagonya Ulusal Üniversitesinde gerçekleştirilen zayıf şebeke hatlarında salınım azaltımı için rüzgar türbinlerinde potansiyel katılımını rüzgar girişimi ile sağlanması konulu çalışmada; Arjantin'de gündemde olan zayıf şebeke hatlarının rüzgar kontrolü ile sağlanabileceğine değinilerek, şebekeler arası ve şebeke içi salınım değerlendirilerek kalitatif bakış çıkarımı için salınım izolasyonu modu baz alınmıştır. Çalışma sonucunda; rüzgar çiftlikleri için tasarlanacak yeni kontrol mekanizmalarının güç sistemleri üzerinde olumlu etkileri olacağı ifade edilmiştir.

### **Türkiye'deki Bazı Uygulama Projeleri**

#### **Rüzgar Enerjisi Su Pompalama Sistemleri Projesi**

EİE' nin iki adet mekanik rüzgar enerjisi su pompalama sistemi bulunmaktadır. Bu proje ile;

- Mevcut teknoloji ile ilgili bilgi birikiminin sağlanması,
- Bu sistemlerin bakım-onarım ve işletme konularında deneyim kazanılması,
- Yurt içinde imalat ve kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmaktadır.

6 m yükseklikte çelik halatlı bir direk üzerinde bulunan bu sistemlerden biri 6 kanatlı olup emme basma tulumla yardımıyla maksimum 7 m derinlikten 5 m yüksekliğe su basabilmektedir. Sistem 3 m/s rüzgar hızında su pompalamaya başlamaktadır.

Bu sistem "EİE Yeni Enerji Kaynakları Parkı"na tesis edilmiştir. Ayrıca EİE tarafından rüzgar su pompalama sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu sistemin rotor çapı 2 m, kanat sayısı 16, piston çapı 10 cm, stroku 32 mm ve pompalama yüksekliği 4 m'dir. Didim (Aydın) "Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi"ne tesis edilen bu sistem 3 m/s rüzgar hızında 5.3 m<sup>3</sup>/gün su pompalayabilmektedir.

E.İ.E 'nin Rüzgar Jeneratörü Projesi kapsamında; rüzgar enerjisi yardımıyla elektrik enerjisi üretimi konusunda dünyada çeşitli ülkelerde sürdürülen teknolojik gelişmeleri incelemek ve ülkemiz genelinde bu teknolojiden azami oranda yararlanmak amacıyla idare Orta Doğu Teknik Üniversitesi ile 1983 yılında ortaklaşa bir proje başlatmıştır. Bu proje kapsamında geliştirilen bir rüzgar türbini -jeneratörü sistemi E.İ.E tesislerinde kurulmuştur. Ülkemizde ilk kez projelendirilerek imal edilen bu sistemin büyük bir kısmı ülkemiz olanakları ile üretilerek gerçekleştirilmiştir.

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin olurluğunu sergilemeye yönelik bu sistem , belirli bir enerji talebini kesintisiz bir biçimde sağlamak amacıyla bir akü grubu ile donatılmıştır. Sistemin türbini SAAB - ERICSSON VA3, Darrieus tipi, düz ve airfoil kesitli üç adet kanatlı , düşey eksenlidir. Kanatlar 3 m uzunlukta dönme eksenine göre 3 m çapında olup rüzgara karşı alanı 9 m<sup>2</sup> 'dir. Türbin iki parçalı bir savanius türbinü ile takviye edilmiştir. Türbinin ağırlığı 500 kg olup 4 m/s rüzgar hızında dönmeye başlamakta 8 m/s hızında da rated gücü erişmektedir. Sistemin jeneratörü 1,1 kw civarında olup 3 fazlı senkron olup , rüzgar hızına göre ürettiği A.C biçimindeki elektrikselsel güç 100-300 d/dk , 35-43 V , 23-70 Hz arasında değişmektedir. Ağırlığı 180 kg civarındadır.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin monte edildiği kule 17 m yüksekliğinde ,dört ayak galvanizli çelik kafes tipinde olup 4750 kg ağırlığındadır. Kule 50 m/s 'lik rüzgar hızına dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin gücü 1,1 kw civarında olup 250A'lık kapasiteli 48 voltluk kurşun-asit tipi akü grubu ile donatılmıştır. Proje kapsamında , ulusal elektrik şebekesinin ulaşmadığı yerleşim birimlerine ve konutlara elektrik enerjisi gereksiniminin rüzgar enerjisinden karşılanabileceğini sergileyen örnek bir birim tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu bağımsız güç kaynağı Türkiye'de şu alanlarda uygulama olanağı bulacaktır.

- \* Elektriksiz köyler
- \* Çiftlikler
- \* Petrol boru hatlarının korunması
- \* Mikrodalga tekrarlayıcı istasyonları
- \* Deniz fenerleri
- \* Deniz ve dağ evleri , adalar ve diğerleri

### **IRESMED Projesi**

IRESMED (Integration of Renewable Energies into Electricity Network) projesi Avrupa Birliği JOULE ve INCO programı kapsamında finanse edilmiş olan bir projedir.

Proje, kırsal alan elektrifikasyonu için PV ve rüzgar gücünün elektrik üretimine entegrasyonunu sağlamak olmak üzere iki ayrı çalışma grubunda yürütülmektedir. EIE İdaresi IRESMED projesine "Dağıtım Şebekesine Bağlı Elektrik Üretimi İçin Rüzgar

Gücünün Entegrasyonu" kapsamında katılmıştır. Projenin amacı Güney Akdeniz Ülkelerindeki kırsal bölgelerde dağıtım şebekesine bağlı üretim çerçevesinde küçük şehirler ve köylerin elektrik enerjisi ihtiyacını sağlamak amacıyla büyük ölçekli rüzgar gücünün kullanılmasıdır.

IRESMED projesi Avrupa Birliğine üye Kuzey Akdeniz Ülkeleri kurumları olan OME, RISO, ENEL, CIEMATT, CEEETA, TGI, IPTS ve ENDESA'nın teknik desteği ile yürütülmüştür. Çalışma aşağıda belirtilen beş aşamadan oluşmaktadır.

Bunlar;

**Task-1** Rüzgar Kaynağının Analizi ve Site Karakterizasyonu

İzmir - Çeşme Yarımadası'nın da içinde yer aldığı Foça'dan Yalıkavak'a kadar uzanan 200 km X 200 km lik alan proje alanı olarak seçilmiştir. Sözkonusu proje alanında EİE'nin toplam 8 istasyonu yer almakta olup rüzgar enerji potansiyeli açısından oldukça ümit vericidir. Bu aşamada EİE bölgede yer alan istasyonlar için 10km x 10 km'lik alanda WASP modelini kullanarak kaynak analizleri yapmış ve analizi yapılan alanlarda rüzgar tarlaları oluşturularak enerji üretimleri hesaplanmıştır. Yaklaşık olarak 200 km x 200 km'lik alanda rüzgar potansiyeli belirlenmesi çalışması uydu dataları ve KAMM modeli kullanılarak RISO tarafından gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar KAMM modelinin kompleks arazilerde geçerliliğini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır.

Kocadağ için yapılan incelemede her iki modelin sonuçlarının oldukça yakın olduğu görülmüştür.

**Task-2** Teknolojik Hususlar ve Şebeke bağlantı Konuları

Rüzgar enerji yatırımları açısından oldukça ümit verici olan proje alanı içerisinde özellikle Çeşme Yarımadası'ndaki mevcut şebeke durumu incelenmiştir. Türkiye'de teknoloji transferine yönelik ilgili kararnameler ve mekanizmalar araştırılmıştır. Ayrıca mevcut rüzgar santral projelerinin ana teknik özellikleri, projeler kapsamında girişimcilerin planları, teknoloji transferi konusundaki eğilimler ve karşılaşılan zorluklar incelenmiştir.

**Task-3** Ekonomik Hususlar ve Çevresel Yararları da Kapsayan Fayda Maliyet Analizleri  
Bu aşamada Türkiye'de rüzgar projelerine uygulanan prosedür ve mevzuat incelenmiş ve IPTS tarafından geliştirilen ekonomik analiz modeli kullanılarak seçilen örnek iki rüzgar santrali için maliyet fayda analizleri yapılmıştır.

Ayrıca rüzgar santralleri ile belirlenen alternatif teknolojiler için dengelenmiş maliyetler hesaplanmıştır.

#### **Task-4 Pazar Geliştirme Konuları ve Kurumsal Yapı**

Bu aşamada Türkiye'de rüzgar projelerine uygulanan kanunlar ve ilgili mevzuat incelenerek yasal çerçeve ve uygulanan prosedür ortaya konmuştur. Ayrıca karşılaşılan engeller ve problemler tanımlanmıştır.

#### **Task-5 Finansal Planların Analizi ve Özel Sektör Katılımı**

Rüzgar santrallerinin finansmanı, yararlanılabilecek teşvikler incelenmiş ve rüzgar santrallerinin finansmanında karşılaşılan sorunlar belirlenmiştir.

#### **MED 2010 Projesi**

MED 2010 projesi ile "Akdeniz Ülkeleri'nde ( AB'ye üye Akdeniz Ülkeleri ve Güney Akdeniz Ülkeleri) rüzgar ve güneşten elde edilecek elektrik enerjisinin Avrupa Birliği ülkelerine büyük ölçekli entegrasyonunu sağlama yolları araştırılmıştır. Yapılması planlanan entegrasyon ile Avrupa Birliği Komisyonu'nun yenilenebilir enerji konusundaki 2010 yılı için %12'lik yenilenebilir enerji kullanımı ve Kyoto Protokolünün Avrupa Birliği Ülkeleri'nde 2010 yılında CO2 emisyonlarının 1990 yılı baz alınarak % 8 azaltılması hedeflenmektedir. MED 2010 projesine EİE İdaresi Genel Müdürlüğü rüzgar enerjisi konusunda katılmıştır.

#### **Neler Yapılabilir?**

Türkiye, 2001 yılı itibariyle dünya nüfusunda %1.10, ekonomisinde %0.68 ve enerji tüketiminde %0.86 oranında bir paya sahiptir. Tüketilen ve üretilen enerji miktarının bir ülkenin ekonomik kalkınmışlığının bir göstergesi olduğu düşünürse, yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin daha etkin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir bölgede yer alan Türkiye'de yapılan bu düzenlemeler çevre dostu ve ucuz enerji üretimini artıracaktır. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak amacıyla daha fazla araştırma-geliştirme çalışması yapılması, bu amaçla "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Master Planı"nın oluşturulması, özel sektörün bu alanda yapacağı yatırımlara sübvansiyon, düşük faizli kredi, vergi iadesi ve muafiyeti gibi uygulamalar getirilmesi de faydalı olabilecektir. Yerli üretimin artırılması, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması ayrıca çevreye daha az zarar verilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması teşvik edilmeli, bu amaçla, işletme masrafları çok düşük, ulusal kaynaklarımızdan olan, ancak hala

%35'ini değerlendirebildiğimiz hidro-enerji kaynaklarımıza yönelik yatırımlar desteklenmelidir. Enerji talebindeki hızlı artışı karşılanması için, yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin ve rasyonel biçimde yararlanılması amacıyla kamu ve özel sektör yatırımlarının bu alana yönlendirilmesi de yararlı olacaktır. Ancak, bu konuda yatırım; üretim ve tüketim maliyetlerinin yüksekliğinin yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasının önündeki en büyük engel olduğu görülmektedir. Sözgelimi, kömür, yakıldığında ortaya çıkan karbondioksit emisyonu için ödenmesi gereken yüksek bir ceza olmadığı sürece, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki (Hindistan, Çin, Endonezya vb.) bolluğu da göz önünde alındığında önemli bir enerji kaynağı olmaya devam edecektir. Öte yandan, doğalgaz, kalkınmakta olan ve yoğun nüfusa sahip pek çok ülkenin enerji planlamasında gelecek yıllarda da önemli rol oynayacaktır.

Süreçte uygulanabilirliği yüksek ve verimli araştırma konuları;

- Yerel mikro analizler
- Güncel ekonomik analizler
- Ekonominin fiyatlar üzerine etkisi
- Teknoloji politikaları
- Yerel türbin retimi
- Performans artırma yöntemleri
- Malzeme laboratuvar testleri ve iyileştirme çalışmaları
- Dayanım testleri
- Elektrik şebekesi bağlantı optimizasyonları
- Matematiksel modelleme yaklaşımları
- Simülasyon çalışmaları
- Aşırı Yükleme Testleri

Literatürde bu yönlü bir yol haritası söz konusu iken; gerçekteştirilen bu tez çalışması megakent İstanbul bazında değerlendirmelerin yolunu açmak, özel sektör yatırımcılarına analitik bir bakış açısı kazandırmak ayrıca yatırımcılara ekonomik analizlere ilişkin yorum yeteneğini kazandırmak amaçlanmıştır.

## 1.2.Rüzgâr Enerjisinin Tanımı

Rüzgâr, yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına yer değiştiren havanın, dünya yüzeyine göre bağıl hareketidir. Rüzgâr enerjisinin ana kaynağı güneştir. Güneş dünyanın bir tarafındaki havayı, toprağı ve suyu ısıtırken dünyanın diğer tarafı soğur. Günlük soğuma ve ısınma değişimleri gün boyunca dünyanın çevresinde devam eder. Ekvator bölgesi kutuplara göre daha fazla güneş enerjisi depo eder. Ekvatorda ısınan hava yükselerek kutuplara doğru gider, soğuyan hava ise ağırlaşarak geri döner. Hava 30 kuzey enleminde yığılma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak bu bölgede basınç yüksek ve iklim ılımandır. Bazı hava kütleleri bu yüksek basınç bölgesinin dışında güney doğuya doğru eser ve dünyanın dönmesinin oluşturduğu etki ile batıya sapar, bu rüzgârlar alize rüzgârları olarak adlandırılır ve genellikle denizciler tarafından kullanılır.

İnsanoğlu, rüzgâr enerjisini yüzyıllardır kullanmaktadır. Hollanda'dan Amerika'ya birçok farklı coğrafyada yel değirmenleri vasıtasıyla un üretilmekte ve su kuyularından su çekilmektedir. Günümüzde ise modern rüzgâr türbinler ile rüzgâr enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanıma sunulmaktadır.

Rüzgâr enerjisinin bazı özelliklerini şu şekilde sıralanabilir:

- Rüzgâr enerjisi yoğunluğu bölgesellik arz eder.
- Rüzgâr enerjisinden faydalanmak için başka bir enerji türüne dönüştürülmesi gerekir.
- Hammaddesi rüzgârdır ve rüzgâr atmosferde bol ve serbest olarak bulunur.
- Güneş ve dünya var olduğu müddetçe rüzgâr enerjisinden yenilenebilir enerji kaynağı olarak faydalanılabilir.

## 1.3.Rüzgâr Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlunun, rüzgârın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok eski dönemlere dayanır. Rüzgâr gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması gösterilebilir. İlk kez M.Ö. 2800 yıllarında Mısırlıların kürek mahkûmlarının gücüne ek olarak rüzgâr enerjisini kullandıkları biliniyor. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgârın gücünden yararlanmışlardır. Buharlı gemilerin icadına kadar yelkenliler, kıtalararası ulaşım ve ticarete büyük rol oynamıştır. Kıtalar arası ulaşımın gelişmesinde en

önemli katkıyı Fenikeliler yapmıştır. Hatta bu yüzden İngilizler, Batı rüzgârlarına Ticaret rüzgârları (Trade winds) adını vermişlerdir.

Yel değirmenlerinin M.Ö 2000 yıllarında eski Mısır, Çin ve Japonya'da icat edildikleri ve tahıl öğütme işleminde başarıyla kullanıldıkları kabul edilir. Yel değirmenlerinin merkezi, Hollanda kabul edilmektedir. Yel değirmenlerinin icadı batıya, Haçlı Seferleri (1096–1270) sırasında Türkler yoluyla geçmiştir. Zamanla Fransa, Almanya, İngiltere de yapılmaya başlanan değirmenler, 18. y.yılsonlarına doğru Avrupa'da giderek yaygınlaşmıştır. Rüzgâr enerjisi tür olarak, endüstriyel devrimde yararlı bir enerji kaynağı olarak benimsenmemiştir. Ancak, 1973–1974 yıllarında ortaya çıkan petrol krizleri, uzak bölgelerin beslenmesi amacıyla elektrik üretimi ve suyun pompalanması için bu teknolojiye gösterilen ilgiyi yeniden canlandırmıştır.

1987'de Kaliforniya'da uygulamaya konulan bir vergi indirimi sistemi, rüzgâr endüstrisine yönelik bir atılımın öncüsü olmuştur. Halen dünyada, otuz kadar ciddi rüzgâr türbini yapımcısı mevcuttur. Bunların çoğu Avrupa Birliğine üye ülkelerde bulunmaktadır. Yel değirmenlerinin en modern şekli olarak kabul edilen ve onun prensiplerine göre çalışan ilk rüzgâr türbini 1890'da Danimarka'da üretilmiştir. Rüzgâr enerjisinden en yoğun yararlanan ülke olan ABD'de ilk kez rüzgâr enerjisinden yararlanma çalışmaları 1944 yılında gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisi üreten ilk rüzgâr santrali ise, ABD'de Vermont eyaletinin Montpelier kenti yakınlarında 1940 yılında General Elektrik firması tarafından inşa edilmiştir.

ABD'de de başlayan rüzgâr enerjisinden yararlanma durumunu zamanla Danimarka, Hollanda, İsveç, Almanya izlemiştir. Rusya federasyonunda ilk deneme rüzgâr türbinleri istasyonu 1952'de Yalta'da kurulmuştur. Kule yüksekliği 50 m olan rüzgâr türbinlerinin kurulu gücü 1000 kW civarındadır. İngiltere'de ülkenin sahip olduğu rüzgâr enerjisi potansiyeli etüt edilmiş ve kurulu gücü 2000kW - 3000 kW dolayında olabilecek çok sayıda santral kurulabileceği ortaya konmuştur. Bu ülkelerden başka Arjantin, Mısır, İspanya, Hollanda, Danimarka, İsveç, Avustralya gibi ülkeler bu konuda çalışmalar yapmaktadır.

#### **1.4.Rüzgâr Enerjisinin Avantajları**

Rüzgâr enerjisinin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

-Fosil yakıtların yarattığı problem rüzgâr türbinleri için yoktur. Bu türbinler yakıt olarak rüzgârı kullandıklarından atmosfere zehirli gazlar vermezler.

-Rüzgâr çiftlikleri kuruldukları alanın sadece %1'lik bir bölümünü kullanırlar. Geri kalan bölüm, tarımsal faaliyetlerde rahatlıkla kullanılabilir.

-Rüzgâr çiftlikleri, termik, hidrolik vb. santrallerle, ekonomik açıdan rekabet edecek düzeye gelmiştir. KWh başına maliyet 4,5–6 cent civarındadır ve bunun yakın zamanda daha da düşeceği tahmin edilmektedir.

-Rüzgâr çiftliklerinin söküm maliyetleri yoktur. Çünkü sökülen türbinlerin hurda değeri söküm maliyetlerini karşılamaktadır.

-Bu çiftliklerin ömürlerini tamamlamasından sonra türbinlerin kullanıldığı alan eski haline kolayca getirilebilmektedir.

-Dışa bağımlılık oranı çok azdır. Ülkemizde kişisel uygulamalar için (küçük güçlü) türbin üreten firmaların olduğu ve bu türbinlerin kulelerinin ülkemizde üretilebildiği düşünülürse, türbin yapımı için gerekli yatırımın yapılmasıyla tamamen ulusal bir saha yaratılabilir.

-Yapım aşamasında, inşaat faaliyetleri yöredeki insanlara iş olanakları yaratır.

-Genelde kırsal alanlara kurulan bu çiftlikler arazi için ödenen satın alma veya kira bedelleriyle yöredeki insanlara ciddi bir ekonomik girdi sağlamaktadır.

-Rüzgâr türbinlerinin kuruluşu sırasında harcanan enerjinin 3 ay gibi kısa bir sürede üretilebilmesi, özellikle bizim gibi kısa dönemde enerji talebi olan ülkeler için önemli bir faktördür.

Enerji üretimi için seçilecek yöntem karar verilebilmesinde etkili olan dört önemli faktörden söz edilebilir;

- 1.Kaynağın elde edilebilirliği,
- 2.Çevreye olan etkileri, yatırım ve üretim maliyetleri,
- 3.Yatırım ve üretim maliyetleri,
- 4.Kaynağın ömrü.

Rüzgâr enerjisini çevresel etkiler konusunda diğer enerji üretim metotları ile kıyaslayacak olursak; rüzgâr enerjisinin tek çevresel etkisi gürültü olmakla birlikte, rüzgâr enerjisinden faydalanmak açısından tercih edilen arazilerin genel olarak yerleşim yerlerinden ve orman gibi doğal yaşamın olduğu yerlerden uzakta olması bu sorunu hafifletmektedir. Üç kriter (1,3,4) açısından kıyaslanma ise Tablo 1.1'de görülmektedir.

Tablo 1.1. Enerji Üretim Metotlarının Maliyet - Ömür İlişkisi (Enerji Bakanlığı Rüzgâr Enerjisi Raporu 2005)

<b>Enerji Türü</b>	<b>Dışa Bağımlı/Yerel</b>	<b>Kalan Ömür(yıl)</b>	<b>Yatırım Maliyeti (\$/kWh)</b>	<b>Üretim Maliyeti (cent/kWh)</b>
<b>Petrol</b>	Dış	40-45	1500-2000	6.0
<b>Kömür</b>	Yerel	200-250	1400-1600	2.5-3.0
<b>Doğal Gaz</b>	Dış	60-65	600-700	3.0
<b>Nükleer</b>	Dış	-	3000-4000	7.5
Hidrolik	Yerel	-	750-1200	0.5-2.0
Rüzgâr	Rüzgâr Yerel	-	1000-1200	3.5-4.5
Güneş	Güneş Yerel	-	Yüksek	10.0-20.0
Jeotermal	Yerel	-	1500-2000	3.0-4.0

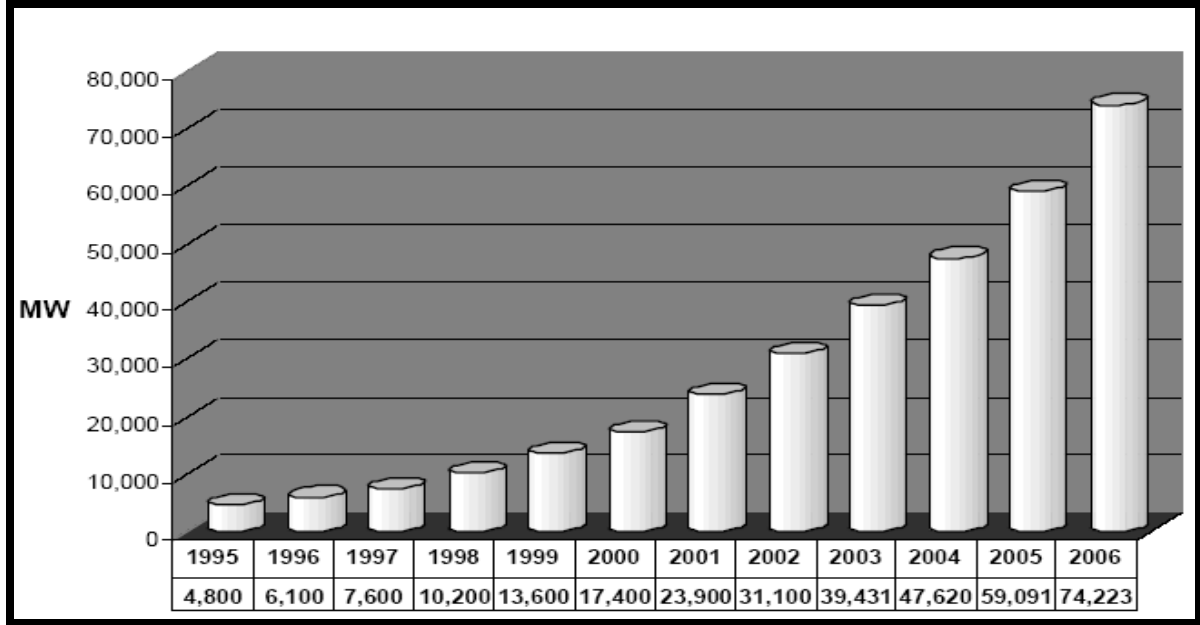
Tabloda güneş enerjisi en yüksek enerji üretim maliyeti ile ön plana çıkmakta bunun yanında hidrolik enerji türü en ucuz enerji üretimi ile öne çıkmaktadır. Yatırım maliyeti noktasında ise nükleer santraller en yüksek, doğal gaz enerjisi en düşük değerdedir. Rüzgâr enerjisi, maliyeti açısından hidrolik ve doğal gaza karşı dezavantajlı durumda olsa da, pek çok ülkede devlet teşviki uygulaması ile desteklenmektedir. Ayrıca, uzun vadeli düşünüldüğünde rüzgâr enerjisi alanında yapılacak yatırımlar ve araştırmalar, enerji kaynağı üzerinde bir ömür sınırı olmadığından her zaman için geçerliliklerini koruyacaktır.

### **1.5.Rüzgâr Enerjisinin Küresel Durumu**

Elektrik üretimini için rüzgâr türbinlerinde son 20 yılda büyük ölçüde ilerlemeler sağlanmıştır. Özellikle Danimarka, Hollanda, ABD, Almanya ve diğer batı ülkeleri olmak üzere yaklaşık 3000 MW şebeke bağlantılı kurulu güç tesis edilmiş olup üretim yaklaşık 4250 GWh düzeyine ulaşmıştır.

Yapılan araştırmalar, rüzgâr gücünün şu anda dünyada en hızlı yayılan enerji kaynaklarından olduğunu göstermektedir.

Avrupa'da Almanya'dan sonra Danimarka, İşpanya ve İngiltere rüzgâr gücünden elektrik üretiminde hem üreten hem türbün ve elektrik satan konumdadır.



Şekil 1.1. Küresel kümülatif rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi 1995-2006 (GWEC, 2007)

Küresel kümülatif rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi incelendiğinde tabloda görüldüğü üzere 2001, 2005 ve 2006 yıllarında yüksek bir ivmelenmeye geçen rüzgâr enerjisinden faydalanma oranı ile karşılaşılmaktadır. Bir çok ülkede rüzgâr gücüne dayalı olarak üretilen elektriğin oranı şimdiden geleneksel yakıtlarla üretilmekte olan elektrik oranlarıyla başa baş gelmeye başlamıştır. Danimarka'da ülke elektriğinin şu anda %20'si rüzgâr enerjisinden temin edilmektedir. İşpanya'da rüzgâr enerjisinin katkısı %8 mertebesine ulaşmıştır ve 2010 yılına kadar bu oranın %15'e çıkarılacağı planlanmaktadır. Rüzgâr enerjisi gelişiminde yeni bir cephe de deniz üstü potansiyelleri değerlendirme konusunda açılmıştır. Rüzgâr karakteristiklerinin karalardan daha kararlı, karalara kıyasla enerji üretim miktarlarının yaklaşık %30 fazla ve gelişen teknolojinin bu potansiyeli değerlendirmeye ekonomik olarak imkan tanınması deniz üstü rüzgâr enerjisi uygulamalarını özellikle son birkaç yılda ilgi çekici hale getirmiştir. Rüzgâr enerjisi Dünya çapında 50'den fazla ülkede enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. 2006 yılı sonu rakamlarına göre rüzgâr enerjisi kurulu gücünde ilk 10 ülke çapında; 2006 yılında, 23 milyar dolarlık yeni yatırım yapıldı.

-Çin ve Fransa kurulu güçlerini bir yılda ikiye katladı. Çin’de 1 Ocak 2006 da yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Yasası’nın büyük söz konusu büyümeye katkısı oldu.

-Avrupa, rüzgâr enerjisinde liderliğini sürdürmekle birlikte (%65), Kuzey Amerika ve Asya da kurulu gücünü hızla arttırmaktadır.

-Sonuç olarak; dünyada ve ülkemizde enerji arz güvenilirliği ve iklim değişikliği konularının daha sık tartışılır olması, çevre bilincinin giderek artması, rüzgâr enerjisi sanayisine büyük ivme kazandırmıştır.

Tablo 1.2. Dünya kurulu gücünün ülkelere göre dağılımı (GWEC, 2006)

Ülke	Toplam Kapasite (MW)	Payı (%)
Almanya	<b>20622</b>	<b>27.8</b>
İspanya	11615	15.6
ABD	11603	15.6
Hindistan	6270	8.4
Danimarka	3136	4.2
Çin	2604	2.9
İtalya	2123	2.9
İngiltere	1963	2.6
Portekiz	1716	2.3
Fransa	<b>1567</b>	<b>2.1</b>
<b>İlk 10 Toplam</b>	<b>63217</b>	<b>85.2</b>
<b>Diğer Ülkeler</b>	<b>11004</b>	<b>14.8</b>
<b>Dünya Toplamı</b>	<b>74221</b>	

Tabloda Almanya, %27,8 lik pay ile en yüksek Fransa ise %2,1 lik pay ile son sırada yer almaktadır. Burada dev Türbin üreticilerinin yine Almanya’ da olması bir başka parametre olarak değerlendirilebilir.

Enerji arz güvenilirliği ve iklim değişikliği konularının daha sık tartışılmaya ve dikkate alınmaya başlamasıyla beraber rüzgâr enerjisi sektörü her geçen yıl rekor büyüme hızları yakalayarak gelişmesine devam etmektedir. Dünyada son 15 yılda ortalama %25 büyüme hızı göstermiştir. Son iki yıllık büyüme hızları ise sırasıyla %41 ve %32 seviyelerine ulaşmıştır. Sadece 2006 yılında 13 milyar €'yu aşan yatırım gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr sanayisinin olduğu ülkelerde 200000'den fazla insan bu sektörde istihdam edilmektedir. 1995 yılında küresel rüzgâr enerjisi kurulu gücü 4800 MW iken 2006 yılının sonuna gelindiğinde bu rakam 14 kattan daha fazla artarak 74223 MW'a ulaşmıştır (Şekil 1). Avrupa, rüzgâr enerjisi kurulu gücünde en yüksek kapasiteye sahip olmakla beraber (%65), Kuzey Amerika ve Asya ülkeleri de kurulu güçlerini hızla arttırmaktadırlar. ("GWEC, 2006")

### **1.6.Rüzgâr Enerjisinin Türkiye'deki Durumu**

Ülkemizde son yıllarda rüzgâr enerjisine olan ilgi her geçen gün hızla artmaktadır. Türkiye'nin toplam kurulu rüzgâr gücü 130,1Mw'tır. ("İstanbul Enerji A.Ş. 2007") Rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinin enerji üretimleri, tamamıyla rüzgâra bağımlı olduğundan bu sistemler, sadece rüzgârlı yörelere kurulabilirler. Rüzgâr enerjisinin en önemli sorunlarından biri, üretim ve tüketim zamanları arasındaki farktır. Bu problem ancak enerji depolaması ile çözülebilmektedir. Depolanma yöntemlerinin en önemlileri şunlardır;

Enerjinin akümülatörlerle depolanması yöntemidir. Ancak küçük işletmelerde, başka bir çözüm olmadığı zaman kullanılır. Çünkü akümülatörler maddi açıdan ek bir yükür.

-Suyu elektroliz yolu ile ayrıştırıp, elde edilen hidrojenin depolanması.

-Suyu pompalayarak potansiyel enerjisi artırılabilir.

-Enerjinin sıkıştırılmış havada depolanması mümkündür.

-Enerjinin ısı enerjisi şeklinde suda depolanması da bir başka yöntemdir.

Kısaca, rüzgâr enerjisinin en etkin uygulama biçimleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Pompa –türbin –enerji üretim sistemlerine uygulama.
- Isıl enerji eldesi.
- Elektrik eldesi.

\*Türkiye’ de 2000’li yıllarda 17 MW olan toplam RES kurulu güç, günümüzde %1100 artarak 200 MW’a ulaşmıştır.

\*İlk lisanslandırma süreci 03/09/2002 tarihinde başlamış ve ilk lisans başvuruları bu tarihte alınmıştır.

EPDK tarafından verilen lisansların yatırıma dönüşmesi ile birkaç yıl sonra, RES kurulu gücümüz yine %1000’ler mertebesinde artarak 2000 MW’a ulaşması kuvvetle muhtemeldir.

Tablo 1.3. Lisans Başvuru Trendi ( Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kursu EİE/Ankara 2007)

<b>Başvuru Dönemi</b>	<b>Başvuru Sayısı</b>	<b>Başvuru Kapasitesi</b>	<b>Mevcut Kapasite</b>
3 Eylül 2002 – 4 Haziran 2004	231 Adet başvuru	2992 MW	13 MW
1 Ocak 2006 – 6 Temmuz 2006	136 Adet Başvuru	4886 MW	36 MW
1 Kasım 2007	751 Adet Başvuru	78051 MW	104 MW

Başvuru dönemlerinden 1 Kasım 2007 tarihi bir dönüm noktası olarak değerlendirilebilir. En yüksek değer olan bu dönem olan 1 Ocak 2006 – 6 Temmuz 2006 ya göre yaklaşık % 300 lük bir artış sergilemektedir. 2007 yılı itibariyle EPDK’ya yapılan RES başvurularının son durumda önceki dönemlerde yapılan başvuruların incelenmesi hız kazanmaktadır.

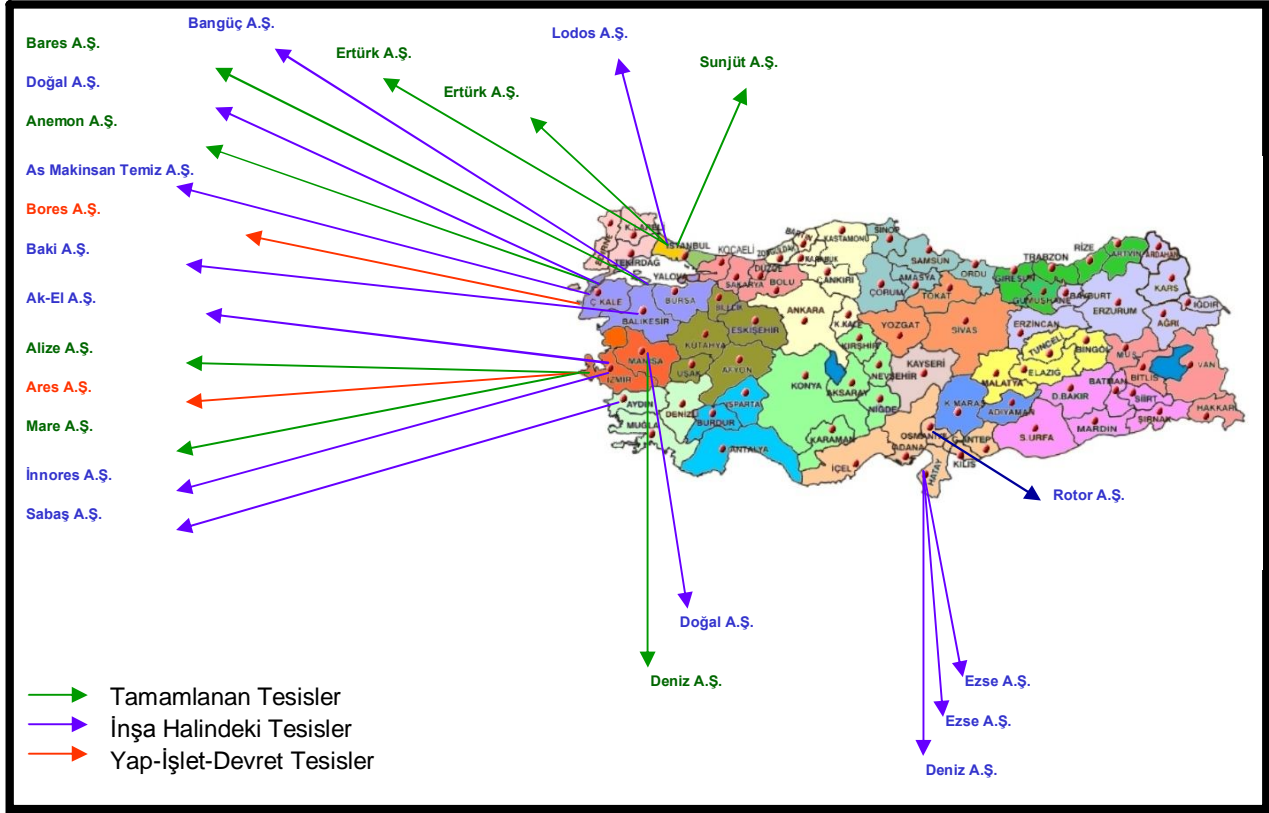
Ülkemizin rüzgârla elektrik enerjisi üretmeye başlaması büyük ölçüde 1990’lı yılların ortalarında olmuştur. Tablo 7.1. dan görüldüğü gibi, halihazır da ülkemizde 131,35 MW işletmede olup 2007 yılı içerisinde 156,00 MW, 2008 yılında 405,16 MW ve 2009 yılında 130 MW devreye alınarak toplamda 742.11 MW kurulu güce erişilecektir. Tablo 7.1. da verilen değerler ülkemizdeki son durumu göstermektedir. Tablo 1.5 de gösterilen rüzgâr enerjisi santrallerinden işletme geçiş tarihi 2006 olanlar işletmede olup; 2007, 2008 ve 2009’da devreye girecek olan RES’ler gösterilmiştir. 2007, 2008 ve 2009’da devreye girecek olanlar rüzgâr türbin üreticisi ile satış anlaşması imzalamış projeleri göstermektedir.

Tablo 1.4. Ülkemizdeki Mevcut Projeler Ve Kurulu Güç Değerleri ( Türkiye'deki Rüzgâr Santralleri (İstanbul Enerji A.Ş. 21.12.2007)

Mevkii	Şirket	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Türbin İmalatçısı	Türbin adet ve kapasitesi
İzmir - Çeşme	Alize A.Ş.	1998	1,5	Enercon	3 adet 500 kW
İzmir - Çeşme	Güçbirliği A.Ş.	1998	7,2	Vestas	12 adet 600 kW
Çanakkale - Bozcaada	Bores A.Ş.	2000	10,2	Enercon	17 adet 600 kW
İstanbul - Hadımköy	Sunjüt A.Ş.	2003	1,2	Enercon	2 adet 600 kW
Balıkesir - Bandırma	Bares A.Ş.	I/2006	30	GE	20 adet 1,500 kW
İstanbul - Silivri	Ertürk A.Ş.	II/2006	0,85	Vestas	1 adet 850 kW
İzmir - Çeşme	Mare A.Ş.	I/2007	39,2	Enercon	49 adet 800 kW
Manisa - Akhisar	Deniz A.Ş.	I/2007	10,8	Vestas	6 adet 1,800 kW
Çanakkale - İntepe	Anemon A.Ş.	I/2007	30,4	Enercon	38 adet 800 kW
Çanakkale - Gelibolu	Doğal A.Ş.	II/2007	14,9	Enercon	13 adet 800 kW + 5 adet 900 kW
<b>İŞLETMEDEKİ KAPASİTE TOPLAMI</b>			<b>146,25</b>		
Hatay - Samandağ	Deniz A.Ş.	II/2007	30	Vestas	15 adet 2,000 kW
Manisa - Sayalar	Doğal A.Ş.	II/2007	30,4	Enercon	38 adet 800 kW
İstanbul - Gaziosmanpaşa	Lodos A.Ş.	I/2008	24	Enercon	12 adet 2,000 kW
İstanbul - Çatalca	Ertürk A.Ş.	I/2008	60	Vestas	20 adet 3,000 kW
İzmir - Aliağa	İnnores A.Ş.	I/2008	42,5	Nordex	17 adet 2,500 kW
Balıkesir - Şamlı	Baki A.Ş.	I/2008	90	Vestas	30 adet 3,000 kW

<b>İNŞA HALİNDEKİ KAPASİTE TOPLAMI</b>			<b>276,9</b>		
Muğla - Datça	Dares A.Ş.	I/2008	28,8	Enercon	36 adet 800 kW
Aydın - Çine	Sabaş A.Ş.	I/2008	19,5	Vensys	13 adet 1,500 kW
Hatay - Samandağ	Ezse Ltd.Şti.	II/2008	35,1	Fuhrlander	900 kW
Hatay - Samandağ	Ezse Ltd.Şti.	II/2008	22,5	Fuhrlander	2,500 kW
İzmir - Kemalpaşa	Ak-El A.Ş.	II/2008	66,66	Enercon	900 kW + 2,000
Bilecik	Sagap A.Ş.	II/2008	66,6	Conergy AG	74 adet 900 kW
Çanakkale	As Makinsan Temiz A.Ş.	II/2008	30	Nordex	12 adet 2,500 kW
Osmaniye - Bahçe	Rotor A.Ş.	I/2009	130	GE	54 adet 2,500 kW
Manisa - Soma	Soma A.Ş.	I/2009	140,8	Enercon	176 adet 800 kW
Balıkesir - Kepsut	Poyraz A.Ş.	I/2009	54,9	Enercon	61 adet 900 kW
İzmir - Aliağa	Doruk A.Ş.	I/2009	30	Enercon	15 adet 2,000 kW
<b>TEDARİK SÖZLEŞMESİ İMZALI PROJE TOPLAMI</b>			<b>624,86</b>		

Şu an işletmede ve 2009 yılı ilk yarısına kadar devreye girecek olan RES'lerin ülkemiz coğrafyasında şekil yardımı ile dağılımına bakıldığında genellikle Ege, Marmara ve Akdeniz Bölgelerinde yoğunlaştıkları görülmektedir. Bu dağılıma bakıldığında RES'lerin genellikle nüfus yoğun bölgelerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu bölgelerde enerji tüketiminin de fazla olduğu düşünülürse bir avantaj olarak kabul edilebilir. Yani enerjiyi uzak noktalardan bu alanlara iletirken yaşanan problemlere çözüm anlamında katkı sağlaması düşünülebilir. Ayrıca RES'lerinin farklı rüzgâr rejimlerinde bulunması rüzgârın değişken yapısından kaynaklanan problemleri, RES'lerinin bebaber işletilerek gidermede fayda sağlayabilir.



Şekil 1.2. Ülkemizdeki RES ' nin coğrafik olarak dağılımı (EPDK, TUREB, 2007)

Tamamlanan ve inşa halinde bulunan RES'lerin yanı sıra EPDK'ya lisans için başvuran, lisans alan ve başvuruları uygun bulunan bir çok proje bulunmaktadır. İstanbul' da yapım süreci devam eden bir proje olarak; Büyükşehir Belediyesi, elektrik kesintileri sırasında su kesintilerine son verecek ve İstanbul'a denizden içme suyu kazandıracak dönüştürme tesisinin de elektriğine sağlayacak rüzgâr enerjisi santralini hayata geçirmektedir. Büyükşehir Belediyesi'nin Şirketlerinden İstanbul Enerji A.Ş., Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na 1 Kasım 2007 tarihinde üretim için lisans müracaatında bulunmuştur. İstanbul'un önemli su rezervlerinden biri olan Çatalca İlçesi Terkos (Durusu) bölgesinde İSKİ ile koordineli olarak rüzgâr santrali yapmayı hedefleyen İstanbul Enerji A.Ş., EPDK'nın onayının ardından günlük 45 megawattlık elektrik üretimine başlamayı planlamaktadır. Yaşanacak elektrik kesintileri sırasında su kesintilerine son verecek olan ve İstanbul'a denizden içme suyu kazandırması planlanan dönüştürme tesisinin de elektriğine verecek rüzgâr enerjisi santralinin 30 rüzgâr tribününden oluşması hedeflenmektedir. Tesisin kendi maliyetini 3 yıl içinde amorti etmesi öngörülmektedir. Rüzgâr Enerjisi için aralarında Terkos, Istranca ve Şişeli'nin bulunduğu 3 bölge baz alınmış ve 1 yılı aşan rüzgâr ölçümleri yapılmıştır. İSKİ Terkos Osmangazi Terfi

Merkezi'nin enerji ihtiyacını öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarından kesintisiz bir şekilde karşılanması amacıyla projeyi 5 senedir yürütmektedir. Alınan izin sonrasında Rüzgâr Enerji Santrali yatırımına 2008 yılı içinde start verilmesi beklenmekte ve 2010 yılı içerisinde devreye alınması planlanmaktadır. İSKİ ile koordineli yürütülen çalışmalarla 2004 yılından itibaren ölçümler yapıldı, söz konusu ölçümlerin değerlendirilmesi neticesinde bölgede 100 MW kurulu güce sahip rüzgâr enerji potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. Ancak bölgedeki ulusal enterkonnekte sisteme bağlanabilecek maksimum RES (Rüzgâr Enerji Santrali) kapasitesinin sınırlı olması sebebi ile ilk etapta her biri 1,5 MW olan 30 adet rüzgâr türbini ile 45 MW kurulu güce sahip bir santral kurulabilecektir. Yapılan araştırmalara göre Rüzgâr santrali yıllık ortalama 152 milyon kWh elektrik üretimi ile Terkos barajının tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecektir. Bu miktar aynı zamanda 100 bin kişilik yerleşim merkezinin elektrik enerji ihtiyacına denk gelmektedir. Ayrıca santralin devreye girmesi ile son günlerin gündem konusu olan küresel ısınmanın temel sebeplerinden karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve sera gazlarından yıllık ortalama 90 bin ton karbon emisyon azalımı sağlayacağı hesaplanmıştır. 1.5 MW'lık bir türbin, rüzgâr enerjisinde fosil yakıtlardan çıkan karbondioksit temizleme yönünde, yaklaşık 200 bin ağaca eş değer oksijen tasarrufu sağlayacaktır. İstanbul'da düşünülen deniz suyunun arıtılması çalışmalarının da rüzgâr santralinin kurulacağı alanın ortasında yer alması, projeye stratejik bir önem kazandırmıştır. Proje araştırması sırasında havzalarında rüzgâr enerjisinin verimini tespit etmek için önce 6'sı Avrupa, 2'si de Asya yakasında olmak üzere toplam 8 ölçüm direği dikilmiştir. Araştırma sırasında özellikle Avrupa yakasında rüzgâr enerjisi açısından büyük bir potansiyelin bulunduğunu tespit edilmiştir. Projenin hayata geçmesinin maliyetinin 120-130 milyon dolar olduğu kaydedilmiştir. Bu da yaklaşık **2888 \$ / kW** lık bir eşdeğer maliyete karşılık gelmektedir.

## 2.POTANSİYEL HARİTALARI VE YER SEÇİMİ

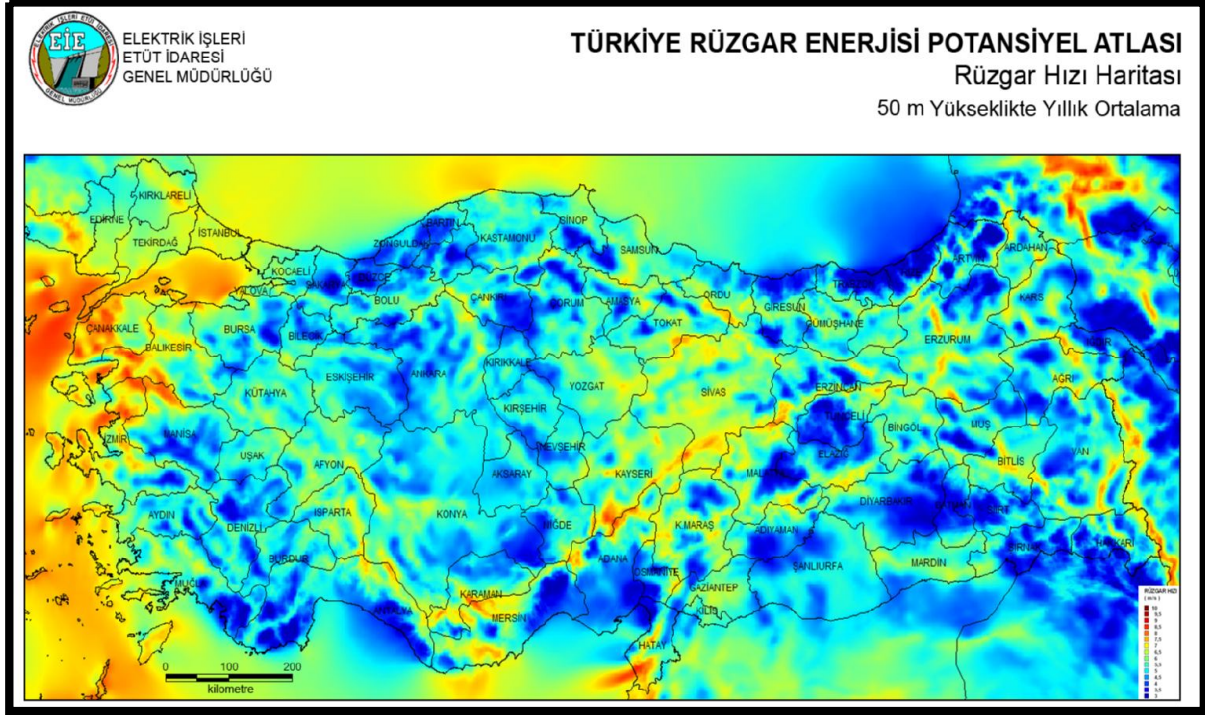
### 2.1.Türkiye 'nin RES Potansiyeli

Rüzgâr enerjisinde; bugünkü teknik koşullarda 10 metre yükseklikteki ortalama 6 m/s hızda, yılda 2800 saat kullanma süresi ile kurulabilecek ekonomik rüzgâr potansiyeli 10000 MW yani 28 milyar kWh (88000 MW teknik potansiyel) düzeyindedir. Bu ekonomik potansiyelin yıllık çalışma saati en kötü rüzgâr koşulunda (güvenilir üretim) 1400 saate kadar düşerek ancak 14 milyar kWh üretim gerçekleştirebileceği düşünülmektedir. Rüzgâr potansiyeli bakımından zengin olan yörelerimiz batı Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz olmak üzere kıyılarımızdır. Orta ve uzun dönemde rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda; şebeke bağlantısı ile ilgili verilecek izinlerin yanı sıra sistemdeki elektriğin kalitesinin belli standartlarda tutulmasının maliyeti yol gösterici olacaktır. Ayrıca bu konuda, UCTE sistemine bağlanmaya çalışan ülkemiz açısından UCTE standartları belirleyici olacaktır. İl bazında 87 kWh/ m<sup>2</sup> elektrik enerjisi tüketimi ile İstanbul en yüksek, 9 kWh/ m<sup>2</sup> elektrik enerjisi tüketimi ile Iğdır en düşük tüketime sahiptir.

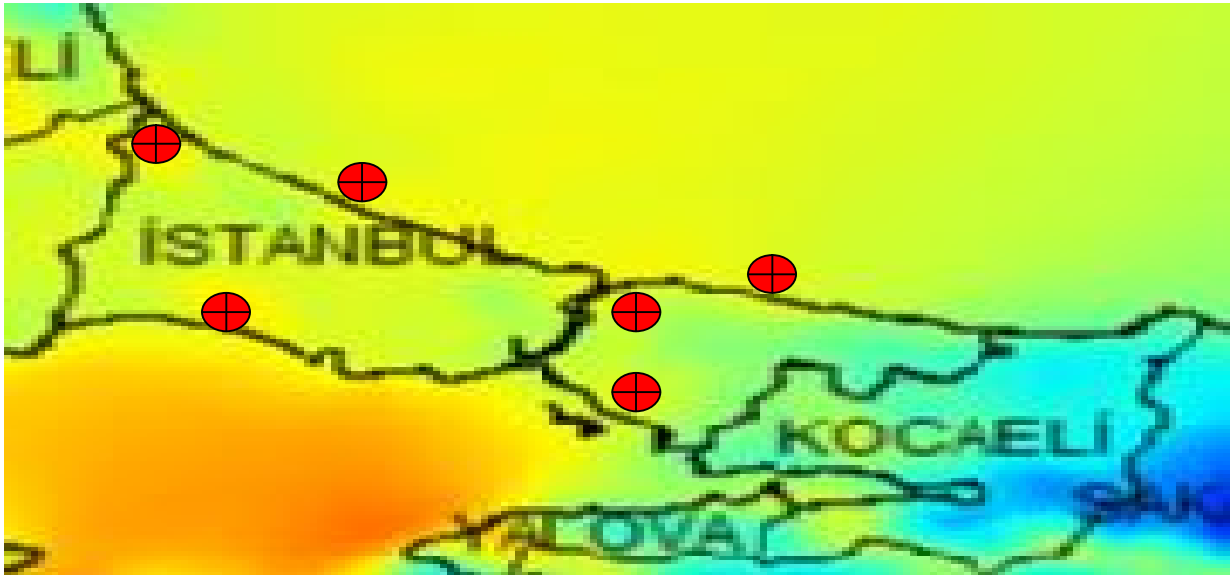
Bu sebeple; TEAŞ APK Dairesi tarafından yapılan uzun dönem elektrik enerjisi üretim planlaması çalışmalarında; lisans alımı rüzgâr santrallerine ilave olarak, UCTE tarafından her ülke için öngörülen yedek tutma hesabının yanı sıra EPDK' ya yapılmış olan rüzgâr santral başvuru da dikkate alınarak, 2007-2020 döneminde her yıl 125 MW'lık rüzgâr kapasitesinin (toplam 1750 MW) ilave edilebileceği kabul edilmiştir.

### 2.2. Potansiyel Haritaları

Bu çalışmada kullanılarak mikro incelemeye tabi tutulan ve Marmara bölgesinde yer alan İstanbul kentinde kurulması muhtemel bölgelerin tayin edildiği ve REPA' nın yayımladığı yukarıdaki haritada yıllık ortalama hız ölçümlerine göre renklendirilen bölgelerden İstanbul için kullanılabilir alanlar koyu sarı renk ile belirtilmiş olup bu bölgelerdeki ortalama rüzgâr hızı 7 m/sn seviyesindedir. Bu değer primer yapılabilir alanları temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası ( REPA <http://www.repa.gov.tr>)



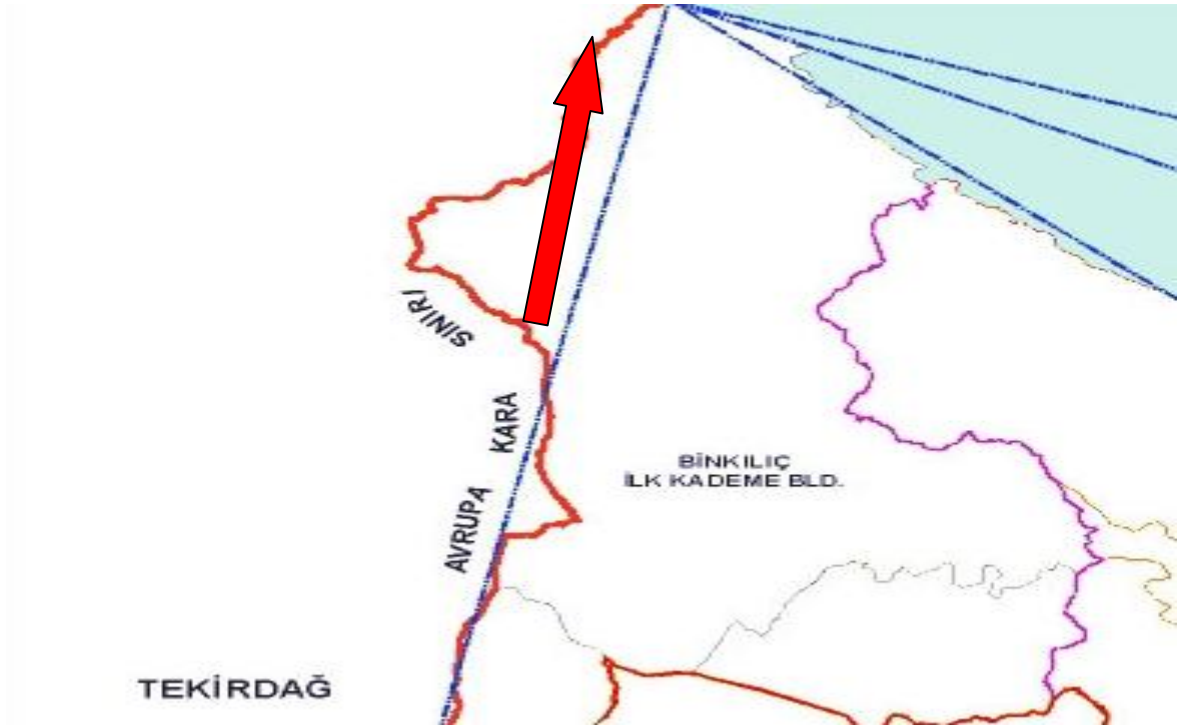
Şekil 2.2.İstanbul Ölçekli Mikro Değerlendirme

REPA Rüzgâr Hızı Yoğunluğu Ölçüm Değeri Sisteminde Marmara bölge sorgulaması yapıldığında; 50 m yükseklik değeri için rüzgâr hız değerinin maksimum olduğu altı (6) adet lokasyonla karşılaşılmıştır.



Şekil 2.3. Tesis yapımına uygun birinci bölge

Birinci lokasyon; Avrupa yakası orta bölgesi ve güney kıyıları olarak belirlenmiş olup ortalama yıllık hız 7 m/s' dir.



Şekil 2.4. Tesis yapımına uygun ikinci bölge

İkinci lokasyon; Avrupa yakasının kuzeybatı kesimi Tekirdağ ve Kırklareli sınır bölgelerinin kesişim bölgesidir. (7 m/s)



Şekil 2.5. Tesis yapımına uygun üçüncü bölge

Üçüncü lokasyon Avrupa yakası kuzeyinden kuzeybatıya uzanan sahil şerididir. (7 m/s)



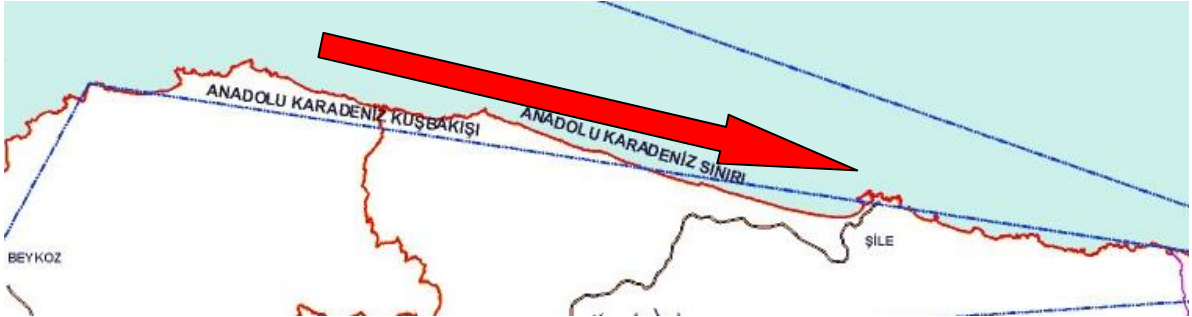
Şekil 2.6. Tesis yapımına uygun dördüncü bölge

Dördüncü lokasyon Güney kesimde Pendik, Samandıra, Ümraniye, Üsküdar hattında kalan bölgedir. (7 m/s)



Şekil 2.7. Tesis yapımına uygun beşinci bölge

Beşinci lokasyon; Anadolu yakası batı-kuzey sahil şeridi hattında kalan yaydır. (7 m/s)



Şekil 2.8. Tesis yapımına uygun altıncı bölge

Altıncı lokasyon; Anadolu yakası kuzey-kuzeydoğu hattı/ Beykoz-Şile ilçeleri ile sınırlı yay şerididir ve ölçümlenen yıllık ortalama rüzgâr hızı 7 m/s dir.

Bunun dışında iç denizimiz olan Marmara'nın yıllık ortalama potansiyel ölçümleri haritalarına göre Ege denizi potansiyeline yakın ve Karadeniz ölçümlerinin üzerinde bir potansiyele sahip olduğu ve yıllık ortalama ölçümlenmiş rüzgâr hızının Yalova kıyılarında 8 m/s olmak üzere 7,5 m/s düzeyinde seyrettiği saptanmıştır.

### 2.3. Yer Seçimi

Rüzgâr istasyonlarının kurulacağı bölgelerde çevresel faktörlerin etkisi büyüktür. Bu etkiler ağaçlar, binalar gibi faktörlerdir. Bu faktörler kurulu bir santralin verimini düşürebileceği gibi, kurulum öncesi veri ölçümlerinde yön ve şiddet bakımından hatalı sonuçların alınmasına neden olmaktadır. Bir ölçümün yapıldığı yüksekliğin 10 katı mesafede olan cisimler engel olarak kabul edilir. Rüzgâr türbini için yer seçilirken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlardan biri rüzgâr santralının inşa edileceği alanın ulaşım ve taşıma faaliyetlerine uygun olmasıdır. Rüzgâr türbinleri oldukça büyüktür ve yerleştirilmeleri için vinçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple inşa alanının vinçlerin girebileceği özellikte olması gerekir. Ya da en kötü ihtimalle alanın elverişli hale getirilmesi gerekmektedir. Olmazsa olmazların başında rüzgâr generatörünün kurulacağı alanın rüzgâr rejimi bakımından verimli ölçütlerde olması gerekliliğidir. Bunu bilebilmek için bilimsel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından sağlanan "Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası"ndan yararlanarak takip edilebilmektedir. Avrupa'da da REPA benzeri çalışmalar daha eski tarihlerde yapılmış ve bunlardan da yararlanmak mümkündür.

### 2.4. REPA Projesi

REPA projesi (Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası ) EİEİ tarafından 5 ayı aşkın bir süre içerisinde 200m x 200m ölçülerinde hazırlanmıştır, Türkiye coğrafyasının tüm kara ve deniz alanlarını kapsayacak şekilde üç ayrı nümerik hava analiz modelinin uzun yıllara ait gerçekleşmiş meteorolojik parametrelerle geriye doğru çalıştırılması sonucu üretilmiş rüzgâr veri atlasıdır. Proje riskleri açısından bakıldığında en kötü sonuç kurulum alanının temininde yapılan etütlerin yanlış bir seçimle sonuçlanmasıdır. Tahmin edilen rüzgâr hızının ortalama değer olarak %10 az çıkması amorti süresi üzerinde % 30'lara varan gecikmelerin gerçekleşmesine neden olmaktadır. Rüzgâr Potansiyelinin belirlenmesinde çeşitli bilgisayar programları da kullanılmaktadır. Bunlardan en çok tercih edileni WASP ASMI adı verilen Danimarka yapımı programdır. Girilen en az üç meteorolojik istasyon tarafından temin edilen veriler yardımıyla program geleceğe yönelik tahmini değerler ortaya koyabilmektedir.

### 2.5. Rüzgâr Enerjisi Kurulumu Esnasında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Rüzgâr Enerjisi Kurulumu Esnasında Dikkat Edilmesi Gerekenler şu şekilde sıralanabilir;

- Arazinin rüzgârının bol olması gerekir.
- Eğimli ve engebeli bölgeler istikrarlı rüzgâr rejimine engel olmaktadır.
- Rüzgâr enerjisi istasyonu kurmak için izin gerekmektedir. Lisans işlemleri için EPDK' ya başvurmak gerekmektedir.
- Kurulum alanı kolay ulaşılabilir olmalıdır.
- Rüzgâr türbininde üretilen enerjinin şebekeye iletimi kolay olmalıdır.

## **2.6. Değerlendirme Sonucu Ortaya Çıkan Tablonun Enerji Potansiyeli Kritiği**

Marmara bölgemizde Türkiye'nin enerji tüketim lokomotifini konumundaki İSTANBUL kentinin kıyı kesimleri (ki özellikle Avrupa yakasının KARADENİZ kıyıları, Yalova sahil şeridi ve Çanakkale sınırlarındaki kıyı bantları) nin en yüksek rüzgâr enerji eldesi potansiyeline sahip (7 m/s) proje implementasyon alanını barındırmakta olduğu görülmektedir. Rüzgâr ölçüm değerleri bu yöndeki tercihi doğrulamaktadır. REPA da yeşil ve açık yeşil tonajda renklendirdiği ve 6-6,5 (m/s) ortalama rüzgâr hızı değerlerindeki bölgelerin ise sekonder (ikincil) değerlendirme kapsamında ele alınabileceğinden bahsedilir. “ Yine İstanbul şehri için kullanılacak türbin tipinde yüksek türbin çapına ve boy uzunluğuna sahip olması gerekliliği saptanmıştır. “ Her ne şekilde düşünülürse düşünülürse rüzgâr enerjisi ülkemizin en önemli enerji kaynaklarından biridir. Çok iyi rüzgâr kaynak alanlarında yer alan bu potansiyel özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgelerimizde yoğunlaşmaktadır. Bu özelliği ile de rüzgâr enerjisi avantajlı bir coğrafik dağılım sergilemektedir. Yapılması gereken bu doğal ve temiz enerji kaynağımızı sonuna kadar kullanabilecek yönetimsel, teknik ve altyapı düzenlemelerini bir an önce yerine getirmektir.

Bu amaçlarla ülkemiz rüzgâr enerjisi sektörünün umut edilen başarıyı sağlayabilmesi için yapılmasında yarar görülen bazı öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- Proje geliştiren firmalar finansman temin etmekte zorlanmaktadır. Bu durum büyük oranda özellikle standartlara uygun ölçümlerin ve fizibilite çalışmalarının yapılmaması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisi uygulamalarında standart ölçümler zorunlu hale getirilmeli, ölçüm ve fizibilite hazırlama konularında uluslar arası finansörlerce kabul edilen kurumlardan yetkili özel şirketler yaygınlaşmalıdır.
- Rüzgâr ölçüm cihazlarının ülkemizde üretilmesi için gerekli adımlar bir an önce atılmalıdır. Rüzgâr ölçümleri ve analizlerinin yetkili kurumlara onaylatılması için önemli meblağlarda döviz yurt dışına çıkmaktadır.

-Rüzgâr enerjisi ile ilgili konularının detaylı bir şekilde incelendiği (ölçüm, fizibilite hazırlama, kanat ve türbin testleri v.b.) standartlara uygun bir rüzgâr enerjisi laboratuvarı kamu sektöründe kurulmalıdır. Rüzgâr enerjisi bu laboratuvarla birlikte kamu tarafında sahipli bir hale getirilmelidir.

-Rüzgâr enerjisi uygulamaları için imar ve izin işlemleri uzun süre almaktadır ve çok karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu yapı daha sade hale getirilmelidir.

-Lisans almış şirketlerin yatırıma geçebilmesi için ucuz krediler temin edilmelidir.

-Güç sistemindeki alt yapı yetersizlikleri giderilmeli veya iyileştirilmelidir. Uygulanmakta olan kısıtlar ve düzenlemeler modern yöntemlerle tekrar gözden geçirilmeli ve yeniden yapılandırılmalıdır.

-Aşırı talep nedeniyle türbin tedarikinde sorunlar yaşanmaktadır ve fiyat artışları olmaktadır. Bu nedenle yerli rüzgâr türbini üretimi teşvik edilmeli ve rüzgâr enerjisi sanayi geliştirilmelidir. Bu şekilde rüzgâr enerjisinin istihdam yaratma özelliğinden de faydalanma imkanı doğar.

-Lisanslama işlemi yeniden gözden geçirilmeli ve rüzgâr enerjisi konusunda yeni lisans türleri tanımlanmalıdır. Özellikle rüzgâr enerjisinin diğer enerji kaynaklarıyla hibrit olabilme özelliğinin önü açılmalıdır.

### 3.RÜZGÂR ENERJİSİ İSTATİSTİKLERİ VE ENERJİ GENEL İHTİYAÇ ANALİZİ

#### 3.1. Rüzgar Enerjisi İstatistikleri

Genel Rüzgar Enerjisi istatistikleri bağlamında dikkate alınması gereken birtakım güncel tablo ve grafiklerle belirtilen verilerin analizleri yapıldığında;

**Tablo 3.1.** Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Güç – Doğrudan Teşvik Bedelleri ( TEİAŞ APK DAİRESİ BAŞKANLIĞI 2005)

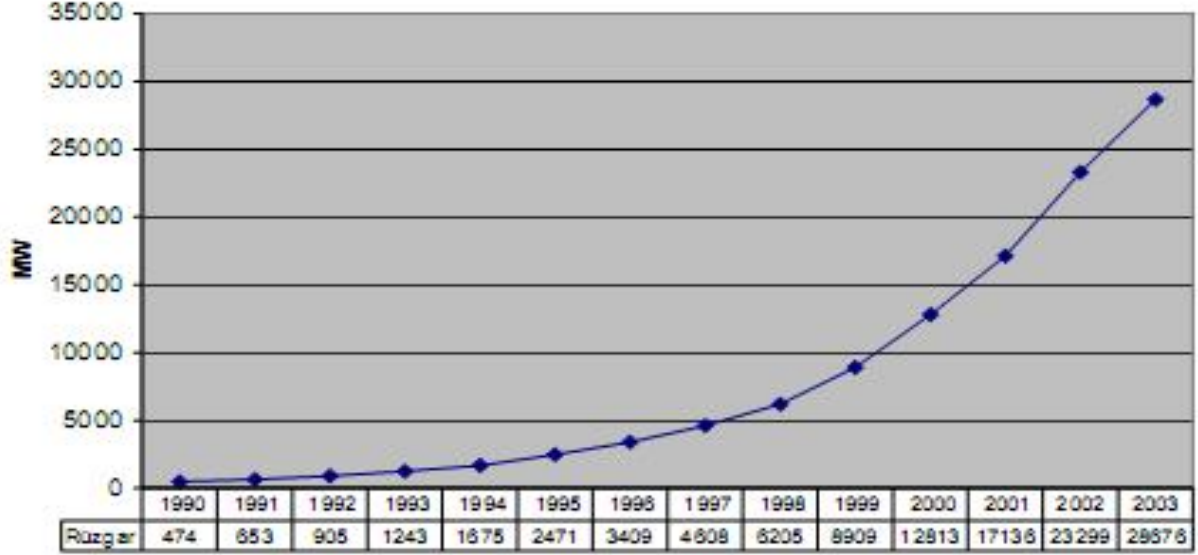
	Rüzgar kurulu gücü (MW)	Doğrudan Teşvik (Rüzgar)	
		euro	\$
2005	879	25,800,000	33,540,000
2010	1788	53,070,000	68,991,000
2015	2413	26,250,000	34,125,000
2020	3038	26,250,000	34,125,000

Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Güç – Doğrudan Teşvik Bedelleri projeksiyonu incelendiğinde 2020 yılında MW başına tahsis edilecek teşvik bedelinin düşeceği devlet politikası olarak kendisini göstermekte ve özel sektör girişimlerinin destekleneceği yönünde bir rota izlenimi vermektedir.

**Tablo 3.2.** Yıllara göre yatırım ve yedek kapasite bedelleri  
( TEİAŞ APK DAİRESİ BAŞKANLIĞI 2005)

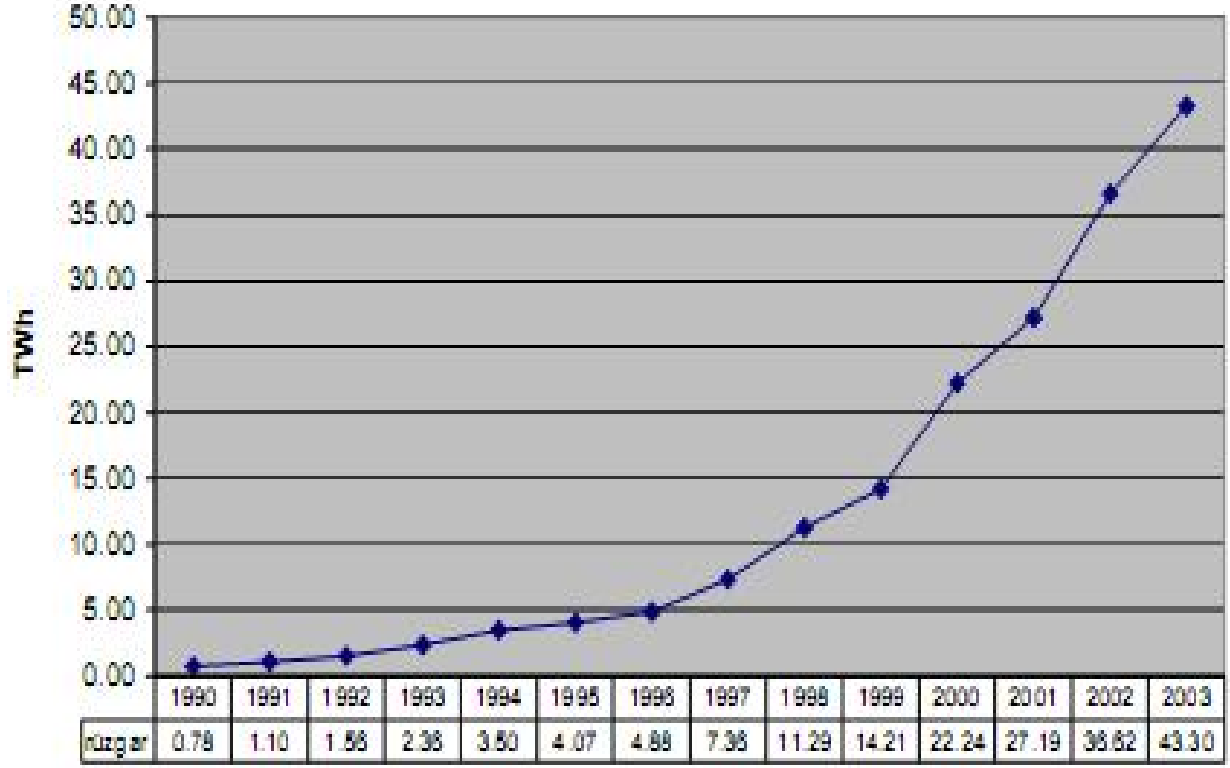
MALİYET	2003	2010
Rüzgar santrallerine verilen teşvik (infeed)	<i>510 Milyon Euro</i>	<i>1 Milyar Eurodan çok</i>
Şebeke yatırımları	<i>2 Milyon Euro</i>	<i>40 Milyon Euro</i>
Yedek Kapasitesi	<i>100 Milyon Euro</i>	<i>450 Milyon Euro</i>

Tabloda şebeke yatırımlarının mevcut yatırımın % 2000 ine ulaşacağı öngörülmekte, santral teşvikleri ise aynı dönem projeksiyonuna göre % 200 seviyelerinde artışı işaret etmektedir.



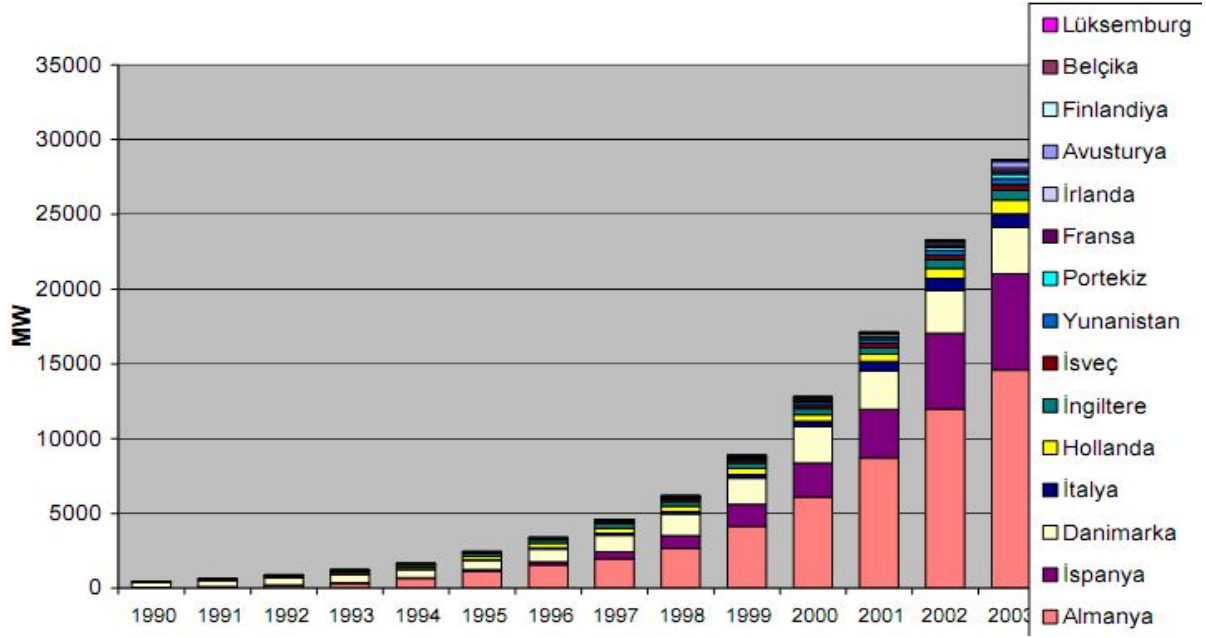
Şekil 3.1. AB 15 üye ülkesi için rüzgâr kurulu güç gelişimi (MW) ( 1990-2001 yılları için IEA istatistikleri, 2002-2003 yılları için EurObserver 2004)

EurObserver 2004 istatistiklerine göre 1999 yılından itibaren AB 15 üye ülkesi için rüzgâr kurulu güç gelişimi ivme kazanmış olmakla birlikte en büyük mevcut kurulu güç değeri sıçramasının 2002 ve 2003 yıllarında gerçekleştiği dikkat çekmektedir.



Şekil 3.2. AB 15 üye ülkesi için rüzgâr üretim gelişimi TWh (1990-2001 yılları için IEA istatistikleri, 2002-2003 yılları için EurObserver 2004)

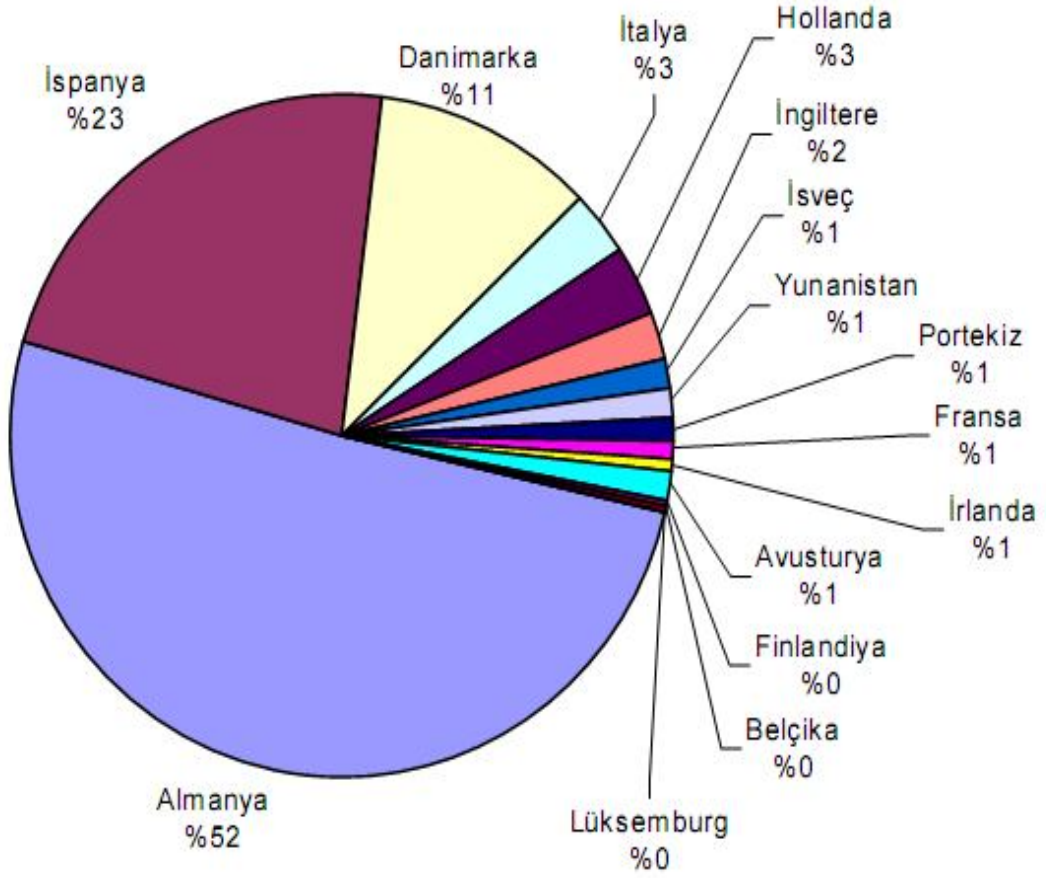
AB 15 üye ülkesi için rüzgâr üretim gelişim; 2000 yılında % 36 ve 2002 yılında yaklaşık % 28 lik bir artış göstermiştir.



Şekil 3.3. Ükelere göre 15 AB ülkesi için rüzgâr kurulu güç gelişimi MW

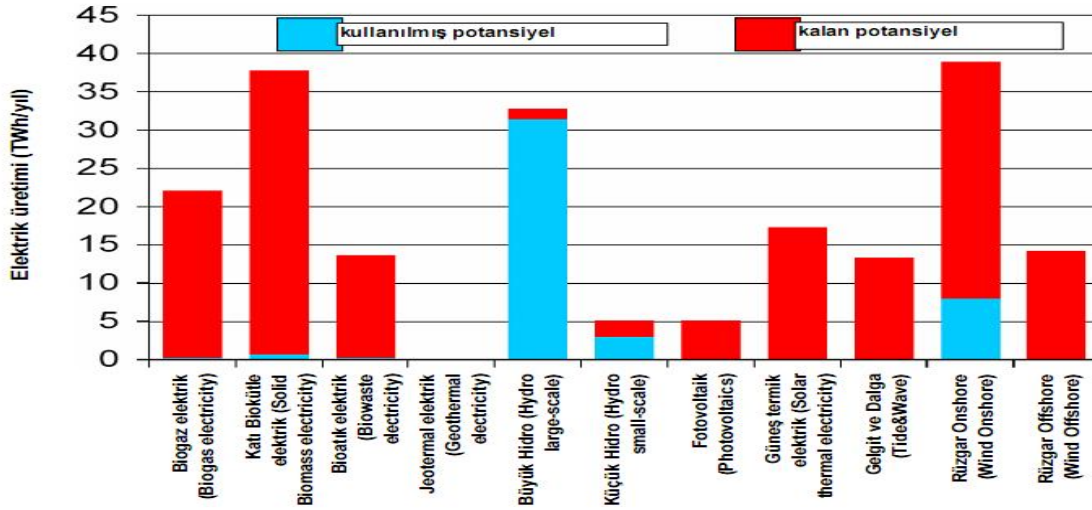
( 1990-2001 yılları için IEA istatistikleri, 2002-2003 yılları için EurObserver 2004)

Ükelere göre 15 AB ülkesi için rüzgâr kurulu güç gelişimi dikkate alındığında Almanya, Danimarka ve İspanya'nın en yüksek paya sahip olduğu trend 1996 yılı ile başlamakta olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.4. AB 15 üye ülkesi için rüzgâr kurulu gücünün dağılımı % olarak  
(2003 yılları için EurObserver 2004 )

AB 15 üye ülkesi için rüzgâr kurulu gücünün dağılımında yine Almanya %52 lik pay ile lider olarak, İspanya 'da % 23 lük pay ile en yüksek kurulu güce sahip ikinci ülke sıralamasını oluşturmaktadır.



Şekil 3.5. Orta dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim potansiyelleri (TWh/yıl) ( Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan "Brussels,26.5.2004" tarih ve "SEC(2004) 547" sayılı (COM(2004)366 final) ve "The share of renewable energy in EU" konulu döküman)

Tablo incelendiğinde rüzgâr enerjisinin elektrik üretim potansiyelinin, mevcut kullanımının yaklaşık % 500' ü seviyelerinde olduğundan bahsedilebilmektedir.

### 3.2.Enerji Genel İhtiyaç Analizi

Enerji ihtiyacı hesaplanacak bir bölge için o bölgedeki nüfus değeri ve kişi başına düşen ortalama elektrik enerjisi tüketiminin ( kwh ) değeri bilinmelidir. Mevsimsel kullanım artışları veya azalışları da bilindiği takdirde mevsimsel ihtiyaçlar da saptanabilmektedir. Kişi başına elektrik enerjisi tüketim değeri 8760 saatlik yıllık tüketim zamanı ile çarpıldığında o bölgenin yıllık tüketim değeri ve dolayısıyla da elektrik enerjisi ihtiyacı çıkarılabilir. Bu hesaplama yöntemi rüzgâr hızı ölçümleri ile mevcut potansiyel belirleme çalışmaları için bir altlık oluşturduğu gibi, potansiyelin ihtiyacı karşılama oranını da ortaya çıkarabilmektedir.

#### 3.2.1. Nüfus

Nüfus bir lokasyonun enerji ihtiyaç analizleri için olmazsa olmaz verilerden kabul edilmektedir. Nüfus değerinin sağlam kaynaklara dayandırılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilecek İstanbul kenti için verilen son nüfus sayım sonuçları incelendiğinde

Tablo 3.3. İstanbul İlçeleri Ortalama Nüfus Dağılımı (TÜİK 2008)

İlçeler	Toplam			İlçe Merkezi			Bucak ve Köyler		
	1997	2000*	Değişim (%)	1997	2000	Değişim (%)	1997	2000*	Değişim (%)
Adalar	16.171	17.738	9,69	16.171	17.738	9,69			
Avcılar	214.621	235.113	9,55	214.621	235.113	9,55			
Bağcılar	487.896	559.694	14,72	487.896	559.694	14,72			
Bahçelievler	442.877	472.649	6,72	442.877	472.649	6,72			
Bakırköy	222.336	208.223	-6,35	222.336	208.223	-6,35			
Bayrampaşa	240.427	246.646	2,59	240.427	246.646	2,59			
Beşiktaş	202.783	191.776	-5,43	202.783	191.776	-5,43			
Beykoz	193.067	217.316	12,56	165.028	178.438	8,13	28.039	38.878	38,66
Beyoğlu	231.826	234.964	1,35	231.826	234.964	1,35			
Eminönü	65.246	55.548	-14,86	65.246	55.548	-14,86			
Esenler	344.428	394.423	14,52	344.428	394.423	14,52			
Eyüp	254.028	254.803	0,31	237.210	233.732	-1,47	16.818	21.071	25,29
Fatih	432.590	407.991	-5,69	432.590	407.991	-5,69			
Gaziosmanpaşa	649.648	764.767	17,72	573.466	667.809	16,45	76.182	96.958	27,27
Güngören	273.915	271.874	-0,75	273.915	271.874	-0,75			
Kadıköy	699.379	661.953	-5,35	699.379	661.953	-5,35			
Kağıthane	317.238	345.574	8,93	317.238	345.574	8,93			
Kartal	362.175	407.034	12,39	311.076	334.950	7,67	51.099	72.084	41,07
Küçükçekmece	460.388	589.139	27,97	459.804	588.135	27,91	584	1.004	
Maltepe	335.539	358.231	6,76	335.539	358.231	6,76			
Pendik	339.759	382.936	12,71	334.451	378.268	13,10	5.308	4.668	-12,06
Sarıyer	229.600	243.578	6,09	214.377	220.171	2,70	15.223	23.407	53,76
Şişli	257.049	271.003	5,43	257.049	271.003	5,43			
Tuzla	93.975	123.716	31,65	85.663	108.329	26,46	8.312	15.387	85,12
Ümraniye	498.952	620.028	24,27	394.132	446.219	13,22	104.820	139.261	32,86
Üsküdar	472.124	496.402	5,14	472.124	496.402	5,14			
Zeytinburnu	228.786	244.062	6,68	228.786	244.062	6,68			
Büyükkçekmece	287.569	396.937	38,03	36.873	34.737	-5,79	250.696	362.200	44,48
Çatalca	73.227	82.149	12,18	14.859	15.624	5,15	58.368	66.525	13,98
Silivri	98.873	107.486	8,71	40.210	44.432	10,50	58.663	63.054	
Sultanbeyli	144.932	175.771	21,28	144.932	175.771	21,28			
Şile	27.385	32.923	20,22	8.714	10.571	21,31	18.671	22.352	19,72
İstanbul	9.198.809	10.072.447	9,50	8.506.026	9.111.050	7,11	692.783	926.849	33,79

2000 yılı sayımından sonra nüfus sayımı yapılmamakla birlikte referans tablonun ötesinde İstanbul nüfusunun 2007 yılı sonu projeksiyonunda 12.573.836 olduğu öngörülmüştür. Ortalama ilçe nüfuslarını bulabilmek için; ilçe nüfuslarına %1,24 lük bir artış eklenebilir veya ihtiyaç analizi hesabı yapılırken, belirlenen enerji ihtiyacına % 1,5 civarında bir ek potansiyel eklenebilir.

### 3.2.2. Kişi Başına Düşen Enerji Tüketimi

Tablo 3.4. Kişi başına Düşen Elektrik Tüketimi ( Global Enerji Dergisi, TEDAŞ 2006)

EDAŞ BÖLGELER	Kişi Başına Tüketim (kWh/kişi)	Sıra No	EDAŞ BÖLGELER	Kayıp + Kaçak Miktar (MWh)
13. Bölge-Trakya	3753	1	1. Bölge-Dicle	6547166
12. Bölge-Uludağ	3243,3	2	17. Bölge-Bedaş	3165312
16. Bölge-Osmangazi	2811	3	7. Bölge-Toroslar	1741029
15. Bölge-Sakarya	2618,8	4	15. Bölge-Sakarya	1305213
11. Bölge-Gediz	2293	5	2. Bölge-Van	1194176
19. Bölge-Menderes	1919	6	9. Bölge-Başkent	787392
9. Bölge-Başkent	1670,3	7	11. Bölge-Gediz	764947
7. Bölge-Toroslar	1439,3	8	14. Bölge-Ayedaş	687937
20. Bölge-Göksu	1381	9	3. Bölge- Aras	620790
10. Bölge-Akdeniz	1362,7	10	12. Bölge-Uludağ	419247
8. Bölge-Meram	1213,3	11	10. Bölge-Akdeniz	410276
21. Bölge-Kızılırmak	854,2	12	21. Bölge-Kızılırmak	409589
1. Bölge-Dicle	773,6	13	19. Bölge-Menderes	369060
5. Bölge-Fırat	744,3	14	8. Bölge-Meram	360491
4. Bölge-Çoruh	695	15	13. Bölge-Trakya	341112
6. Bölge-Çamlıbel	611	16	20. Bölge-Göksu	295164
3. Bölge- Aras	491,8	17	5. Bölge-Fırat	278063
2. Bölge-Van	348,5	18	16. Bölge-Osmangazi	263049
14. Bölge-Ayedaş		19	4. Bölge-Çoruh	236254
17. Bölge-Bedaş		20	6. Bölge-Çamlıbel	165956

İstanbul il ortalama değerlerinin güncel olmamasından dolayı 2006 yılında TEDAŞ 'a ait Trakya hizmet alanında ortalama elektrik enerjisi tüketim değeri 3753 kWh/kişi olarak alınabilir.

### 3.2.3. Tesisten Elde Edilecek Yıllık Elektrik Üretim Miktarı Hesaplama Yöntemi

Rüzgâr hızı spektrumunda, rüzgârın esme olasılığı aşağıdaki formülden bulunur.

$$F(V_i) = (k/C) (V_i/C)^{k-1} \exp \{-(V_i/C)^k\} \dots \dots \dots 3.1$$

$F(V_i)$  : Rüzgârın “ $V_i$ ” hızında esme olasılığı

$V_i$  : Rüzgâr Hızı (m/s)

$C$  : REPA'dan hesap edilen, Weibull-c ölçek parametresi (m/s)

$k$  : REPA'dan hesap edilen Weibull-k şekil parametresi

RES alanına yerleştirilen türbinin ortalama gücü ve yılda üretebileceği elektrik enerjisi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$P = \rho / 1,225 \times \sum [F(V_i) \times P_T(V_i)] \dots \dots \dots 3.2$$

$P_T(V_i)$  : RES alanında kullanılacak türbinin her bir rüzgâr hızındaki gücü (MW)

$\rho$  : RES alanının yıllık ortalama hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$P$  : Rüzgâr türbininin RES alanındaki ortalama gücü (MW)

$$E = P \times 8760 \text{ saat} \times L_f \dots \dots \dots 3.3$$

$L_f$  : Şebeke yük faktörü

$V_o$  : Ortalama rüzgar hızı

$V_g$  : Gerekli rüzgar hızı

$$L_f = (V_o / V_g)^3 \times K \dots \dots \dots 3.4$$

Vg/Vo	K
1,25	1,00
1,50	1,15
1,75	1,30
2,00	1,45
2,50	1,60

E: RES alanındaki türbinin yıllık elektrik üretim miktarı (MWh)

REFEL (veya ASEL) = E x RES alanına yerleştirilecek türbin sayısı

Hesaplama Örneği olarak;

RES alanının REPA'dan hesap edilerek bulunan;

Weibull-c parametresi : 8,60876 m/s

Weibull-k parametresi : 2,05706

Hava yoğunluğu : 1,015 kg/m<sup>3</sup>

Tablo 3.5. Rüzgâr hızı, esme olasılığı ve rüzgâr türbininin güç değerleri kullanılarak hesap edilen enerji üretim tablosu (E.T.K.B Rüzgâr Potansiyelinin Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik,2008)

$V_{i(m/s)}$	$F(V_i)$	$P_T(V_i)$ (MW)	$P(V_i)$ (MW)
1	0,02425690	0	0
2	0,04860240	0	0
3	0,06993620	0,013257	0,000927154
4	0,08643362	0,030657	0,002649808
5	0,09701564	0,828570	0,008038439
6	0,10136996	0,149971	0,015202598
7	0,09989949	0,237800	0,023756099
8	0,09357499	0,373685	0,034967636
9	0,08372176	0,534428	0,044743301
10	0,07178605	0,713400	0,051212168
11	0,05912576	0,828571	0,048989915
12	0,04685784	0,828571	0,038825069
13	0,03577692	0,828571	0,029643734
14	0,02634231	0,828571	0,021826488
15	0,01871785	0,828571	0,015509079
16	0,01284284	0,828571	0,010641210
17	0,00851272	0,828571	0,007053398
18	0,00545303	0,828571	0,004518226
19	0,00337675	0,828571	0,002797876
20	0,00202188	0,828571	0,001675269
21	0,00117082	0,828571	0,000970111
22	0,00065581	0,828571	0,000543386
23	0,00035536	0,828571	0,000294445

24	0,00018630	0,828571	0,000154366
25	0,00009450	0,828571	0,000078305
<b>TOPLAM</b>			<b>0,365018080</b>

Tabloda teorik hesaplama ile ortalama 7 m/ sn lik rüzgâr esiş hızı ile türbinden üretilebilecek güç değerleri verilmiş olsa da pratikte 2-3 MW düzeyinde güç üreten santraller yer almaktadır. İstanbul için türbin seçimi yapılırken firmaların portföyünde yer alan ürünler incelenecektir.

Yıllık Teorik Elektrik Üretim Miktarı;

$$E = 0,3650180809 \text{ MW} \times 8760 \text{ saat} = 3 197,558 \text{ MWh/yıl}$$

## 4.RÜZGÂR ENERJİSİNİN MÜHENDİSLİK BOYUTU

### 4.1.Rüzgâr Türbininde Kuleler

#### 4.1.1.Kule Seçimi

Kule, rüzgâr türbinlerinde nacelle ve rotoru taşır. Kuleler genellikle tüp şeklinde çelik , kafes yapılı veya betonarme olarak inşa edilir. Halat destekli direk tipi kuleler genellikle küçük türbin uygulamalarında kullanılır. Tüp şeklindeki kule şekli en çok tercih edilen kule şeklidir. Şekil a da tüp şeklinde kule kullanılan rüzgâr türbinleri görülebilir. Genellikle 20 – 30 metre yükseklikte üretilir. Kafes yapılı kuleler çelik profillerin kaynaklanarak birleştirilmesi ile oluşturulur. En temel avantajları maliyetlerinin düşük olmasıdır. Benzer boyutlarda bir tüp kulenin hemen hemen yarısı kadar malzeme ve yapım maliyeti vardır. Birçok küçük türbin halat destekli direk tipi kule kullanılarak inşa edilir. En büyük avantajı ağırlığının çok az ve maliyetlerinin çok düşük olmasıdır. Şekil . c de bir bu kule tipine bir örnek görülüyor. Dezavantajları ise araziye kurulum zorluğu ve tarım alanlarının kullanımını engellemesidir.



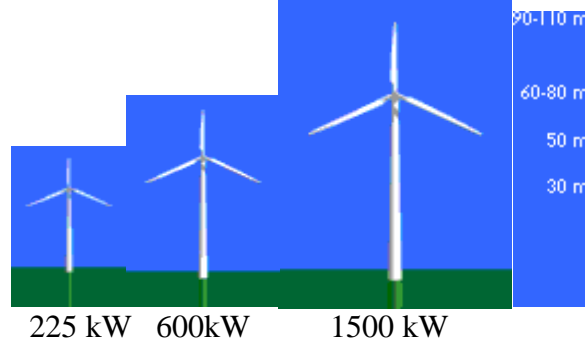
Şekil 4.1.Tüp Kule( İstanbul Enerji A.Ş.)



Şekil 4.2.Halat Destekli Direk Kule (İstanbul Enerji A.Ş.)

#### 4.1.2. Kule Uzunluğunun Seçimi

Büyük bir türbinden küçüğüne oranla daha büyük bir güç elde edileceği muhakkaktır. Eğer şekilde dikkat edilecek olursa sırası ile 225 KW , 600 KW ve 1500 kW'lık türbinleri görebiliriz.



Şekil 4.3.Kule Uzunluğu Seçimi ( Wind Energy Handbook, 2007)

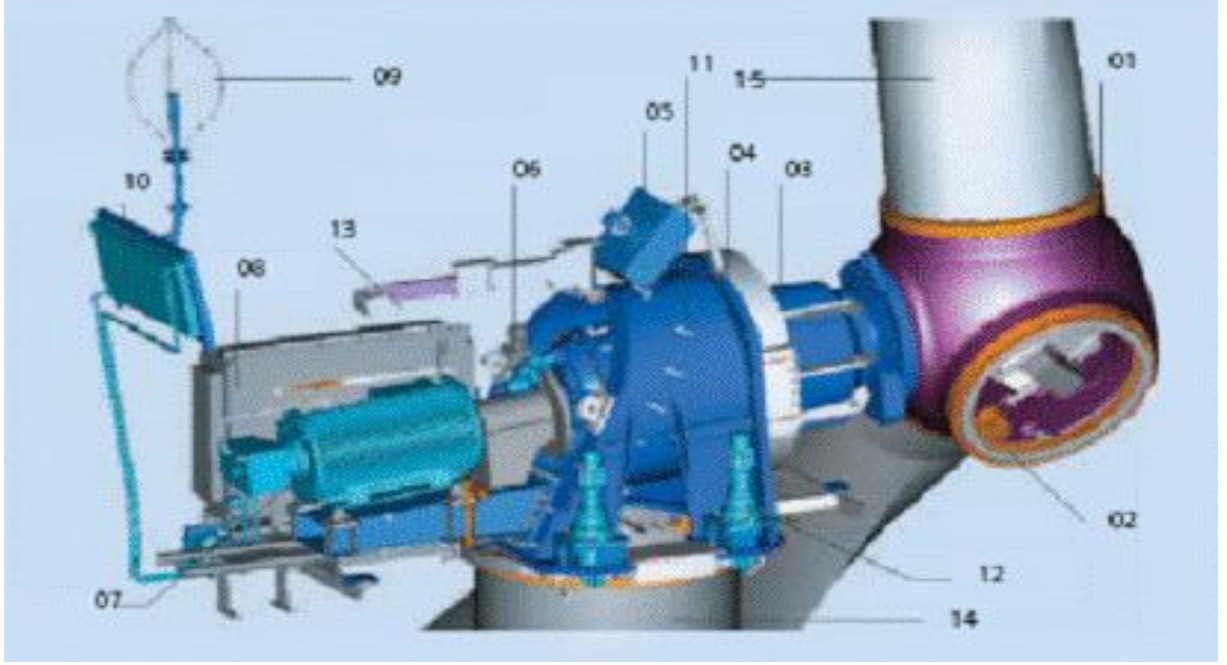
Bu türbinlerin güçleri gibi büyüklüklerinin de farklı olduğu açıktır. Ayrıca büyük güç elde etmek için generatörün daha büyük olması , onu tahrik içinde daha büyük kanatlar gerekir. Kanat boyunun uzaması demek doğal olarak kule boyunun da uzaması anlamına gelir. Ancak unutulmaması gereken husus , her 10 metre extra uzunluğu için 15.000 \$ extra maliyet oluşturduğudur. Kısaca kule ve kanat boyutları elde edilen gücün maliyete oranı ekonomik olduğu sürece büyük seçilebilir.

#### 4.1.3. Rüzgâr Türbini Generatörleri

Rüzgâr türbin generatörleri mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bunlar, şebekeye bağlanan diğer generatörlerle karşılaştırıldığında aralarında bir fark görülür. Bu generatörler devamlı azalıp artan bir mekanik güç veren tahrik kaynağı ile çalışmak durumundadır.

#### 4.1.4. Gerilim Üretme

Büyük güçlü rüzgâr türbinlerinde (100-150 kW ve üzeri) üretilen 3 faz gerilim genellikle 690V civarındadır. Üretilen akım daha sonra trafolarla gönderilerek, gerilim şehir şebeke standartlarına bağlı olarak (10000-30000) V arasında bir değere yükseltilir.



Şekil 4.4. Rüzgar Türbin Elemanları ( <http://www.windpower.org/en/kids/intro/intronac.htm>)

01. Göbek
02. Savurma Mekanizması
03. Dişli Kutusu (Bağlı olduğu ve rotorla bütünleşik yüzey nacelle'dir)
04. Gürültü Bastırma
05. Dişli Kutusu soğutma ve Yağlama
06. Fren Tertibatı
07. Generator
08. Ana Konverter Kabini
09. Rüzgar ölçücü
10. Soğutma cihazı
11. Ana gövde
12. Rota düzeneği
13. Sifon
14. Kule

## 15.Çark kanadı

### **4.1.5. Soğutma Sistemi**

Generatörler çalışırken ısınır ve soğutma sistemine ihtiyaç duyulur. Türbinlerin çoğunda generatördeki hava kanallarından bir fan ile hava sirkülasyonu sağlanması metodu ile soğutulmaktadır. Fakat birkaç üretici firma su ile soğutulan generatörler kullanırlar. Su ile soğutulan generatörler daha küçük yapılabilir. Ayrıca elektriksel olarak daha sorunsuz ve verimlidir. Ancak bu sistemde soğutma suyu için sıvı tankı gereklidir. Bu tankın veya radyatörün nacell'e(rotor iç yüzeyi) yerleştirilmesi problem yaratır.

### **4.1.6. Generatörü Başlatma ve Durdurma**

Büyük bir rüzgâr türbin generatörünü devreye alma ve devreden çıkarma esnasında sıradan, rasgele bir anahtar kullanılırsa generatör , dişli kutusu ve yakın çevredeki şebeke akımı zarar görebilir.Kullanılacak anahtar generatör tasarımı göz önüne alınarak seçilir.

### **4.1.7. Generatör Seçimi ve Şebeke Bağlantısı**

Rüzgâr türbinleri senkron veya asenkron generatörlerle ve bu generatörlerin şebekeye doğrudan veya dolaylı bağlanmasıyla tasarlanır. Türbinler generatörün şebekeye bağlantı şekline göre çeşitli şekillerde seçilir. Direkt şebeke bağlantılı sistemlerde 3 fazlı A.C generatörler kullanılır. Endirekt şebeke bağlantılı sistemle de üretilen gerilim çeşitli ara birimlerden geçirildikten sonra şebekeye uyumlu hale getirilir. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan senkron rotorlarındaki doğru akım şebekeden alınan besleme ile sağlanır. Şebekeden alınan A.C doğrultularak D.C ye çevrilir. Daha sonra rotorun sargılarına fırçalar aracılığı ile iletilir. Generatörün kutup sayısına ve dönüş hızına bağlı olarak istenen frekansta gerilim üretilir. Aşağıda kutup sayısı ve dönüş hızına bağlı olarak frekans oluşumu tablosu verilmiştir.

Tablo 4.1. Kutup Sayısı Ve Dönüş Hızına Bağlı Olarak Frekans Oluşumu (De Wind Turbine Technologies 2008)

Frekans	50 Hz	60 Hz
Kutup sayısı	Dönüş hızı (rpm)	Dönüş hızı (rpm)
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

50 ve 60 Hz lik frekanslarda kutup sayısı ile dönüş hızlarının ters orantılı değişim gösterdiği dikkat çekmekte ayrıca kutup sayısının 4 seçilmesi durumunda 50 ve 60 Hz lik frekanslarda dönüş hızındaki düşüşün % 50 ile en yüksek değerde olduğu gözlemlenmektedir. Generatör hızı terimi sadece şebekeye bağlanan senkron makineler için geçerlidir. Asenkron generatörlerde böyle bir şey söz konusu değildir. Rüzgâr türbinlerinde genellikle altı kutuplu makineler kullanılır. Generatörün düşük yada yüksek hızlarda olması kullanılacağı türbinin büyüklüğüne ve maliyete bağlıdır. Büyük güçlü türbinlerde yavaş , küçük güçlülerde daha hızlı generatörler kullanılır. Generatörün şebekeye doğrudan bağlantısında generatörden elde edilen gerilim, üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan direk şebekeye verilir. Dolaylı şebeke bağlantısında ise elde edilen gerilim bir dizi elektriksel aygıt vasıtasıyla şebekeye uygun hale getirildikten sonra şebekeye verilir.

#### **4.1.8. Rüzgâr Gücünden Elektriksel Güç Elde Etmede Kullanılan Dönüşüm Sistemleri ve Kontrol Teknikleri**

Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinde etkin olarak güç elektroniği devreleri kullanılmaktadır. Bu tür dizgeler üretilen enerjinin istenen forma çevrilmesinde ve amaçlanan kontrol mantığının gerçekleştirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Yakın geçmişte ve günümüzde akaryakıt, doğal gaz ve nükleer enerji sektörlerinde yaşanan zorluklar ile bunların sebep

olduğu çevresel problemler alternatif enerji kaynaklarına verilen önemi arttırmıştır. Bu kaynaklar içinde rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri oldukça fazla ilgi görmekte ve bu alana yapılan yatırımlar ve araştırmalar hızla artmaktadır. 1999 yılı sonu rakamlarına göre tüm dünyada rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam kurulu gücü 14000 MW ' a yaklaşmaktadır. Bu sistemlerden yüksek güçlü rüzgâr enerjisi santralleri enterkonnekte şebekeye bağlanmakta olup orta ve düşük güçlü sistemler ise daha çok radyo, baz, meteoroloji istasyonları gibi yerleşimden uzak bölgelerde kullanılabilir. Rüzgâr enerjisinin elektriksel enerjiye dönüştürüldüğü sistemlerin çoğunda güç elektroniği teknikleri kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde üretilen enerjinin istenen forma çevrilmesi ve belirlenen kontrol mantığı çerçevesinde rüzgârdan optimum enerji elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler, güç kapasitesi yüksek anahtarlama elemanları ve hızlı Direkt Sayısal Program işlemcilerini ortaya çıkarmış ve böylece rüzgâr enerjisinden optimum güç elde edilmesini sağlayan sistemlerin tasarımına olanak sağlamıştır.

Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri, türbin hızı ve üretilen gerilimin frekansı esas alındığında çalışma prensiplerine göre 3 gruba ayrılabilir.

1. Sabit hız, sabit frekans dönüşüm sistemleri
2. Değişken hız, sabit frekans dönüşüm sistemleri
3. Değişken hız, değişken frekans dönüşüm sistemleri

#### **4.1.8.1. Sabit Hız Sabit Frekans Dönüşüm Sistemleri (SHSF)**

Bu tür sistemlerde rüzgâr türbininin mili generatöre, generatör stator terminalleri ise enterkonnekte sisteme doğrudan bağlanmaktadır. Generatör olarak senkron generatör veya indüksiyon generatör kullanılmaktadır. Senkron generatör kullanıldığı zaman ikaz akımı güç elektroniği devreleri ile kontrol edilerek güç faktörü ayarlanabilir. İndüksiyon generatör kullanılması durumunda rotor hızını senkron hızın üzerinde tutabilmek için türbin ile rotor arasında Hz dönüşüm redüktörü kullanılmalıdır.

#### **4.1.8.2. Değişken Hız Sabit Frekans Dönüşüm Sistemleri (DHSF)**

Bir rüzgâr türbininden elde edilebilecek güç aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir;

$$P = \frac{1}{2} C_p (\lambda) \rho A v^3 \text{ (Watt)} \dots \dots \dots 4.1$$

Burada  $C_p$  rüzgâr türbinin güç katsayısı olup  $\theta$  ve  $\lambda$  parametrelerine bağlı olarak değişir.  $\rho$  rüzgâr türbininin A alanından geçen hava yoğunluğu,  $v$  ise rüzgâr hızıdır.  $\lambda$  parametresi uç-hız oranıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$\lambda = \omega_1 r / v \dots \dots \dots 4.2$$

$\omega_1$  türbin milinin açısal dönüş hızı,  $r$  türbin yarıçapı,  $\theta$  ise türbin kanat açısıdır.

Rüzgâr hızının değiştiği durumlarda uç – hız oranı optimum bir değerde tutulmak suretiyle rüzgârdan elde edilecek gücün maksimum transferi sağlanabilir. Rüzgâr türbininden maksimum güç elde etmek için uç – hız oranı, kanat aralık açısı değiştirilmek suretiyle optimum değerde tutulabilir. Burada generatör çıkışı değişken gerilim ve frekansta olduğundan enterkonnekte şebekeye direkt bağlanamaz. Generatör çıkışlarını şebeke gerilim ve frekansı ile uyumlandırmak için bir AC – DC – AC çevirgeç yardımıyla üretilen enerji önce DC daha sonra da AC forma çevrilebilir.

#### 4.1.8.3. Değişik Frekansta Alternatif Akım Üretme

Burada rüzgâr türbin generatörü mini bir AC şebeke ile çalışmaktadır. Bu mini elektrik şebekesi elektronik olarak inverter kullanmak suretiyle kontrol edilmektedir. Generatörün stator kısmında üretilen alternatif akımın frekansı değişkendir. Çünkü türbin pervaneleri değişik hızlarda çalışmaktadır. Generatörden önce devir sayısını dişliler yardımıyla arttıran bir dişli kutusu bulunmaktadır.

##### 4.1.8.3.1. DC Akıma Dönüştürme

Değişken frekanslı alternatif akım şehir şebekesinde kullanılmamaktadır. Bu yüzden önce tristörler veya büyük üçlü transistörler kullanılarak doğru akıma çevrilir.

##### 4.1.8.3.2. Sabit Frekanslı Alternatif Akıma Dönüştürme

Değişken frekanslı alternatif akımdan elde edilen doğru akım, inverterler vasıtasıyla şehir şebekesiyle aynı frekansta olacak şekilde alternatif akıma dönüştürülür. İnverterlerle yapılan bu işlem ayrıca transistör ve tristör aracılığıyla da yapılabilir. İnverterler yardımıyla elde edilen alternatif akım düzgün bir sinüs eğrisi şeklinde seyretmez. Gerilim ve akımda ani sıçramalar görülür.

#### 4.1.8.4. Alternatif Akımın Filtre Edilmesi

Uygun endüktans ve kapasitanslar kullanılarak, elde edilen alternatif akım daha düzgün bir hale getirilir yani filtre edilir (AC filtre mekanizması). İğne uçlu gerilim yükselmeleri böylece ortadan kaldırılır. Değişken hız uygulaması bilezikli indüksiyon generatöründe rotor dirençleri değiştirilerek sağlanmaktadır. Bu sistemde indüksiyon generatörü çıkışlar bir çevirgece gereksinim olmadan doğrudan enterkonnekte şebekeye bağlanabilmektedir. Rotor dirençleri değiştirilmek suretiyle indüksiyon generatörünün moment – hız eğrisi değiştirilerek güç akışı kontrol edilmektedir. Buradaki sistemde makinanın rotor dirençlerinde kaybolabilecek enerji (rotor terminalleri kısa devre edildiğinde veya dirençle sonlandırıldığında), bir AC–DC–AC çevirgeç yardımıyla kaynağa geri gönderilmektedir. Sistemin dinamik denklemleri yazılacak olursa:

$$T_a = J \frac{d\omega}{dt} = T_w - T_d \dots\dots\dots 4.3$$

Burada ;

$T_a$  : Hızlanma torku (Nm)

$T_w$  : Rüzgâr türbininden elde edilen tork (Nm)

$T_d$  : İndüksiyon generatörünün ürettiği tork (Nm)

$J$  : Tüm sistemin eylemsizlik momenti ( $\text{kgm}^2$ )

$\omega$  : Rotor milinin açısal hızı (rad/s)

$T_w$  rüzgâr hızı ile mil hızının bir fonksiyonudur.  $T_d$  ise mil hızı ve rotor direncinin bir fonksiyonudur. İndüksiyon generatörünün ürettiği tork, mil hızı sabit kaldığı sürece, rotor direnci arttıkça azalır veya tersi olarak azaldıkça artar. Buna göre  $T_a$  değeri 0 olacak şekilde, türbin hızı artma eğilimi gösteriyorsa ( $J \frac{d\omega}{dt} > 0$ ) rotor direnci azaltılır veya azalma eğilimindeyse ( $J \frac{d\omega}{dt} < 0$ ) rotor direnci arttırılır. Böylece rotor direnci değiştirilerek indüksiyon generatörü sabit hız uygulamasından değişken hız uygulamasına geçer ve türbin verimi optimum değerinde tutulmuş olur. Değişken hız uygulaması eğer indüksiyon generatörü kullanılıyorsa PWM çevirgeçlerle sağlanır. Bu sistemde indüksiyon generatörlerinin reaktif güç gereksinimi PWM çevirgeçler, tarafından sağlanmaktadır. PWM çevirgeçlerin kontrolü bulanık mantıkla gerçekleştirilmektedir. Sistemde 3 tane bulanık mantık kontrolü vardır. Bunlar sırayla generatör hız izleme kontrolü, generatör akı

programlama kontrolü ve kapalı çevrim generatör hız kontrolüdür. Generatör hız izleme kontrolünde herhangi bir rüzgâr hızında sistemin maksimum güç noktası tespit edilir ve generatörün hızı maksimum güç verilecek şekilde ayarlanır. Generatör akı programlama kontrolünde rotor akısı kontrol edilerek makinanın demir kayıpları azalır dolayısıyla sistemin verimi artmış olur. Kapalı çevrim generatör hız kontrolüyle rüzgârdaki çok ani değişimleri ve türbindeki salınım torklarına karşı dayanıklı hız kontrolü gerçekleştirilmektedir.

Fırçasız çift beslemeli indüksiyon generatör kullanıldığında stator kısmında farklı kutup sayılarında 2 adet sargı bulunmakta olup sırayla güç sargıları ve kontrol sargıları olarak adlandırılmaktadır. Stator sargı frekansları ile rotor mil hızı arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$f_c = f_r ( P_p + P_c ) - f_p \dots\dots\dots 4.4$$

Burada

$P_p$  :Güç sargısı kutup sayısı

$P_c$  :Kontrol sargısı kutup sayısı

$f_p$  :Şebeke frekansı

$f_r$  : Mil hızı

$f_c$  :Gerekli kontrol sargıları frekansı

Buradaki sistemde kullanılan PWM çevirgeçler yardımıyla indüksiyon generatörünün kontrol sargıları frekansı ayarlanarak generatör mil hızı kontrol edilmekte ve değişken hız uygulaması sağlanmaktadır.

#### 4.1.8.5.Değişken Hız Değişken Frekans Dönüşüm Sistemleri

Üretilen enerjinin enterkonnekte şebekeye bağlanması zorunluluğu olmayan otonom sistemlerde kullanılır. Bu tür sistemlerde kenel olarak kapasitör yardımıyla kendinden uyarımlı indüksiyon generatörler, alan sargılı senkron generatörler veya sabit mıknatıslı alternatörler kullanılır. Generatör çıkışları bir kontrollü ac – dc doğrultucu yardımıyla doğru akıma çevrilip batarya şarjında kullanılabilir.Kontrol edilmesi gereken parametreler çıkış voltaj seviyesi olup değişen rüzgâr hızı koşullarına göre uyarımı sağlayan indüksiyon generatörün mıknatıslanma akımını sağlayan kapasitörlerin değerinin denetlenmesi gerekir.Alan sargılı senkron generatörlerde hem ikaz akımı hem de kontrollü ac/dc doğrultucu yardımıyla çıkış gerilimi denetlenebilir. Rüzgâr hızının aşırı yükseldiği durumlarda türbini

korumak amacıyla kanat aralık açısı değiştirilir. Böyle bir sistemde çıkış gücü kontrol değişkeni olarak kullanılır. Buna göre sistemin dinamik denklemi şöyledir:

$$\mathbf{J} \omega_1 \mathbf{x} \frac{d \omega_1}{dt} = \mathbf{P}_1 \omega_1 + \mathbf{P}_m \omega_1 \dots \dots \dots \mathbf{4.5}$$

Buradan da görüleceği gibi rüzgâr hızı arttıkça  $\mathbf{J} \omega_1 \mathbf{x} \frac{d \omega_1}{dt} > 0$  olur ve türbin daha fazla güç üretmeye başlar. Benzer şekilde rüzgâr hızı azaldıkça  $\mathbf{J} \omega_1 \mathbf{x} \frac{d \omega_1}{dt} < 0$  olur ve türbin gücü düşer. Buna göre batarya ve yükün güç ihtiyacına bağlı olarak DC referans akımı ayarlanır. Böylece sistemin maksimum güç veya gerilim / akım kontrolü altında çalışması sağlanır. Sonuç olarak sınıflandırılan sistemler içerisinde değişken hız rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin rüzgâr türbininden maksimum güç elde edilmesine olanak sağlanması nedeniyle üzerinde oldukça fazla çalışılan sistemler olduğu görülmektedir. Ayrıca güç elektroniği devrelerindeki harmonikler ve bunların oluşturduğu kayıplar önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kısıtlamalar gerilim bozulma faktörü düşük kontrollü doğrultucuların kullanımını zorunlu kılmakta ve bu tür dizgiler için hızlı ve etkili kontrol devrelerinin tasarımını gerektirmektedir

#### 4.1.8.6. Üretilen Gücün Kalitesi

Sabit hızlı rüzgâr türbinleri direk indüksiyon generatörlerine bağlandıklarından ürettikleri harmonikler ihmal edilebilmektedir ve senkronizasyonda problem çıkarmamaktadırlar. Rüzgâr türbinlerinde ve rüzgâr güç santrali alt istasyonlarında ki kompanzasyon kondansatörleri ile güç katsayısı , sistemin herhangi bir güç değeri için 1.0 değerine yakın değerlerde kontrol edilebilmektedir. Değişken hızlı rüzgâr generatörleri , üretmiş oldukları değişken frekanslı gücü, ulusal şebekenin ihtiyaç duyduğu sabit frekanslı güce dönüştürmek için elektronik konvertörlere gereksinim duyarlar. Konvertör yardımı ile rüzgâr türbini güç üretiminin düzenlenmesi , elde edilen akım dalgası genliğinin kontrolünü sağlamaktadır. Akım dalgasının frekansı ve faz açısı , rüzgâr generatöründe hazır bulunan servis geriliminin izlenmesiyle belirlenebilmektedir. Bu yöntemde , sistem frekansı ile servis gerilim frekansının 50 ya da 60 Hz olmasına bakılmaksızın senkronize olması sağlanmaktadır. Bu yöntem ile aynı zamanda rüzgâr türbininden alınan akımın faz açısı kontrol edilerek oluşturulan güç faktörü de kontrol edilebilmektedir. Konvertördeki anahtarlanmalardan dolayı tipik harmonikler oluşacaktır. Yüksek anahtarlama frekansları düşük harmonikli dalgalar üretmektedir.

IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) gibi katı hal yarı iletken transistörler ile yüksek frekanslı anahtarlama yapılarak harmonik bileşenleri küçük olan iyi bir akım dalgası

üretebilir. Rüzgâr generatörünü servis şebekesine bağlayan yükseltici transformatörler ile gerilimin yükseltilmesi halinde düşük olan harmonikler daha da azaltılabilmektedir. Böylece ortak bağlantı noktasında rüzgâr türbinleri aracılığıyla harmoniklerin bozucu etkisi çok küçük olacaktır.

#### **4.1.8.7.Rüzgâr – Diesel Sistemleri**

##### **4.1.8.7.1.Eş Zamanlı Yük Kontrolü**

Eş zamanlı yük kontrolü, Landy ve Fair ada halklarına ucuz elektrik sağlamak amacıyla 1982 yılından beri başarılı bir şekilde işletimde bulunmaktadır. Fair Ada'sı diesel rüzgâr sistemlerinde önem sırasına göre üç öncelikli yük tanımlanmıştır. Çalışma prensibine göre yükün günün belirli saatlerinde ( örneğin, 7 – 9 ve 16 – 23 arası ) karşılanması zorunludur.

Bu öncelikli yükün rüzgâr gücü tarafından karşılanamaması halinde, diesel generatörü çalıştırarak açık kapatılmaktadır. Rüzgâr gücü birinci öncelikli yük gereksiniminden fazla ise, daha az önemli yükler devreye alınarak, enerji gereksinimleri karşılanmaktadır.

Sisteme ait hassas bir özellik ise, ikinci ve üçüncü öncelikli yüklerin frekans izleme anahtarı yolu ile sürekli olarak değiştirilebilmesidir. Bunun anlamı daha az önemli yüklerin rüzgâr gücündeki dalgalanmalara bağlı olarak, sürekli sistem tarafından azaltılıp veya çoğaltılmasıdır. Şayet ikinci ve üçüncü önemdeki yükler düşer ve rüzgâr türbini hiçbir yükü karşılayamaz ise, diesel sistemi tekrar devreye girmektedir. Bu sistem Fair Ada'sı için 5 cent/kwh fiyatla elektrik sağlamaktadır. Daha önceden sadece dieselden elde edilen elektrik fiyatı 27 sent/kwh olarak bildirilmektedir. Bu sisteme göre rüzgâr gücü, diesel sisteminden daha fazla elektrik sağlamaktadır. Ancak rüzgâr gücü çıktısının küçük bir oranı su ve sistem ısıtmasını içeren az önemli yüklere gitmektedir. Bu yük kontrol sisteminin bir olumsuz yanı, rüzgâr türbini çıktı fazlasından iyi bir şekilde yararlanacak belirlenebilir düşük önemli yüklerin olması gereğidir. Bu durum ise, sistemin ticari uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

##### **4.1.8.8. Elektro – Kimyasal Depolama**

Rüzgâr – diesel sistemlerinde bulunan bir enerji depolama şekli, elektro – kimyasal depolama veya akümülatör kullanılmasıdır. Akümülatörün kullanılması ile rüzgâr – diesel sistemleri, rüzgâr – diesel – akü sistemleri olarakta anılmaktadır. Bu sistemler, genelde bir (veya daha çok) diesel generatörü, bir akümülatör ünitesi (çevirici ile ) , rüzgâr türbinleri, AC / DC doğrultucular, DC / AC üç fazlı dönüştürücüler vb. gibi kısımlardan oluşmaktadır.

Bu rüzgâr – diesel – akü sisteminin çalışma şekli, rüzgârın durumuna bağlı olarak değişmektedir. Rüzgârın iyi olması ve şebeke gereksiniminden daha fazla elektrik üretmesi halinde, fazla enerji, aküde depolanır. Orta rüzgâr durumunda, şebeke yük açığını kapatmak için akümülatör de ve rüzgâr türbinine ek olarak devreye girer. Şayet rüzgâr çok zayıf ise, diesel generatörü çalıştırarak üretilen elektrik enerjisiyle şebeke beslenir. Genelde birisi diğerinin iki katı mesafede olan generatörlerin kullanımı ve bunlardan uygun olanının çalıştırılması, diesel tüketiminde oldukça önemli bir ekonomi sağlayacaktır. Çünkü büyük diesel generatörlerinin düşük kapasite ile çalıştırılmaları etkili ve ekonomik olmamakta, böylece enerji üretiminde amaçlanan düşük maliyet sağlanamamaktadır. Almanlar tarafından üretilen rüzgâr – diesel – akü sistemleri, İrlanda, Çin, Ürdün, Avustralya, İspanya ve Tayland gibi ülkelerde başarıyla kullanılmaktadır.

#### **4.1.8.8.1. Mekanik Depolama**

Rüzgâr – diesel sistemlerinde kullanılan bir enerji depolama şekli ise, mekanik depolama veya volan kullanımıdır. Bir kinetik enerji depolama şekli olarak volanlar, girdi/çıkış enerjilerinden birinin sabit diğerinin değişken olduğu hallerde kullanılabilir. Bu elemanlar, rüzgâr yapısındaki değişimlere bağlı olarak bir rüzgâr – diesel sisteminde de kısa süreli enerji depolama aracı olarak kullanılmaktadır. Bir rüzgâr – diesel sisteminde kullanılan volanlar sadece yakıt tasarrufu sağlamayıp, aynı zamanda şebeke voltaj ve frekans kararlılığını da iyileştirmektedir. Ayrıca diesel generatörün sık sık çalışıp durmasıyla oluşabilecek deformasyonlar da önlenebilecektir. Imperial Collage, Rutherford Appleton Laboratuvarı ve Leicester Üniversitesi tarafından yürütülen araştırmada enerji depolama aracı olarak volan kullanılan bir rüzgâr – diesel sistemi geliştirilmiş ve deneme çalışmaları başarılı olmuştur. Bu sistemde volan maksimum 6000, minimum 1 devirle dönebilmekte, 12 MJ seviyesinde bir enerji sağlayabilmektedir. Volana enerji nakli ve alımı, bir elektronik varyatör kullanan iki kutuplu bir indüksiyon makinesi aracılığıyla sağlanmaktadır. Volanların düşük maliyetli ve uzun ömürlü olmalarından dolayı, rüzgâr – diesel sistemlerinde enerji depolama aracı olarak kullanılmaları oldukça caziptir.

#### **4.1.8.8.2. Hidrolik Depolama**

Hidrolik depolama, rüzgâr – diesel sistemlerinde kullanılan diğer bir alternatif enerji depolama şekli olarak bilinir. Bir hidrolik toplayıcı ve hidrolik motor pompası kullanımı ile, sistemdeki fazla rüzgâr enerjisi depolanabilir ve daha sonra rüzgâr enerjisi kısa aralıklarla azaldığında, tüketiciye enerji sağlayabilir. Hidrolik toplayıcılarda, enerji depolama süresi

volanlara çok benzemekte ve bundan yararlanma süresiyle, volanlarda olduğu gibi birkaç dakikadır. Ancak, dönen volan veya hidrolikten hangisinin daha güvenli olduğu sorulabilir. İki sistemden hangisinde daha fazla enerji kaybı olduğu ve ekonomikliği de söz konusudur. Bu sorunların yanıtları ancak yapılacak ileri araştırmalarla bulunabilir. Kısaca belirtirsek ulusal şebekeye bağlı olmayan uzak ve küçük yerleşim yerlerine elektrik sağlamak amacıyla kullanılacak rüzgâr – diesel sistemleri ucuz ve güvenilir elektrik enerjisi üretmektedir. Bu sistemlerin tasarımında, düzenli bir şekilde şebeke gereksinimini karşılamanın yanı sıra en az diesel tüketimi ve diesel generatörünün mümkün olduğunca az ve tam kapasitede çalıştırılması da hedeflenmiştir. Diesel generatörlerden maksimum verim sağlamak için genelde iki ( birisi diğerinin iki katı kapasitede ) generatör kullanılmıştır. Ayrıca rüzgâr gücünün fazla olduğu durumlarda üretilen şebeke gereksinim fazlası enerji, depolanarak gerektiği zaman kullanılmaktadır. Bu durum , yakıt tüketimine (ve dolayısıyla maliyete) çok olumlu katkıda bulunurken ; diesel generatörün çabuk deforme olmasını da önleyebilmektedir. Şunu da belirtmekte fayda var ki; rüzgâr – diesel sistem tasarım ve geliştirilmesi Türkiye’de de yapılabileceği gibi, kullanımı ulusal ekonomiye katkı sağlayabilecektir.

#### **4.1.9. Rüzgâr Türbinlerinde Şebeke Bağlantı Kriterleri**

##### **4.1.9.1.Uygun Şartların Sağlanması**

Gücü 1000 kW’ı aşan rüzgâr türbinlerinin özellikle zayıf şebekelere bağlantısı söz konusu ise, öncelikle şebekenin bu çapta bir rüzgar türbininin üreteceği akımı kaldırıp kaldıramayacağı kontrol edilmelidir. Yüksek güç seviyelerindeki iletim kayıplarını düşük tutabilmek için uygun yüksek gerilim seviyesi seçilmelidir (0.1-1kV: alçak gerilim; 1-35kV: orta gerilim; 35-230kV: yüksek gerilim).

Rüzgâr türbinleri orta ve yüksek gerilim sistemlerine genellikle bir transformatör aracılığı ile bağlanır. Arıza durumunda rüzgâr türbinini şebekeden ayırmak amacıyla koruma sistemlerine ihtiyaç vardır. Koruma sistemi şebeke gerilimi ve frekansını korumak için aşağıdaki durumlar oluşmadan önce sistemi açmalıdır:

- Gerilim yükselmesi 1 faza ilişkin gerilim seviyesinin %15’ine ulaşmadan önce,
- Gerilim düşümünün %30 seviyelerine ulaşmadan önce,
- Frekans sapmasının  $\pm 2$  Hz seviyesine ulaşmadan önce.

Rüzgar türbinlerinin şebeke bağlantısı aynı zamanda gerilim dalgalanmalarına neden olur. Bu gerilim dalgalanması %2'lik seviyeyi geçmemelidir. Rüzgar türbinin maksimum nominal gücü  $S_{rG}$  aşağıdaki eşitliğe uygun olmalıdır. Bu nedenle şebeke kısa devre gücünün bilinmesi müsaade edilen maksimum rüzgar türbin gücünün belirlenmesinde oldukça önemlidir.

$$S_{rG} \leq 0.02 \cdot \frac{S_{SC}}{k}$$

$S_{SC}$ : Şebeke ortak bağlantı noktasındaki kısa devre gücü

$k$  katsayısı ise farklı generatör tipleri için belirlenen bir katsayı olup, *VDE* normlarına göre aşağıdaki tabloda olduğu gibi tanımlanmıştır.

Tablo 4.2.VDE normlarına göre  $k$  katsayısı ( Ersen Akdeniz YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ENERJİ ÜRETİMİNİN ŞEBEKENİN ENERJİ KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ)

<b>GENERATÖR</b>	<b><math>k</math></b>
Senkron Generatör, inverter	1
Asenkron Generatör (senkron hızın %95 ve %105'i arasında yüklenmesi durumu)	2
Eğer rotor kilitleme akımı (locked rotor current= $I_l$ ) bilinmiyor ise	8

Rüzgâr türbinlerinin şebekeye bağlantısında dikkate alınması gereken bir diğer faktör ise gerilim kırpışma (flicker) faktörüdür. Eğer rüzgâr türbin gücü şebeke kısa devre gücünün 1/1000'inden daha küçük ise güvenli bir şekilde şebekeye bağlanabilir. Daha yüksek güçlerde ise aydınlatma seviyesinde oluşacak dalgalanmaya ilişkin bozulma faktörü belirlenmelidir (**Not:** flicker daha ziyade aydınlatma düzeneklerinde etkilidir). Bu amaçla uzun dönem filiker bozulma faktörü ( $A_{1\tau}$ ) tahmin edilmelidir.

$$A_{it} = \frac{\sum t_f}{120 \cdot 60s}$$

$$t_f = 2,3s \cdot (100 \cdot d \cdot F)^3$$

*F: Oluşma faktörü*

*d: Bağlı gerilim değişimi (d=S<sub>rG</sub>/S<sub>SC</sub>)*

Hesaplanan  $A_{it}$  değeri kullanılarak müsaade edilecek türbin gücü hesaplanabilir:

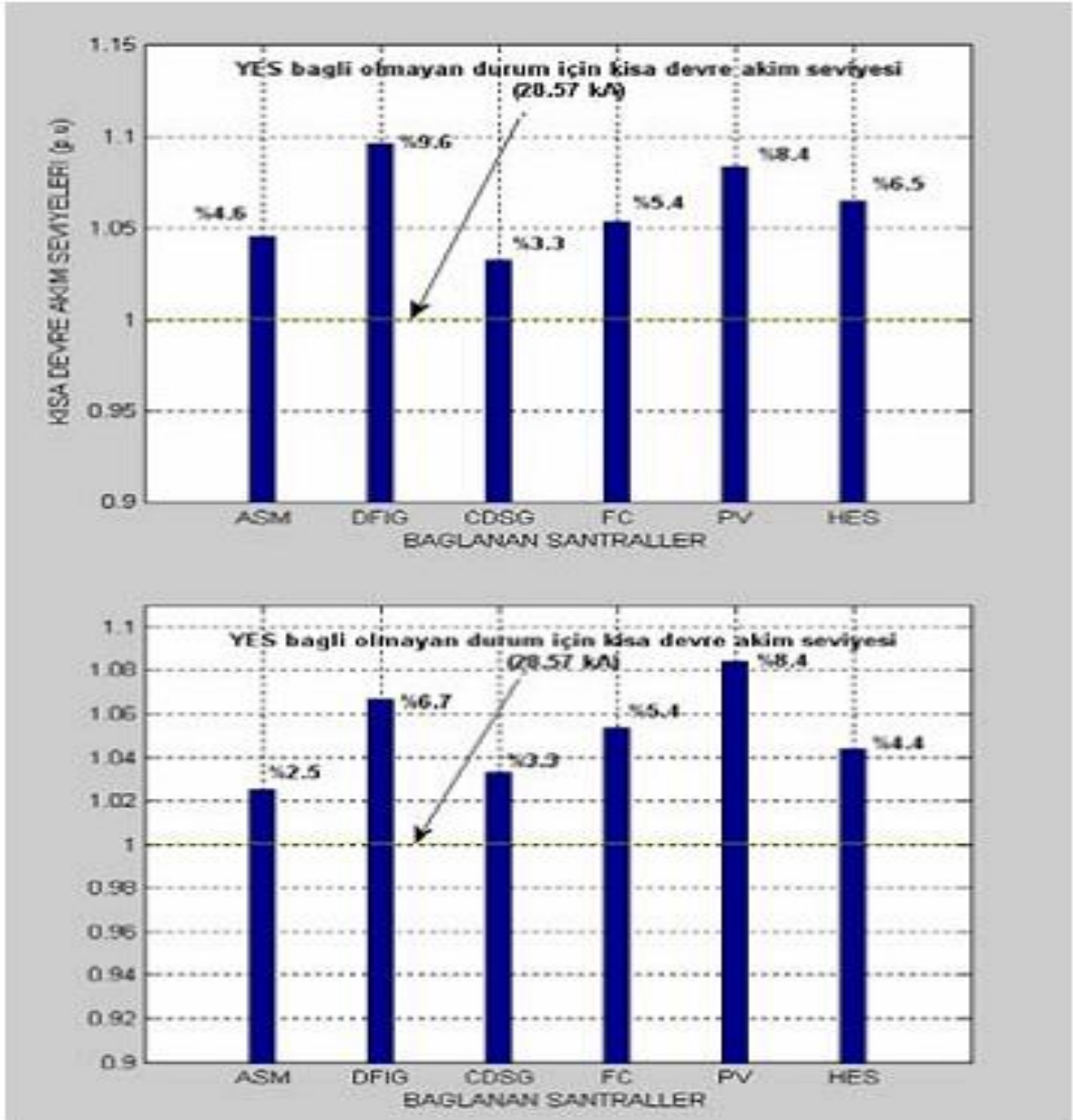
$$A_{it} \leq \left( c \cdot \frac{S_{rG}}{S_{SC}} \right)^3$$

Burada “c” katsayısı, sistem filiker katsayısıdır. Tek bir rüzgar generatörü için  $A_{it} \leq 0.1$  olmalıdır. “c” filiker katsayı rotor kanat sayısı ile ters orantılıdır. Yani kanat sayısı yüksek ise “c” küçüktür. Eğer rüzgar türbini şebekeye bir inverter üzerinden bağlı ise, “c” katsayısı şebekeye direk bağlantıya göre daha düşüktür. Eğer “n” tane özdeş generatörlerden oluşan bir rüzgâr çiftliği, şebekeye ortak bir noktadan bağlı ise, eşdeğer filiker katsayısı, “ $c_{eş}$ ”:

$$c_{eş} = \frac{c}{\sqrt{n}}$$

Tablo 4.3. 66 kV iletim sisteminde yer alan baraların kısa devre akım güçleri ve çeşitli yüzdesel değerler için dağılımları ( Ersen Akdeniz “Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”)

<b>Trafo Merkezi</b>	<b>Sk’’ (MVA)</b>	<b>5 %</b>
1	240.54	12.027
2	244.26	12.213
3	332.73	16.6365
4	399.71	19.9855
5	489.59	24.4795
6	850.3	42.515
7	1309.31	65.4655
8	1386.12	69.306
9	3266.2	163.31



Şekil 4.5. Seyhan/66kV barasına 10 ve 25 MW aktif güçteki YES'lerin bağlantısının kısa devre akım seviyesine etkileri (Ersen Akdeniz "Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi")

Grafiğe göre İstanbul'da tespit edilmiş enerji potansiyeli olan 1500 MW 'ın öngörülen 6 bölgedeki trafo merkezlerine kısa devre güçleri dikkate alınarak Asenkron Generatörlü RES veya Evirici üzerinden bağlı senkron generatörlü RES kurulumu gerçekleştirilmelidir. Bu tip RES seçimine kısıtlayan unsur; belirlenmiş santrallerin kısa devre güçlerinin %5'inden fazla olamayacağı gerçeğidir. 10-25 MW aralığı gücündeki çiftliklerden tek bağlantı yapılması

veya altyapı iyileştiriminden sonraki aşamada mevcut potansiyelin tamamı kullanılabilir. Mevcut tesislerin ve inşaattaki trafo merkezlerinin güncel bilgileri TEDAŞ İstanbul İşletme ve Bakım Müdürlüğü tarafından 2009 yılı ortalarında yayımlanacağından referans alınan trafo merkezlerinin kısa devre ve RES bağlantı güç kısıtları yukarıdaki şekilde yer almaktadır.

Buna göre;

10 ve 25 MW gücündeki tesislerin, şebekeye bağlantısı ile kısa devre güç tolerans sınırı aşılmayacağından şebekeye bağlantı yapmak optimum sonucu verecektir. Kullanılabilir potansiyelin net değerine ulaşabilmek için ilgili bölgelerdeki şebeke gerçek değerlerinin bilinmesi gerekir. İstanbul genelinde 1500 MW potansiyelin kullanımı için 25 MW gücündeki 60 adet RES çiftliğinin, altyapısı tamamlanmış yeterli sayıdaki trafo merkezine bağlantısının yapılabilmesi ifade edilebilir. Ancak mevcut durumda şebeke altyapısı dikkate alındığında **potansiyelin sadece %12 seviyesindeki kullanımından söz edilebilmektedir.** Bu da yaklaşık olarak 180 MW' a karşılık gelmektedir. (İstanbul ENERJİ A.Ş.)

Dalgalı yüklerin yoğun olarak bulunduğu bölgeler için TEİAŞ tarafından ilgili mevzuata göre verilen bağlantı görüşüne ilişkin değerlendirmede, bağlantı noktasındaki mevcut dalgalı yüklerin etkisi de dikkate alınır. Rüzgar hızının belli limitleri aşması durumunda rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin otomatik olarak devre dışı olma özellikleri dikkate alınarak, sistemde ani gerilim değişimi ve frekans dalgalanmalarını önlemek amacıyla sistem döner yedeği miktarını aşmayacak kurulu güçte rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilir.

Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin, reaktif enerji ve gerilim gibi teknik konularda sisteme verecekleri rahatsızlığın sınırlandırılması amacıyla rüzgar enerjisine dayalı asenkron rüzgar türbinine sahip üretim tesislerinin güç faktörü 0,99'dan düşük olamaz. Güç faktörü, kullanıcının kuracağı uygun kompanzasyon tesisleriyle yükseltilir.

#### **4.1.9.2.Ekonomik Analiz:**

Şebeke bağlantı kısıtları gözönüne alındığında %35 seviyesindeki elektrik ihtiyacı karşılama potansiyelinin birim tesis bedeli değişmediğinde yine 5,32 cent/kWh olacağı potansiyelin tümü enterkonnekte şebekeye bağlanamayacağından potansiyelin %12 si için hesap cetveli çalıştırıldığında; 10 MW gücündeki tesis için yine yaklaşık inşaat süresince eskalasyon ve faiz yükü 4 yılda toplam **12.080.865 \$ yatırım yapılacağı ve 20 yıllık geri ödeme devresinde 21.065.298 \$ düzeyinde bir geri ödeme gerçekleştirilecektir.**

## **5.RES UYGULAMA KRİTERLERİ VE KAPASİTE PLANI**

### **5.1. Rüzgâr Çiftliği İçin Gerekli Parametrelerin İncelenmesi**

Bugünkü tüketim oranları baz alınarak yapılan hesaplamalara göre, günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlardan kömürün 240, petrolün 43 ve doğalgazın 67 yıl sonra tükeneceği belirtilmektedir. Bugünkü enerji planlamaları ve bunların sonucunda yüz yüze gelinen çevreci karşı çıkışlar, gerek fosil yakıt kullanılan santrallerin, gerekse geleceği halen açıklık kazanmayan nükleer enerji kullanımının önünü tıkamaktadır. Rüzgâr türbini teknolojisi gelişimi, çevre dostu bir enerji kaynağına yatırım için yeni bir fırsat yaratmaktadır. Hızlı bir biçimde gelişen rüzgâr enerjisi endüstrisinde gerçekçi bir yatırım için yapılması gereken incelemeleri şöyle sıralamak gerekir:

- Çiftliğin kurulacağı bölgenin belirlenmesi.
- Bölgenin ön değerlendirmesi
- Rüzgâr hızı gözlemleri ve veri analizi
- Yüzey yapısı modellenmesi ve mikro -konuşlandırma
- Alt yapı tasarru ve türbin seçimi
- Enerji üretimi değerlendirmesi
- Ekonomik analiz
- Çevre etki değerlendirmesi

### **5.2. Teknik Fizibilite ve Mühendislik Tasarımları**

Yapılması gereken teknik ve mühendislik işlemleri şöyle sıralanabilir;

- Rüzgâr türbinlerinin satın alma koşullarının ve mevcut türbinlerin teknik karakteristik fiyat analizlerinin hazırlanması.
- Rüzgâr çiftliği bölgesinin incelenmesi; yerin jeolojik yapı analizi ve yol gereksiniminin belirlenmesi
- Rüzgâr türbini temel inşaatının tasarlanması
- Bölgenin elektrik şebekesinin incelenmesi
- Ana şebeke bağlantılarının, tasarlanması

- Teknik veri ve türbin karakteristiklerinin gerçekleşme durumlarını belirlemek için rüzgâr türbini performans testi ölçümlerinin yapılması.

### **5.3. Enerji Üretimi İncelemesi**

Bir rüzgâr çiftliğinin net enerji üretimi, projenin ekonomik açıdan uygulanabilirliğin belirlenebilmesindeki anahtar faktörlerden birisidir. Bu, bilgisayar ortamında hazırlanan modeller kullanılarak hesaplanır. Dijitize edilmiş yeryüzü verisi, rüzgâr türbini verisi, rüzgâr hızı ve yönü dağılımları, rüzgâr profili ve türbülans düzeylerini rüzgâr türbini dizilişiyile birleştirerek, türbinlerin tek tek ve bir arada üretecekleri yıllık enerji miktarları hesaplanır. Bu hesaplamalarda , çiftlik bölgesindeki akış değişimleri ve iz bölgesi etkileri de dikkate alınmalıdır. Elektrik sisteminde meydana gelebilecek diğer kayıplarda bu hesaplamalara dahil edilebilir. Prosedürün etkileşimli olarak kullanılmasıyla türbin dizilişini optimize etmek ve böylece enerji üretimini, dolayısıyla karlılığı en yüksek değerine yükseltmek de mümkündür. Bu işlemler sonucunda rüzgâr çiftliğinin toplam ve ayrı ayrı her türbinin beklenen yıllık enerji üretimi miktarları elde edilir.

### **5.4. Elektriksel Alt Yapı Tasarımı**

Rüzgâr çiftliği planlamalarında ihmal edilen özelliklerden bir tanesi de elektriksel alt yapının durumudur. Bu, rüzgâr çiftliğinin yatırım maliyeti, enerji üretimi ve dolayısıyla karlılığı üzerinde önemli etkilere neden olabilmektedir. Elektrik sistemindeki kayıplar tipik olarak rüzgâr çiftliğinin toplam üretiminin %2-3'ü kadardır. Bu nedenle optimum hat ve transformatörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Maliyetlerin ve iletim hatlarıyla transformatörlerin belli bir alan için enerji kayıplarının veri tabanı kullanılarak yatırım maliyetleri ve enerji kayıpları hesaplanır. Alınan enerji ve reaktif güç miktarları ayrıca belirlenmektedir. Daha sonra basit bir yatırım -kazanç testi yardımı ile en ekonomik durum belirlenir.

### **5.5. RES Kapasite Planı**

Kapasite; Bir tesisin üretim kapasitesi, tesisin belirli bir süre içerisinde mevcut üretim faktörlerini rasyonel biçimde kullanarak meydana getirebileceği üretim miktarıdır (Tekin,1996).

#### **5.5.1. RES için Kapasite Planlamasının İçeriği**

Kapasite planlaması ve kontrolü, diğer bir deyişle kapasite yönetimi, toplam ihtiyacı karşılayabilmek için gerekli tesis faaliyetlerinin seviyesini ayarlama çalışmalarını içerir.

Kapasite problemlerinin temel nedeni, talepte karşılaşılan zaman ve miktar belirsizlikleridir. Bütün bu belirsizliklere karşın üretim kaynakları ihtiyacının doğru olarak tespiti zorunluluğu vardır. Yeterli kapasite, ortalama talep seviyesini ve bundan sapmaları karşılayabilen kapasite olarak tanımlanabilir. Kapasite planlaması birbirine bağımlı iki planlama aşamasından oluşur. Bunlar, ortalama enerji üretim seviyesinin belirlenmesi ve bu seviyeden sapmaları gerektiren durumların karşılanabilmesi için yapılan ayarlama planlamalarıdır. Genelde, kapasite planlaması kararları şu çalışmaları içerir (Acar,1995) :

-Mevcut kapasitenin tanımı

-Uzun dönemli kapasite ihtiyacı tahminleri

-Kapasite ayarlama yöntemlerinin belirlenmesi

-Kapasite ayarlama yöntemlerinin finansman, ekonomik ve teknolojik yönlerden değerlendirilmesi

-En uygun kapasite ayarlama yönteminin seçimi

## **5.5.2. RES' de Kapasite Türleri**

### **5.5.2.1. Maksimum (Planlanan) Kapasite**

Planlanan ve teorik olarak kağıt üzerine yazılan, makinelerin ve tesisin hiçbir kesinti ve aksamaya uğramadan çalıştığı takdirde birim zamanda üretebileceği en yüksek enerji miktarıdır. Maksimum üretime ulaşmak için sürekli çalışma kadar, yardımcı hizmetler, araç-gereç ve aşırı yıpranmada üretim maliyetlerinin normal düzeyini aşmasına yol açar. Maksimum veya teknik kapasite kavramı 'kolaylıkla ölçülebilir olma' özelliğine sahiptir ama iki yönden de eleştiriye açıktır. İnsan gücü, hammadde ve diğer maliyetleri göz önüne almaz. Makine ve teçhizat gibi üretken unsurların hiç arıza göstermeyeceği, bakım-tamire gerek duyulmayacağı gibi bir varsayımla maksimum üretim miktarını verir.

### **5.5.2.2. Normal Kapasite**

Tesisin planlanan maksimum kapasiteyle çalışması hemen hemen mümkün değildir. Bu durum ancak serbest pazar şartlarının geçerli olmadığı alanlarda söz konusu olabilir. Her tesis üretimin aksamasına neden olan tesis içinden veya tesis dışından kaynaklanan birtakım sınırlamalar vardır. Kimi zaman enerji üretim süreçlerinde meydana gelen arızalar, kimi zaman beşeri kaynaklı problemler tesislerin maksimum kapasiteyle çalışmalarına engel olmaktadır. Kurulum sürecinde meydana gelen aksaklıkların neden olmasıyla, planlanan

maksimum kapasitenin altında üretim yapılır. Bu nedenle ortaya çıkmış olan kapasiteye gerçek kapasite, normal kapasite ya da pratik kapasite adı verilir. Bir tesisin üretim için planladığı kapasite yıllık olarak 60 MW iken, gerçek kapasite 55 MW olarak gerçekleşebilir. Gerçek kapasitenin %75-80 civarında olabileceği ileri sürülmektedir. Ancak birçok konuda tüm dünyaya örnek olan Japon tesisleri bu türlü azalmayı kabul etmemektedir. Toplam kalite yönetimi altında yaptıkları çalışmalarla, bir üretim sürecinde sıfır hatayı ve eksiksiz kapasiteyi hedeflemektedir.

### **5.5.2.3. Kullanılan Kapasite**

Bir tesisin gerçek kapasitesi her zaman değerlendirilemez. Sektörel senaryolar, rakiplerin atılımları ve buna benzer nedenlerle bir tesisin normalde üretebileceği miktar alıcı bulunmadığı zamanlarda kullanılan kapasite kavramı ortaya çıkmaktadır.

### **5.5.2.4. Optimum Kapasite**

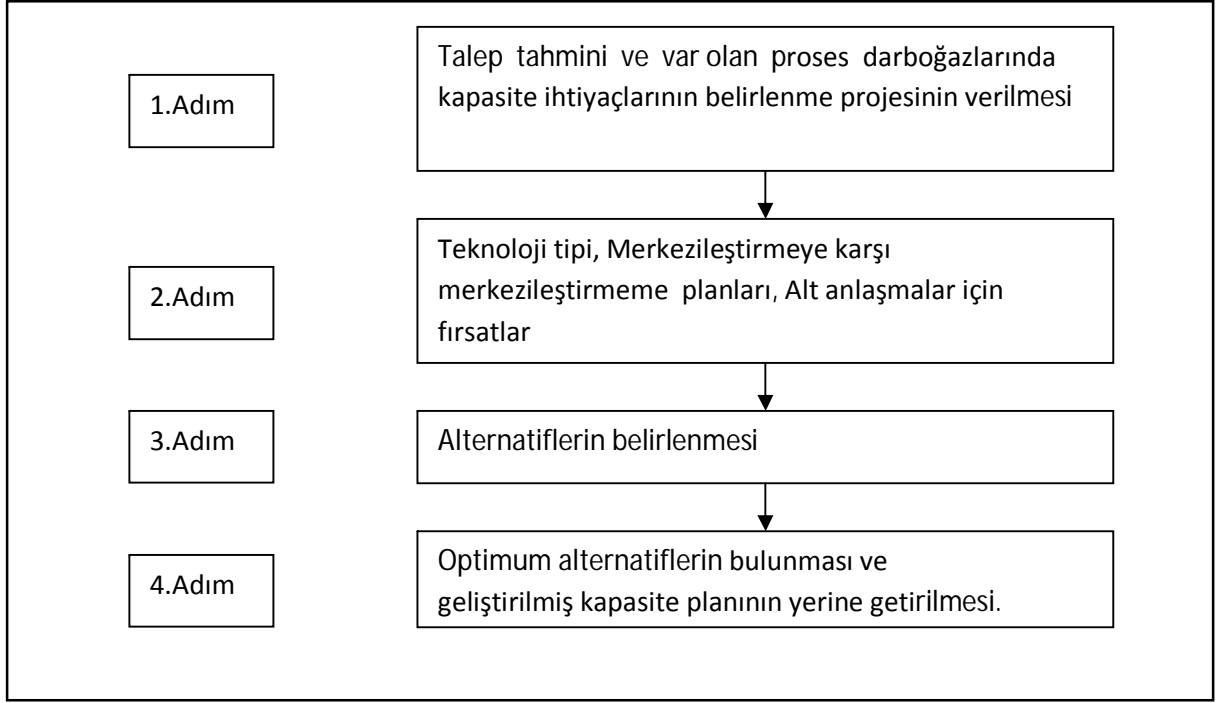
Birim başına sabit ve değişken giderler toplamının minimum olduğu kapasiteye ‘optimum kapasite’ denir. Şu halde, konuyu maliyetlerle ilişkili olarak, ekonomik açıdan ele alan bu kapasite kavramı, santralin teknik ve niteliğine karşın, bu ekonomik kapasitedir. Ancak şunu da hemen belirtmek gerekir ki bunun ölçümü diğerlerine göre daha zordur. Optimum kapasite, gerçek kapasite dolaylarındadır. Optimum kapasite ile yine ekonomik bir kavram olan ‘optimum tesis büyüklüğünü’ birbirine karıştırmamak gerekir. Herhangi bir tesis, optimum büyüklükte olsun veya olmasın, o tesisin kapasitesinin ‘maliyet giderlerini minimum düzeyde tutarak’ kullanabilecek bir sınırı vardır. İşte tesis kapasitesinin bu sınırı optimum kapasiteyi ifade eder. Zira, o kapasitenin hemen altında da, hemen üstünde de, ortalama birim maliyetler artar. Optimum tesis büyüklüğü kavramı ile, mevcut teknolojik şartlar altında ortalama maliyet giderlerinin minimum olması kastedilir.

### **5.5.2.5. Atıl (Boş) Kapasite**

Bir tesisin belirli bir dönemdeki elektrik enerjisi üretim miktarı, yani kullanılan kapasitesi gerçek kapasitesinin altında ise aradaki fark atıl (boş-aylak) kapasiteyi ifade etmektedir. Bir tesis için ideal olarak atıl kapasitesinin olmaması en iyi durumdur.

### **5.5.3. Kapasite İhtiyaçlarının Belirlenmesi**

Bir olasılık çalışması olarak kapasite ihtiyaçlarının belirlenmesi genellikle ne kadar kapasiteye ihtiyaç olacağı ve ne zaman olacağının belirlenmesi çabasıdır. Uzun vadeli kapasiteye bağlı çalışmaların evreleri Şekil de görülmektedir (Dervitsiotis,1981).



Şekil 5.1. Kapasiteye Bağlı Çalışma Evreleri ( Dervitsiotis,1981)

Kapasite planı ekonomik analizlerin en sağlıklı şekilde yürütülmesi, nakit akış kontrolü, risk analizi, strateji geliştirilmesi ve kaynak yönetimi hususlarında enerji yatırımcısının en temel altlıklarından biri durumundadır.

## **6.RÜZGAR POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ, TÜRBİN TAYİNİ VE İSTANBUL' UN ENERJİ İHTİYACININ RÜZGÂR ENERJİSİ İLE KARŞILANMASI**

### **6.1.Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi**

RES'leri için yer alternatifleri belirlendikten sonra (İstanbul mücavir sınırlarında altı adet potansiyel rüzgâr çiftliği alanı tespit edilmişti) süreç, enerji potansiyelinin saptanması aşamasında ilerler. Rüzgâr enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu incelemede, rüzgâr atlası istatistiklerini elde etmek için Danimarka Meteoroloji Teşkilatı'nın Riso Meteoroloji Laboratuvarında hazırlanmış ve geliştirilmiş olan ve Avrupa Rüzgâr Atlasının (European Wind Atlas) hazırlanmasında da kullanılan WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılmıştır. Türkiye genelinde seçilmiş istasyonlar için yapılan analizler sonucu elde edilen değerler kullanılarak Türkiye Rüzgâr Atlası oluşturulacaktır.

#### **6.1.1.WASP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi**

WASP paket programı, veri analizlerini, rüzgâr hız verilerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılım gösterdiğini varsayarak yapmaktadır. Bu program, dört değişik girdi bilgisini kendi alt modellerinde değerlendirerek, bölgesel rüzgâr atlası istatistiklerini hesaplamaktadır. WASP'ın kullandığı temel bilgiler şunlardır:

- Saatlik rüzgâr verisi,
- Bölge pürüzlülük bilgileri,
- Yakın çevre engel bilgileri,
- Bölgenin topografyası.

WASP programı bir bütün olmakla birlikte, yukarıdaki bilgilerin değerlendirilmesinde alt modeller kullanmaktadır.

#### **6.1.2. Veri**

WASP paket programı için dört temel veriye gereksinim duyulmaktadır. Bunlar; saatlik rüzgâr hız ve yön bilgileri, yakın çevre engel bilgileri, pürüzlülük bilgileri ve topografya bilgileridir.

#### **6.1.2.1. Rüzgâr Verisi**

Çalışmada, Türkiye üzerinde homojen dağılım gösteren 45 adet meteoroloji istasyonunun 1989-1998 dönemine ait saatlik olarak ölçülmüş rüzgâr verileri kullanılmıştır. Rüzgâr ölçümleri, istasyonların bir çoğunda yer düzeyinden 10 m yükseklikte yapılmıştır. Farklı yükseklikte ölçüm yapan meteoroloji istasyonları için gözlenen değerler 10 m yüksekliğe uyarlanmıştır.

#### **6.1.2.2. Yakın Çevre Engelleri**

Ölçülen rüzgâr değerlerine etki eden ölçüm noktası etrafındaki engeller, 1/1.000 ve 1/5.000 ölçekli imar planları kullanılarak yerinde yapılan incelemelerle belirlenmiştir.

#### **6.1.2.3. Topografya ve Pürüzlülük Bilgileri**

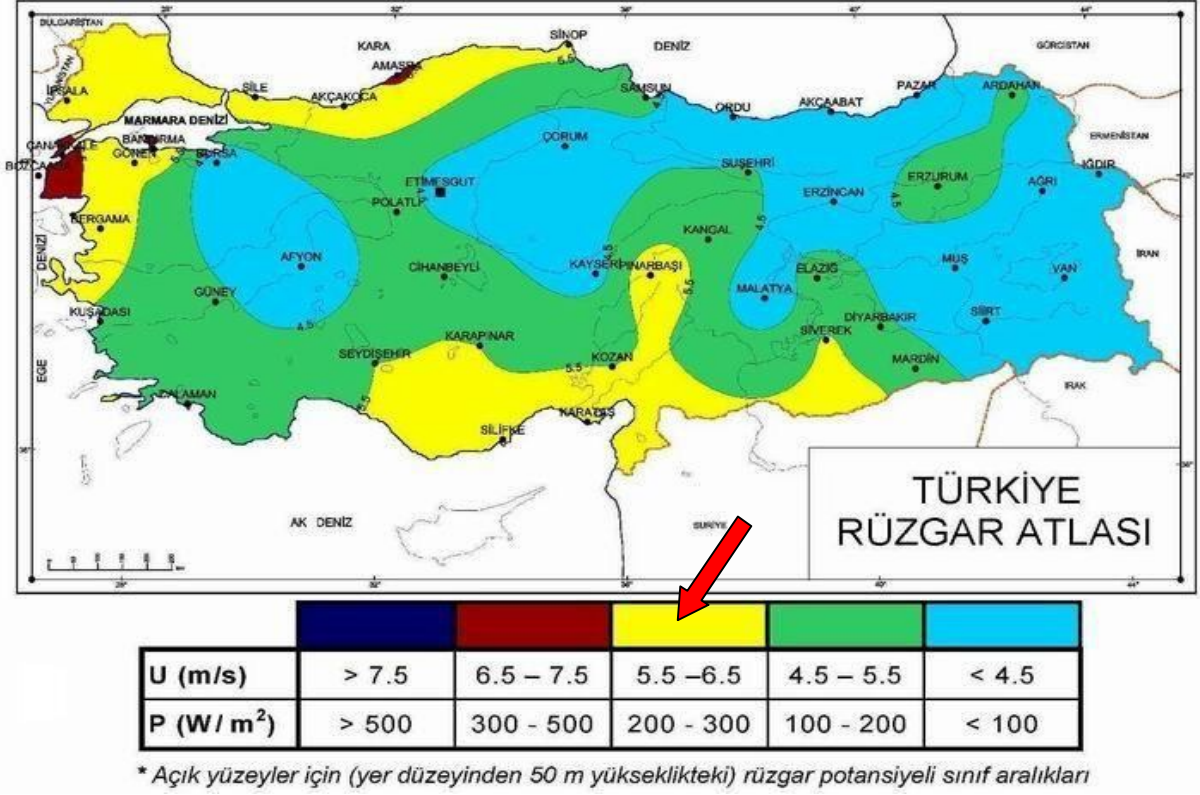
Topografya bilgileri Harita Genel Komutanlığınca üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal paftalardan temin edilmiştir. Yüzey pürüzlülük bilgileri, 1/25.000 ölçekli paftalar üzerinden pürüzlülük sınırlarının sayısallaştırılmasıyla elde edilmiştir.

#### **6.1.2.4. Hesaplamalar ve Sonuçlar**

DMİ kayıtlarından alınan saatlik ham rüzgâr verilerinin istatistiksel analizleri, çalışma için özel olarak hazırlanan bilgisayar programları ve WASP programı yardımıyla yapılmıştır. Türkiye Rüzgâr Atlasının hazırlanması için, mümkün olduğunca homojen dağılım gösteren 45 adet Meteoroloji İstasyonu değerlendirilmiştir. Her bir istasyon için yapılan analizler sonucunda elde edilen Rüzgâr İstatistikleri 3'er sayfadan oluşmaktadır.

#### **6.1.3. İstanbul' un Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi**

İstanbul için tespit edilmiş enerji potansiyel değeri metrekare başına 200-300 W seviyesindedir. Bu nedenle RES çiftlikleri için uygun olduğu belirlenen 6 lokasyonun arazi profiline göre potansiyel üretim değeri hesaplanabilir.



Şekil 6.1. Rüzgâr İstatistikleri ( Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2005)

## 6.2. Türbin Tayini

Lokasyona en uygun türbin seçimi için; Rüzgâr türbinleri piyasasındaki seçilmiş türbinlerin karakteristiklerinin veya firma önerilerinin incelenmesi önerilir. İstanbul için nominal gücü maksimum olan türbinler, fiyat kademeleri de dikkate alınarak seçilebilir. Türbin seçim sürecinde matematiksel model olan AHP yöntemiyle seçim parametreleri ağırlıklandırılarak göreceli önem düzeyleri saptanır. Göreceli ağırlıkların kümülatif değeri büyük olan türbin seçenek sepetinde değerlendirilir.

Tablo 6.1. Rüzgâr türbinleri piyasasındaki seçilmiş türbinlerin karakteristikleri  
(<http://www.ressiad.org.tr/dhie.php?t=istatistikler&ID=34>)

Firma	Tip	Rotor çapı (m)	Rotor süpürme alanı (m <sup>2</sup> )	Kanat (pal) sayısı	Rotor devri (rpm)	Çalışma rüzgâr hızı (m/s)	Güç ayar sistemi	Nominal Güç (kW)	Hub yüksek (m)
VESTAS	V52	52	2124	3	26	4-25	Pitch	850	36.5-86
VESTAS	V82	82	5281	3	10.8/14.4	2.5-32	Aktif Stal	900 1650	
VESTAS	V80/1.8	80	5021	3	15.5-16.8	4-25	Pitch	1800	60-78
VESTAS	V80/2.0	80	5027	3	16.7	4-25	Pitch	2000	60-100
VESTAS	V90/1.8	90		3			Pitch	1800	
VESTAS	V90/2.0	90		3			Pitch	2000	
VESTAS	V90/3.0	90		3			Pitch	3000	
VESTAS	V100/2.7 5	100		3			Pitch	2750	
VESTAS	V120/4.5	120		3			Pitch	4500	
VESTAS	V120/5.0	120		3			Pitch	5000	
ENERCON	E33	33	876	3	18-45	2.5-34	Pitch	330	49+50
ENERCON	E48	48	1810	3	16-32	3-34	Pitch	800	76
ENERCON	E70	71	3959	3	6-21.5	2.5-34	Pitch	2000	58-103
ENERCON	E82	82	5281	3	6-19.5	2.5-28	Pitch	2000	70-108
ENERCON	E102	104	10207	3	8-13	2.5-34	Pitch	4500	124

<b>GE</b>	1.5 s	70.5	3904	3	12-22.2	4-25	Pitch	1500	64.7
<b>GE</b>	1.5 se	70.5	3904	3	12-22.2	4-25	Pitch	1500	54.7-64.7
<b>GE</b>	1.5 xle	82.5	5346	3	10.1-18.7	3.5-20	Pitch	1500	58.7-100
<b>GE</b>	2.5 xl	100	7854	3		3.5-12.5	Pitch	2500	100
<b>GE</b>	3.0 s	90	6362	3		3.5-14	Pitch	3000	70
<b>GE</b>	3.0 sl	94	6940	3		4-13.5	Pitch	3000	85
<b>GE</b>	3.6 Offshore	104	8495	3	8.5-15.3	3.5-14	Pitch	3600	Siteye bağlı
<b>MITSUBUSHI</b>	MWT- 600	45-47		3	25.5		Pitch	600	45-60
<b>MITSUBUSHI</b>	MWT- 100	57-61.4		3	19.8-21		Pitch	1000	
<b>SIEMENS</b>	3.6MW	107	9000	3	5-13	3-25	Pitch	3600	80-100
<b>SIEMENS</b>	2.3MW VS	82.4	5300	3	6-18	4-25	Pitch	2300	60-80
<b>SIEMENS</b>	2.3MW MkII	93	6800	3	6-16	4-25	Pitch	2300	60-80
<b>SIEMENS</b>	2.3MW	82.4	5300	3	10-17	4-25	Stall	2300	60-80
<b>SIEMENS</b>	1.3MW	62	3000	3	13-19	4-25	Stall	1300	45-68

Rüzgâr türbinleri piyasasındaki seçilmiş türbinlerin karakteristikleri incelendiğinde aynı çalışma hızına göre en fazla güç üreten türbinler aynı zamanda maliyet analizi de yapılarak firma önerileri doğrultusunda gerçekleştirilmelidir.

Sistemlerin bir çoğu; SCADA, mikroişlemci, bilgisayarlı uzaktan kumanda, optimal kontrol ve ayarlanabilir PLC' ler yardımıyla kontrol edilmektedir. Siparişteki kontrol sistemine göre fiyat değişmektedir.

### 6.3. İstanbul' un Enerji İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi ile Karşılanması

Tablo 6.2. Kentin Enerji İhtiyaç Analizi

İLÇE	NÜFUS	KİŞİ BAŞINA DÜŞEN YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ (kWh / kişi)	ENERJİ İHTİYACI (kWh yıl)
ADALAR	17738	3753	66.570.714
AVCILAR	235113	3753	882.379.089
BAĞCILAR	559694	3753	2.100.531.582
BAHÇELİEVLER	472649	3753	1.773.851.697
BAKIRKÖY	208223	3753	781.460.919
BAYRAMPAŞA	246646	3753	925.662.438
BEŞİKTAŞ	191776	3753	719.735.328
BEYKOZ	217316	3753	815.586.948
BEYOĞLU	234964	3753	881.819.892
EMİNÖNÜ	55548	3753	208.471.644
ESENLER	394423	3753	1.480.269.519
EYÜP	254803	3753	956.275.659
FATİH	407991	3753	1.531.190.223
GAZİOSMANPAŞA	764767	3753	2.870.170.551

GÜNGÖREN	271874	3753	1.020.343.122
KADIKÖY	661953	3753	2.484.309.609
KÂĞITHANE	345574	3753	1.296.939.222
KARTAL	407034	3753	1.527.598.602
KÜÇÜKÇEKMECE	589139	3753	2.211.038.667
MALTEPE	358231	3753	1.344.440.943
PENDİK	382936	3753	143.7158.808
SARIYER	243578	3753	914.148.234
ŞİŞLİ	271003	3753	1.017.074.259
TUZLA	123716	3753	464.306.148
ÜMRANİYE	620028	3753	2.326.965.084
ÜSKÜDAR	496402	3753	1.862.996.706
ZEYTİNURNU	244062	3753	915.964.686
BÜYÜKÇEKMECE	396937	3753	1.489.704.561
ÇATALCA	82149	3753	308.305.197
SİLİVRİ	107486	3753	403.394.958
SULTANBEYLİ	175771	3753	659.668.563
ŞİLE	32923	3753	123.560.019
<b>İSTANBUL</b>	<b>10072447</b>	<b>3753</b>	<b>37.801.893.591</b>

Tablo incelendiğinde İstanbul kenti için ihtiyaç duyulan enerji değeri **37.801.893,591 MWh** Yıl düzeyindedir.

### 6.3.1. Rüzgârdan Üretilecek Potansiyel Enerji Hesabı

İstanbul için tespit edilmiş enerji potansiyel değeri metrekare başına 200-300 W seviyesinde idi. İstanbul kent sınırları içerisindeki 5.000.000 metrekarelik potansiyel alandan;

$$5.000.000 \times 300 \text{ W} = 1500.000.000 \text{ W}$$

$$1500.000.000 \text{ W} / 1000 = 1500.000 \text{ kW}$$

$$(1500.000 / 1000) \times 24 = 1500 \text{ MW} \text{ 'lık üretim elde edilebilmektedir.}$$

Bu değer yıllık 8760 saatle çarpıldığında;

$$1500 \times 8760 = \mathbf{13.140.000 \text{ MW/yıl}}$$
 düzeyinde bir potansiyelden bahsedilebilmektedir.

### 6.3.2. Enerji İhtiyacının Mevcut Rüzgâr Enerji Potansiyeli ile Karşılama Oranı

Mevcut potansiyelin ihtiyacı karşılama oranını hesaplamak için rüzgâr türbinleri ile potansiyel olarak elde edilebilecek enerjinin nicel değeri , kentin enerji ihtiyacına oranlanacak olursa;

$$\text{Karşılama Oranı (KO)} = (\text{RÜZGÂRDAN ÜRETİLECEK POTANSİYEL ENERJİ}) / (\text{KENTİN ENERJİ İHTİYACI}) \dots\dots\dots \mathbf{6.1}$$

$$\text{KO} = 13.140.000 / 37.801.893,591$$

$$\text{KO} = \% 34,7 \sim \% 35 \text{ seviyesindedir.}$$

### 6.3.3. Uygun Türbin Sayısı ve Tipinin Seçilmesi

Türbin seçimi için incelenen ve aşağıdaki tablodan referans alınan üretim değerlerine göre;

Tablo6.3. Rüzgâr hızına göre türbin güçleri (kW)

( Özdamar, A., 2004 s.4, s.5 )

Rüzgar Hızı (m/s)	De Wind 41	De Wind 48	De Wind 62	De Wind 64	De Wind 70	De Wind D8
1	0	0	0	0	0	0
2	1,24	0	0	0	0	0
3	4,22	7	12,3	13	8,8	9,6
4	10,1	22	33,7	37	33,7	51
5	20,27	52	80,4	85	98,5	145
6	63	93	158,2	168	192,9	276
7	114,65	158	271,2	288	329,3	457
8	173,24	244	412,5	442	507	692
9	248,65	354	586,1	631	788,8	985
10	330,22	489	781,4	850	1020,7	1321
11	405,25	590	971,2	1078	1334,4	1639
12	474,46	600	1027,1	1234	1500	1850
13	500	600	1039,4	1250	1500	1954
14	500	600	1039,4	1250	1500	1997
<b>Nominal Güç (kW)</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>1000</b>	<b>1250</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>

GOTS : Gerekli Optimum Türbin Sayısı

GEEİ : Günlük Elektrik Enerjisi İhtiyacı

ORHGE : Ortalama Rüzgâr Hızında Üretilen Günlük Enerji

GTS= (GEEİ) / (ORHGE).....6.2

Tablo 6.4. İstanbul için Türbin İhtiyaç Analizi

Rüzgâr Hızı (m/s)	Model	Nominal Güç (kW)	Türbinden Günlük Olarak Elde Edilecek Güç (kWh)	Günlük Elektrik Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Optimum Türbin Sayısı
7	De Wind 41	114,65	2751,6	103566,8301	38
7	De Wind 48	158	3792	103566,8301	28
7	De Wind 62	271,2	6508,8	103566,8301	16
7	De Wind 64	288	6912	103566,8301	15
7	De Wind 70	329,3	7903,2	103566,8301	14
7	De Wind D8	457	10968	103566,8301	10

### 6.3.4. Toplam Enerji Üretim Maliyeti Hesabı

#### 6.3.4.1.Kabuller cetveli

Hesaplamalarda birim tesis bedeli olarak 1000\$/kW alınmış olup, seçilmiş bölgelerde kurulabilecek çiftlikler için ölçümlenmiş yıllık ortalama rüzgar hızı 7 m/s seçilmiştir. Eskalasyon oranı % 6, inşaat süresi 4 yıl(48 ay), tesis ömrü 20 yıl ve yıllık bileşik faiz oranı olarak % 6 seviyesi kabul edilerek aşağıdaki tabloda ifade edilmiştir.

Tablo 6.5. Kabuller Cetveli

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Ortalama rüzgar hızı	7	m/s
Gerekli rüzgar hızı	10	m/s
Tesis gücü	10000	kWe
Birim Tesis Bedeli	1000	\$/kWe
İnşaat süresi	48	Ay
Amortisman (Tesis) ömrü	20	Yıl
Eskalasyon oranı	0,06	Ay
Faiz	0,06	Yıllık
Faiz	0,005	Aylık
Operasyon Bakım Masrafları	25	\$/kWe Yıl
Vg/Vo ya bağımlı katsayı	1,22	-

#### 6.3.4.2. Hesaplanan Enerji Üretim Maliyeti

Enerji üretimi maliyeti hesabı kapsamında kullanılan bağıntılar incelenecek olursa;

1.Şebeke yük faktörü ( $L_f$ )

$$L_f = (V_o / V_g)^3 \times K \dots \dots \dots 6.3$$

K :Orana bağlı katsayı

$V_o$  : Ortalama rüzgar hızı

$V_g$  :Gerekli rüzgar hızı

2. Yıllık enerji üretimi (YEÜ)

$$\mathbf{YEÜ = 8760 \times Ne \times Lf.....6.4}$$

Ne :Tesis gücü

Lf :Şebeke yük faktörü

3.Fiziki santral direk yatırım maliyeti (FSYM)

$$\mathbf{FSYM = I_k \times Ne.....6.5}$$

I<sub>k</sub> :Birim tesis bedeli

4.İnşaat süresince eskalasyon ve faiz yükü (İEFY)

$$\mathbf{\dot{I}EFY = ( ((1+i)^{n+1}) - 1) / I_1 \times ((1+e)^n) / (n+1).....6.6}$$

n :İnşaat süresi

e :Eskalasyon oranı

I<sub>1</sub> :Aylık faiz oranı

5. İnşaat bitiminde toplam maliyet (İBTM)

$$\mathbf{\dot{I}BTM = FSYM \times \dot{I}EFY.....6.7}$$

6.Amortisman faktörü (AF)

$$\mathbf{AF = (i (1+i)^n) / (i (1+i)^n - 1).....6.8}$$

i :Yıllık faiz oranı

7.Yıllık sermaye maliyeti (YSM)

$$\mathbf{YSM = \dot{I}BTM \times AF.....6.9}$$

8.Birim enerji başına sermaye maliyeti (BESM)

$$\mathbf{BESM = (YSM / \text{Yıllık enerji üretimi}) \times 100.....6.10}$$

9.Yıllık O&M masrafı (YOM)

$$\mathbf{YOM = OM \times TG.....6.11}$$

OM :Operasyon ve bakım masrafları

10. Birim enerji başına O&M masrafı (BEOM)

$$\text{BEOM} = (\text{YOM} \times \text{TG}) / \text{YEÜ} \dots \dots \dots 6.12$$

TG : Tesis gücü

11. Toplam enerji üretim maliyeti (TEÜM)

$$\text{TEÜM} = \text{BESM} + \text{BEOM} \dots \dots \dots 6.13$$

Tablo 6.6. Hesaplanan Enerji Üretim Maliyeti

Şebeke yük faktörü	0,42	%
Yıllık enerji üretimi	36657096,00	kWh/Yıl
Fiziki santral direk yatırım maliyeti	10000000,00	\$
İnşaat süresinde faiz ve eskalasyon etkisi	1,85	-
İnşaat bitiminde toplam maliyet	18524513,44	\$
Amortisman faktörü	0,94	-
Yıllık sermaye maliyeti	17413042,63	\$/Yıl
<b>Birim enerji başına sermaye maliyeti</b>	<b>47,50</b>	<b>cent/kWh</b>
Yıllık O&M masrafı	250000,00	\$/Yıl
<b>Birim enerji başına O&amp;M maliyeti</b>	<b>6,82</b>	<b>cent/kWh</b>
<b>TOPLAM ENERJİ ÜRETİM MALİYETİ</b>	<b>54,32</b>	<b>cent/kWh</b>

### 6.3.4.3. İnşaat Süresince Eskalasyon ve Faiz Yüğü

Eskalasyon ve faiz yüğü hesabı bağlamında direk yatırım bedelinin, inşaat süresince her yıl hangi oranlarda geri ödeneceğinin planlandığı ve toplam maliyete yüklenen eskalasyon (donanım-tehizat fiyatlarındaki artışlar) ve kredilenmiş anaparaya etki edecek yıllık kümülatif faiz tutarı hesaplanmaktadır.

Tablo 6.7. İnşaat Süresince Eskalasyon ve Faiz Yüğü

Harcama Dağılımı % (4 yıl )	E(-)Harcama Planı	E(+) Harcama Planı	Eskalasyon yüğü	Eskalasyon ve Faiz Etkisi Dâhil	Faiz Yüğü	Faiz Periyodu
17	1700000	1802000	102000	2274983,482	472983,4819	4
20	2000000	2120000	120000	2524953,92	404953,92	3
30	3000000	3180000	180000	3573048	393048	2
33	3300000	3498000	198000	3707880	209880	1
100	10000000	10600000	600000	<b>12080865,4</b>	1480865	0

### 6.3.4.4. Sermaye Masrafları Yatırım Kredisi ve O&M Masraflarının Geri Ödeme Planı

Tablo 6.8. Sermaye Masrafları Yatırım Kredisinin Geri Ödeme Planı

YIL	t	BORÇ	YILLIK FAİZ ÖDEMESİ (%6)	YILLIK ANAPARA ÖDEMESİ	YILLIK SERMAYE MASRAFI	$(1+r)^{-t}$	BUGÜNKÜ DEĞER (M\$)
2008	1	12080865,4	724851,9241	328412,9738	1053264,898	1,06	1116460,792
2009	2	11752452,4	705147,1457	348117,7523	1053264,898	0,53	558230,3959
2010	3	11404334,7	684260,0805	369004,8174	1053264,898	0,353333	372153,5973
2011	4	11035329,9	662119,7915	391145,1065	1053264,898	0,265	279115,198
2012	5	10644184,8	638651,0851	414613,8128	1053264,898	0,212	223292,1584
2013	6	10229570,9	613774,2563	439490,6416	1053264,898	0,176667	186076,7986
2014	7	9790080,3	587404,8178	465860,0801	1053264,898	0,151429	159494,3988
2015	8	9324220,22	559453,213	493811,6849	1053264,898	0,1325	139557,599
2016	9	8830408,53	529824,5119	523440,386	1053264,898	0,117778	124051,1991
2017	10	8306968,15	498418,0888	554846,8092	1053264,898	0,106	111646,0792
2018	11	7752121,34	465127,2802	588137,6177	1053264,898	0,096364	101496,4356
2019	12	7163983,72	429839,0232	623425,8748	1053264,898	0,088333	93038,39932
2020	13	6540557,84	392433,4707	660831,4273	1053264,898	0,081538	85881,59937
2021	14	5879726,42	352783,585	700481,3129	1053264,898	0,075714	79747,19942
2022	15	5179245,1	310754,7063	742510,1917	1053264,898	0,070667	74430,71946
2023	16	4436734,91	266204,0948	787060,8032	1053264,898	0,06625	69778,79949
2024	17	3649674,11	218980,4466	834284,4514	1053264,898	0,062353	65674,16423
2025	18	2815389,66	168923,3795	884341,5185	1053264,898	0,058889	62025,59955
2026	19	1931048,14	115862,8884	937402,0096	1053264,898	0,055789	58761,09431
2027	20	993646,13	59618,76781	993646,1302	1053264,898	0,053	55823,03959
<b>TOPLAM</b>		<b>0</b>	<b>8984433</b>	<b>12080865</b>	<b>21065298</b>	<b>-</b>	<b>4016735</b>

Analiz sonucunda ;

-İnşaat süresince eskalasyon ve faiz yükü 4 yılda toplam **12.080.865 \$**

-Kredi olarak alınan ve bir değere getirilmiş masraflar metodu ile hesaplanan tesis bedeli **12.080.865 \$** ' ın kredilendirme sonucu, tesis ömrü olan 20 yıl sonundaki toplam geri ödenen faiz miktarı **8.984.433 \$**

-Yıllık anapara ödemeler toplamı ilk yatırım maliyeti olan **12.080.865 \$**

-20 yıl sonunda yapılan toplam geri ödeme **21.065.298 \$**

-Üretilen enerjinin birim maliyeti **5,32 cent / kWh** tir.

Operasyon Bakım (O&M) masraflarının LEVELISED COST metodu ile maliyeti; ilk yıl 265000 \$ ve tesis ömrünün son yılı 13250 \$ seviyesine düşmektedir.

Tablo 6.9. Operasyon Bakım Masraflarının LEVELİSED COST Metodu ile Hesabı

Yıl	t	Yıllık O&M Masrafı Cm (\$)	Bugünkü Değeri (\$)	$(1+r)^{-t}$
2009	1	250000,00	265000	1,06
2010	2	250000,00	132500	0,53
2011	3	250000,00	88333,33333	0,353333333
2012	4	250000,00	66250	0,265
2013	5	250000,00	53000	0,212
2014	6	250000,00	44166,66667	0,176666667
2015	7	250000,00	37857,14286	0,151428571
2016	8	250000,00	33125	0,1325
2017	9	250000,00	29444,44444	0,117777778
2018	10	250000,00	26500	0,106
2019	11	250000,00	24090,90909	0,096363636
2020	12	250000,00	22083,33333	0,088333333
2021	13	250000,00	20384,61538	0,081538462
2022	14	250000,00	18928,57143	0,075714286
2023	15	250000,00	17666,66667	0,070666667
2024	16	250000,00	16562,5	0,06625
2025	17	250000,00	15588,23529	0,062352941
2026	18	250000,00	14722,22222	0,058888889
2027	19	250000,00	13947,36842	0,055789474
2028	20	250000,00	13250	0,053
<b>TOPLAM</b>		<b>500000</b>	<b>953401,0091</b>	

## **7.RES İÇİN HİZMET ALIM SÜRECİ, YATIRIMCI REHBERİ VE ENERJİ VİZYONU**

### **7.1. RES İçin Hizmet Alım Süreci**

#### **7.1.1.Sözleşmeler**

Mevzuat dahilinde alınması gerekli izinler ve yapılacak sözleşmeler sırasıyla;

- 1.Kamu izinleri (Enerji Bakanlığı, EPDK)-Yeterlilikler
2. Bina İnşaat izinleri (Bayındırlık Bakanlığı ve Yerel Yönetim)
- 3.Lisans (EPDK)
- 4.Şebeke Bağlantı İzni (TEAŞ-TEİAŞ)
5. Bağlantı kontratı (TEİAŞ)

şeklindedir.

#### **7.1.2.Yatırım Süreci**

Rüzgâr santrali yatırımcısının yatırım süreci olarak 3 ana aşama olarak **YATIRIM-İZİN-KULLANIM** süreçlerinde sırasıyla;

##### **7.1.2.1.Yatırımın Dizaynı**

- Yeterlilik analizi ve santral projesine karar verilmesi
- Yatırım projesinin hazırlanması
- Referansa dayalı proje safhalarına ait hazırlık, fizibilite çıktı verileri ile dokümanların konsolidasyonu ve hiyerarşik analizi
- Başvuru döneminin takibi
- Yatırımın projelendirilmesi (Dizaynı)

##### **7.1.2.2.İzinler ve Lisanslar**

- İnşaat izinleri
- Enerji bakanlığı ve EPDK lisanslama başvuruları
- Elektrik şebekesine bağlantı için durum tespiti amaçlı yazılı izin belgesinin TEİAŞ a iletilmesi

-Elektrik dağıtım şebekesi bağlantı sözleşmesinin imzalanması

### **7.1.2.3.İnşaatın Tamamlanması ve Tesis Kullanım İzinleri**

-İşletme (Tesis hizmete alım) Planları

-Tesisin çalışma şartlarına ve teknik parametrelere uygunluğunun doğrulanması

-Elektrik dağıtım şebekesine bağlantı

-Tesisin işletmeye açılması ve çalıştırılması

### **7.1.2.4.Rüzgâr Enerji Santrali Projelerinde Paydaşlar**

-Arsa tahsisinin alınacağı şahıs

-Müteahhit

-Mimar

-Yatırım danışmanı

-Bina inşaatının teknik kontrol testlerini yapacak yetkililer

-Teknik yönetici

-Motor ,kurulum ve ekipman tedarikçileri

### **7.2.Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımcı Rehberi ( Yol Haritası)**

Rüzgar Enerji Santralleri için basamaklandırılmış yol haritası aşağıda adım adım ifade edilmektedir;

-REPA'dan yararlanarak rüzgâr potansiyeli yüksek olan yerlerin belirlenmesi ve bu yerler için rüzgâr kaynak bilgilerinin tespit edilmesi,

-İlgilenilen bölgede daha önce rüzgâr enerjisi santral başvurusunun olup olmadığının araştırılması,

-İlgilenilen bölgenin arazi yapısı, arazi mülkiyeti, ulaşım imkanları, trafo merkezlerine olan uzaklıkları gibi parametrelerin belirlenmesi

-Düşünülen santral sahasını temsil edebilecek optimum rüzgâr ölçüm noktası veya noktalarının belirlenmesi

-Belirlenen her bir ölçüm noktasında standartlara uygun olarak en az 1 yıl olmak üzere enerji amaçlı rüzgâr ölçümlerinin yapılması

-Elde edilen rüzgâr verilerinin analiz edilerek yatırım kararının alınması

-Yatırım fizibilitesinin hazırlanması

-Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na lisans başvurusu

### **7.2.1. RES Projelerinde Karşılaşılan Genel Sorunlar**

-Proje geliştiren firmalar finansman temin etmekte zorlanmaktadırlar.

-İmar ve izin işlemleri uzun süre almaktadır.

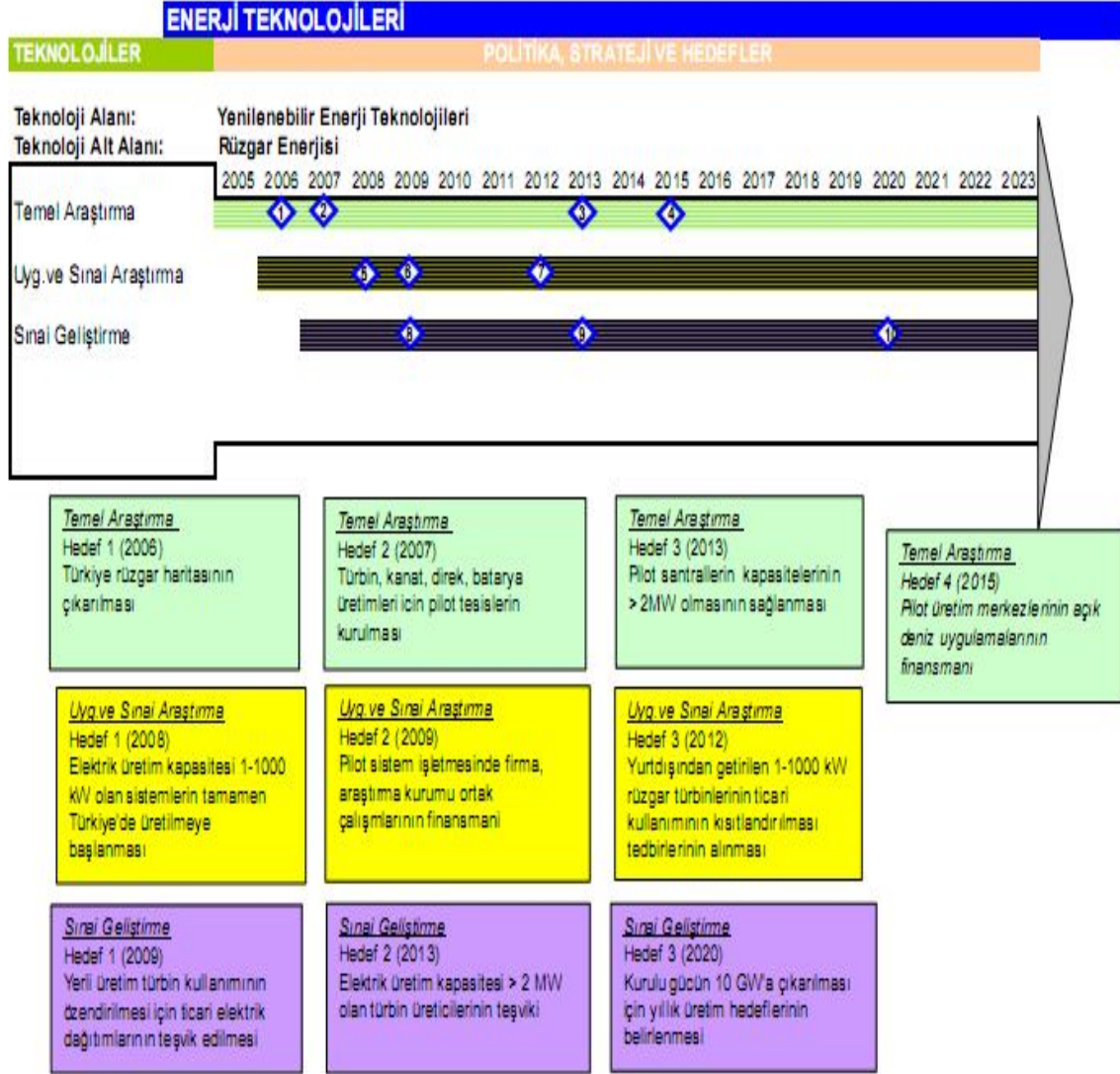
-İletim sistemindeki alt yapı yetersizliği sıkıntı ve kısıt yaratmaktadır.

-Aşırı talep nedeniyle türbin tedarikinde sorunlar yaşanmaktadır. Ayrıca son 2 yıl içerisinde türbin fiyatlarında önemli oranda artış olmuştur. 1 Kasım 2007 tarihinde yapılan yeni başvurular sonrasında ise türbin fiyatlarındaki artış artarak devam etmektedir.

### **7.3.Türkiye'nin ve Metropol Kent İstanbul'un Enerji Stratejileri**

#### **7.3.1.TÜBİTAK Vizyonu**

Tübitak Enerji ve Çevre Teknolojileri Strateji Grubu tarafından Vizyon 2023 Projesi kapsamında Stratejik bir belge formatında yayınlanan "ENERJİ ve ÇEVRE TEKNOLOJİLERİ STRATEJİSİ" belgesi ile 2023 projeksiyonunda Türkiye'nin Stratejik anlamdaki amaç ve hedeflerinden bahsedilerek farklı enerji kaynakları için planlar sunulmuştur. Buna göre RES ve rüzgâr tesisleri için;



Şekil 7.1. Rüzgâr Enerjisinde Politika, Strateji ve Hedefler ( Enerji ve Çevre Teknolojileri Stratejisi-Tübitak 2004)

TÜBİTAK tarafından belirlenen Rüzgâr Enerjisinde Politika, Strateji ve Hedefleri doğrultusunda uygulama ve sınai araştırmanın kısa vadede tamamlanacağı, sınai geliştirmenin ise uzun vadeli bir perspektifte hazırlandığı anlaşılmaktadır. Yine 2009 yılı sonunda temel araştırma sürecinde türbin, kanat, kule ve batarya üretimleri için pilot tesislerin kurulması, uygulama ve sınai araştırma açısından pilot sistem işletmesi bağlamında firmaların araştırma kurumları ile ortak çalışma finansmanlarının tamamlanması, son olarak sınai geliştirme boyutunda ise terli üretim türbin kullanımının özendirilmesi için ticari elektrik dağıtımının teşviki hedeflenmiştir.

### 7.3.2. AB Yenilenebilir Enerji Politikası

Komisyon, Ocak 2007’de hazırladığı yeni “enerji-iklim değişikliği paketinde AB çapında zorunlu bir hedef ortaya koydu. Hedefe göre; 2020 itibarıyla toplam enerji tüketiminin %20’sini yenilenebilir enerjilerin oluşturması gerekiyor. Komisyon, bu hedefe nasıl ulaşacakları konusunda ise ülkelerin esnek davranabilmesi için başka bir sektörel hedef ortaya koymamıştır.

Son gelişmeler ve atılacak adımlar;

- Şubat 2007 Enerji ve Çevre Konseyi enerji ve iklim değişikliği paketi tartışıldı.
- 8-9 Mart 2007 Bahar zirvesinde paket incelendi
- 2007 Komisyon, yenilenebilir elektrik enerjisi için destek mekanizmalarının uyumlaştırılması ihtiyacını gözden geçiren bir rapor yayımlayacak.
- 2007 sonu Avrupa Stratejik Enerji Planı

Rüzgâr, güneş, su enerjileri ve biyokütle, enerji güvenliği ve küresel ısınma alanlarında yaşanan paralel zorlukların üstesinden gelme konusunda önemli rol oynayabilirler. Çünkü hem tükenmeleri söz konusu değildir hem de fosil yakıtlara nazaran çok daha az sera gazı üretmektedirler. 1970’lerde yaşanan enerji krizlerinden bu yana birçok sanayileşmiş ülke, yenilenebilir enerji çözümleri geliştirmek amacıyla programlar başlatmıştır. Fakat düşük petrol fiyatları yenilenebilir enerjilerin gelişmesini engelleyen en büyük etkenlerden birisi olmuştur. Günümüzde yenilenebilir enerji, küresel enerji rezervinin %13,1’ini ve küresel elektrik üretiminin %17,9’unu sağlamaktadır (IEA, 2007). Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) hazırladığı “Dünya Enerjisine Bakış-2006” adlı raporda 2030 yılı itibarıyla küresel enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin oranı (%13) neredeyse hiç değişmeden kalacak. Ayrıca elektrik üretiminde yenilenebilirlerin payı %25 civarlarında olacak. Greenpeace ve EREC (Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi) tarafından Ocak 2007’de hazırlanan raporda; eğer doğru politikalar uygulanırsa 2050 yılı itibarıyla küresel enerji ihtiyacının yarısı yenilenebilir enerjiler tarafından sağlanabilir.

### 7.3.3. AB’deki Gelişmeler

-1997 Komisyon, hazırladığı “Gelecek için enerji: yenilenebilir enerji kaynakları-Topluluk Stratejisi ve Eylem Planı” başlıklı Beyaz Kitap’da yenilenebilir enerjilerin toplam enerji tüketimindeki payını 2010 yılı itibarıyla AB genelinde %12’ye çıkarmayı hedeflemektedir.

-2001 AB, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından üretilen Elektrik Enerjisini Teşvik Hakkında Direktif”i uygulamaya koydu. Direktif, AB çapında elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilirlerin payını 2010 yılı itibarıyla %21 çıkarmayı hedefliyor.

-2003 AB, “Biyakıt Direktifi”ni uygulamaya başladı. Direktif, biyakitlerin pazar payı için “referans değerler” ortaya koydu (2005 için %2, 2010 için %5,75)

-2006 Avrupa Parlamentosu, 2020 itibarıyla yenilenebilirlerin AB enerji tüketimi içindeki payının %25’e çıkarılması için çağrıda bulundu.

-2007 Komisyon, “enerji-iklim değişikliği paketi”nin bir parçası olarak “Yenilenebilir Enerji Yol Haritası”nı sundu. Haritada enerji tüketimindeki yenilenebilirlerin payının 2020 itibarıyla %20’ye çıkarılmasının zorunlu hale getirilmesi teklif ediliyor. Biyakitler için ise asgari %10’luk bir hedef öngörülüyor.

Bugüne kadar ki gelişmeler noktasında;

-2010 yılında %12’lik hedefe ulaşamayacak. Yenilenebilir Enerji Yol Haritası” göre AB, 2010 yılı itibarıyla %10’u geçemeyecek.

-Elektrik sektöründe ise durum biraz daha iç açıcı (2010’da %19). Fakat Üye ülkeler bu konuda eşit performans gösteremediler. Sadece 9 ülke ulusal hedeflerine ulaşma yolunda istikrarlı adımlarla ilerliyor: Danimarka, Almanya, Finlandiya, Macaristan, İrlanda, Lüksemburg, İspanya, İsveç ve Hollanda

-Biyakıt sektöründe de hem gelişme yavaş. Bu yüzden belirleyici hedefler de karşılanamayacak. Sadece 3 üye ülke, %1’den fazla biyakit kullanma hedeflerine ulaşabilecek: Almanya, Fransa ve İsveç

-Isıtma ve soğutma sektöründe de gelişme yavaş. Buna rağmen bu sektör büyük bir potansiyele sahip.

-Komisyon, yenilenebilir enerjiler için hazırladığı yol haritasında AB’nin enerji karışımındaki yenilenebilir enerji (2020’de %20) ve ulaşımda kullanılacak biyakitler (2020’de %10) için yasal olarak bağlayıcı hedeflerin getirilmesini teklif etti. Buna rağmen sektör bazında zorunlu hedefler koymadı. Buna sebep olarak da üye ülkelerin öncelikleri ve potansiyellerine göre yenilenebilir enerjileri teşvik edebilmeleri için esnekliğe ihtiyaç duydukları öne sürüldü.

-Üye ülkelerden Ulusal Eylem Planı hazırlamaları istenecek ve planlar sektör hedeflerini de kapsayacak. (“CEPS - Egenhofer 2007”)

-Isıtma ve soğutma sektörü yenilenebilirler için büyük bir potansiyele sahip; fakat AB politik çevreleri bu potansiyeli sürekli göz ardı ediyor. 1997 yılında açıklanan hedefe göre 2020 itibarıyla yenilenebilirlerin oranı %12 olacaktı. Ve bu hedef yüzdenin %5'ini ise ısıtma ve soğutma sektörü için kullanılacak yenilenebilirlerin karşılaması bekleniyordu.

-Mayıs 2004'deki Komisyon değerlendirmesinde ısıtma ve soğutma alanındaki yetersiz kullanım yüzünden %12'lik hedefe ulaşamayacağı sonucu ortaya çıktı.

-Komisyon, ısıtma ve soğutma alanıyla ilgili bir direktif üzerinde çalıştığını duyurdu. Parlamento ise konu hakkında bir raporu (rapport Rothe) onayladı. Bu çalışmalara rağmen 2007 enerji-iklim değişikliği paketinde ısıtma ve soğutma alanıyla ilgili verilen teklifler yetersiz kaldı.

Hedeflere ulaşamama sorununun nedenleri olarak ise;

-Geleneksel fosil yakıtların dış maliyetlerinin içselleştirilememesi

-Güç şebekesine erişim için koşullar zor

-Üye devletlerde geniş ölçüde birbirinden farklı yenilenebilir enerji destek sistemleri

#### **7.3.4. Avrupa Stratejilerinin Değerlendirmesi**

-Yeşil elektriğin üretim stratejisi iç piyasada fiyata bağlı olmakla birlikte, Avrupa'ya yeşil elektrik ihracı, bu kanaldan yeşil sertifika ile karbon sertifikası ticareti ek ve önemli getiri olanakları sağlayıcı, yeşil elektrik üretimini teşvik edici mekanizmalar olduğu

-Türkiye'de serbest elektrik piyasası göstermelik boyutundan kurtarılıp hızla geliştirilmelidir. Bu bağlamda ilk önemli adım olarak, serbest piyasaya işlerlik kazandırmak için dağıtım özelleştirmeleri ivedilikle yapılması

-Elektrik fiyatlandırmasında rasyonalizasyona gidilmeli ve fiyatlar baskı altında tutulmaması

-Yenilenebilir kaynak santralleri, yeşil kömür teknolojili linyit santralleri ve üçüncü nesil nükleer santrallerle arz fazlası ve piyasada sağlıklı rekabet ortamı oluşturulması

-Türkiye'de hiçbir ek teşvik olmadan bugünkü mevzuatla özel sektörün gönüllü yapabileceği hidroelektrik ve rüzgâr projeleri vardır. Ancak, bunlara yatırım yapmayı arzu eden özel sektörün önündeki idari ve bürokratik engeller kaldırılmalı, yatırım için güven ortamı oluşturulması

-Yeşil elektriğin AB ülkelerine ihracı hedeflenmeli, enterkonnekte sistemimiz AB standartlarına yükseltilmeli, Avrupa-Türkiye bağlantıları geliştirilmeli, anlaşması imzalanan UCTE üyeliğine bir an önce işlerlik kazandırılması

-İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi için hazırlanacak Birinci Ulusal Bildirim’de KYOTO Protokolüne taraf olunacağı açıklanmalı, bu yolla daha fazla dış kaynak ve yabancı finansman sağlanması hedeflenmeli ve Protokol zaman geçirilmeksizin imzalanarak, KYOTO mekanizmalarından yararlanılması karşımıza öneri paketi şeklindeki yapı çıkmaktadır.

### **7.3.5. Türkiye’ de Kaliteli Elektrik İçin Atılması Gereken Adımlar**

Stratejik aksiyon boyutu ile de; Ucuz ve kaliteli elektrik için atılması gereken adımların;

-Dağıtım özelleştirmesi ile Kayıp-kaçak oranlarının OECD Avrupa seviyesine İndirilmesiyle %12-15 ucuzluk sağlanması

- Fiyat Rasyonalizasyonu ile Konut ve sanayiye verilen elektrik fiyatlarının OECD Avrupa ortalamasına ayarlanmasıyla sanayiye daha ucuz elektrik verilmesi

- Serbest piyasa ortamında arz fazlası yaratılması ve yerli kaynakların geliştirilmesi ile de Nükleer santraller, linyit santralleri, hidroelektrik santraller, rüzgâr santralleri yatırımlarının hızlandırılmasıyla arz fazlası yaratılması ve rekabetin geliştirilmesiyle fiyatların düşürülmesi hedeflenmektedir.

- Türkiye’de hiçbir ek teşvik olmadan bugünkü mevzuatla özel sektörün gönüllü yapabileceği hidroelektrik ve rüzgâr projeleri vardır. Ancak, bunlara yatırım yapmayı arzu eden özel sektörün önündeki idari ve bürokratik engeller kaldırılmalı, yatırım için güven ortamı yaratılmalıdır. (“Yenilenebilir Enerji Sempozyumu- Ressiad 2006”)

- Yeşil elektriğin AB ülkelerine ihracı hedeflenmeli, enterkonnekte sistemimiz AB standartlarına yükseltilmeli, Avrupa-Türkiye bağlantıları geliştirilmeli, anlaşması imzalanan UCTE üyeliğine bir an önce işlerlik kazandırılmalıdır.

- İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi için hazırlanacak Birinci Ulusal Bildirim’de KYOTO Protokolüne taraf olunacağı açıklanmalı, bu yolla daha fazla dış kaynak ve yabancı finansman sağlanması hedeflenmeli ve Protokol zaman geçirilmeksizin imzalanarak, KYOTO mekanizmalarından yararlanılmalıdır.

### 7.3.6. İstanbul İçin Oluşturulabilecek Rüzgâr Enerjisi Politikalarının Temel İlkeleri

Türkiye'nin ve İstanbul'un rüzgâr enerjisinden yararlanması için, bir master plan kapsamında planlı bir politika oluşturması gerekir. Bu politikanın taşınması gereken bazı temel ilkeler aşağıda sıralanmıştır:

-Kentimizde var olan rüzgâr potansiyelinden elektrik enerjisi üretilmesi, bu enerjinin rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri ve rüzgâr çiftlikleri ile mevcut elektrik ağına ekonomik ölçüler içinde aktarılması ve böylece mevcut enerji sektörüne rasyonel bir destek sağlanması temel politika olmalıdır.

-Ülkemizin rüzgârlı yörelerinde az 2 yıl süreli ve bir veya daha fazla alanda, farklı yüksekliklerde (10, 20 ve 30 m gibi) rüzgâr hızı ölçümleri (0.1 m/s hassasiyetle) yapılmalı ve yöresel rüzgâr potansiyelleri belirlenmelidir.

-Türkiye'nin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi için rüzgâr ölçümlerinin yapılması, standart bir veri tabanı geliştirilmesi ve rüzgâr atlasının hazırlanması gerekmektedir.

-Elektrik üretimine uygun rüzgâr kaynak potansiyelinin kesin belirlenmesi yapılmalıdır.

-Yap-işlet-devret ve/veya yap-işlet modeli kapsamında gerçekleştirilecek rüzgâr santrallerinin kurulmasına ilişkin izinlerin alınmasındaki bürokratik işlemler kolaylaştırılmalı, ancak fizibilite raporları ve projelerin ulusal master plana uygunlukları sıkı biçimde denetlenmelidir.

-Bu tür santrallerden üretilen elektriğin ilk 5-9 yıllık bir süreçte yatırımcıya sübvansiyon tanyacak bir fiyatla dağıtım şirketlerince satın alınması garantisi getirilmelidir.

-Yenilenebilir kaynaklar enerji dışalımına dayanmadıklarından, başlangıçta alışlagelmiş kaynaklardan pahalı olsa bile, ulusal ekonomi açısından kazançlı kaynaklardır. Rüzgâr santrallerine yeni adım atılırken, ilk adım maliyeti denilen sübvansiyonlu maliyet uygulaması, devlet desteği olarak biçimlendirilmelidir.

-Teknolojinin ilk kazanımı aşamasında santral kuruluş maliyeti ve birim enerji maliyeti batı örneklerinden yüksek olabilir. Bu aşamada uygulanacak sübvansiyonlu fiyatın ilk beş yıldan sonra kademe kademe azaltılarak 10. yılda konvansiyonel santrallardan sağlanan enerji birim maliyeti ortalamasına getirilmesi ilke edinilmelidir.

-İç ve dış yatırımcıları destekleyecek ve yatırımcıya cazip gelecek, ancak ülke çıkarını da koruyacak ve zaman içinde koşullara göre değiştirilebilir teşvikler uygulanmalıdır.

-Rüzgâr çiftliklerinin kurulması için uluslararası finansman kuruluşları kredi açmakla birlikte, gerek dış kredi sağlanmasında ve gerekse düşük faizli iç kredi temininde devlet özel kuruluşlara destek olmalıdır. Bu tür çiftlikler için vergi kolaylıkları da getirilmelidir.

-Rüzgâr santrali ve çiftliği kurulacak alanlar seçilirken, alanda olabilecek diğer kullanım imkanlarıyla sıkı bir ekonomik faydalılık karşılaştırması ve çevre etki değerlendirmesi yapılmalıdır. Rüzgâr çiftliklerinin yer seçiminde yönergeleri içeren fiziksel planlama stratejileri geliştirilmelidir.

-Rüzgâr enerjisi santrallerinden üretilecek elektriğin sisteme aktarılması ile ilgili iletim hatlarındaki kısıtlar engelini planlama yoluyla aşılmasına çalışılmalıdır.

-Rüzgâr santralleri dönemine adım atılırken, Avrupa ülkelerinin rüzgâr çiftliklerini yenilemek için söküp satacakları küçük güçlü eski makinelere pazar olmaktan ve rüzgâr çöplüğü almaktan özenle kaçınılmalıdır.

-Rüzgâr türbinlerinin yerli üretilmesi konusu bir sanayi politikası olarak ele alınmalıdır. Bu sanayinin Orta Doğu ve Orta Asya ülkelerine ihracat olanakları da araştırılmalıdır.

-Ulusal rüzgâr sanayinin oluşumu için ilk kurulacak santrallerde bile paket ithal projelerden kaçınılmalı, paketler açılarak Türkiye'de yapılabilecek parçaların yerli teknoloji ile üretilmesi üzerinde durulmalıdır.

-Rüzgâr sanayine girecek özel sektör yatırımcılarına kolaylık ve özendirme getirilmelidir. Özellikle vergi kolaylıkları ve düşük faizli kredi sağlanmalıdır. Rüzgâr türbini imalat ve inşaat sanayinin onbini aşkın kişiye yeni iş olanağı yaratacağı unutulmamalıdır.

-Rüzgâr enerjisi ile ilgili Ar-Ge çalışmaları devletçe desteklenmelidir. Kamu, üniversiteler ve özel sektör tarafından yürütülen çalışmalar kişi, kuruluş ve projeler bazında, belirli bir norma göre sınıflandırılmalı, bu konuda bilgi alış verişini sağlayacak rüzgâr enerjisi veri bankası oluşturulmalıdır.

-Rüzgâr enerjisi ile ilgili Ar-Ge çalışmaları için, Türkiye'deki araştırma kurumlarının Uluslararası Enerji Ajansı programlarına katılımı sağlanmalıdır.

-Rüzgâr türbinleri, santral donanımları, bağlantı biçimleri, rüzgâr çiftliklerinin tasarımı konularında ulusal standartlar oluşturulmalıdır.

-Rüzgârlı alanların yağmalanmasına ve kötü kullanımına olanak tanımamak için, devlet arazisi içinde bulunan rüzgârlı alanlar sınırlandırılıp, belirli koşullarla rüzgâr girişimcilerine

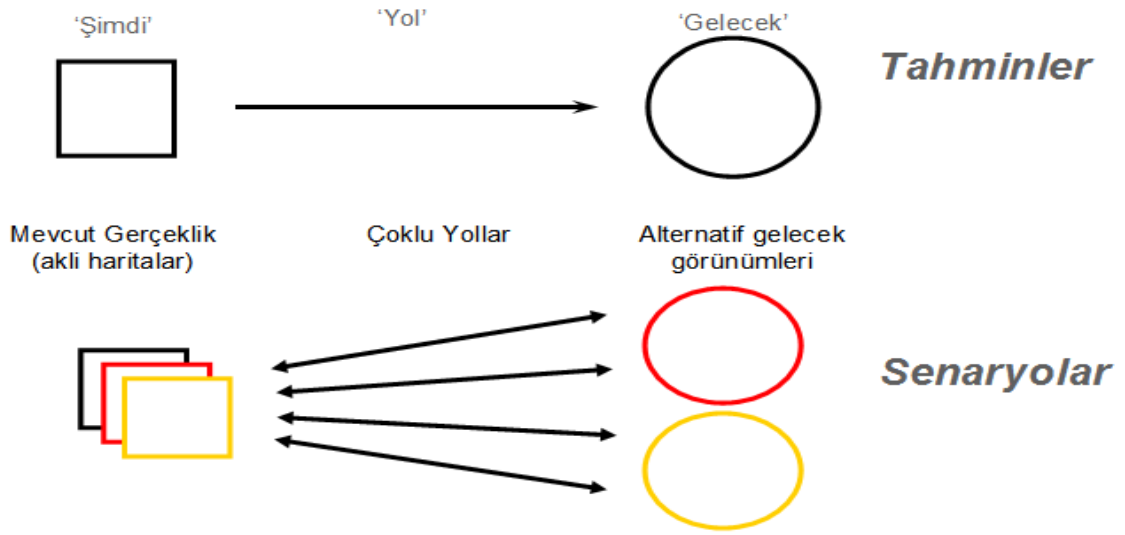
açılmalıdır. Söz konusu alanların rüzgâr gücü potansiyelinin tesbit edilmiş olması ve ne kadar güçte kaç türbin kurulacağıın belirlenmesi, etkin yararlanmanın yanı sıra girişimcilere de kolaylık sağlayacaktır. Bu tür devlet arazileri, santral yapımcılarına amortisman ömrü boyunca ve cari fiyatlarla kiralanmalıdır. Aynı alanların tarım için değerlendirilmesi de entegre bir proje olarak geliştirilmelidir.

-Ülkemizde rüzgâr enerjisi alanında yeterli sayıda uzman personel bulunmamaktadır. Bu alanda çalışan personel, diğer mühendislik disiplinlerinde yetişmiş elemanlardır. Bu kişiler, rüzgâr enerjisi ile ilgili doğrudan bir eğitim programından mezun olmadıkları için, konuyla ilgili uzmanlık çalışılarak kazanılmaktadır. Kamu ve özel sektörde uzman personel yetiştirilmesi ile ilgili eğitim programları başlatılmalıdır. Üniversitelerin Fen Bilimleri Enstitüleri kapsamında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ve rüzgâr enerjisine ilişkin özel programlar açılmalıdır.

## 8.ENERJİ GELECEK SENARYOLARI

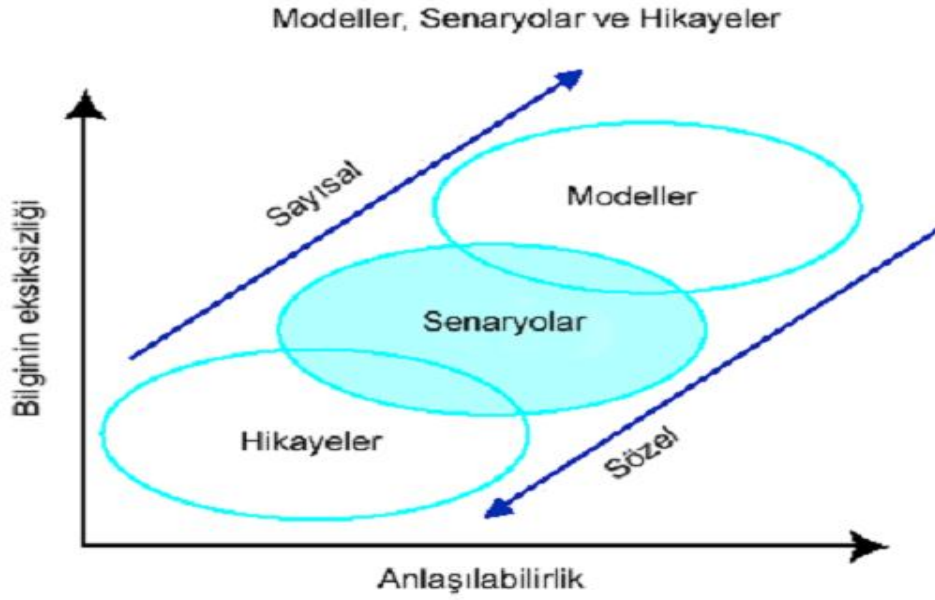
### 8.1. Neden Senaryo

Geleceği doğru tahminler (senaryo yolları) ile resmedebilmek ve stratejilerin işlevsel olarak somut temellerle oluşturulabilmesini sağlamakla beraber organizasyona bir en doğru yol haritasını sunabilmek için senaryo tekniği uygulanmaktadır.



Şekil 8.1. Senaryoların gerekliliği ( Enerji Senaryoları ve Politikalar Paneli 2008 “WEC direktörlüğü ile”)

Tahminleme yönteminde tek bir yol üzerinde hareket edileceği düşünülerek dar bir çerçeve oluşturulurken senaryo tekniği ile çoklu yollar ile çoklu gelecek görünümler panoraması elde edilebilmektedir.



Şekil 8.2. Senaryo Tekniği ( Shell 1998-2020 Senaryoları “Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi-Enerji Senaryoları 2007 Çalışması“)

Senaryo tekniğinde veri eksiksizliği azaldıkça yani nicel verilerin artması ile matematik modeller geliştirilmekte ve sağlıklı sonuçların güvenilirlik düzeyi artış eğilimine girmekte iken bilgi eksikliği arttıkça modeller, hayal ürünü olmaktan öteye gidemeyen hikayelere dönüşmekte ve anlaşılabilirlik düzeyi azalmaktadır.

## 8.2. Gelecek Senaryoları

WEC tarafından Ankara’da gerçekleştirilen çalıştay ile ulaşılan ve ortaya konulan dört senaryonun incelenmesi sonucunda ulaşılan sonuçlar ve çalışma grubunun önerileri bu bölümde ele alınmıştır.

Senaryolar olarak ortaya konulan yaklaşımlar;

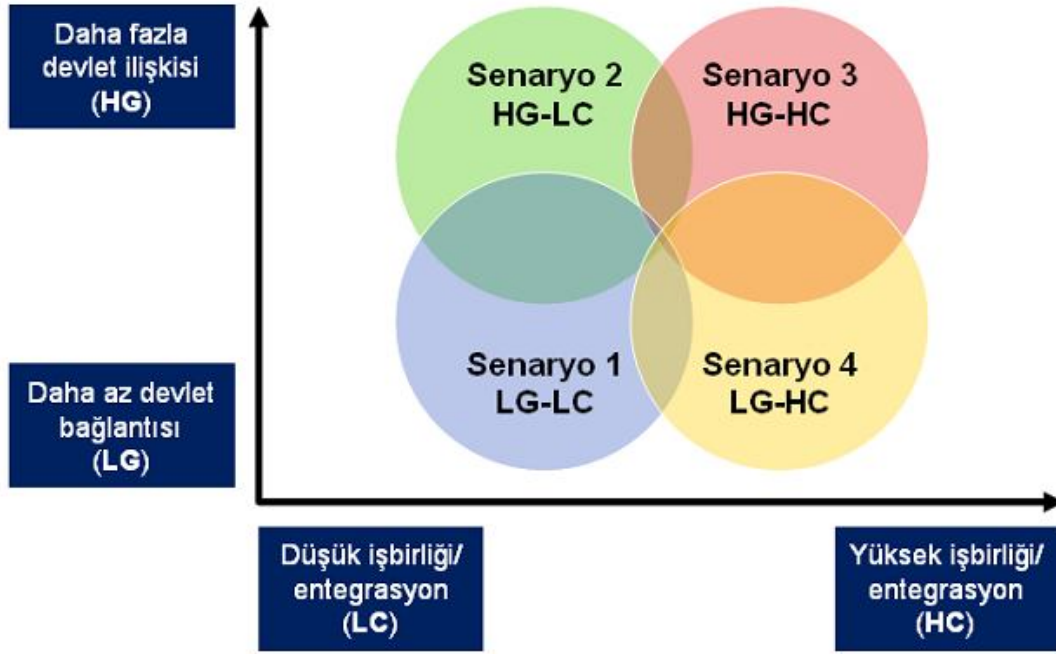
**Senaryo 1** – Asya’nın yükselişi / Çin ve Hindistan Darboğazı

**Senaryo 2-** Yükselen Rusya

**Senaryo 3** – Petrol Tepe Noktası

**Senaryo 4** – Enerji Terminali Türkiye

Burada enerji sektöründeki ilişki yönetimi yaklaşımı için;



Şekil 8.3. Farklı 4 senaryo için ilişki diyagramı ( ‘Dünya Enerji Konseyi 2007 senaryoları’)

Ülkemizin Enerji Terminali fonksiyonunu kazanması ve sürdürülebilir kılması açısından işbirliklerinin artırılması ve devlete bağımlılıkların azaltılmasının gerekliliği öngörülmektedir.

### 8.3. Öneriler

Önerileri bir kaç grupta toplamak mümkündür .

#### 8.3.1. Bağımlılık

Türkiye'nin petrolde dışa bağımlılığı %97, doğalgaz da ise %93 civarındadır. Enerjide dışa bağımlılık son bulmayacaktır. Bu Avrupa, Amerika için de geçerlidir. Dışa bağımlılığa son gibi gerçekten uzak söylemler yerine ‘‘Çeşitlendirilmiş bir Bağımlılık’’ ana söylem olmalıdır. Bu konuda Avrupa Birliği'nin kıstasları da kullanılabilir. Hangi enerji kaynağında olursa olsun, sadece bir kaynağa bağımlı olmak, enerji güvenliğini riske atacaktır. Bir çok kaynağa bağımlı olmak ise daha tercih edilebilir bir durum olmasına rağmen, hem maliyeti arttırabilir hem de ikili ilişkilere önem verilmesi gerekebilir. Gerçekçi bakılırsa, Türkiye'nin fosil yakıtlara bağımlılığının artacağını görülecektir. Her durumda Türkiye'nin özellikle çevresindeki coğrafyaya daha entegre olması, ikili ilişkileri geliştirerek özellikle doğalgaz da kaynak çeşitliliğine gitmesi kaçınılmazdır.

### 8.3.2. Yerli kaynaklar

Türkiye önceliği yerli kaynaklara vermelidir, ama artan enerji ihtiyacını sağlıklı şekilde karşılayacak yeterli oranda yerli kaynaklar bulunmamaktadır. Güneş panelleri gibi sistemler ise maliyet ve güneş panelini üretmek için harcanacak enerjinin geri dönüşümünün yüksek olmaması, doğrusal akımın alternatif akıma dönüştürülmesindeki ve depolamadaki(pil) kayıplar sebebiyle bir süre daha ekonomik bir çözüm olmayacaktır.

Burada öncelikli olarak, Türkiye'nin mevcut kaynakların envanterinin geliştirilmesi, yeni kaynak ve rezervlerin bulunması ve yatırımcıların teşvik edilmesi için gerekli düzenlemelerin yapılması önerilmektedir. Mevcut kaynakların en etkili şekilde kullanılması gerekmektedir. Hidroelektrik ve termik kaynakların en etkin şekilde kullanılması ile santrallerin rehabilitasyonuna öncelik verilmesi beklenmelidir. Bunun ne kadar yeterli olacağı ise çalışma grubu tarafından sorgulanmaktadır. Ayrıca bio-yakıtlarda konusunda ciddi olarak yatırımların arttırılacağı ve bunun Türkiye için büyük önem taşıyacağı ihtimal dâhilindedir. Bio yakıtlar ile tarım sektörüne dolaylı bir teşvik verilmiş olacaktır. Bu da Türkiye'de köyden kente göçü yavaşlatmada da etkili olacaktır. Tabii bio yakıtların yerli kaynaklarla üretilmesi şartı ile bu sonuç doğrulanacaktır.

### 8.3.3. Verimlilik

Verimlilik konusunda yapılacak her bir birim yatırım, iki birimlik yeni yatırımın etkisini yapacaktır. Bu noktada, elektrik üretiminden, kombilere, evlere, arabalara kadar her alanda verimlilik seferberliği yapılmalıdır. Bu okullarda eğitimle verilebileceği gibi, enerji tasarruflu elektrik ürünlerine vergi indirimleri uygulanmasına kadar bir çok öneri yapılmaktadır. Belirli bir noktaya kadar etkili olacak olan verimlilik, bir süre sonra fiyat esnekliğini düşürecektir. Bu yüzden verimlilik gittikçe etkisini kaybeden fakat önümüzdeki süreçte mutlaka dikkate alınması ve atılması gereken bir adımdır. Bu da sadece sosyal politikalarla olmayacağı gibi, ev izolasyonlarına teşvik/vergi indirimi sağlanmasından, sanayi sektöründe verimlilik yatırımlarının düşük faizli kredilerle finanse edilmesine kadar değişik seçeneklerle sağlanabilir.

### 8.3.4. Enerji Verimliliği

Enerji Verimliliği kavramsal olarak;

- Harcanan her birim enerjinin daha fazla hizmet ve ürüne dönüşmesidir.
- Aynı ürün daha az enerji ile üretildiğinde bir önceki duruma göre enerji tasarruf edilir.

-Tasarruf edilen enerji yeni üretim/hizmetler için sanki ilave bir enerji kaynağı gibi kullanıma hazır olur.

-Enerji tasarrufu enerji temini alternatiflerinin en önemlilerinden birisidir.

Tasarruf edilen enerjinin konumu;

-Küçük ölçekli, ama kümülâtifte oldukça büyük ve anlamlı bir miktar,

-Aynı anda bir çok noktadan hızla geri kazanılabilme imkanı,

-Küçük boyutlu çok sayıda yatırımcıya yayılmış büyük finans kuruluşların desteğini gerektirmeyen yatırımlarla elde edilebilecek bir enerji kaynağı

Enerji verimliliği ile aşağıdaki türden çok yönlü fayda sağlanabilir;

-Enerji ithalat faturasında azalma

-Üretimde sanayi kuruluşlarının iç ve dış pazardaki rekabet şansını arttırıyor ve ürün fiyatlarının düşmesine katkı sağlıyor

-Binalardaki konfor şartlarını da iyileştirerek, aile veya işletme bütçesindeki ısıtma ve elektrik giderlerini azalmakta

-Sokak ve caddeler daha az enerji harcayarak daha iyi aydınlatılmakta

-Ulaşımında sürücünün cebinden daha az yakıt harcaması yapmasını sağlamakta

-Mevcut verimsiz sistemi iyileştirmek için ciddi bir istihdam ve ticaret potansiyeli yaratılmakta

-Büyük metropollerde ısıtma ve araçlardan kaynaklanan emisyonlarda azalma halk sağlığı açısından yararları

#### **8.3.4.1. Enerji Verimliliğinde Mevcut Durum**

Ciddi boyutta bir enerji tasarrufu potansiyeli bulunmaktadır. Enerji Verimliliği Kanununu içinde bir hedef belirlenmemiştir. Gerekçe notunda kanunun etkin hale gelmesi ile 2020 yılındaki beklenen enerji tüketimi olan 222 mtep % 15 altında gerçekleşebileceği belirtilmektedir ki bu değer bugün tüm sanayi sektörümüzün tükettiği enerjiden büyüktür. ETKB Talep Tarafı Yönetimi Senaryosu ortaya konularak senaryoda; enerji tasarrufu ve talep yönetimi politikaları uygulandığında sadece elektrik tüketiminin 2020 itibarı ile konutlarda 20 TWh ve sanayide 34 TWh azaltılabileceği hesaplanmıştır. Halihazırda telaffuz edilen sektörlere göre çok daha yüksek oranlara ulaşılabilen ülke enerji tasarrufu potansiyeli oranı %

25 dir. Uluslararası Enerji ajansının dolar bazındaki ortalama enerji yoğunluğu göstergesi 0,2 iken Türkiye'nin 0,35 seviyesindedir. AB üyesi 15ülkenin Euro cinsinden göstergesi 208 iken Türkiye'nin göstergesi 408'dir.

### **8.3.5. İklim Değişikliği Önlemleri**

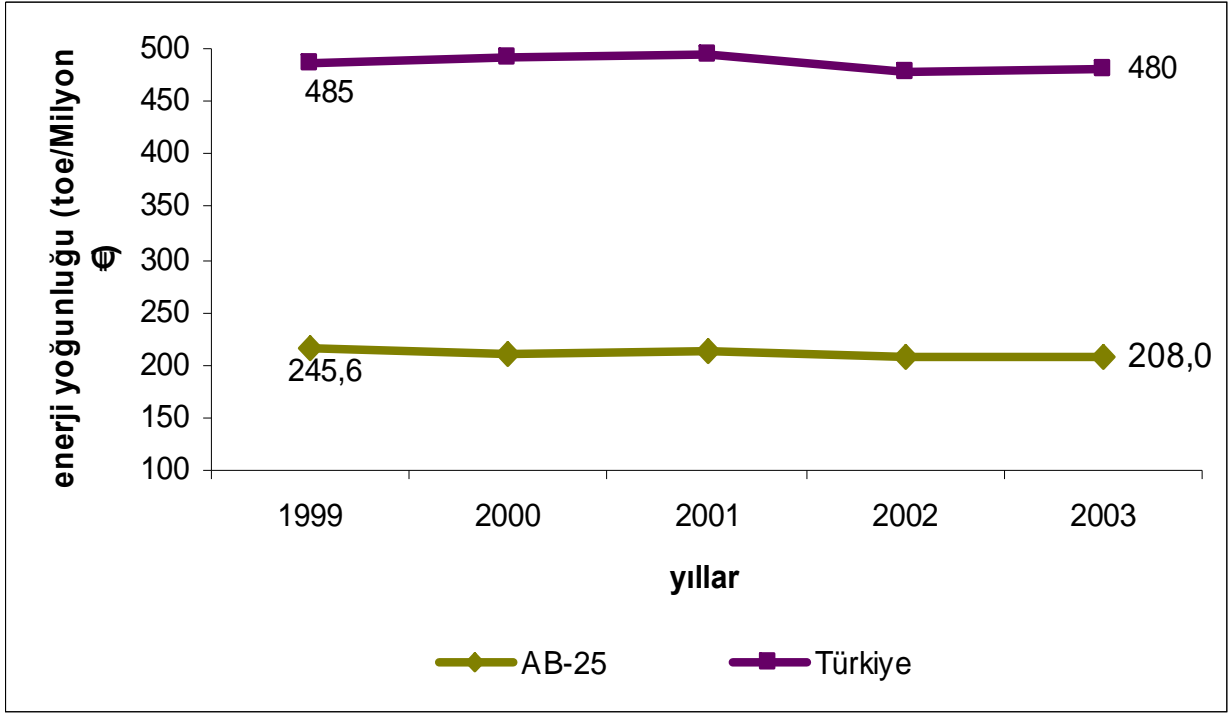
Enerji sektörünün uğraştığı enerji arz güvenliği, ucuz enerji arzı ve çevresel sorunların çözümü ülke içindedir. Çok ta zor olmayan ve 1-2 yılda geriye kazanabileceğimiz en az % 25 gibi bir enerji tasarrufu potansiyelimiz hazır kaynak olarak elimizin altında durmaktadır. Bu kaynağın geriye kazanılması için yapılacak çalışmalar, en az 40 000 kişiye kaliteli yeni iş sağlayacak bir istihdam projesi karakterine sahiptir. Ayrıca imalat sanayinde ürün maliyeti içindeki % 8-50 arasında değişen enerji maliyeti payının azaltılması fiyatların düşürülmesine ve dolayısı ile enflasyonun düşürülmesinde katkı sahibi olacaktır. İthalattan tasarruf edilecek en az 5 milyar doların alınacak önlemler için sadece 1 milyar dolarının iç pazara yönlendirilmesi; ekonomi için ciddi bir canlanma yaratacak, vergi ve istihdam katkısı olarak kamu maliyesine önemli oranda geriye dönecektir.

### **8.4. Enerji Yoğunluğu (E / GSYİH)**

Tüm dünyada enerji verimliliğinin takip ve karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Ülkenin toplam elektrik üretim değerinin gayrisafi yurtiçi hasılaya oranı şeklinde formülize edilir.

Genel olarak;

- Ülkelerin ekonomilerindeki yapısal değişikliklere
- Diğer ülkelerden ithal edilen malların özelliklerine
- Enerji karışımındaki değişimlere
- Döviz kurlarındaki ve paritelerdeki değişimlere de duyarlı karakterdedir.



Şekil 8.4. AB – Türkiye Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması ( EUROSTAT 2005)

Tabloda AB – Türkiye enerji yoğunluğunun karşılaştırıldığı tabloda enerji yoğunluk değerinin Türkiye için ele alınacak değerinde AB ülkelerinin yaklaşık 2,5 katı seviyesinde olduğu ve bunun GSYİH'sı Türkiye'ye göre büyük olan AB ülkelerinden yüksek olmasının nedenleri incelendiğinde; Türkiye' de üretilen elektrik enerjisinin, düşük olan ülke GSYİH'sına oranlandığında daha büyük bir değer elde edilmesi; GSYİH'mızın düşük olduğu veya enerji üretim düzeyimizin GSYİH'ya göre oldukça büyüdüğü şeklinde yorumlanabilmektedir. Bu durum; sermaye sahiplerinin sosyal yönlü yatırımlara ağırlık verme sorumluluğunu ortaya koymaktadır. Burada iyileştirme önerisi olarak; GSYİH değerinin yükseltilmesi için teknik, ekonomik ve sosyal tedbir paketi yani üretim istihdamının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu oranın küçük olduğu dikkate alınmalıdır.

### 8.5. Enerji sepeti

Sonuçların ana teması buradadır. Enerji sepeti, ideolojik, sosyal ve kültürel önyargılarımıza bakılmaksızın çeşitlendirilmelidir. Türkiye aynı anda hem çevreci teknolojileri hedeflediği gibi, nükleer enerjiden de faydalanmayı düşünmelidir. Bu noktada öneri olarak, elektrik sepetinin çeşitlendirilmesi çok önemlidir. Eğer küresel ısınmanın önümüzdeki dönemde etkisini göstereceğine inanıyorsak, hidroelektrik kapasitesinde arka arkaya düşüşler görmek

kaçınılmazdır. Bunun alternatifi olan kömür ve doğalgaz santralleri de ayrı bir tartışma konusudur. Ama Türkiye'nin tüm bu opsiyonları sepetinde bulundurması, çeşitlendirmesi kaçınılmazdır. Öneri olarak, çevresel, nükleer, geleneksel olarak üç temel konuya önümüzdeki dönemde önem verilmesi gerekmektedir. Çevresel teknolojilere önem verilmezse, Türkiye ilerde bu teknolojileri yakalamakta çok zorlanır. Nükleer de ise en son teknolojinin gelişmesini beklemek yerine, Türkiye en son teknolojiyi geliştirebilecek ülkeler arasında olmayı planlarına dahil etmelidir. Geleneksel teknolojilere, yerli kaynaklar bağlamında önem verilirken, yeni teknolojiler ve daha verimli çalışan santrallerin kurulması da öncelik haline getirilebilmelidir.

### **8.6. Çevre**

Enerjide çevreden bağımsız bir gelecek görünümü düşük ihtimalli bir seçenektir. Dolayısıyla enerjinin girdiği her durumda, çevresel etkisi bugün olmasa da yarın Türkiye de de sorgulanacaktır. Çevre derken her çevreci teknoloji, o kadar da çevreci olmayabilir. Mesela bir güneş panelini üretmek için harcanan enerji ve üretim sırasında açığa çıkan emisyon gazları, başka bir çevreci olmayan teknolojide daha düşük seviyede olabilir. Eğer yüksek maliyetli çevreci politikalar izlenirse, bunların ekonomide yavaşlama, maliyetlerde artma ve uluslararası rekabetçilikde azalmaya sebep olacağı unutulmamalıdır. Bu noktada, çevreci teknolojilerde rüzgâr enerjisi ve bio ethanole öncelik verilmelidir. Sonra ise güneş panelleri, jeotermal, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi gibi sistemler de coğrafik konumlar ve fayda maliyet analizleri de göz önünde bulundurularak mutlaka önem verilmesi gereken enerji kaynaklarıdır. Türkiye, Kyoto anlaşmasını imzalayıp imzalamayı tartışmak yerine, kendi protokolünü oluşturarak, ölçülebilir fakat daha düşük hedefler koyarak harekete geçmek zorundadır. Yoksa orta dönemde Türk ürünlerinin Avrupa'ya girişinde vergi bazında sorunlar yaşanabileceği gibi, Türk ihracatçısını da zor durumda bırakabilir. Petrol fiyatlarının bu kadar yüksek olduğu bir Türkiye'de mutlaka hibrid arabalara kapı açılmalıdır, yerli üretim hibrid arabalara vergi indirimi sağlanarak üreticileri ve bu arabaların piyasaya girişlerini teşvik etmek çok önemlidir. Bunun sonucunda Türkiye'nin petrolde dışa bağımlılığının azalması hedeflenirken, hibrid arabaların yaygınlaşması durumunda elektrik tüketiminde tahminlerin ötesinde bir artışa sebep olacağı da beklenmelidir.

### **8.7. Araştırma-Geliştirme**

En önemli noktalardan biri araştırma ve geliştirmedir. Türkiye sadece enerji kaynakları açısından değil teknolojik olarak da dışarı bağımlıdır. Bunun tek çözümü de araştırma, geliştirme ve insana yatırım yapmaktır. Özellikle elektromekanik sistemlerden, türbin, generatör, enerji verimli ev aletleri, kombiler, çevreci ve tasarruflu arabalara kadar bir çok alanda bir süre devlet teşvik ve vergilendirilmesi ile ardından da piyasa koşullarını oluşturarak sistemin kendi başına araştırma-geliştirme yapar hale gelmesi hedeflenebilir. Burada şüphesiz en önemli güç üniversitelerdir. Elektrik faturalarına yapılacak %0,5'lik bir zamlarla bir fon oluşturulması sağlanabilir. Bu fon üzerinden üniversitelerin sanayiden birer ortak bularak enerji teknolojilerinde yenilikçi ve geliştirici projeler ile bu fona erişmesi sağlanabilir. Bu fon ile ilk yıllarda cihaz alımı için projeye gerek duymadan, enerji alanında çalışan üniversite ve bölümler desteklenirken, ikinci aşamada ise sanayi ile projelerin destek verilmesi gündeme gelebilir. Aynı şekilde böyle bir fon üç parçaya bölünebilir. Bir parçası nükleer alanında teknoloji geliştirme için, ikinci parça çevresel teknolojiler de, üçüncü parça ise diğer teknolojiler için tahsis edilebilir.

### **8.8. Diplomasi**

Özellikle son bir nokta olarak Türkiye'nin söylemlerini pratiğe dönüştürmesi açısından enerji diplomasisinin çok önemli olduğunun altının çizilmesi gerekmektedir. Hem ikili ilişkilerin geliştirilmesinde hem de Türkiye'nin enerji güvenliği açısından, enerji diplomasisi çok önemlidir ve önem kazanmaya devam edecektir. Türkiye'nin işi hiç kolay değildir. Bir yanda hala Sovyet kültürünü taşıyan bürokratik yapıların olduğu Türk cumhuriyetleri, diğer yanda istikrardan uzak bir Orta Doğu bulunmaktadır. Tüm boru hatlarını bir noktada birleştirmek sadece finansal bir sorun olarak değil, bir çok ülke ile bir araya gelerek oluşturulması gereken uzun dönemli bir bağ kurma meselesidir. Fakat bu finansal sorunları ikinci plana itmez. Her halükarda Türkiye'nin Orta Diplomasisini (Orta Asya- Orta Doğu) yoğun bir şekilde sürdürmesi gerekmektedir. Diplomasi tek başına etkili bir araç olamayacağı için, terminalin diğer ucundaki ülkelerde, Türk yatırımlarının ve yatırımcılarının bulunması da bir zorunluluk olmaktadır. Fakat diplomatik olarak Türkiye'nin her kazanımına da, diğer taraf karşı bir manevra ile cevap verecektir ve bu kaçınılmazdır. Hamleler ötesini görmeyi gerektiren yoğun bir süreç Türkiye'yi beklemektedir. (“ Scenario Workshop Sonuç Bildirgesi WEC 2008 – ANKARA”)

## SONUÇ

İstanbul kent ölçeğindeki potansiyel rüzgar havzalarının belirlenmeye çalışıldığı, ekonomik boyutunun ortaya konduğu ve strateji geliştirme uygulamalarına ışık tutma gayretindeki bu çalışmada; mevcut tesislerin ve rüzgar ölçüm direklerinin yerleştirildiği mesailere ziyaretler, sektör firmaları ile internet iletişimi, rüzgar potansiyel atlası incelemelerinin yanı sıra birim maliyet kalemlerinin güncel değerlerinin de araştırıldığı çalışma sürecinde, maliyet kalemlerinin şekillendirdiği en geçerli maliyet hesaplama yöntemlerinden “BİR DEĞERE GETİRİLMİŞ MASRAFLAR METODU” ile toplam enerji üretimi gider hesaplamaları ve geri ödeme planı hazırlanmıştır. İstanbul’un altı belirgin noktasında elektrik üretimi sağlanabilecek potansiyel rüzgâr varlığı ve arazi uygunluğu keşfedilmiştir. Ekonomik analiz sürecinde özel şirketlerin fiyat politikasında fiyat kademeleri ile tesis kurulu gücünün arttıkça birim enerji üretim maliyetlerinin azalacağı anlaşılmaktadır.

İstanbul kent elektrik enerjisi ihtiyacı bağlamında; 2007 nüfus projeksiyonları ve kişi başına Marmara Bölge Ortalaması olan yıllık 3753 kWh lik elektrik enerjisi tüketimi baz alınarak, İstanbul’a kurulacak yaklaşık 10 MW gücündeki bir rüzgar çiftliği için farklı nominal güçlere sahip türbinlerden 10 ile 38 adet arasında rüzgar türbinine ihtiyaç bulunduğu, yine ortalama 7 m/s hızındaki potansiyel rüzgar havzalarında kullanılacak türbinlerin fayda / maliyet analizi yapılmak koşulu ile en geniş türbin çapına ve seçilebilecek en yüksek kuleye sahip olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. 10 MW gücündeki santral kurulumunda 1000\$ / kWh lik birim tesisi bedeli için yatırım bedeli olarak 12.080.865 \$ lık yatırım borçlanmasının ,tesis ömrü 20 yıl sonunda yıllık bileşik % 6 lık faiz ile dış kaynak olarak değerlendirilmesi sonucu geri ödeme toplamının 21.065.298 \$ olacağı öngörülmüştür. Tesis ömrü olan 20. yılın sonunda direk tesis bedeli için kredilendirilen 12.000.000 \$ lık yatırım bedeli için son periyot ödeme değeri 993.646 \$ olmakta ve kredi borcu tek ödeme kaleminde geri ödemesini tamamlamaktadır. Yıllık sabit işletme bakım masrafları yine bir değere getirilmiş masraflar metodu ile bugünkü değerine getirildiğinde 20 yıl boyunca yapılacak 5.000.000\$ dolarlık işletme bakım masrafının projenin hayata geçtiği yıl itibariyle aylık %6 ‘lık eskalasyon oranında 953.401 \$ seviyesinde seyredeceği belirlenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca; RES Yatırımcı Rehberi, Enerji Stratejileri ve Politika önerileri ile uzun vadeli planlama sorunlarına çözüm alternatifi sunulmuştur. Benzer yöntemlerle ulaşılan 88.000 MW düzeyindeki ülke potansiyelimizi değerlendirmek adına çalışmalara hız verilmeli, sektörün ivme artışına katkı sağlaması adına kurumların acil eylem planları geliştirerek hayata

geçirmeli ve yine yerli üretim ekipmanlarına destek sağlaması adına elektrik piyasası düzenlemeleri noktasında etkin önlemler alınarak yerli ekipman kullanımını verimli şebeke bağlantı sözleşmeleri ile cazip hale getirilmelidir. Enerji krizlerinin sosyal, siyasal ve hatta askeri ilişkileri dahi etkilediği günümüzde; ülkemizin mevcut potansiyelini akılcı biçimde kullanarak, etken küresel aktör kimliğine yeniden ulaşması, RÜZGAR ENERJİSİ BELLEĞİ'nin güçlendirilerek saygın toplumlar arasında hak ettiği yerini bulması arzulanmaktadır.

## KAYNAKÇA

Anonim, Ana Britannica Ansiklopedisi,"Rüzgar Tesisleri" Cilt No: 25, İstanbul, 1993.

Anonim, De Wind Firması Çeşitli Rüzgar Türbini Katalogları, 2002.

Comparative Air Emissions of Wind and other Fuels', American Wind Energy Association, 2000.

Comparative Cost of Wind and other Fuels', Amerikan Rüzgar Enerjisi Derneği Dergisi, 2000.

Demirci, B. & Yıldırım, E., "Elektrik Enerjisinde Özel Sektörün Rolü", 1986.

Dündar, C. & İnan, D., "Investigation Of Wind Energy Application Possibilities for a Specific Island (Bozcaada) In Turkey", World Renewable Energy Congress IV, Denver, Colorado, USA, 15-21 June 1996

Dünya Enerji Konseyi Senaryo Çalıştayı Sonuç Bildirgesi, Ankara, 2008.

EIE Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü,"Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli", Yayın no:85-1, Ankara, 1984.

Ertürk, E.,"Rüzgar Enerjisinden Yararlanma ve Eskişehir İlinde Enerji Üretim Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1985.

Golding, E.W.," The Generation of Electricity by Wind Power", Pitman Press, 1955.

İstanbul Enerji A.Ş. Terkos 45 MW RES Projesi Süreç El Kitabı, 2008

Kakaç Sadık, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Bugünü ve Yarını", Türkiye 4. Enerji Kongresi, İzmir, 16 Ocak 2006

Kara, Ö. "Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri İzmir Uygulaması" , 2002.

Karadeniz, Z.,"Rüzgar Enerjisi ve Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımı, 2002.

Krosggaard, P. "Global Status Of Wind Power Handbook", London. 118, 2007.

Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı: B.30.2.Pamukkale Üniversitesi Yayını.2007-58, Denizli, 2007

Özdamar, A. & Şen, Ç. “Çeşme’de Bir Otelin Kullanım Suyu Isıtmasının Rüzgar Enerjisinden Sağlanması”, 2003.

Özdamar, A., “Alman Yenilenebilir Enerjiler Yasası ve Ülkemiz Rüzgar Enerjisi Açısından Değerlendirilmesi” Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, Sayı:B.30.2.EGE.0.96.00.00/ SD00034, İzmir, 2000.

Özdamar, A., (3). “Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma: Çeşme Örneği” Makale Sayı:B.30.2.EGE.0.96.00.00/ SD00029 Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, İzmir, 2000.

Özdamar, A., “Büyük Anma Güçlü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması”, Makale Sayı:B.30.2.EGE.0.96.00.00/ SD00029, 2000.

Özdamar, A., “Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması, Makale,2000.

Özdamar, A., “Rüzgar Enerjisi Tesisleri”, Ders Notları, Yayınlanmamış, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, 2002.

Özgül, M., C., Türkiye Klima Atlası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 1989.

RESSİAD “Yenilenebilir Enerji Sempozyumu Sonuç Bildirgesi” Ankara, 2006.

Sarıkayalar, O., Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisinin Türkiye Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.

TEİAŞ - APK Üretim Planlaması Eylül çalışması ve EIE kaynakları, Ankara, 2006.

Tanrıöven M., Y.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümü, Ders Notları

Uyar, T.S., “Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgar Enerjisinden Elektrik Eldesi”, 1994.

Ültanır, M. O., “21.Yüzyıla Girenken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, TÜSİAD Yayınları, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, 1998.

Wagner Andreas,” Wind Power and the REFIT Model”, Wind Directions, March 1999.

Wind Energy in Europe-The Facts’, Elektronik kitap, Cilt 2, Fiyat, Maliyet ve Değerler, Avrupa Komisyonu Enerji Direktörlüğü, 1999.

<a href="http://www.awea.org">www.awea.org</a>	(American Wind Energy Association Official Website)
<a href="http://www.bwea.com">www.bwea.com</a>	(British Wind Energy Association Official Website)
<a href="http://www.danishwind.com">www.danishwind.com</a>	(Denmark Wind Energy Association Official Website)
<a href="http://www.dewind.de">www.dewind.de</a>	(De Wind Corporation)
<a href="http://www.die.gov.tr">www.die.gov.tr</a>	(Devlet İstatistik Enstitüsü)
<a href="http://www.enercon.de">www.enercon.de</a>	(Enercon Corporation)
<a href="http://www.enerji.gov.tr">www.enerji.gov.tr</a>	(T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)
<a href="http://www.epdk.gov.tr">www.epdk.gov.tr</a>	(Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu)
<a href="http://www.forumelektrik.com">www.forumelektrik.com</a>	(Elektrik Mühendisleri Forum Sitesi)
<a href="http://www.galeforce.niraland.co.uk">www.galeforce.niraland.co.uk</a>	(Niraland-İngiltere Firması)
<a href="http://www.gigapedia.com">www.gigapedia.com</a>	(Bilimsel Kitap Arşivi)
<a href="http://www.lorax-energy.com">www.lorax-energy.com</a>	(Lorax Enerji Grubu)
<a href="http://www.meteoroloji.gov.tr">www.meteoroloji.gov.tr</a>	(Devlet Meteoroloji Enstitüsü)
<a href="http://www.montanagreenpower.com">www.montanagreenpower.com</a>	(Montana Çevreci Enerji Derneği)
<a href="http://www.newton.mec.edu">www.newton.mec.edu</a>	(Newton Üniversitesi Makine Fakültesi)
<a href="http://www.ntvmsnbc.com">www.ntvmsnbc.com</a>	(NTV Haber Portalı)
<a href="http://www.offshorewindfarms.co.uk">www.offshorewindfarms.co.uk</a>	(Offshore Rüzgar Çiftlikleri Firması)
<a href="http://www.pinnaclet.com">www.pinnaclet.com</a>	(Uluslararası Bilgi Portalı)
<a href="http://www.safatur.com">www.safatur.com</a>	(Yerel Bilgi Portalı)
<a href="http://www.samli.com.tr">www.samli.com.tr</a>	(RES Firması)
<a href="http://www.sciencedirect.com">www.sciencedirect.com</a>	(Uluslararası Makale Sitesi)
<a href="http://www.synergypowercorp.com">www.synergypowercorp.com</a>	(Synergy Güç Şirketi)
<a href="http://www.tcmb.gov.tr">www.tcmb.gov.tr</a>	(T.C. Maliye Bakanlığı Resmi Sitesi)
<a href="http://www.tedas.gov.tr">www.tedas.gov.tr</a>	(TEDAŞ Kurumsal Web Sitesi)
<a href="http://www.visionengineer.com">www.visionengineer.com</a>	(Mühendislik Bigi Paylaşım Portalı)

<a href="http://www.west.wind.com">www.west.wind.com</a>	(Enerji Firması)
<a href="http://www.wind-energie.de">www.wind-energie.de</a>	(Alman Enerji Firması)
<a href="http://www.windenergy.org">www.windenergy.org</a>	(Rüzgar Enerjisi Organizasyonu)
<a href="http://www.windpower.dk">www.windpower.dk</a>	(Danimarka Yerel Bilgi Portalı)
<a href="http://www.windpower.org">www.windpower.org</a>	(Rüzgar Enerjisi Organizasyonu)
<a href="http://www.windpowerindia.com">www.windpowerindia.com</a>	(Hindistan Rüzgar Enerjisi Portalı)

## **EKLER**

**EK 1** Yüksek Lisans Tez Süreci

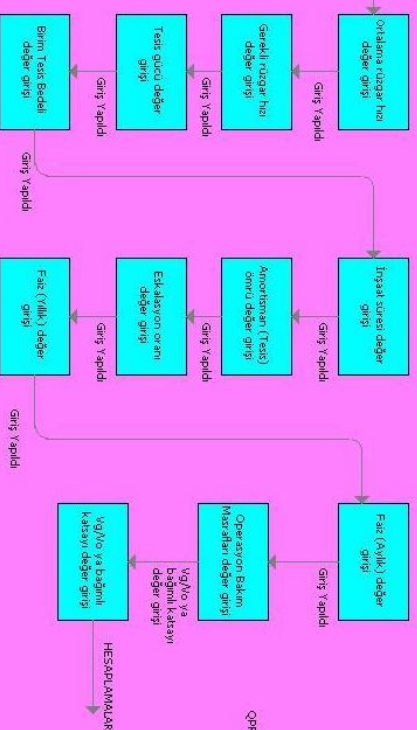
**EK 2** Veri Akış Diyagramı

**EK 3** Program Akış Diyagramı



## EK-2.

### VERİ AKIŞ DİYAGRAMI



- Sepete yük faktör değerinin okunması ve yorumlanması
- Yıllık enerji üretimi değerinin okunması ve yorumlanması
- Fazla santral direk yatırım maliyet değerinin okunması ve yorumlanması
- İnşaat ömrü net faz ve eskimesyon etki değerinin okunması ve yorumlanması
- İnşaat biriminde toplanan maliyet değerinin okunması ve yorumlanması
- Yıllık sermaye maliyet değerinin okunması ve yorumlanması
- Birim enerji başına sermaye maliyet değerinin okunması ve yorumlanması
- Yıllık DGM maliyet değerinin okunması ve yorumlanması
- Birim enerji başına DGM maliyet değerinin okunması ve yorumlanması
- TOPLAM ENERJİ ÜRETİM MALİYET DEĞERİNİN OKUNMASI VE YORULMASI**



Hesap Çevreli  
QPR Process'de Xpress - Evaluation Copy

QPR Process'de Xpress - Evaluation Copy

QPR Process'de Xpress - Evaluation Copy

Kullanıcı

Maliyet İncelene  
İhtiyacı

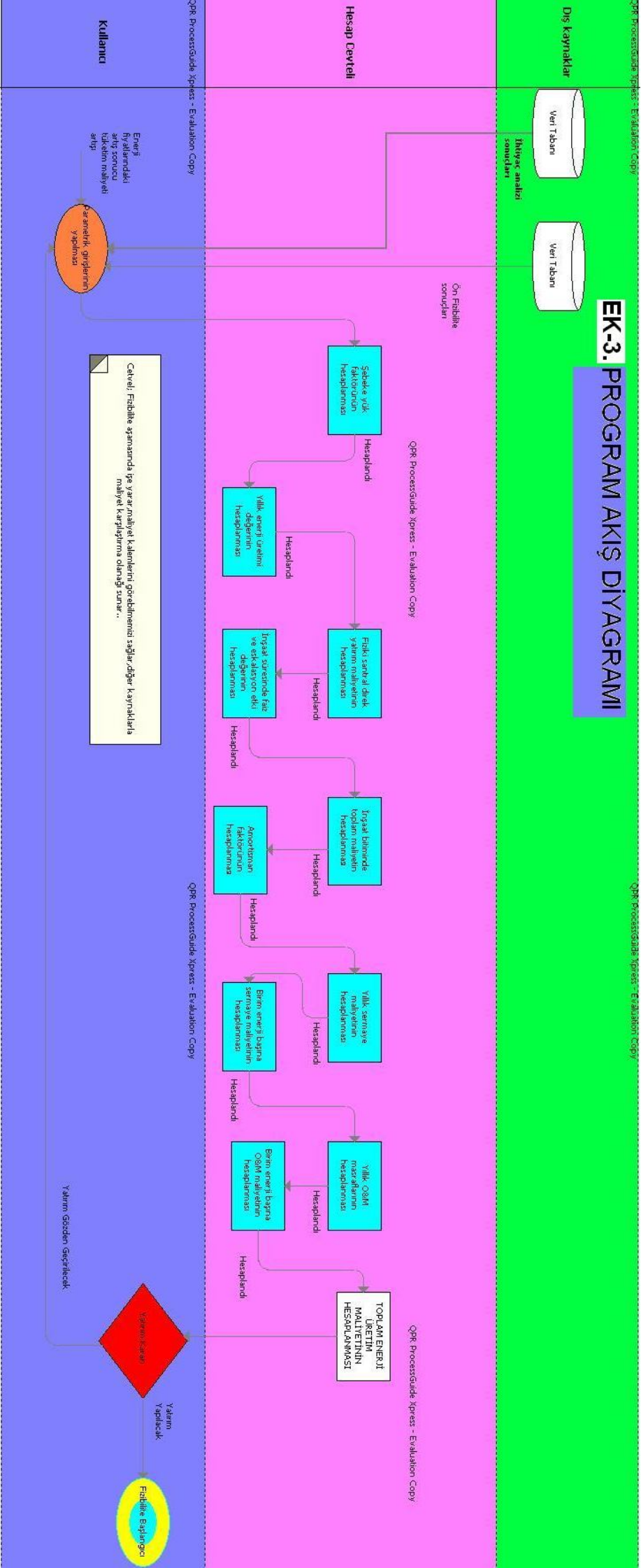
Çekimin Çarpılması

QPR Process'de Xpress - Evaluation Copy

QPR Process'de Xpress - Evaluation Copy

QPR Process'de Xpress - Evaluation Copy

### EK-3. PROGRAM AKIŞ DİYAGRAMI



## ÖZGEÇMİŞ

Adı	Mehmet
Soyadı	Ertek
Doğum tarihi	20.08.1981
Doğum yeri	Batman
Lise 1995-1998	Batman Fatih Lisesi
Lisans 1998-2000	Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü
Lisans 2000-2004	Selçuk Üniversitesi Müh.Fak. Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi /F.B.E / Enerji A.B.D./Enerji