

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR ENERJİSİ VE TÜRKİYE RÜZGAR POTANSİYELİ
RÜZGAR ENERJİSİNDE DEĞİŞKEN VE SABİT FİYAT TARİFELERİ VE
ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Akın AKINSAL**

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Müh.

ŞUBAT 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR ENERJİSİ VE TÜRKİYE RÜZGAR POTANSİYELİ
RÜZGAR ENERJİSİNDE DEĞİŞKEN VE SABİT FİYAT TARİFELERİ VE
ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk.Müh. Akın AKINSAL
(504041001)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adnan KAYPMAS (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Selim AY (Y.T.Ü.)

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında, değerli zamanını ayırarak çalışmamı yönlendiren değerli hocam Prof.Dr. Adnan Kaypmaz'a, karşılaştığım kimi problemleri aşmam konusunda yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. S.Sibel Menteş'e ve Utku Türkyılmaz'a çok teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında sınırsız destek olan sevgili babam,annem ve kardeşime, arkadaş ve meslektaşlarım Berker Bilgin, Ahmet Can Kutlu, Elif Dönmez ve Murat Dönmez'e, sunuma hazırlanmama yardım eden Bilge Aydın'a ve tez basım aşamasında değerli destekleri için Gökhan Kuşkucu'ya ayrıca teşekkür ederim.

ŞUBAT 2009

Akın AKINSAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI	3
2.1. Türkiye Elektriğin Tarihçesi	3
2.2 Türkiye Elektrik Piyasası Yapısı	6
2.2.1 Üretim Faaliyeti Yapan Tüzel Kişiler	6
2.2.2 İletim Faaliyeti Gösterebilecek Tüzel Kişiler	7
2.2.3 Dağıtım Faaliyeti Gösterebilecek Tüzel Kişiler	7
2.2.4 Toptan Satış Faaliyeti Gösterebilecek Tüzel Kişiler	8
2.2.5 Perakende Satış Faaliyeti Gösterebilecek Tüzel Kişiler	9
2.3 Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu ve Serbest Piyasa	12
2.3.1 Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu	12
2.3.2 Elektrik Piyasası Düzenleme Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği	13
2.3.2.1 Saatlik Sistem Marjinal Fiyatının Hesaplanması.....	15
2.3.2.2 Sistem Dengesizlik Fiyatının Hesaplanması	16
2.3.2.3 2007 ve 2008 Serbest Piyasa Fiyatları	17
2.3.2.4 Serbest Piyasa Fiyatları Korelasyon Hesabı	23
2.3.2.5 Sistem Dengesizlik Fiyatı	24
2.3.2.6 Serbest Piyasa Üretiminin Türkiye Üretiminde Payı	26
3. RÜZGAR ENERJİSİ	31
3.1 Rüzgar Enerjisi Meteorolojisi	31
3.1.1 Küresel Rüzgarlar	32
3.1.2 Yerel Rüzgarlar	32
3.1.2.1 Kara ve Deniz Meltemleri	33
3.1.2.2 Dağ ve Vadi Rüzgarları	33
3.1.3 Ülkemizi etkileyen hava kütleleri ve Yerel Rüzgarlar	33
3.2 Dünyada Rüzgar Enerjisi	35
3.3 Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	39
3.3.1 Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası	39
3.3.2 Türkiye Rüzgar Potansiyeli	43
3.4 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi	44
3.4.1 Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü ve Enerji Üretimi	44
3.4.2 Türkiye’de İnşa halinde ve Türbin Sözleşmesi İmzalamış Rüzgar Enerjisi Projeleri	47

3.4.3 1 Kasım 2007 RES Başvuruları ve	
Başvuruların Teknik Değerlendirilmesi	51
3.4.3.1 1 Kasım 2007 RES Başvuruları	51
3.4.3.2 1 Kasım 2007 RES Başvuruların Teknik	
Değerlendirilmesi	52
3.5 Dünya’da ve Türkiye Rüzgar Enerjisinin Ekonomik	
Değerlendirilmesi	53
3.5.1 Dünya’daki Teşvikler	53
3.5.1.1 Teşvik Türleri	53
3.5.1.1.1 Mali Teşvikler	53
3.5.1.1.1.1 Yatırım Teşvikleri	54
3.5.1.1.1.2 Hükümet Destekli Kredi	54
3.5.1.1.2 Vergi Teşvikleri	54
3.5.1.1.2.1 Vergi Muafiyetleri	54
3.5.1.1.2.2 Gümrük Muafiyetleri	54
3.5.1.1.3 Üretim Teşvikleri	54
3.5.1.1.3.1 Yenilenebilir Portföy Standardı	54
3.5.1.1.3.2. Üretilen Elektriğe Teşvik	54
3.5.1.1.3.3. Sabit Tarife Uygulaması	54
3.5.1.2 Avrupa Ülkelerinde Uygulanan Teşvikler	55
3.5.2 Türkiye’de Uygulanan Teşvik Fiyatları ve	
Yeni Kanun Önerisi.....	56
3.5.2.1 Türkiye’deki Teşvikler ve SDF Fiyatları	
Karşılaştırması	56
4. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ	61
4.1 Enerji Depolamanın Yararları ve Çeşitleri	61
4.2 Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Bazı Depolama Türleri.....	64
4.2.1 Pompalı Hidroelektrik Santralleri	64
4.2.2 Hidrojen Enerjisi	65
4.2.3 Flywheel	69
4.2.4 Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama.....	69
5. ANALİZLER	71
5.1 Geleneksel RES ve Yeni RES Ekonomik Kazanç hesabı	71
5.1.1 Rüzgar Ölçümü yapılarak Klasik Yöntem ile	73
5.1.2 Rüzgar Ölçümü yapılmadan Klasik Yöntem ile	75
5.1.3 Rüzgar Enerjisi Hesabı için Yeni yöntem	76
5.2 Türkiye’nin 10 Bölgesinin Rüzgar Enerji Potansiyeli	77
5.3 Türkiye’nin 10 Bölgesinin Enerji Depolama Tesis Olasılıkları	
ve Ekonomik Karlılık	84
5.4 Farklı Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü ile Türkiye Elektrik Tüketimi	
Karşılaştırması	87
5.4.1 RES Kurulu gücünün, Türkiye Kurulu Gücüne eşitlenmesi ..	88
5.4.2 Yıllık RES Enerjisi Üretimi, Yıllık Türkiye Elektrik	
Enerjisi Talebine eşitlenmesi	90
5.4.3 RES Enerji Üretimi, İletim kaybı ve Depolama Enerjisi verimi	
dahil Türkiye Elektrik Enerjisi Talebine eşitlenmesi	92
6. SONUÇ	95
KAYNAKLAR	97
EKLER	100
ÖZGEÇMİŞ	115

KISALTMALAR

REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgar Enerjisi Santrali
MTA	: Maden Tetkik Arama
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DSİ	: Devlet Su İşleri
ÇEAŞ	: Çukurova Elektrik A.Ş.
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim, İletim A.Ş.
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TETAŞ	: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
Yİ	: Yap-İşlet
YİD	: Yap-İşlet-Devret
ADÜAŞ	: Ankara Doğal Elk. Üretim.A.Ş.
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
MYTM	: Milli Yük Tevzi Merkezi
KGÜP	: Kesinleşmiş Günlük Üretim Planı
SMF	: Saatlik Marjinal Fiyat
MKÜD	: Minimum Kararlı Üretim Düzeyi
SDF	: Sistem Dengesizlik Fiyatı
KEYM	: Kabul Edilen Yük Teklif Miktarı
PMUM	: Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi
BSP	: Başvuru Sıralama Puanı
GY	: Güç Yoğunluğu
TG	: Türbin Gücü
L	: Trafo merkezine uzaklık

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 : Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Dağılımı.....	10
Çizelge 2.2 : Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimin Kuruluşlara Göre Dağılımı ...	11
Çizelge 2.3 : 28.07.2007 PMUM Raporu	17
Çizelge 2.4 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekans Tablosu 2007	18
Çizelge 2.5 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekans Tablosu 2008 (ilk 260 gün)	20
Çizelge 2.6 : Korelasyon Tanım Tablosu	23
Çizelge 2.7 : Türkiye Gerçek SDF ve Hesaplanan SDF Karşılaştırma	24
Çizelge 2.9 : Hesaplanan 2007 SDF Fiyatları	25
Çizelge 2.10 : 2007 Yılı ve 2008 Yılı ilk 260 günü Günlük Üretim Planı ile Yük Alma/Yük Atma Miktarı Karşılaştırması....	27
Çizelge 3.1 : Atmosferik hareketlerin zaman ve alan ölçeği	32
Çizelge 3.2 : Dünyada Kurulu Kapasite olarak ilk 10 Ülke	37
Çizelge 3.3 : AB Enerji Talebinde Rüzgar Enerjisinin Payı (2007 Sonu)	38
Çizelge 3.4 : Rüzgar Potansiyeli Sınıflandırması	42
Çizelge 3.5 : Türkiye Rüzgar Potansiyeli Sınıfları Gücü ve Toplam Rüzgar Potansiyeli	44
Çizelge 3.6 : 08/2008-07/2008 Türkiye Rüzgar Enerji Santralleri Enerji Üretimi..	45
Çizelge 3.7 : Türkiye'deki İşletmedeki ve devreye alınacak Rüzgar Enerjisi Santralleri	46
Çizelge 3.8 : İnşa halindeki Rüzgar Enerji Santrali	47
Çizelge 3.9 : Türbin Sözleşmesi İmzalamış Projeler	48
Çizelge 3.10 : İnşa Halindeki veya Türbin Sözleşmesi İmzalamış Projelerin Devre Girme Tarihleri	49
Çizelge 3.11 : Türkiye'nin Kurulu Gücü ve Enerji Üretimi ile Mevcut ve Muhtemel Rüzgar Santralleri Potansiyelinin Karşılaştırması....	50
Çizelge 3.12 : Avrupa'da Uygulanan Teşvikler	55
Çizelge 3.13 : 2008 Gerçek ve Hesaplanan SDF Fiyatları	57
Çizelge 3.14 : 01/2007-07/2008 Hesaplanan SDF Fiyatları ile Rüzgar Enerjisi Teşvik Fiyatı Karşılaştırması	58
Çizelge 4.1 : Depolama Türleri Verimleri	62
Çizelge 4.2 : Depolama Türleri Depolama Süreleri	63
Çizelge 4.3 : Doğalgaza Bağlı Hidrojen Fiyatı	66
Çizelge 4.4 : Botaş Aralık Doğalgaz Tarifesi	67
Çizelge 4.5 : 1 kg Hidrojen Yakıtı Hesabında kullanılan Değerler	68
Çizelge 5.1 : Rüzgar Ölçümü Yapılan Klasik Yöntem ile RES Gücü Hesabı.....	72
Çizelge 5.2 : Ölçüm Yapılmadan RES Enerjisi Hesabı	75
Çizelge 5.3 : 10 Bölgenin Pürüzlülük Katsayısı ile 50m ve 70m Yükseklikte Rüzgar Hızı	79
Çizelge 5.4 : Vestas V82 Rüzgar Türbini Rüzgar Hızı - Güç Karakteristiği	80
Çizelge 5.5 : 10 Bölgenin Toplam Rüzgar Enerjisi Üretimi	81
Çizelge 5.6 : Farklı Tarifeler ile Kazanç Hesabı	83
Çizelge 5.7 : Türkiye'nin 10 Bölgenin Olası Enerji Depolama Yöntemleri	84

Çizelge 5.8 : 10 bölgenin Faklı Enerji Depolama Verimleri ile Ekonomik Karlılıkları	86
Çizelge 5.9 : Model 1 Hesaplama Sonuçları	89
Çizelge 5.10 : Model 2 Hesaplama Sonuçları	91
Çizelge 5.11 : Model 3 Hesaplama Sonuçları	93

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Türkiye Elektrik Yapısı Gelişimi	6
Şekil 2.2 : Elektrik Sektörü Tedarik Zinciri	9
Şekil 2.3 : Türkiye Dağıtım Şebekesinde Kuruluşların Tüketime Göre Dağılımı ...	9
Şekil 2.4 : Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı	10
Şekil 2.5 : Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kuruluşlara Göre Dağılımı	11
Şekil 2.6 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekansı 2007	19
Şekil 2.7 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekansı 2008(ilk 260 gün)	21
Şekil 2.8 : SMF Karşılaştırması 2007	21
Şekil 2.9 : SMF Karşılaştırması 2008	22
Şekil 2.10 : 2007 Yılı ve 2008 Yılı ilk 7 ayı SMF - Gerçek SDF-Hesap SDF Karşılaştırılması	23
Şekil 2.11 : 2007 yılı Günlük Üretim Planı ve Yük Alma/Yük Atma Miktarı	26
Şekil 2.12 : 2008 Yılı ilk 260 günü Günlük Üretim Planı ve Yük Alma/Yük Atma Miktarı	28
Şekil 2.13 : 2007 yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketimi	29
Şekil 2.14 : 2007 yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketimi	29
Şekil 3.1 : Dünya Toplam Kurulu Rüzgar Enerjisi Kurulu Kapasite 1996-2007...	36
Şekil 3.2 : Dünya Yıllık Eklenen Rüzgar Enerjisi Kurulu Kapasite 1996-2007	36
Şekil 3.3 : Avrupa Haritasında Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Gösterimi	39
Şekil 3.4 : Türkiye Rüzgar atlası Rüzgar Hızı Yıllık Ortalama 50 m	40
Şekil 3.5 : Türkiye Rüzgar Atlası Rüzgar Hızı Yıllık Ortalama 70 m	40
Şekil 3.6 : Türkiye Rüzgar Atlası Kapasite Faktörü 50m....	41
Şekil 3.7 : Türkiye Rüzgar Atlası Güç Yoğunluğu 50 m ..	41
Şekil 3.8 : Türkiye Rüzgar Atlası Rüzgar Hız/Güç Yoğunluğu Sınıf Haritası.....	43
Şekil 3.9 : 1 Kasım 2007 Res Başvurularında En Çok Başvuru Yapılan 10 İl (Yüzde Olarak)	51
Şekil 3.10 : 1 Kasım 2007 Res Başvurularında En Çok Başvuru Yapılan 10 İl (Güç Olarak)	52
Şekil 3.11 : BSP Hesabı Değerlerinin Ağırlıkları	53
Şekil 3.12 : 2007 SDF ile Sabit Fiyat Karşılaştırması	59
Şekil 3.13 : 2007 SDF Ortalaması ile Sabit Fiyat Karşılaştırması	59
Şekil 3.14 : 2008 Hesaplanan SDF Dönem Fiyatları Karşılaştırması	60
Şekil 3.15 : Hesaplanan 2007 ve 2008 SDF Dönem Ortalamaları Karşılaştırması.....	60
Şekil 5.1 : 10 Bölgenin Rüzgar Ortalamaları Toplamı	78
Şekil 5.2 : 10 Bölgenin Toplam Rüzgar Enerjisi Üretimi	80
Şekil 5.3 : Günlük Ortalama Rüzgar Enerjisi Üretimi	82
Şekil 5.4 : 10 Bölgenin Rüzgar Enerjisi Üretiminin Farklı Fiyat Tarifeleri ile Değerlendirilmesi	85
Şekil 5.5 : Farklı Tarifeler ile Kazanç Hesabı	87
Şekil 5.6 : 10 Bölgenin Farklı Enerji Depolama Teknikleri ile Toplam Ekonomik Kazanç	89
Şekil 5.7 : 2007 yılı Türkiye Saatlik Ortalama Elektrik Enerjisi Talebi	90

Şekil 5.8 : Model 1 ve Model 2 için Blok Gösterim	89
Şekil 5.9 : 40777 MW RES Kurulu Gücü ile Enerji Üretim Dengesi - Model 1 Hesaplama Sonuçları	90
Şekil 5.10 : 78144 MW RES Kurulu Gücü ile Enerji Üretimi Dengesi – Model 2 Hesaplama Sonuçları	91
Şekil 5.11 : Model 3 Blok Gösterimi	92
Şekil 5.12 : 80097 MW RES Kurulu Gücü, %70 Enerji Depolama Verimi ve %2,5 İletim Kaybı ile Enerji Üretimi Dengesi - Model 3 Hesaplama Sonuçları	93

SEMBOL LİSTESİ

r	: Korelasyon katsayısı
X	: Korelasyon hesabı birinci değer
Y	: Korelasyon hesabı ikinci değer
$\bar{P}_i$	: Yıllık ortalama güç yoğunluğu (W/m ²)
ρ_i	: Yıllık ortalama hava yoğunluğu (kg/m ³)
n	: Ortalama alınan sürede yapılan gözlem sayısı
V_i	: Gözlem zamanındaki rüzgar hızı (m/s)
E_s	: Depolanan Enerji (kgm/s ²)
V	: Pompalanan su miktarı(m ³)
d	: Suyun yoğunluğu (1000kg/m ³)
g	: Yerçekimi ivmesi (9,8 m/s ²)
h	: Havuzlar arasındaki yükseklik mesafesi(m)
$F(V_i)$	: Rüzgarın “ V_i ” hızında esme olasılığı
V_i	: Rüzgar Hızı (m/s)
C	: REPA’dan hesap edilen, Weibull-c ölçek parametresi (m/s)
k	: REPA’dan hesap edilen Weibull-k şekil parametresi
$PT(V_i)$	: RES alanında kullanılacak türbinin her bir rüzgar hızındaki gücü (MW)
ρ	: RES alanının yıllık ortalama hava yoğunluğu (kg/m ³)
P	: Rüzgar türbininin RES alanındaki ortalama gücü (MW)
E	: RES alanındaki türbinin yıllık elektrik üretim miktarı (MWh)
V_{h2}	: h_2 yüksekliğindeki rüzgar hızı
V_{h1}	: h_1 yüksekliğindeki rüzgar hızı
h_2	: Rüzgar hızının hesaplanacağı yükseklik
h_1	: Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik
α	: Yeryüzü pürüzlülük katsayısı

RÜZGAR ENERJİSİ VE TÜRKİYE RÜZGAR POTANSİYELİ RÜZGAR ENERJİSİNDE DEĞİŞKEN VE SABİT FİYAT TARİFELERİ VE ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ

ÖZET

Günümüzde rüzgar enerjisinden elektrik üretimi her geçen yıl artmaktadır. Başta Danimarka, Almanya, İspanya ve ABD olmak üzere bir çok ülke teşvikler ve yatırımlar ile rüzgar enerjisi üretimini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin büyük olduğu bilinmektedir. Fakat bazı teknik sorunlar nedeniyle rüzgar enerjisi gücü artışına kısıtlama getirilmektedir. Rüzgar enerjisi üretimi yoğun olan yerlerde, enerji depolama teknolojileri kullanımı elektrik şebekesine enerji kalitesi ve rüzgar enerjisine kısıtlama getiren teknik sorunlara yararlı olabilir. Türkiye elektrik enerjisi piyasasında, birim enerji bedeli günün saatine göre ve bazen mevsime göre farklı değerler alabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye'de seçilmiş 10 bölge için rüzgar enerjisi potansiyeli Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DMİ) 2003-2008 arası yaptığı 10 metre yükseklikteki ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı verileri kullanılarak incelenmiş ve bu bölgelerin rüzgar enerjisi üretimi hesaplanmıştır. Bu rüzgar enerjisi üretimi ile, Türkiye elektrik piyasasındaki farklı elektrik fiyatları ile ekonomik değerlendirme hesabı yapılmıştır. Bu seçilmiş 10 bölge için enerji depolama teknolojisi tesisleri kurulma ihtimalleri ve farklı enerji depolama verimleri ile ekonomik kazanç olasılıkları incelenmiştir. 10 bölgenin rüzgar enerjisi üretimi karakteristiği, Türkiye rüzgar enerji üretimi kabul edilerek, Kurulu rüzgar enerjisi gücünün Türkiye kurulu gücüne eşit olması ve rüzgar enerjisi üretiminin Türkiye elektrik enerjisi talebine eşit olması durumları için enerji üretim ve tüketimi dengesi analizleri yapılmıştır.

WIND ENERGY AND TURKEY WIND POTENTIAL VARIABLE AND CONSTANT PRICING OF WIND ENERGY AND ENERGY STORAGE TECHNICS

SUMMARY

Nowadays electric energy production from wind energy is increasing every year. Many countries, especially Denmark, Germany, Spain and USA, are trying to increase the wind power production in their country with some investments and financial motivations. It is known that Turkey has a great wind energy potential. But because of some technical issues wind energy plants building is limited. Constructing energy storage technology facilities near to the areas which are highly wind potential, can be good for energy quality of electric grid and can also be a solution for the problems which caused limitation. In Turkey electric energy market, energy cost can be variable according to the season and the time of the day.

Within the scope of this study, wind energy potential of 10 chosen areas in Turkey is analyzed with hourly average wind data from State of Meteorological Works General Directorate (SMW) measured in 10 m height between 2003 and 2008 and wind energy production calculated for these areas. For these wind energy productions, economic gain calculation is simulated for different electric price costs in Turkish electric market. Energy storage technology applications opportunities are examined and economical gain possibilities for different energy storage efficiencies are investigated. Wind power production characteristic of these 10 areas is assumed to the wind power production characteristic of Turkey. Then electric energy production and demand balance are simulated for if the wind energy power is equal to the installed power capacity of Turkey and if the wind energy production is equal to the total electric energy demand of Turkey.

1. GİRİŞ

Dünyanın enerjiye olan ihtiyacı her geçen sene artmaktadır. Fosil yakıtlarının tükenmesi ve çevreye zarar vermesi nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklara gelişmiş ülkeler tarafından çok önem verilmektedir. Rüzgar Enerjisi, yenilebilir enerji türleri arasında teknoloji ve denenmiş projeler bakımından en uygun olanıdır. 2007 sonunda Dünya Rüzgar Enerjisi Santralleri toplam kurulu gücü 94GW güce çıkmıştır[1]. Danimarka, Almanya ve İspanya elektrik talebinin önemli bir bölümünü rüzgar enerjisinden karşılamak için yatırım ve teşvikler uygulamaktadırlar[2].

Türkiye’de yapılan REPA [3] çalışması Türkiye rüzgar potansiyelinin, iyi ve üstü rüzgar potansiyeli sınıfları ile 47849 MW ve orta ve üstü rüzgar potansiyeli sınıfları ile 131756 MW olduğu hesaplanmıştır. Ülkemizde Rüzgar Enerji Santrali(RES) kurmak için, önemli sayıda başvuru yapılmıştır. 1 Kasım 2007’de toplam 77871 MW gücünde 751 adet RES başvuru yapılmıştır. Türkiye mevcut kurulu gücünün 40777 MW olduğu düşünülürse, bu başvuruların ne kadar büyük olduğu görülebilir.

Rüzgar Enerji Santrallerinin kontrol edilememesi ve elektrik şebekesine yapması muhtemel olumsuz etkiler nedeniyle, RES kurulumları bazı teknik şartlar ile sınırlandırılmaktadır[4]. Rüzgar enerjisinin süreksiz olması, başka enerji kaynaklarının yedek olarak bekletilmesini gerektirmektedir [4].

2005 yılında yürürlüğe giren 5346 nolu Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununda Rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisine 5 ile 5,5 Eurocent/KWh fiyat belirlemiştir. Ancak 5,5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan RES, bu imkandan yararlanmalarına olanak sağlanmıştır[5]. Serbest Piyasa fiyatlarının günün çoğu saatinde daha yüksek olması nedeniyle bir çok RES ürettiği enerjiyi serbest piyasada satmaya çalışmaktadır. Bu tezin inceleme konularından bir tanesi de, sabit fiyat ve serbest piyasa arasında oluşan fiyat farkları ve bu fiyat farklarından oluşan kazanç farkının hesaplanmasıdır. Bu nedenle klasik rüzgar gücü ve kazanç hesabı yerine, yeni bir rüzgar enerjisi kazanç hesap yöntem geliştirilmiştir.

Enerji Depolama teknolojileri, uzun yıllardan beri bilinmesine rağmen, özellikle son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Enerji Depolama teknolojileri kullanılarak elektrik şebekesinin güç kalitesi ve kararlılık performansının yükseltilmesi ve ekonomik karlılık elde edilmesi için kullanılabilir[6]. Uygun depolama teknikleri kullanılarak, yenilenebilir enerjilerden teknik sorun azaltılabilir ve elektrik şebekesi içindeki yoğunluğu artırabilir[7]. Rüzgar enerjisi ile beraber çalışan depolama teknolojileri dünyada önemli çalışmalar ve projeler yapılmaktadır.

Bu tezin amacı, Türkiye Rüzgar Potansiyelinin incelenmesi, Türkiye Rüzgar karakteristiği ile Türkiye Elektrik Enerjisi talebi karşılaştırması, değişken ve sabit elektrik fiyatı ile çeşitli enerji depolama teknikleri ile ekonomik karlılık analizi yapılmasıdır. Bu kapsamda, Türkiye'nin 10 bölgesi için rüzgar potansiyeli incelemesi yapılmıştır. Bu bölgelerin sabit fiyat ve değişken fiyat ile kazanç miktarları hesaplanmıştır. Bu bölgelerde elde enerji için depolama teknolojileri kullanılması ve böylece elde edilecek ekonomik karlılık hesaplaması yapılmıştır.

2. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

2.1 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi

Kullanım kolaylığı, istenildiği anda diğer enerji türlerine dönüştürülebilmesi günlük hayattaki yaygınlığıyla, bugün elektrik enerjisi tüketimi ülkelerin gelişmişlik düzeyinin en önemli göstergelerinden biridir[8].

19.yüzyılın sonlarında bulunup öncelikle aydınlatmaya dönük olarak insanlığın kullanımına sunulan elektrik enerjisini elde etmek için artan gereksinim sonucunda birincil kaynakların yanı sıra yeni ve yenilenebilir kaynaklar, rüzgar, güneş, biomas ve benzeri kaynakların da değerlendirilmesine başlanmıştır[8].

Elektrik enerjisinin Dünya’da günlük hayatta kullanılmaya başlaması 1878 yılında olmuştur. İlk elektrik santrali ise 1882’ de Londra’da hizmete girmiştir. Ülkemizde kurulan ilk elektrik üreticisi ise, 1902 yılında Tarsus’ta tesis edilen, bir su değirmenine bağlanmış 2 kW gücündeki bir dinamodur. İlk büyük santral ise 1913 yılında İstanbul Silahtarağa’da kurulmuştur[8].

İstiklal Savaşı sonucu 1923 yılında kurulan Türkiye Cumhuriyeti’ne kadar kurulu güç 33 MW iken bugün 859 kat artarak 28332 MW’a ulaşmıştır.1923 yılında 45 milyon olan üretimimiz ise 2727 kat artarak bugün 122.7 milyar kWh’a ulaşmıştır. Bu da Türkiye nüfusunun %99.9’unun elektrik enerjisinden yararlanması anlamına gelmektedir[8].

1935 yılına gelindiğinde, Etibank,Maden Tetkik ve Arama (MTA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi(EİİE) kurulmuş, daha sonra İller Bankası ve Devlet Su İşleri (DSİ) devreye girmiştir. Bu tarihte kurulu güç 126.2 MW, üretim 213 milyon kWh, elektrikleştirilmiş il merkezi sayısı da 43 dür[8].

1948 yılında Çatalağzı Termik Santrali devreye girmiş ve 1952 yılında 154 kV’luk bir iletim hattı ile İstanbul’a elektrik takviyesi yapılmıştır.

Üretim aşamasındaki gelişmeler iletim aşamasında da gerçekleştirilerek ülkemizi bir baştan bir başa, enterkonnekte bir biçimde enerji hatları ile örmüş, bu hatları da değişik güçte ve tipte binlerce trafo ile donatmış bulunmaktayız[8].

1950'li yıllarda Devlet ve özel sektör eliyle santraller yapılmaya ve İşletilmeye başlanmıştır. Bunlar İmtiyazlı şirket olarak kurulan Adana ve İçel yöresine elektrik veren Çukurova Elektrik A.Ş. (ÇEAŞ) ile Antalya yöresine elektrik veren Kepez Elektrik A.Ş.'dir. 1950 yılının başında kurulu gücümüz 407.8 MW'a, üretimimiz 789.5 milyon kW'a ulaşmıştır.

1970 yılına gelindiğinde; artan üretim, dağıtım ve tüketim miktarı ve hizmetin yaygınlaşması, kurumsal bir yapıyı zorunlu kılmış ve TEK (TÜRKİYE ELEKTRİK KURUMU) kurulmuştur. Böylelikle, Belediyeler ve İller Bankası dışında bütünlük sağlanmıştır. Bu tarihte de kurulu gücümüz 2234.9 MW, üretimimiz 8.6 milyar kWh seviyelerine yükselmiştir[8].

1970-1980 tarihleri arasındaki yıllarda, Dünya'daki enerji krizinden Türkiye'de etkilenmiş, termik santrallerin yakıtlarının, çoğunlukla dışa bağımlı olmasından arz ve talep dengesi bozulmuş, dolayısıyla zorunlu enerji kısıtlamalarına başvurulmuştur. Bütün bu olumsuzluğa karşın, Türkiye kurulu gücü 1980 yılında 5118.7 MW, üretimi de 23.3 milyar kWh değerlerine ulaşmıştır[8].

1982 yılında Belediyeler ve Birliklerin ellerindeki elektrik tesisleri TEK'e devredilmiş, bundan böyle tüm satışların, köy satışları da dahil olmak üzere TEK tarafından yapılması sağlanmıştır. Bu tarihte kurulu gücümüz 6638.6 MW, üretimimiz 26.6 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 1970 yılında toplam köy sayısının %7'si elektrikleştirilmişken, 1982 yılına gelindiğinde bu oran %61'e ulaşmıştır [8].

1984 yılında, enerji sektöründeki TEK tekeli kaldırılmış, gerekli izinli alınarak kurulacak özel sektör şirketlerine de enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı konusunda olanaklar sağlanmıştır. Ayrıca yine bu yılda TEK'in hukuki bünyesi, organları ve yapısı düzenlenerek bir Kamu İktisadi Kuruluşu hüviyetine kavuşması sağlanmıştır [8].

1988-1992 yıllarında, elektrik sektöründe kendi yasal görev bölgesi içinde elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve ticaretini yapmak üzere 10 kadar sermaye şirketi

görevlendirilmiştir. Aynı zamanda imtiyazlı şirketlerden olan ÇEAŞ ve KEPEZ A.Ş.'lerine de kendi görev bölgelerinde elektrik üretim, dağıtım ve ticaretini yapma görevi verilmiştir [8].

Türkiye Elektrik Kurumu kuruluşundan 23 yıl sonra, çıkarılan 13.8.1993 gün ve 513 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ilgisi devam etmek üzere özelleştirme kapsamına alınmıştır. Bu düzenlemenin bir devamı olarak da Bakanlar Kurulunun 93/4789 Sayılı Kararı ile Kurum.” Türkiye Elektrik Üretim, İletim A.Ş.” (TEAŞ) ve ” Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.” (TEDAŞ) adı altında iki ayrı İktisadi Devlet Teşekkülüne ayrılmıştır[8].

Enerji sektörünün yeniden yapılanmasına yönelik olarak 3 Mart 2001 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreye uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması amaçlanmaktadır [8].

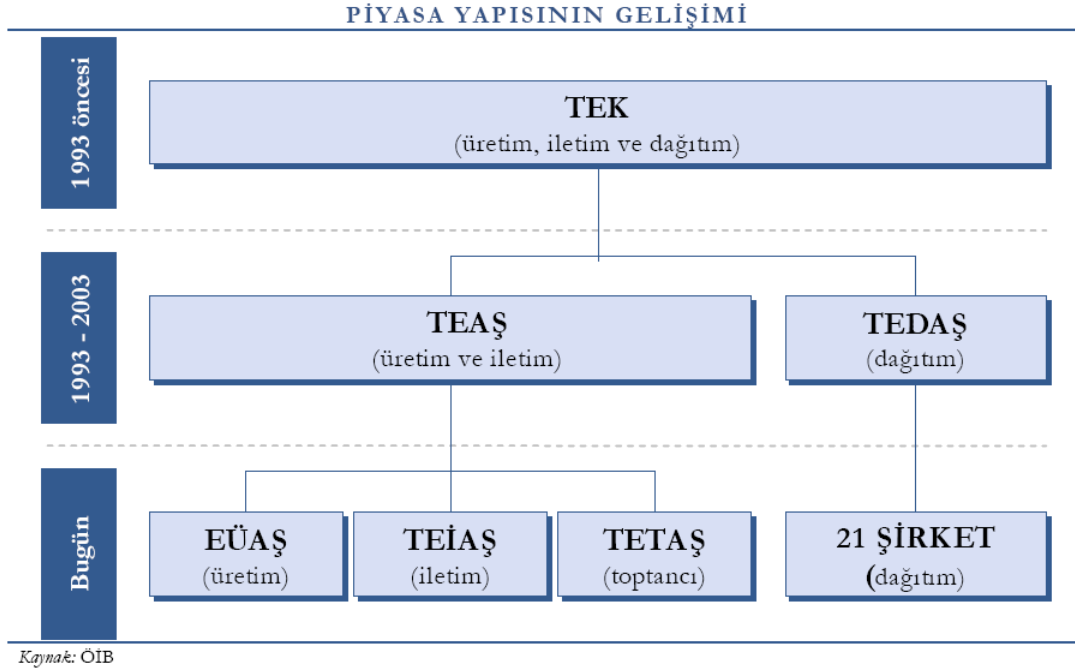
Bu kanun, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı ve perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulunun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsamaktadır [8].

Bakanlar Kurulu’nun 2 Mart 2001 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan 05.02.2001 tarih 2001/2026 sayılı kararı ile, Kuruluşumuzun Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi(TEİAŞ), Elektrik Üretim Anonim Şirketi(EÜAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi(TETAŞ) olacak şekilde üç ayrı İktisadi Devlet Teşekkülü olarak yeniden teşkilatlandırılması kararlaştırılmıştır[8].

Bu karar doğrultusunda 1.10.2001 tarihi itibarıyla faaliyete geçen TEİAŞ, yeni piyasa yapısı içinde temel görevleri, üretilen elektriğin tüketim noktalarına kadar iletilmesini sağlayan iletim tesislerinin tesis ve işletilmesi, elektrik sisteminin işletilmesi, bir başka deyişle yük dağıtım, yeni piyasa yapısına uygun bir iletişim alt yapısının oluşturulması ve piyasanın tam olarak açılmasına bağlı olarak piyasanın

işletilmesi yani, piyasadaki mali dengeleme ve uzlaştırma faaliyetlerinin yürütülmesi olarak belirlenmiştir [8].

2.2 Türkiye Elektrik Piyasası Yapısı



Şekil 2.1 : Türkiye Elektrik Yapısı Gelişimi [9]

2.2.1 Üretim faaliyeti gösterebilecek tüzel kişiler

Özel sektör üretim şirketleri, Elektrik Üretim Anonim Şirketi ve bağlı ortaklıkları, Elektrik Üretim Anonim Şirketinin yeniden yapılandırılmasıyla oluşan diğer kamu üretim şirketleri ile otoprodüktör ve otoprodüktör gruplarıdır. Özel sektör ve kamu üretim şirketleri, lisansları uyarınca gerçek ve tüzel kişilere elektrik enerjisi ve/veya kapasite satışı yapar[10].

Elektrik Üretim Anonim Şirketi; DSİ bünyesindeki üretim tesislerini devralır, TEAŞ' dan devralınan ve özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilere devri yapılmamış üretim tesislerini kendisi ve/veya bağlı ortaklıkları ile Elektrik Üretim Anonim Şirketinin yeniden yapılandırılmasıyla oluşan diğer kamu üretim şirketleri vasıtasıyla işletir ya da gerektiğinde sistemden çıkarır [10].

Özel sektör üretim şirketleri; sahip oldukları, finansal kiralama yoluyla edindikleri veya işletme hakkını devraldıkları üretim tesisi ya da tesislerinde elektrik enerjisi üretimi ve satışı ile iştigal eden özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilerdir [10].

Herhangi bir gerçek kişinin ya da özel sektör tüzel kişinin kontrol ettiği üretim şirketleri aracılığıyla sahip olacağı toplam elektrik enerjisi kurulu gücü, bir önceki yıla ait yayımlanmış Türkiye toplam elektrik enerjisi kurulu gücünün yüzde yirmisini geçemez[10]. Bir otoprodüktör ya da otoprodüktör grubu, bir takvim yılı içerisinde lisanslarına derç edilen yıllık ortalama elektrik enerjisi üretim miktarının yüzde yirmisini piyasada satabilir. Arz güvenliği açısından ihtiyaç duyulacak hallere münhasır olmak üzere, Kurul bu oranı artırabilir [10].

2.2.2 İletim faaliyeti gösterebilecek tüzel kişiler

Elektrik enerjisi iletim faaliyetleri Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi tarafından yürütülür. Kamu mülkiyetindeki tüm iletim tesislerini devralmak, kurulması öngörülen yeni iletim tesisleri için iletim yatırım planı yapmak, yeni iletim tesislerini kurmak ve işletmek, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketinin görevidir[10].

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi; iletim, bağlantı ve sistem kullanım tarifelerini ve şebeke yönetmeliğini hazırlar, revize eder, denetler ve yük dağıtımı ile frekans kontrolünü gerçekleştirir, iletim sisteminde ikame ve kapasite artırımı yapar, gerçek zamanlı sistem güvenilirliğini izler, sistem güvenilirliğini ve elektrik enerjisinin öngörülen kalite koşullarında sunulmasını sağlamak üzere gerekli yan hizmetleri belirler.

2.2.3 Dağıtım faaliyeti gösterebilecek tüzel kişiler

Elektrik enerjisi dağıtım faaliyetleri, dağıtım şirketleri tarafından lisanslarında belirlenen bölgelerde yürütülür. Dağıtım şirketleri, bulundukları dağıtım bölgesinde, başka bir tedarikçiden elektrik enerjisi ve/veya kapasite temin edemeyen tüketiciler bulunması halinde, perakende satış lisansı alarak bu tüketicilere perakende satış yapmak ve/veya perakende satış hizmeti vermekle yükümlüdür. Dağıtım şirketleri, bölgelerinde, başka perakende satış şirketi ve/veya şirketleri bulunsa dahi perakende satış lisansı almak suretiyle tüketicilere perakende satış yapabilir ve/veya perakende satış hizmeti verebilir[10].

Lisanslarında belirtilen bölgelerdeki dağıtım tesislerini işleten ve/veya sahip olan dağıtım şirketleri, bu tesislerin yenileme, ikame ve kapasite artırım yatırımlarını yapar, dağıtım sistemine bağlı ve/veya bağlanacak olan serbest tüketiciler dahil tüm sistem kullanıcılarına, dağıtım lisanslarının hüküm ve şartları ve dağıtım yönetmeliği

hükümleri doğrultusunda ve yönetmelikte belirlenecek süreler içinde eşit taraflar arasında ayırım gözetmeksizin elektrik enerjisi dağıtımı ve bağlantı hizmeti sunar[10].

2.2.4 Toptan satış faaliyeti gösterebilecek tüzel kişiler

Toptan satış faaliyetleri, Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi ve özel sektör toptan satış şirketleri tarafından, bu Kanun, ilgili yönetmelikler, lisanslar, şebeke yönetmeliği, dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği ve ikili anlaşmalar uyarınca yürütülür[10].

Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi, mevcut sözleşmeler kapsamında imzalanmış olan enerji alım ve satış anlaşmalarını TEAŞ'dan ve TEDAŞ'dan devralır. Mevcut imtiyaz ve uygulama sözleşmeleri kapsamında enerji alım ve satış anlaşmaları imzalayabilir, dağıtım şirketlerine karşı üstlendiği enerji alım ve satım taahhütleri ile sınırlı kalmak üzere, bir yılı aşmamak ve Kurul tarafından onaylanmak kaydıyla enerji alım anlaşmaları ve Hükümetler arası anlaşmalar kapsamında elektrik enerjisi ithalat ve/veya ihracat anlaşmaları imzalayabilir[10].

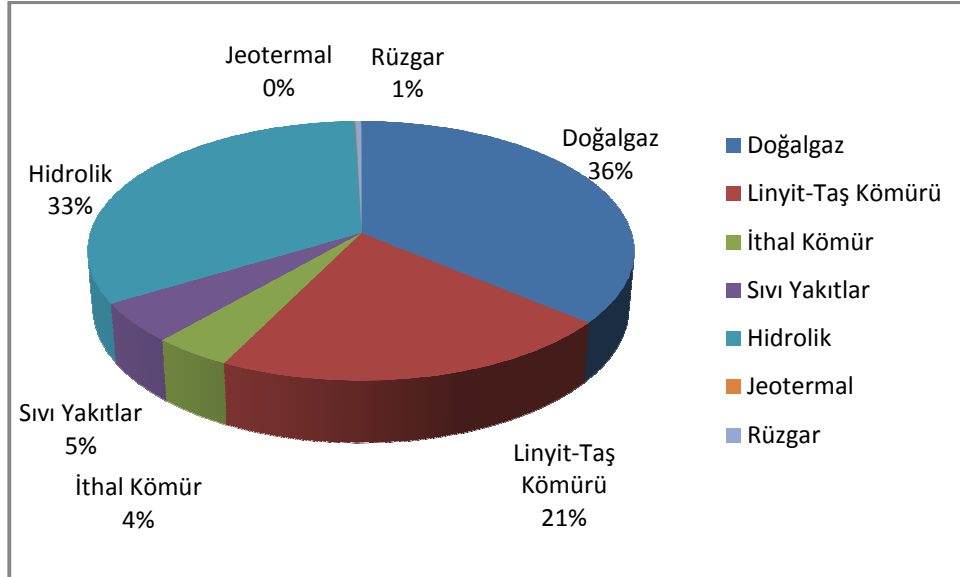
Herhangi bir gerçek kişinin ya da özel sektör tüzel kişinin kontrol ettiği toptan satış şirketleri aracılığıyla toptan satışını yapabilecekleri elektrik enerjisi miktarı, piyasada bir önceki yılda tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarının yüzde onunu geçemez[10].

2.2.5 Perakende satış faaliyeti gösterebilecek tüzel kişiler

Elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin perakende satışını ve/veya perakende satış hizmetini içeren faaliyetler, bu Kanun, ilgili yönetmelikler, lisanslar, müşteri hizmetleri yönetmeliği ve dağıtım yönetmeliği hükümleri uyarınca perakende satış şirketleri ve perakende satış lisansı almış dağıtım şirketleri tarafından yürütülür[10].

Çizelge 2.1 : Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Dağılımı [11]

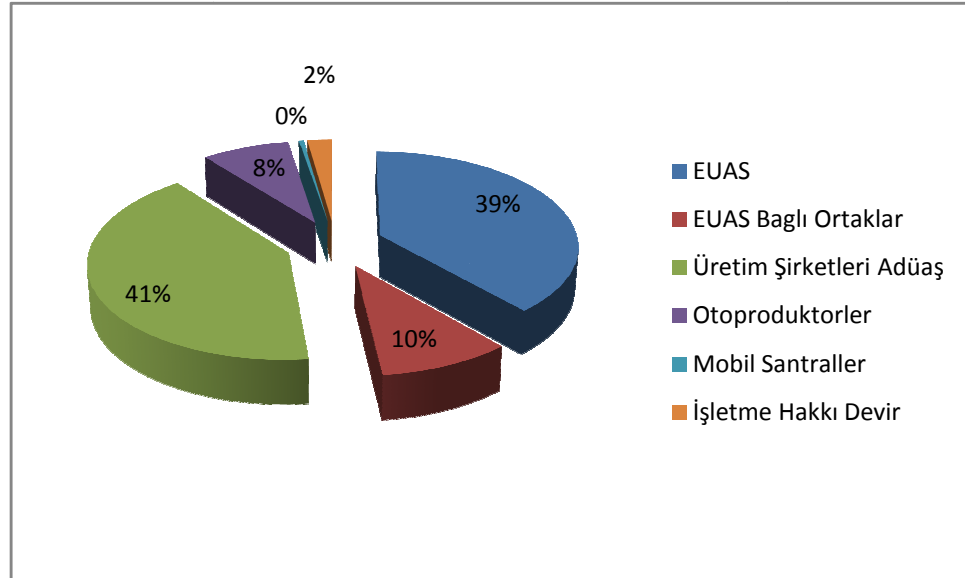
<i>Kurulu Güç (MW)</i>	<i>EÜAŞ</i>	<i>Diğer</i>	<i>Türkiye Toplam</i>
Termik	12524,9	14746,75	27271,69
Hidrolik	11348,8	2044,57	13393,43
Jeotermal	-	22,95	22,95
Rüzgar	-	146,25	146,25
Toplam	23873,8	16960,52	40834,32



Şekil 2.4 : Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı [11]

Çizelge 2.2 : Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Kuruluşlara Göre Dağılımı [11]

EÜAŞ	73839,2	%38,55
EUAS Bağlı Ortaklar	18488	%9,65
Üretim Şirketleri	78841	%41,16
ADÜAŞ		
Otoprodüktörler	15325	%8,00
Mobil Santraller	797,3	%0,42
İşletme Hakkı Devir	4267,5	%2,23
Türkiye Toplam	191558	%100,00



Şekil 2.5 : Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Kuruluşlara Göre Dağılımı[11]

2007 yılında Türkiye kurulu gücü 27212,3 MW Termik , 13394,9 MW Hidrolik , 170,1 Rüzgar ve Jeotermal kaynaklardan olmak üzere toplam 40777,3 MW'dır[12]. Kurulu Gücün Kaynaklara Gelişimi EK-A' de verilmiştir.

2007 yılında Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Kuruluşlarına Göre Dağılımı, EÜAŞ 73839,2 MWh, EÜAŞ'ın bağlı ortaklıkları , Üretim Şirketleri ve ADÜAŞ 78840,5 MWh, Otoprodüktörler

15325,4 MWh, Mobil Santraller 797,3 MWh, İşletme hakkı devredilen santraller 4267,5 MWh tarafından üretilmiştir [12]. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimin Kuruluşlara Göre Yıllar İtibariyle Gelişimi, EK-B' de gösterilmiştir.

2.3 Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu ve Serbest Piyasa

2.3.1 Enerji piyasa düzenleme kurumu

Türkiye, 1980'li yılların başından beri sürdürülen “Enerji Sektörü Reformu” kapsamında, elektrik piyasasında serbestleşmeyi öngören bir sürecin içerisinde bulunmaktadır. Elektrik piyasasına özel sektörün katılımını sağlayan hukuki düzenlemeler ile, elektrikte tekel durumundaki kamu şirketi olan Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), bu reform çerçevesinde, 1993 yılında elektriğin üretimi ve iletimi faaliyetlerini yürütmek üzere Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve elektriğin dağıtım faaliyetlerini yürütmek üzere Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olarak yapılandırılmıştır. Daha sonra 2001 yılında TEAŞ'da da faaliyet ayrıştırması yapılmıştır[13].

4628 sayılı Yasa ile Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu kurulmuş, daha sonra 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu ile de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu adını almıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu 19.11.2001 tarihinde görevine başlamıştır. Bu Kanunların amacı; elektriğin, doğal gazın, petrolün ve LPG'nin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir enerji piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır.

Türkiye, Avrupa Birliği müktesebatı ile uyumlu olarak elektrik piyasasında tam serbestleşmeye karar vermiştir. Bu kapsamda, serbest elektrik piyasasının hukuki çerçevesini belirleyen, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu 3 Mart 2001 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Kanun hükümleri çerçevesinde, elektriğin üretimi, iletimi ve toptan satışı faaliyetlerini yürüten TEAŞ'ın faaliyet ayrıştırması gerçekleştirilmiş, bu ayrıştırma çerçevesinde elektriğin üretimi faaliyetini gerçekleştirmek üzere Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), iletim faaliyetini gerçekleştirmek üzere Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve toptan satış faaliyetini gerçekleştirmek üzere Türkiye Elektrik

Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) olmak üzere üç kamu iktisadi teşekkülü kurulmuştur. Böylece elektriğin üretimi, iletimi, dağıtımı ve ticareti faaliyetlerinin, hukuki veya hesap ayırıştırması yoluyla birbirinden ayrılması sağlanmıştır[13].

2.3.2 Elektrik Piyasası Düzenleme Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği

EPDK'nın serbest piyasa sistemi kurmadaki amacı; aktif elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı dengelenmesi ve uzlaştırmanın gerçekleştirilmesine ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir. Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği [14] gibi; dengeleme ve uzlaştırma sisteminin taraflarının görev, yetki ve sorumlulukları ile aktif elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı olarak dengelenmesine ve lisans sahibi tüzel kişilerin dengeleme ve uzlaştırma sistemine katılımları sonucu oluşan alacak ve borçlarının mali açıdan uzlaştırılmasına ilişkin usul ve esasları kapsar.

TEİAŞ bünyesinde yer alan ve elektrik enerjisi arz ve talebinin gerçek zamanlı olarak dengelenmesinden sorumlu birimini olan Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM); tarafından dengeleme sistemi katılımcılarına bildirilen yük alma veya yük atma talimatları, dengeleme ve uzlaştırma sistemi kapsamında, arz ve talebin gerçek zamanlı olarak dengelenmesi amacıyla verilen talimatların içerir[14].

MYTM tarafından, her gün saat 12:³⁰'a kadar, bir sonraki güne ait talep tahmini, tüm dengeleme sistemi katılımcılarına duyurulur[14].

Otoprodüktör ve otoprodüktör grubu, Organize Sanayi Dağıtım, perakende, toptan ve üretim lisansına sahip Dengeleme Sistemi katılımcıları, yani tedarikçiler her gün saat 14:³⁰'a kadar, bildirinin yapıldığı günü izleyen gün saat 00:⁰⁰ ile 24:⁰⁰ saatleri arasındaki 24 saatlik dönemi kapsayan Günlük Üretim Planı, teknik parametreleri ve her bir uzlaştırma dönemine ait ayrı ayrı yük alma ve yük atma teklif fiyatları MYTM'e bildirir[14].

MYTM; saat 16:⁰⁰'ya kadar her bir dengeleme birimi için Kesinleşmiş Günlük Üretim Planı(KGÜP) ve kabul edilen yük alma ve yük atma tekliflerine ilişkin talimatları, ilgili dengeleme sistemi katılımcısına bildirir[14].

Aşağıdaki üretim tesisleri dengeleme birimi olma yükümlülüğünden muaf olup, ilgili piyasa katılımcısı tarafından talep edilmesi ve MYTM tarafından uygun bulunması halinde dengeleme birimi olabilirler:

- a) Kanal veya nehir tipi hidroelektrik üretim tesisleri,
- b) Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri,
- c) Güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri,
- d) Dalga enerjisine dayalı üretim tesisleri,
- e) Gel-git enerjisine dayalı üretim tesisleri,

f) Bölgesel ısıtma ve müşterilerine ısı ve buhar sağlama taahhütleri ile sınırlı olarak tesis toplam verimliliği yüzde yetmişin üzerinde olan kojenerasyon tesisleri ile aynı taahhütleri bulunan jeotermal üretim tesisleri[14].

Sistemin tamamında arz ve talebin bir gün sonrası için dengelenmesi amacıyla verilen talimatların etiket değeri 0 (sıfır), diğer tüm talimatların etiket değeri 1 (bir) olarak MYTM tarafından belirlenir. Bir talimatın, her iki amaçla da ilişkili olması durumunda, talimata, MYTM tarafından en çok ilişkili olduğu sebeple ilgili talimat etiket değeri verilir. Etiket değeri 1 (bir) olan bir yük alma veya yük atma talimatına ilişkin teklif fiyatının ilgili saate ait marjinal fiyatın altında olması durumunda, talimatın uzlaştırılması için marjinal fiyat esas alınır. Uzlaştırmaya esas olmak üzere sistemin tamamında arz ve talebin gerçek zamanlı olarak dengelenmesi amacıyla verilen yük alma ve yük atma talimatları, ilgili mevzuat gereğince MYTM tarafından gerçekleştirilen diğer faaliyetler kapsamında verilen yük alma ve yük atma talimatlarından ayrı olarak değerlendirilir[14].

Piyasa Uzlaştırma fatura dönemi üç uzlaştırma döneminden oluşur. Bu uzlaştırma dönemleri;

- a) 06.⁰⁰ – 17.⁰⁰,
- b) 17.⁰⁰ – 22.⁰⁰,
- c) 22.⁰⁰ – 06.⁰⁰.

2.3.2.1 Saatlik Sistem Marjinal Fiyatının Hesaplanması

Sistemde enerji açığı oluştuğunda,

$$SMF_s = \max(YAL1_{t,s}^0, YAL2_{t,s}^0) \quad \forall YAL1_{t,s}^0; YAL2_{t,s}^0 \text{ için } t=1,2,..n \quad (2.1)$$

Sistemde enerji fazlası oluştuğunda,

$$SMF_s = \min(YAT1_{t,s}^0, YAT2_{t,s}^0) \quad \forall YAT1_{t,s}^0; YAT2_{t,s}^0 \text{ için } t=1,2,..m \quad (2.2)$$

n “s” saat içerisinde yük alma teklifleri etiket değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilen dengeleme birimi sayısını,

m “s” saat içerisinde yük atma teklifleri etiket değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilen dengeleme birimi sayısını,

SMFs “s” saat için Saatlik Sistem Marjinal Fiyatını (TL/MWh),

$YAL1_{t,s}^0$ “s” saat içerisinde etiket değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilen yük alma teklif miktarı bulunan, “t” dengeleme biriminin 0 (sıfır) MW’dan Minimum Kararlı Üretim Düzeyi (MKÜD)’ne kadar yük almak için geçerli, saatlik yük alma teklif fiyatını (TL/MWh),

$YAL2_{t,s}^0$ “s” saat içerisinde etiket değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilen yük alma teklif miktarı bulunan, “t” dengeleme biriminin, MKÜD’ün üzerinde yük almak için geçerli, saatlik yük alma teklif fiyatını (TL/MWh),

$YAT1_{t,s}^0$ “s” saat içerisinde etiket değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilen yük atma teklif miktarı bulunan, “t” dengeleme biriminin, MKÜD’den 0 (sıfır) MW’a kadar yük atmak için geçerli, saatlik yük atma teklif fiyatını (TL/MWh),

$YAT2_{t,s}^0$ “s” saat içerisinde etiket değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilen yük atma teklif miktarı bulunan, “t” dengeleme biriminin MKÜD’e kadar yük atmak için geçerli, saatlik yük atma teklif fiyatını (TL/MWh),

ifade eder[14].

2.3.2.2 Sistem Dengesizlik Fiyatının Hesaplanması

Bir fatura dönemi içindeki her bir uzlaştırma dönemi için Sistem Dengesizlik Fiyatı (TL/MWh) aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$SDF_u = \frac{\sum_{s=1}^n \left(SMF_s \times \sum_{t=1}^m KEYM_{t,s}^0 \right)}{\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^m KEYM_{t,s}^0} \quad (2.3)$$

Bu formülde geçen;

SDFs Bir fatura dönemi içindeki “u” uzlaştırma dönemi için Sistem Dengesizlik Fiyatını (TL/MWh),

SMFs 60 ıncı madde uyarınca hesaplanan, Saatlik Sistem Marjinal Fiyatını (TL/MWh),

$KEYM_{t,s}^0$ hesaplanan, “t” dengeleme biriminin, sistem marjinal fiyatını belirleyen üretim faaliyeti gösteren tüzel kişiler ile aynı yönde ve etiket değeri 0 (sıfır) olan, saatlik kabul edilen yük teklif miktarını (MWh),

n “u” uzlaştırma dönemi içerisindeki saat sayısını,

m “u” uzlaştırma dönemi içerisindeki sistem marjinal fiyatını belirleyen üretim faaliyeti gösteren tüzel kişiler ile aynı yönde ve etiket değeri 0 (sıfır) olarak yük alma veya yük atma teklifi “s” saat içerisinde kabul edilen dengeleme birimi sayısını,

ifade eder[14].

2.3.2.3 2007 ve 2008 Serbest Piyasa Fiyatları

Bir sonraki sayfada 28.07.2008 tarihli günlük PMUM raporu verilmiştir.

Çizelge 2.3 : 28.07.2007 PMUM Raporu [15]

<i>Gün</i>	<i>Saat</i>	<i>Günlük Üretim Planı (MWh)</i>	<i>Enerji açığı (MWh)</i>	<i>Enerji Fazlası (MWh)</i>	<i>Sistem Marjinal Fiyat (YTL/ MWh)</i>	<i>Enerji açığı nedeniyle verilen 0 kodlu Yük Alma Talimatı Miktarı (MWh)</i>	<i>Enerji açığı nedeniyle verilen 0 kodlu Yük Atma Talimatı Miktarı (MWh)</i>	<i>Sistem Kısıtı nedeniyle verilen 1 kodlu Yük Alma Talimatı Miktarı (MWh)</i>	<i>Sistem Kısıtı nedeniyle verilen 1 kodlu Yük Atma Talimatı Miktarı (MWh)</i>
28.07.2007	1	16.274,20	5.194,00	0,00	153,46	2.868,50	0,00	2.206,90	247,00
28.07.2007	2	16.238,20	4.037,40	0,00	152,55	2.214,40	0,00	1.617,00	24,00
28.07.2007	3	15.964,20	3.324,40	0,00	151,57	2.053,40	0,00	1.073,86	135,00
28.07.2007	4	16.088,20	2.526,40	0,00	150,78	1.722,40	0,00	669,00	66,47
28.07.2007	5	17.116,60	1.140,00	0,00	150,39	771,00	0,00	478,27	156,00
28.07.2007	6	17.405,00	328,00	0,00	144,27	139,10	0,00	566,00	90,00
28.07.2007	7	18.952,00	0,00	1.718,00	92,00	0,00	1.542,00	232,00	219,00
28.07.2007	8	19.815,50	0,00	1.623,90	98,21	0,00	1.465,90	166,65	175,00
28.07.2007	9	20.471,80	544,00	0,00	135,00	208,00	0,00	1.040,71	968,00
28.07.2007	10	20.460,30	2.665,00	0,00	156,20	2.280,80	0,00	778,00	392,00
28.07.2007	11	20.889,80	3.464,30	0,00	156,93	2.975,30	0,00	573,00	135,00
28.07.2007	12	21.374,80	3.656,00	0,00	158,23	2.689,30	0,00	515,00	475,00
28.07.2007	13	21.430,80	3.275,00	0,00	157,42	2.389,30	0,00	543,00	620,00
28.07.2007	14	21.258,30	3.384,00	0,00	157,62	2.351,30	0,00	534,67	483,67
28.07.2007	15	21.213,30	3.459,00	0,00	157,62	2.460,30	0,00	543,00	375,00
28.07.2007	16	21.068,70	3.004,40	0,00	156,93	2.336,40	0,00	533,00	573,83
28.07.2007	17	20.592,70	2.967,00	0,00	156,40	2.413,40	0,00	531,50	760,00
28.07.2007	18	21.174,20	1.685,90	0,00	154,15	1.169,90	0,00	458,00	510,00
28.07.2007	19	21.051,70	1.402,90	0,00	153,75	1.061,90	0,00	496,00	733,00
28.07.2007	20	21.116,70	1.152,00	0,00	152,16	961,00	0,00	519,07	866,00
28.07.2007	21	21.116,70	2.231,90	0,00	156,17	1.410,90	0,00	609,00	893,00
28.07.2007	22	21.153,70	2.808,00	0,00	156,46	1.871,00	0,00	764,30	1.108,00
28.07.2007	23	19.418,20	4.146,00	0,00	153,65	2.434,40	0,00	1.243,00	863,00
28.07.2007	24	19.471,20	3.248,00	0,00	152,08	2.102,40	0,00	488,00	828,96

Yukarıdaki PMUM raporunda görüldüğü gibi saat 7 ve saat 8’de enerji fazlası oluşmuştur, diğer tüm saatlerde belirli oranlarda enerji açığı vardır.

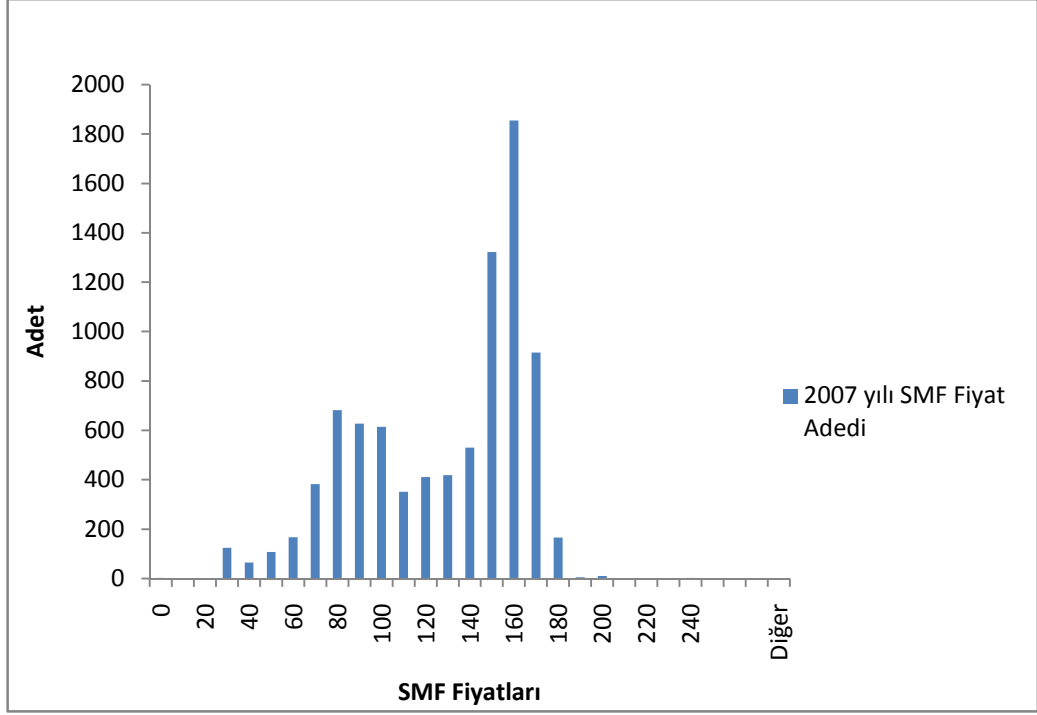
TEİAŞ bilgi edinme hattı kullanılarak, 2007 yılı 365 günü ve 2008 yılının ilk 260 günü PMUM raporları edinilmiştir. Bu PMUM raporları incelenerek bu bölümdeki bilgiler edinilmiştir, çizelge ve şekiller ile bilgiler gösterilmiştir.

2007 yılı için SMF değerleri ve o değerde olma sayısı Çizelge 2.4 verilmiştir. 2007 yılında 150 YTL/MWh ve 160 YTL/MWh arası SMF değerlerin en fazla gerçekleşen

SMF değerleri olduğu görülmektedir. Şekil 2.6'de ise  izelge 2.4 grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekansı 2007

SMF	Frekans
0	3
10	0
20	0
30	125
40	65
50	107
60	167
70	382
80	682
90	627
100	615
110	351
120	411
130	419
140	530
150	1322
160	1855
170	915
180	166
190	5
200	10
210	0
220	0
230	0
240	3



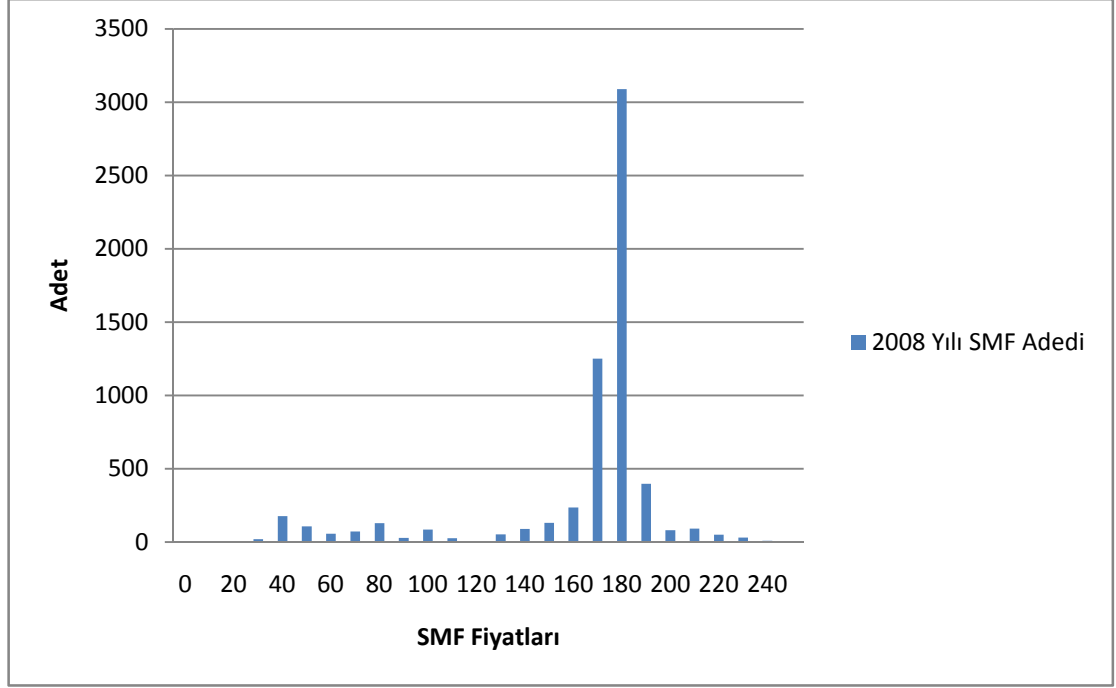
Şekil 2.6 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekansı 2007

2008 yılının ilk 260 günü için SMF değerleri ve o değerde olma sayısı Çizelge 2.5 verilmiştir. 2008 yılında en fazla SMF değerlerinin 180 YTL/MWh civarında olduğu görülmektedir.

Şekil 2.7’de ise Çizelge 2.5 grafik olarak gösterilmiştir.

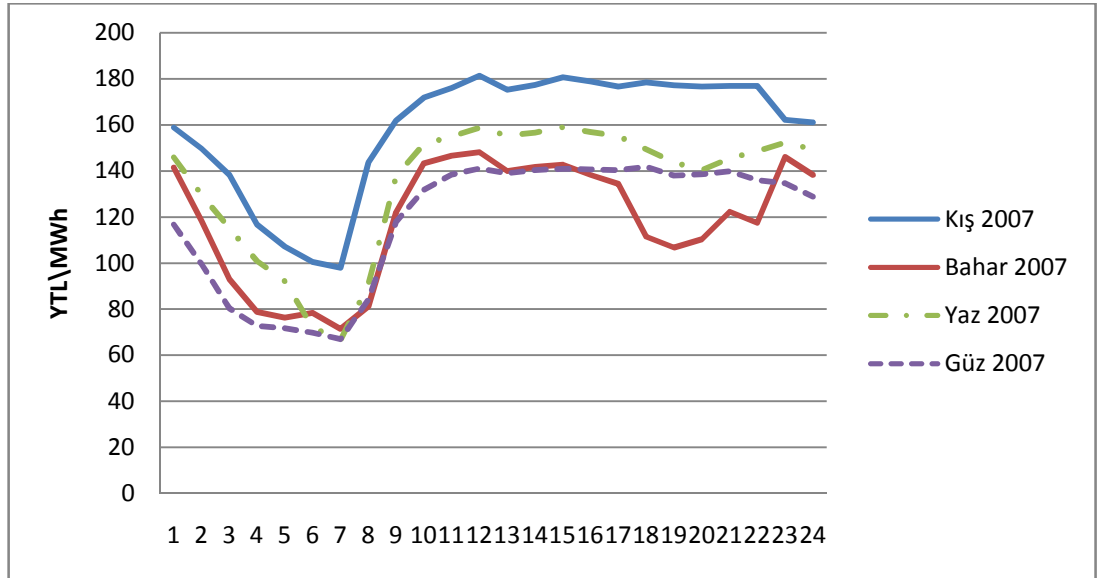
Çizelge 2.5 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekansı 2008 (ilk 260 gün)

SMF	Frekans
0	1
10	0
20	0
30	21
40	177
50	108
60	57
70	73
80	130
90	30
100	87
110	28
120	5
130	53
140	91
150	131
160	237
170	1251
180	3090
190	399
200	82
210	93
220	52
230	32
240	9
250	0
Diğer	3



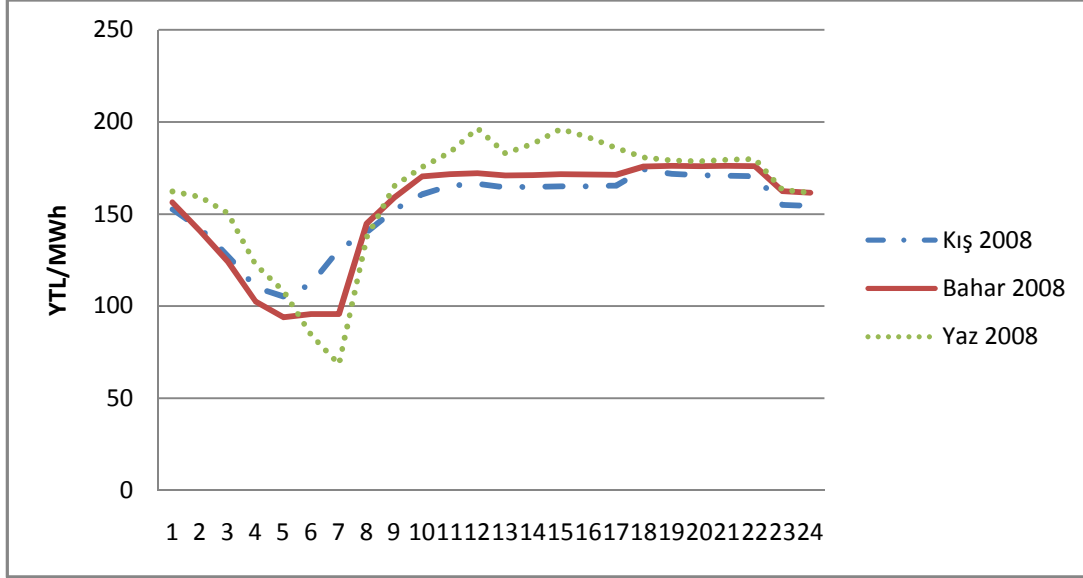
Şekil 2.7 : Türkiye Elektrik Fiyat Frekansı 2008(ilk 260 gün)

SMF değerlerinin 2007 yılı SMF değerleri mevsimsel dönemlere ayrılmış ortalamaları Şekil 2.8’de verilmiştir. Tüm mevsimlerde saat 1 ile saat 7 arasında SMF değerlerinin düşük olduğu saat 12 civarı en fazla olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde, saat 10 ile saat 13 arasında artış olduğu ve Bahar ve Yaz mevsimlerinde saat 20’de bir düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 2.8 : SMF Karşılaştırması 2007

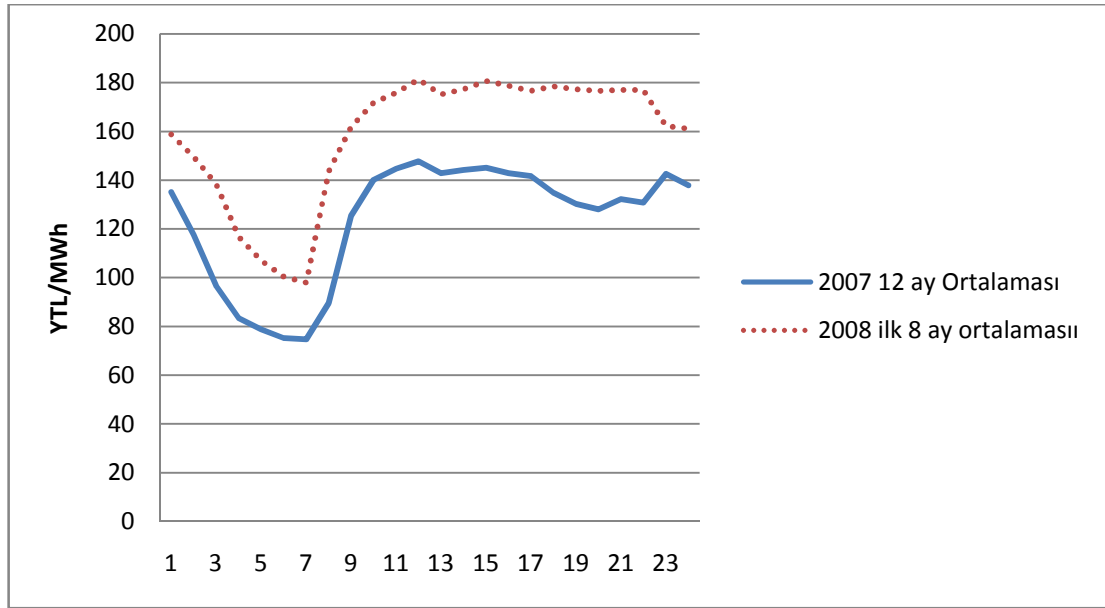
SMF değerlerinin 2008 yılı SMF değerleri mevsimsel dönemlere ayrılmış ortalamaları Şekil 2.9’da verilmiştir. Yaz mevsiminde, saat 10 ile saat 17 arasında SMF değerleri ortalamasında artış olduğu ve saat 7’de bir düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 2.9 : SMF Karşılaştırması 2008

2007 Yılı ve 2008 yılı yıllık SMF ortalamaları aşağıdaki şekil 2.12’de gösterildiği gibidir.

2007 yılı SMF değerleri ortalaması 123,48 YTL/MWh, 2008 yılı SMF değerleri ortalaması 158,56 YTL/MWh’dir. 2007 yılı saat 17 ile saat 22 arasındaki düşüş, talep tahmininin iyileştirilmesi veya tedarikçilerin sistemi tanınması sonucu 2008 yılı SMF Ortalamasında görülmediği düşünülmektedir.



Şekil 2.10 : 2007 Yılı ile 2008 Yılı SMF Ortalaması Karşılaştırması

2.3.2.4 Serbest Piyasa Fiyatları Korelasyon Hesabı

Korelasyon, olasılık kuramı ve istatistikte iki bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü belirtir. Genel istatistiksel kullanımda korelasyon, bağımsızlık durumundan ne kadar uzaklaşıldığını gösterir. Örneklem korelasyon katsayısı mümkün uçsal değerler olan -1 veya +1 olursa, çok iyi iki değişken arasında çok iyi bir doğrusal bağlantı bulunduğu kabul edilir. Eğer örneklem korelasyon katsayısı 0'a eşitse, iki değişken arasında hiç doğrusal bağlantı bulunmaz[16].

Çizelge 2.6 : Korelasyon Tanım Çizelgesi [16]

<i>Korelasyon</i>	<i>Negatif</i>	<i>Pozitif</i>
Düşük	-0,29 to -0,10	0,10 to 0,29
Orta derecede	-0,49 to -0,30	0,30 to 0,49
Yüksek	-0,50 to -1,00	0,50 to 1,00

$$r = \frac{\sum X*Y}{\sqrt{(\sum X^2)*(\sum Y^2)}} \quad (2.4)$$

2007 ve 2008 yılları PMUM raporları için yapılmış korelasyon hesabı sonucu aşağıdadır. Ek C’de Türkiye elektrik piyasa değerleri için korelasyon hesabı yapılmıştır.

Ek C’deki hesaplamalardan çıkan sonuç, Sistem Marjinal Fiyatı Enerji açığı miktarı ile, Enerji Fazlası miktarına göre daha fazla doğrusal bağlantısı vardır. Sistem Marjinal Fiyatın en yakın bağlantısının Enerji Açığı olan Saatler ve Yük Alma Talimatında olduğu görülmektedir.

2.3.2.5 Sistem Dengesizlik Fiyatı

Kaynak [14] denklem 2.3’de belirtilen hesaplama yöntemi kullanılarak SMF ve Yük Atma/Yük Atma Miktarı ile Sistem Dengesizlik Fiyatı hesaplanmıştır ve Gerçek Sistem Dengesizlik Fiyatları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.7 Gerçek SDF ve Hesaplanan SDF Karşılaştırma

	Hesaplanan (YTL/MWh)			Gerçek Değer (YTL/MWh)			Hata		
	Gündüz	Puant	Gece	Gündüz	Puant	Gece	Gündüz	Puant	Gece
Oca.08	168,6307	176,8624	151,3848	169,05	177,67	148,59	0,25%	0,45%	-1,88%
Şub.08	169,556	176,0666	153,8096	170,48	177,01	153,84	0,54%	0,53%	0,02%
Mar.08	163,3576	175,0435	146,7708	165,53	175,9	145,04	1,31%	0,49%	-1,19%
Nis.08	163,7043	174,5851	134,2207	166,15	175,75	133,91	1,47%	0,66%	-0,23%
May.08	164,4356	175,4476	146,3802	167,57	176,59	149,63	1,87%	0,65%	2,17%
Haz.08	160,2864	176,711	118,2999	165,56	177,42	129,15	3,19%	0,40%	8,40%
Tem.08	190,5188	186,5699	152,0359	188,24	180,14	155,94	-1,21%	-3,57%	2,50%
Eyl.08*				152,95	167,18	142,90			
Eki.08*				142,84	170,22	89,82			

* Eylül ve Ekim aylarının PMUM Raporları tedarik edilmediği için Hesaplanan Değer yoktur.

$$\text{Mutlak hata} = \frac{\sum |\text{Gerçek Değer} - \text{Hesaplanan Değer}|}{n} = \%1,57 \quad (2.5)$$

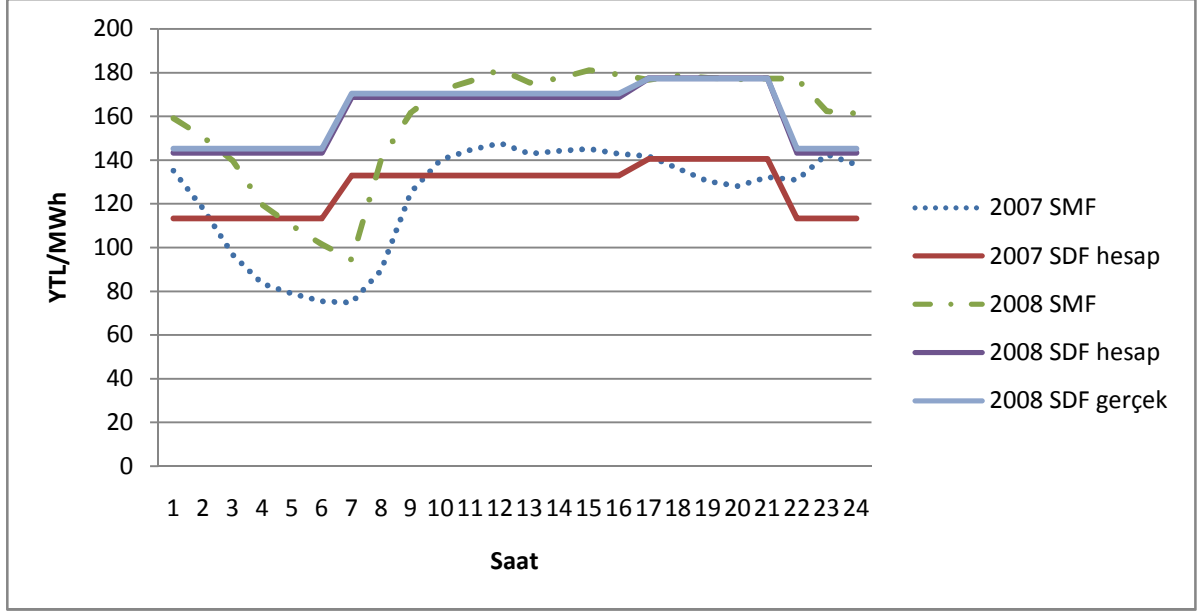
Aynı yöntem denklem (2.3) kullanılarak 2007 SDF değerleri hesaplanmıştır. 2007 yılı SDF değerlerinde Ocak,Mart ve Nisan aylarındaki Puant SDF değerleri Gündüz SDF değerlerinden düşük ve Şubat ayından Puant SDF ve Gündüz SDF değerleri çok

yakın çıkmıştır. Bunun sebebinin sistemin yeni kurulması olarak düşünülmüştür. Daha sonraki aylarda bu anormali ortadan kalkmıştır.

Çizelge 2.8 : Hesaplanan 2007 SDF Fiyatları

	<i>Gündüz</i>	<i>Puant</i>	<i>Gece</i>
Ocak	136,96	130,94	123,78
Şubat	128,20	128,41	110,08
Mart	135,38	111,36	113,61
Nisan	140,32	135,08	131,42
Mayıs	128,20	135,08	110,40
Haziran	146,56	147,53	125,36
Temmuz	149,45	155,45	144,14
Ağustos	141,07	159,87	114,86
Eylül	110,59	141,05	94,60
Ekim	91,08	116,82	71,78
Kasım	141,87	158,31	104,81
Aralık	145,14	165,62	114,85

Aşağıdaki Şekil 2.12 ‘de 2007 ve 2008 yılının ilk 7 ayının SMF ve SDF Değerleri yıllık ortalamaları gösterilmektedir. Saat 23 ve saat 24 haricinde Gece döneminde SDF değerlerinin SMF değerlerinden daha yüksek olduğu, Gündüz döneminde bazı saatlerde SDF değerlerinin bazı saatlerde SMF değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Gerçek SDF değerleri ile hesap ile bulunan SDF Değerleri arasındaki farkın çok az gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : 2007 Yılı ve 2008 Yılı ilk 7 ayı SMF-Gerçek SDF-Hesap SDF

Karşılaştırılması

2.3.2.6 Serbest Piyasa Üretiminin Türkiye Üretiminde Payı

Çizelge 2.10’da Günlük Üretim Planlama ve Dengeleme Birimleri, yani Serbest Piyasadan sağlanan enerji miktarlarının yıllık ortalama değerleri gösterilmektedir. 2007 yılında Yük Alma değeri saat 12’de 8,35% oranında ve Yük atma değeri de saat 7’de %8,70 oranında etkili olmuştur. 2008 yılının ilk 260 gününde yük alma değerinde saat 12’de %10,00 oranında ve yük atma değerinde saat 7’de 2,96% oranında etkili olmuştur. 2007 ve 2008 yılını karşılaştırsak, 2007 yılında yük atma değerlerinin 2008 yılındakinden daha fazla etkili olduğu, 2008 yılında yük alma değerlerinin 2007 yılında göre arttığı görülmektedir.

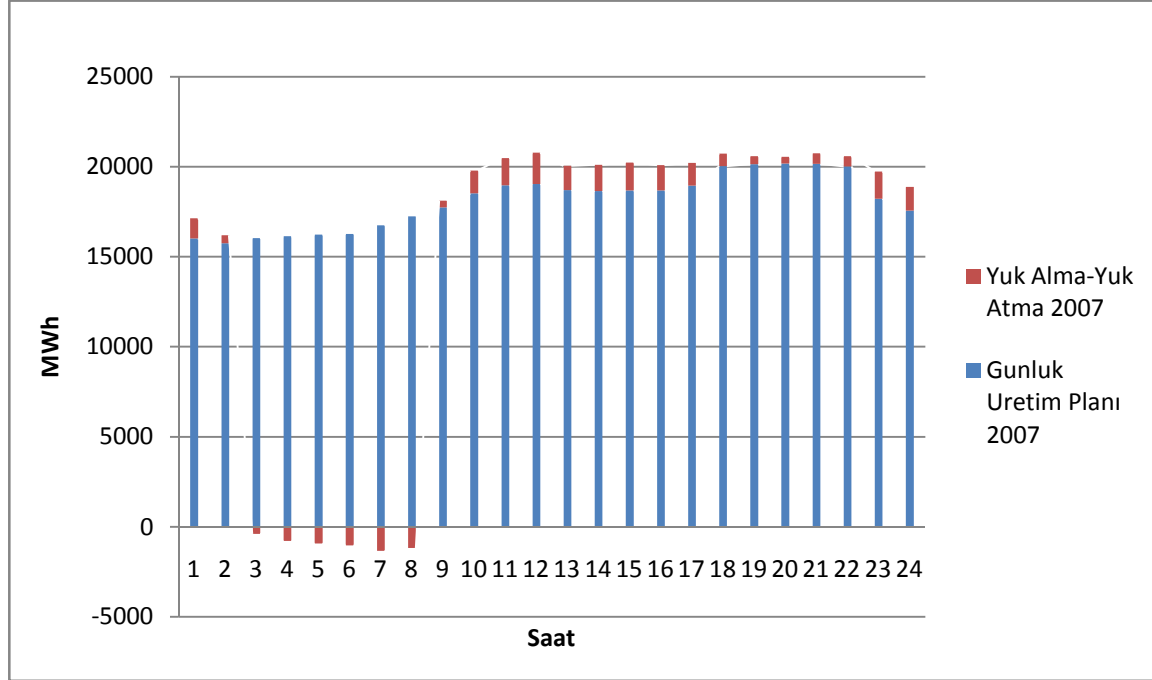
Çizelge 2.9 : 2007 Yılı ve 2008 Yılı ilk 260 günü Günlük Üretim Planı ile Yük

Alma / Yük Atma Miktarı Karşılaştırması

Saatler	2007 Yılı 12 ay				2008 Yılı ilk 260 gün			
	Günlük Üretim Planlaması (MWh)	Yük Alma ve Atma (MWh)	Yüzde Oran	Mutlak Yüzde Oranı	Günlük Üretim Planlaması (MWh)	Yük Alma ve Atma (MWh)	Yüzde Oran	Mutlak Yüzde Oranı
1	16017,51	1120,52	6,54%	6,54%	16800,42	1107,64	6,19%	6,19%
2	15759,41	438,55	2,71%	2,71%	16204,83	808,27	4,75%	4,75%
3	16044,20	-389,28	-2,49%	2,49%	16068,30	485,85	2,93%	2,93%
4	16140,34	-784,32	-5,11%	5,11%	16273,12	71,22	0,44%	0,44%
5	16232,03	-936,20	-6,12%	6,12%	16526,61	-100,95	-0,61%	0,61%
6	16273,01	-1028,87	-6,75%	6,75%	16694,56	-260,85	-1,59%	1,59%
7	16752,93	-1340,80	-8,70%	8,70%	16917,01	-485,68	-2,96%	2,96%
8	17249,38	-1171,95	-7,29%	7,29%	16631,30	247,13	1,46%	1,46%
9	17750,49	364,48	2,01%	2,01%	17662,03	1126,15	5,99%	5,99%
10	18534,36	1254,63	6,34%	6,34%	18936,56	1761,30	8,51%	8,51%
11	18965,04	1516,41	7,40%	7,40%	19545,65	1947,17	9,06%	9,06%
12	19048,84	1734,97	8,35%	8,35%	19759,94	2194,88	10,0%	10,0%
13	18699,58	1349,20	6,73%	6,73%	19228,19	1843,66	8,75%	8,75%
14	18655,65	1457,10	7,24%	7,24%	19326,01	1932,44	9,09%	9,09%
15	18694,41	1548,16	7,65%	7,65%	19465,40	2037,64	9,48%	9,48%
16	18692,10	1396,39	6,95%	6,95%	19352,08	1854,21	8,74%	8,74%
17	18953,08	1266,57	6,26%	6,26%	19295,92	1769,84	8,40%	8,40%
18	20039,00	690,92	3,33%	3,33%	19584,74	1412,82	6,73%	6,73%
19	20139,74	455,67	2,21%	2,21%	19480,38	1290,01	6,21%	6,21%
20	20176,95	372,78	1,81%	1,81%	19550,86	1194,36	5,76%	5,76%
21	20161,77	583,63	2,81%	2,81%	19937,28	1253,31	5,91%	5,91%
22	20024,41	557,50	2,71%	2,71%	19823,42	1229,89	5,84%	5,84%
23	18221,02	1522,63	7,71%	7,71%	18714,49	1696,24	8,31%	8,31%
24	17573,40	1309,47	6,93%	6,93%	18051,95	1447,50	7,42%	7,42%
Toplam	434798,6	13288,14	2,97%	5,51%	439831	27864,06	5,96%	6,05%

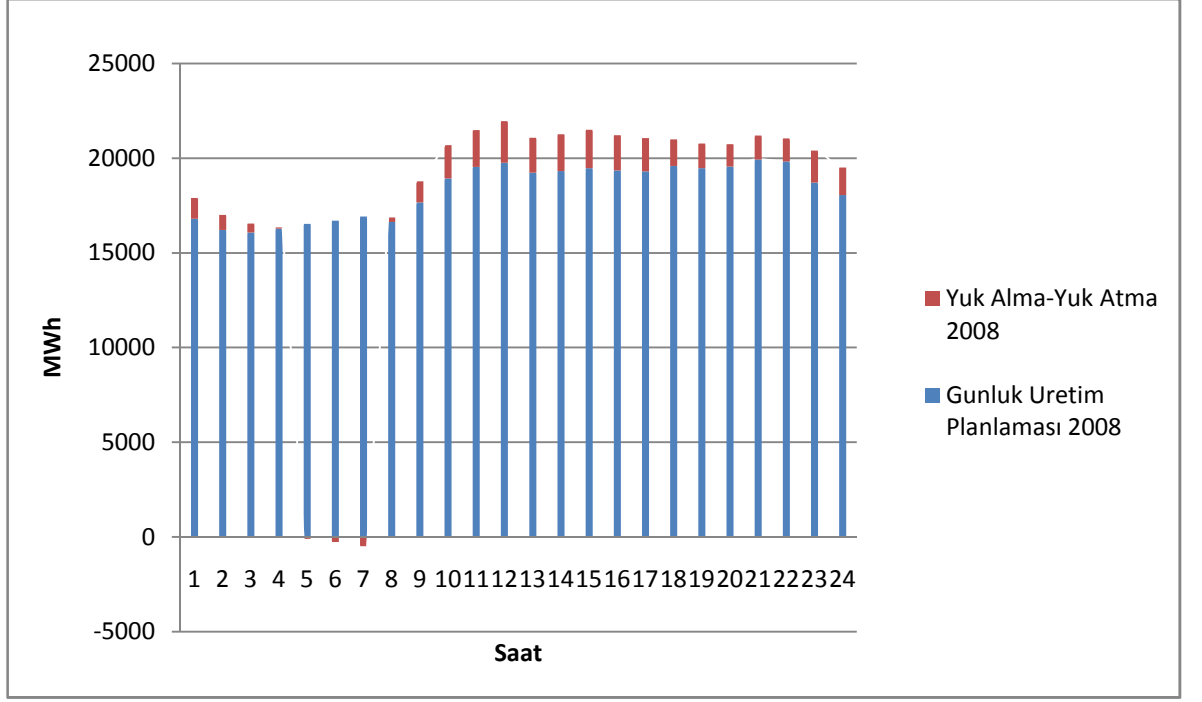
Şekil 2.10’da 2007 yılı Ortalama Günlük Üretim Planı ve Ortalama Yük Alma/Yük Atma Miktarı gösterilmiştir. Türkiye Elektrik enerjisi talebinin saat 12 ve saat 20’de

yakın olmasına rağmen, Günlük Üretim Planı saat 20’de saat 12’den daha yüksek olduğu, farkın yük alma miktarı ile karşılanmaktadır.



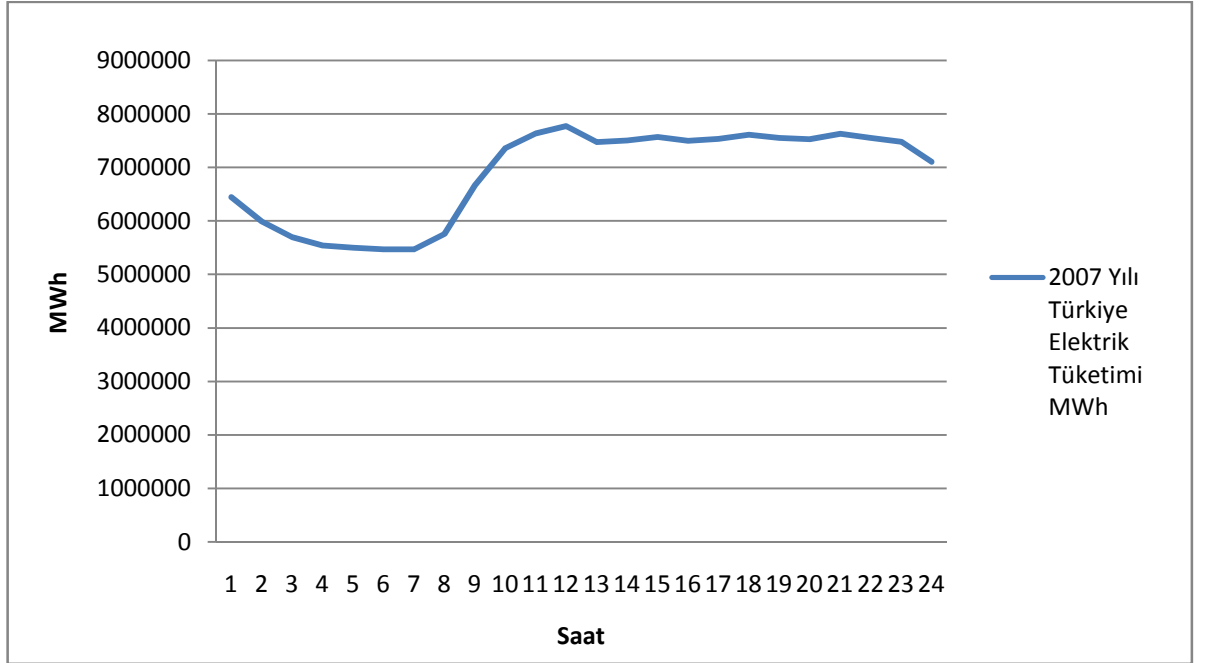
Şekil 2.12 : 2007 yılı Günlük Üretim Planı ve Yük Alma/Yük Atma Miktarı

Şekil 2.11’de 2008 yılı ilk 260 günü Ortalama Günlük Üretim Planı ve Ortalama Yük Alma/Yük Atma Miktarı gösterilmiştir. Türkiye Elektrik enerjisi talebinin saat 12 ve saat 20’de puant olduğu, Günlük Üretim Planlaması en büyük oranda ve enerji açığı Yük Alma Miktarı ile karşılanmaktadır.



Şekil 2.13 : 2008 Yılı ilk 260 günü Günlük Üretim Planı ve Yük Alma/Yük Atma Miktarı

Şekil 2.13 2007 yılı toplam Türkiye Elektrik Tüketimini göstermektedir.



Şekil 2.14 : 2007 yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketimi

3. RÜZGAR ENERJİSİ

3.1 Rüzgar Enerjisi Meteorolojisi

Yeryüzünün farklı ısınmasından ve soğumasından dolayı ortaya çıkan kuvvetlerin etkisi ile oluşan hava hareketlerine Rüzgar denir. Rüzgarın temel kaynağı güneştir. Değişik sıcaklık dağılımlarının yarattığı fiziksel olaylar rüzgar oluşumuna neden olur. Farklı sıcaklık dağılımını ise, enlem, kara-deniz yükseklik ve mevsimler etkilemektedir. Meteorolojik açıdan rüzgar aşağıdaki yerlerde oluşabilir[17]:

- Basınç farkının yüksek olduğu yerler
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler
- Kıyı Şeritleri
- Kanal Etkilerinin meydana getirdiği dağ silsileleri, vadiler, tepeler.

Rüzgar oluşumunda topografya ile ilişkisi çok önemlidir. Örneğin, dağ rüzgarı, vadi rüzgarı, kara ve deniz meltemleri, fön rüzgarları, anabatik-karabatik rüzgarlar bu etkileşimden meydana gelen rüzgarlardır. Topografyanın rüzgar üzerinde üç önemli etkisi vardır; pürüzlülük, orografik ve perdeleme. Orografik etkilerden kasıt, tepeler, sırtlar, basamaklı arazi yapısı, oluk, vadi ve yüksek platoların bulunması sayılabilir. Bu elemanlar, rüzgar üzerinde ilave etkiye sahiptir[17].

Atmosferde meydana gelen hareket, alan ve zaman ölçeklerine göre hareket etmekte olup 4 farklı kategoride değerlendirilmektedir[17].

Çizelge 3.1 : Atmosferik hareketlerin zaman ve alan ölçeği [17]

Adı	Zaman Ölçeği	Uzunluk	Örnek
Genel Sirkulasyon	Hafta-yıl	1000-40000 km	Ticaret rüzgarları, jet akımı
Sinoptik Ölçek	Gün-hafta	100 – 5000 km	Basınç sistemleri, tayfun
Mezo Ölçek	Dakika-gün	1 – 100 km	Meltem, Oraj, Tornado
Mikro Ölçek	Saniye-dakika	< 1 km	Türbülans

Dünyada meydana gelen rüzgârları küresel ve yerel rüzgarlar olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür.

3.1.1 Küresel Rüzgarlar

Rüzgarlar, dünya yüzeyi üzerinde basınç farklılıklarının nedeni ile olarak ortaya çıkmaktadır. Yeryüzü tarafından emilen güneş radyasyonu miktarı, kutuplara göre ekvatorda daha büyüktür. Isıdaki bu farklılık, atmosferin en alt tabakası olan troposferde çeşitli global ölçekte sirkülasyonların oluşumuna sebep olmaktadır. Rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılan rüzgarlar, yerel rüzgarlar olsa da, dünyanın genel sirkülasyonuna bakmakta fayda vardır. Küresel ölçekte meydana gelen rüzgarlara atmosferin genel sirkülasyonu denir. 4 önemli Küresel Rüzgar oluşumundan bahsedebiliriz; tropik rüzgarlar, musonlar, orta enlem rüzgarları ve kutup rüzgarları[17].

3.1.2 Yerel Rüzgarlar

Rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılan rüzgarlar yerel rüzgarlardır. Genellikle kara-deniz etkileşimi, gündüz-gece etkileşimi, topografik yapı, kanal etkisi gibi sebeplerden ortaya çıkar[17].

3.1.2.1 Kara ve Deniz Meltemleri

Kara ve deniz meltemleri, kara ile deniz arasındaki sıcaklık farkının sonucudur. Deniz meltemi, özellikle yazın yüksek basınç yapı süresinde sinoptik rüzgar hızı zayıf olduğunda daha fazla esmektedir. Güçlü bir sinoptik rüzgar, deniz melteminin gelişimini engelleyebilir. Deniz melteminin gelişimi genellikle sabah başlar ve öğleden sonra son bulur. Kara meltemi ise, geceleyin başlar ve birkaç saatte son bulur. Kara meltemi, deniz meltemine göre daha zayıftır. Deniz meltemini oluştuğunda, daha pürüzsüz deniz yüzeyi üzerinden geldiğinden sürtünme etkisinden daha az etkilenir ve daha hızlıdır. Deniz meltemleri nemli ve tuzlu hava taşıdığından, denize yakın yerdeki RES'ler daha az ömürlü olabilmektedirler[17].

3.1.2.2 Dağ ve Vadi Rüzgarları

Dağ yamaçları güneşten gelen radyasyonla gün boyunca ısınır. Dolayısıyla sıcak olan vadi ile temas halindeki vadi ısınır. Isınan hava yamaçlar boyunca yükselmeye başlar. Yükselen havanın yerine yukardan düşey olarak daha soğuk ve ağır olan hava geçer. Belirli bir süre sonra bu hava ısınır ve yükselir. Bu işlem gün boyunca devam eder ve çevrim oluşturur. Geceleri aynı çevrim tersine döner. Bu yüzden vadi rüzgarları geceleri yamaçtan vadiye doğru eser. Vadideki hava gün boyu ısındığından, eğimli yüzey boyunca yükselir ve buna anabatik rüzgar denir. 3 m/s civarında olan ve enerji üretimi için yetersiz olan anabatik rüzgarlar, bazen türbülansın artmasıyla sırtlarda bulunan rüzgar türbinleri için önemli olabilmektedir. Dağ yüzeyindeki hava gece boyunca soğuduğundan, vadiye doğru hareket eder ve bu oluşan rüzgara da katabatik rüzgar denir. Katabatik rüzgarlar bazen çok güçlü olabilmektedirler. Karla örtülü step eğimlerinde kuvvetlidirler. Bu rüzgarlar, vadi ve geçite yönlendiğinde daha da hız kazanır[17].

3.1.3 Ülkemizi etkileyen hava kütleleri ve Yerel Rüzgarlar

Hava kütlesi, büyük uniform(özellikleri her yerde aynı) yüzey üzerinde bu yüzeyle denge durumuna erişinceye kadar kalan yatay doğrultuda özellikle sıcaklık ve nem bakımından homojen olan büyük hava parçalarıdır. Türkiye soğuk aylarda kutuplardan gelen kutupsal, sıcak aylarda ise, tropiklerden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisi altındadır. Bu hava kütlelerinin genel özellikleri[17]:

- 1- Sibirya üzerinden gelen cP hava kütlesi karasal karakterli soğuk ve kurudur. Kış aylarında sis ve ayaza neden olur, bazen Karadeniz'i geçerken nem kazanarak orografik yağışlar yağabilir.
- 2- Atlas okyanusundan gelen mP hava kütlesi, Avrupa ülkeleri ve balkanları geçerek Ülkemizi etkiler. Yerde belirgin olmayan alçak basınç sistemleri ile gelmedikleri için kararsızlık yağışları yapar. Yağış olarak Karadeniz sahilinde yağmur, iç kesimlerde kar bırakabilir. Akdeniz üzerinden geldiğinde ise daha fazla etkili olur ve her türlü yağış bırakabilir.
- 3- mT hava kütlesi sıcak ve nemli karakterli olduğu için batı bölgelerimizde oldukça yağış bırakır.
- 4- cT hava kütlesi ise Kuzey Afrika üzerinden gelir karasal sıcak ve kurudur. Kuzey sistemlerle karşılaşırsa Akdeniz cephesini oluşturup yağış bırakabilir. Diğer taraftan Akdeniz'den geçerken yeterli ölçüde nem kazandığı takdirde yine yağış yapması söz konusudur. Zaman zaman gördüğümüz çamur yağışları da bu hava kütesinin ülkemizi etkilemesinin bir sonucudur.

Rüzgârlar estikleri yönler göre isim alırlar. Kuzeyden esene yıldız, güneyden esene kıble, doğudan esene gündoğusu, batıdan esene günbatısı, kuzeydoğudan esene poyraz, kuzeybatıdan esene karayel, güneydoğudan esene keşişleme, güneybatıdan esene ise lodos denir. Bazı rüzgarın özellikleri aşağıda verilmiştir[17]:

İmbat: İzmir ve çevresinde Ege denizinden yazın tam kuzeyden esen meltem rüzgarıdır.

Karayel : Kuzeybatı yönünden esen rüzgarlara verilen addır. Geçici siklonların ülkemize sokulduğu kış mevsimlerinden görülür. Siklonların soğuk cephesinin geçişini izler. Genellikle sıcakların düşmesine ve yağmur veya kar yağışına sebep olur.

Lodos : Güneybatıdan esen rüzgarlara verilen addır. Gezici siklonlarının(fırtına) ülkemize sokulduğu kış mevsiminde çok görülür. Bu siklonların sıcak cephesinin geçişini izler. Sıcakların yükselmesine neden olur. Lodos özellikle İstanbul bölgesinde görülen güneybatılı bir rüzgardır. Daha çok kış aylarında görülür. Sıcak ve nemli rüzgarlardır.

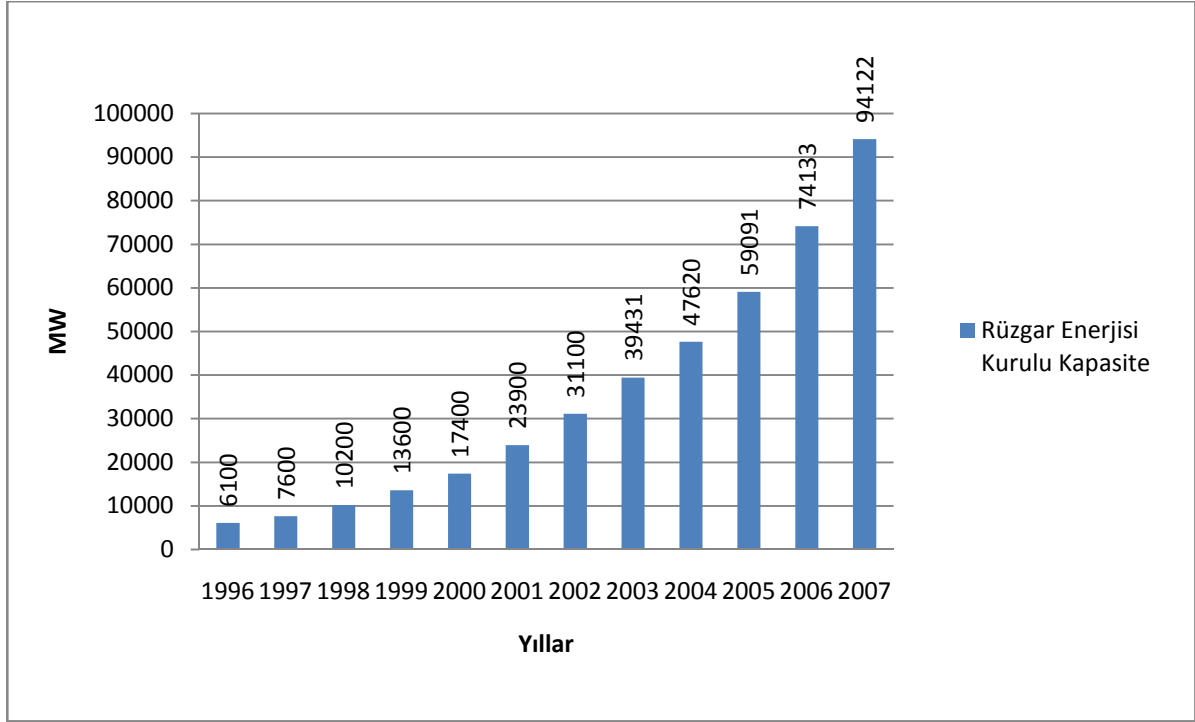
Poyraz : Ülkemizde özellikle kış mevsiminde daha sık görülür. Bu mevsimde ülkemiz üzerine Rusya ve Sibirya üzerinden kutupsal havayı getirir. Sıcaklığın belirgin olarak düşmesine neden olur. Yaz mevsiminde aşırı yüksek basınç alanından Basra üzerindeki alçak basınç alanına doğru ilerleyen deniz üstü hava kütlelerinin Ege ve Türkiye üzerinde sapmaya uğrayarak kuzey doğudan esen poyraza dönüşür. Bu mevsimde serinletici etkisi vardır. Karadeniz, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde kuzeydoğudan esen soğuk ve şiddetli rüzgardır. İstanbul ve civarının hâkim rüzgarıdır[17].

3.2 Dünyada Rüzgar Enerjisi

Rüzgâr Gücü, dünyada kullanımı en çok artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Günümüzde dünyadaki kullanım oranının çok düşük olmasına karşılık, 2020 yılında dünya elektrik talebinin %12'sinin rüzgâr enerjisinden karşılanması için çalışmalar yapılmaktadır[18].

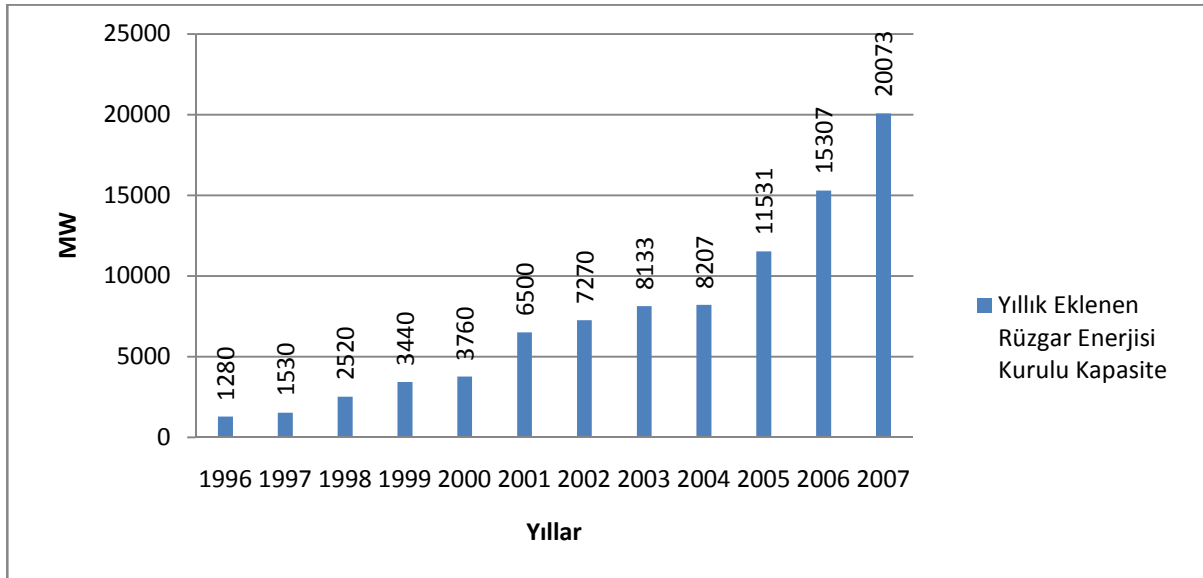
Günümüzde rüzgâr enerjisinden üretilen toplam güç 94112 MW civarındadır. Dünya çapında rüzgar enerjisi büyümesine bakılırsa 2007 yılındaki büyüme 2000 yılında büyümenin 4 katından fazladır[1].

Bir çok ülke rüzgar enerjisi üretiminde önemli aşamalara gelmişlerdir. Örnek olarak 2007 yılında Danimarka elektrik üretiminin 19%'unu rüzgar enerjisinden karşılamaktadır. Bu rakam 2007 yılında İspanya'da ve Portekizde %9, Almanya ve İrlanda'da 6% olmuştur[19].



Şekil 3.1 : Dünya Toplam Kurulu Rüzgar Enerjisi Kurulu

Kapasite 1996-2007 [1]



Şekil 3.2 : Dünya Yıllık Eklenen Rüzgar Enerjisi Kurulu

Kapasite 1996-2007 [1]

Çizelge 3.2 : Dünyada Kurulu Kapasite Olarak ilk 10 Ülke [1]

Ülke	MW	Dünyadaki RES Gücüne Oranı %
Almanya	22247	23,6
Abd	16818	17,9
İspanya	15145	16,1
Hindistan	8000	8,5
Çin	6050	6,4
Danimarka	3125	3,3
İtalya	2726	2,9
Fransa	2454	2,6
Birleşmiş Krallık	2389	2,5
Portekiz	2150	2,3
Diğerleri	13008	13,8
En İyi 10 Toplam	81104	86,2
Toplam	94112	100

EK D’de Dünya kurulu rüzgar enerjisi bölgesel dağılımı gösterilmiştir. Avrupa bölgesi rüzgar enerjisi kurulu gücünün, diğer bölgelerden daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2 : AB Enerji Talebinde Rüzgar Enerjisinin Payı (2007 Sonu) [2][20]

Ülke	%
Danimarka	21,22
İspanya	11,76
Portekiz	9,26
İrlanda	8,42
Almanya	7
Yunanistan	3,67
Hollanda	3,4
Avusturya	3,28
Birleşik Krallık	1,82
Estonya	1,81
İtalya	1,7
İsveç	1,27
Fransa	1,21
Litvanya	1,1
Lüksemburg	1,08
Letonya	0,85
Belçika	0,67
Bulgaristan	0,45
Polonya	0,44
Çek Cumhuriyeti	0,39
Macaristan	0,35
Türkiye	0,30*
Finlandiya	0,28
Slovakya	0,04
Romanya	0,03

* Ağustos 2007 – Ağustos 2008 Ortalaması



Şekil 3.3 : Avrupa Haritasında Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Gösterimi [2]

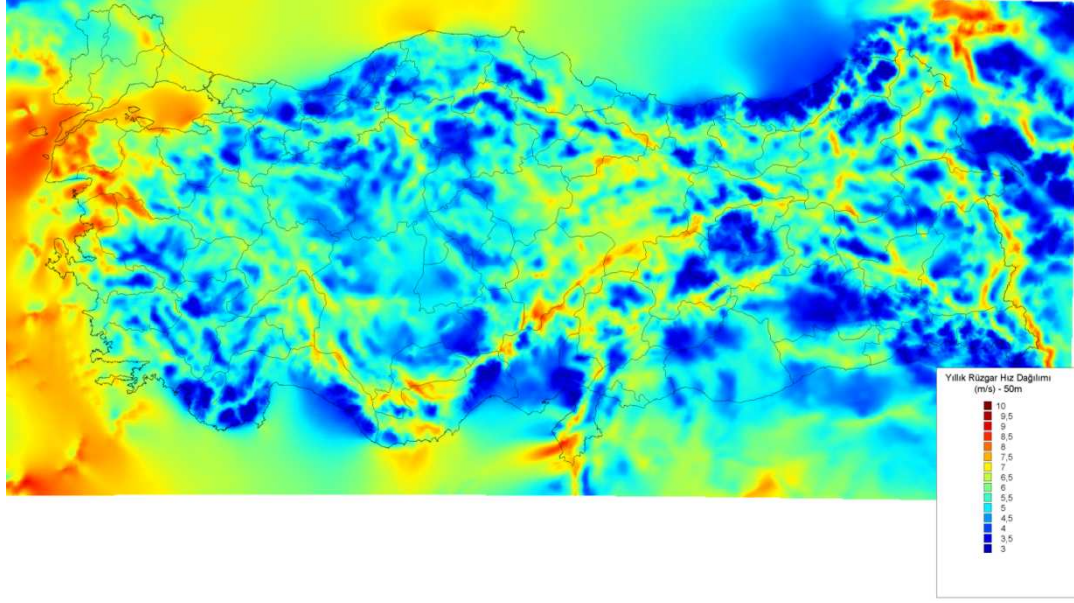
3.3 Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

3.3.1 Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası

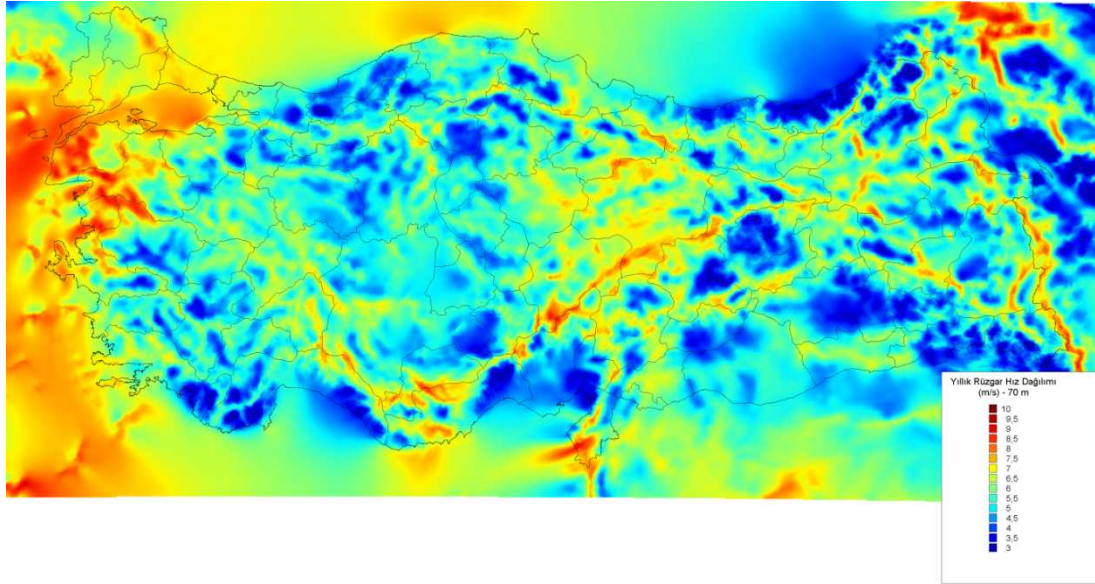
REPA, Türkiye coğrafyasının tüm kara ve deniz alanlarını kapsayacak şekilde üç ayrı nümerik hava analiz modelinin uzun yıllara ait gerçekleşmiş meteorolojik parametrelerle geriye doğru çalıştırılması sonucu üretilmiş 200mx200m çözünürlüğe sahip ileri tekniklerle gerçekleştirilmiş bir rüzgar atlasıdır. REPA, Türkiye coğrafyası üzerinde 200mX200m’lik alana sahip tüm noktalarda rüzgar kaynak bilgilerine erişim sağlanmasına imkan tanımaktadır. REPA; rüzgar enerjisi sektörü aktörleri, yatırımcılar, danışmanlar, planlamacılar, üniversiteler ve rüzgarla doğrudan veya dolaylı olarak ilgisi olan tüm kişi ve kurumlar için faydalı olacağı düşünülmektedir. Özellikle rüzgar enerjisi yatırımı yapmak isteyen yatırımcıların gereksinimleri dikkate alınarak; rüzgar kaynak bilgileri değişik tematik haritalarla entegre edilerek zaman ve maddi tasarruf sağlanması öngörülmüştür[21].

Türkiye rüzgar enerjisi potansiyelleri, rüzgar enerjisi uygulamalarını etkileyen tüm parametrelerin çıkarılmasıyla elde edilmiş değerlerdir. Potansiyel hesaplamaları, Türkiye çapında 200 m çözünürlükte rüzgar verilerinden ve bu verilerden oluşturulmuş çeşitli haritalar üzerinden yapılmıştır.

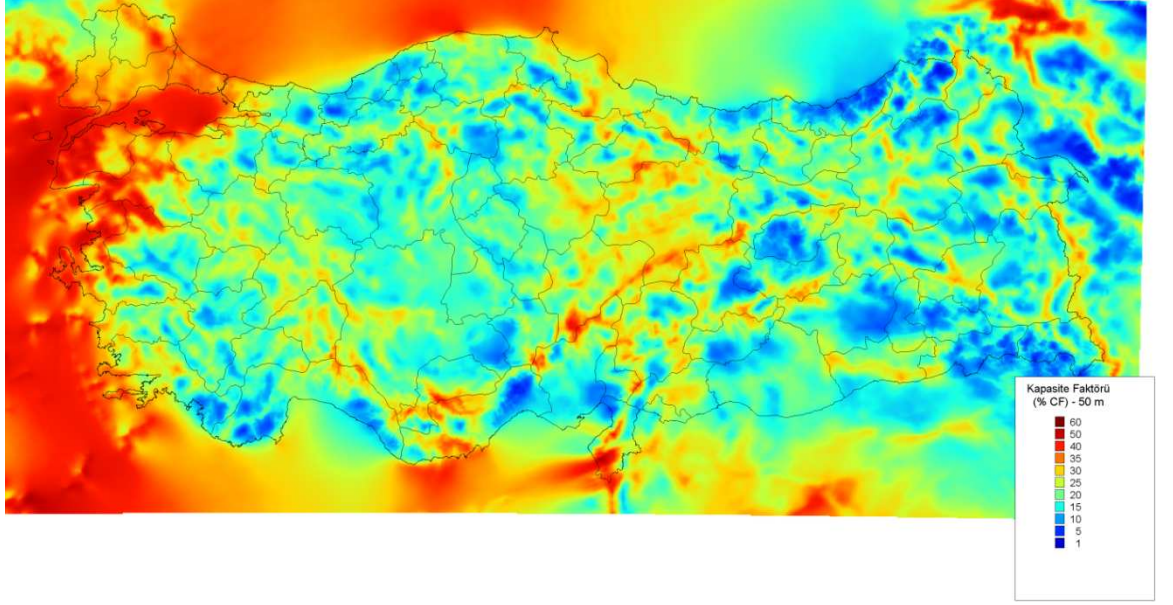
Türkiye Rüzgar Atlasından alınan bazı şekiller aşağıda belirtilmiştir.



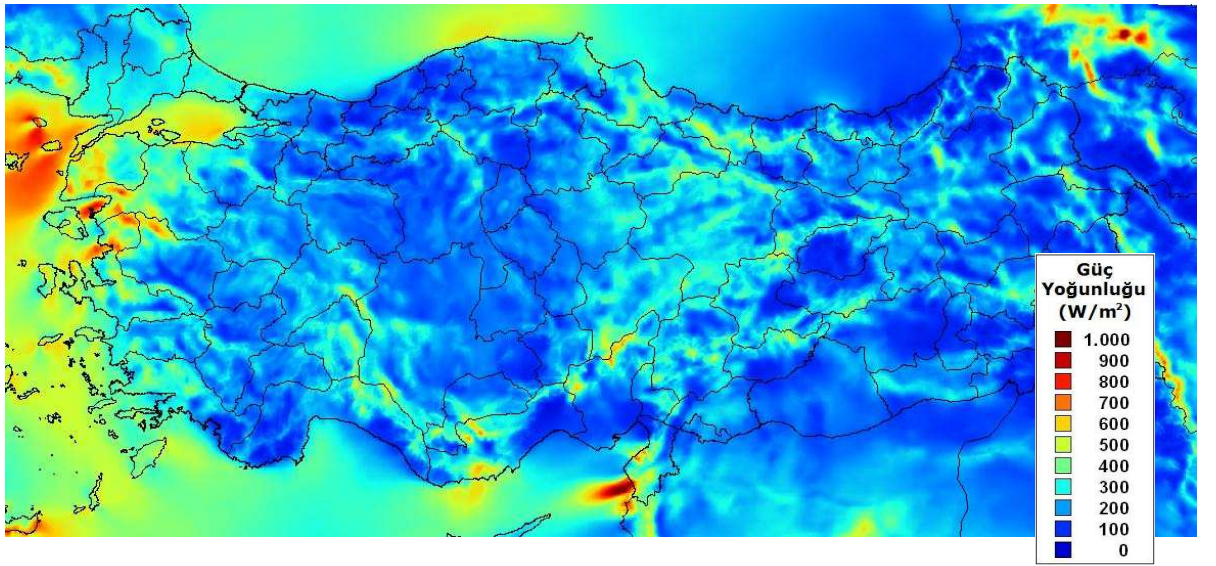
Şekil 3.4 : Türkiye Rüzgar atlası Rüzgar Hızı Yıllık Ortalama 50 m [3]



Şekil 3.5 : Türkiye Rüzgar Atlası Rüzgar Hızı Yıllık Ortalama 70 m [3]



Şekil 3.6 : Türkiye Rüzgar Atlası Kapasite Faktörü 50m[3]



Şekil 3.7 : Türkiye Rüzgar Atlası Güç Yoğunluğu 50 m [3]

Rüzgar enerjisi güç yoğunluğu aşağıdaki denkleme göre hesaplanır[17]:

$$\bar{P} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho_i V_i^3 \quad (3.1)$$

$\bar{P}_i$: Yıllık ortalama güç yoğunluğu (W/m²)

ρ_i : Yıllık ortalama hava yoğunluğu (kg/m³)

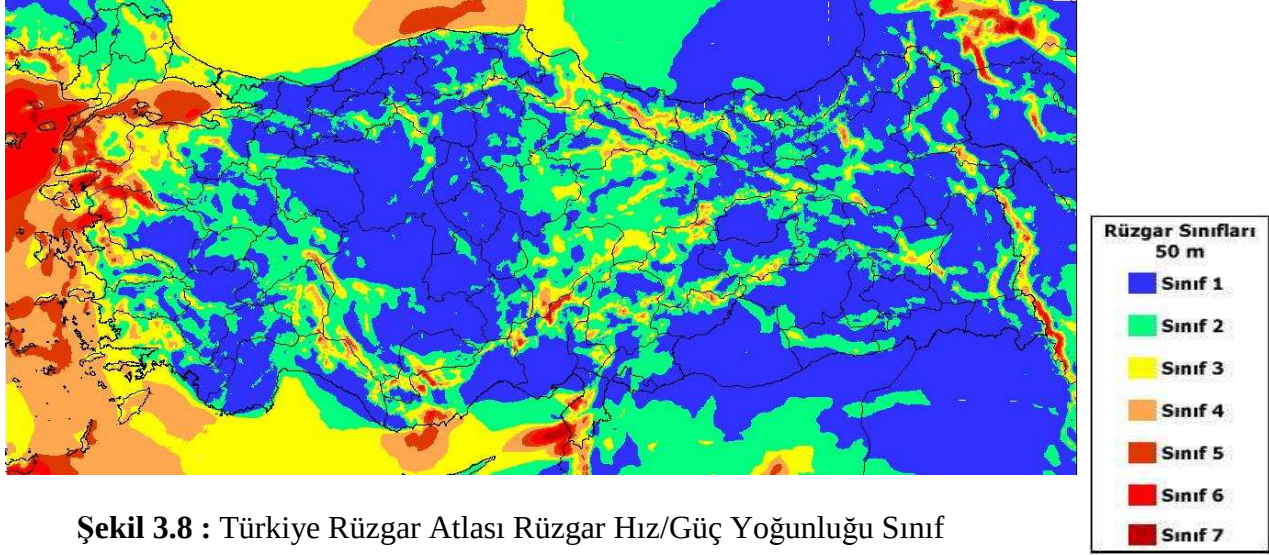
n : ortalama alınan sürede yapılan gözlem sayısı

V_i : Gözlem zamanındaki rüzgar hızı (m/s)

Rüzgar potansiyeli sınıfları aşağıda görülen *Çizelge 3.4*'deki gibidir. REPA'dan alınan bilgilere göre, Türkiye Rüzgar Potansiyeli Sınıfları *şekil 3.8* harita üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Rüzgar Potansiyeli Sınıflandırması [3]

<i>Rüzgar Kaynak Derecesi</i>	<i>Rüzgar Sınıfı</i>	<i>50m. Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)</i>	<i>50m. Yükseklikteki Güç Yoğunluğu (W/m²)</i>
Zayıf	1	<5,5	<200
Düşük	2	5,5-6,5	200-300
Orta	3	6,5-7	300-400
İyi	4	7,0-7,5	400-500
Harika	5	7,5-8	500-600
Mükemmel	6	8,0-9,0	600-800
Sıradışı	7	>9,0	>800



Şekil 3.8 : Türkiye Rüzgar Atlası Rüzgar Hız/Güç Yoğunluğu Sınıf

Haritası [3]

3.3.2 Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye rüzgar potansiyeli ilgili bilgiler bir sonraki sayfadaki çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Türkiye Rüzgar Potansiyeli Sınıfları Gücü ve Toplam Rüzgar Potansiyeli[3]

<i>Rüzgar Kaynak Derecesi</i>	<i>Rüzgar Sınıfı</i>	<i>50 m'de Rüzgar Gücü (W/m2)</i>	<i>50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)</i>	<i>Toplam Alan km2</i>	<i>Rüzgarlı Arazi Yüzdesi</i>	<i>Toplam Kurulu Güç (MW)</i>
Orta	3	300 – 400	6.5 – 7.0	16.781,39	2,27	83.906,96
İyi	4	400 – 500	7.0-7.5	5.851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 – 600	7.5-8.0	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 – 800	8.0- 9.0	1.079,98	0,15	5.399,92
Sıradışı	7	> 800	> 9.0	39,17	0,01	195,84
4-5-6-7 Rüzgar Sınıfı Toplamı				9.569,89	1,3	47.849,44
3-4-5-6-7 Rüzgar Sınıfı Toplamı				26.351,28	3,57	131.756,40

3.4 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

3.4.1 Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü ve Enerji Üretimi

Ağustos 2007 ile Temmuz 2008 arasında Türkiye’de Rüzgar Enerji Santrallerinin üretimi ve Türkiye Elektrik Enerjisindeki payı Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : 08/2008-07/2008 Türkiye Rüzgar Enerji Santralleri Enerji Üretimi [23]

<i>Aylar</i>		<i>Kurulu Güç</i>				<i>İletim Sistemine Veriliş Miktarı</i>		
		Santral Tipi	Santral Adedi	MW	Türkiye Kurulu Gücündeki Yüzdesi %	MWh	%	Kapasite Faktörü
08/2007	Ağustos	Rüzgar	11	151,98	0,41	36919,96	0,24	32,65%
09/2007	Eylül	Rüzgar	11	151,98	0,41	35617,99	0,26	31,50%
10/2007	Ekim	Rüzgar	12	181,98	0,49	34477,14	0,27	25,46%
11/2007	Kasım	Rüzgar	10	121,98	0,33	32474,46	0,24	35,78%
12/2007	Aralık	Rüzgar	-	-	-	-	-	-
01/2008	Ocak	Rüzgar	10	127,63	0,34	30604,32	0,20	32,23%
02/2008	Şubat	Rüzgar	10	127,63	0,34	35207,52	0,25	31,78%
03/2008	Mart	Rüzgar	12	200,13	0,53	47877,71	0,34	32,15%
04/2008	Nisan	Rüzgar	12	200,13	0,53	35503,52	0,27	24,64%
05/2008	Mayıs	Rüzgar	-	-	-	-	-	-
06/2008	Haziran	Rüzgar	15	314,73	0,84	53977,44	0,38	23,05%
07/2008	Temmuz	Rüzgar	15	314,73	0,84	81905,66	0,62	34,98%

Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Türkiye’deki İşletmedeki ve devreye alınacak Rüzgar Enerjisi

Santralleri [22]

<i>Mevkii</i>	<i>Şirket</i>	<i>Üretime Geçiş Tarihi</i>	<i>Kurulu Güç (MW)</i>	<i>Türbin İmalatçısı</i>	<i>Türbin Adet ve Kapasitesi</i>
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
Hatay-Samandağ	Deniz A.Ş.	I/2008	30	Vestas	15 adet 2.000 kW
Manisa-Sayalar	Doğal A.Ş.	I/2008	30,6	Enercon	38 adet 800 kW
İzmir-İlişka	İnnores A.Ş.	I/2008	42,5	Nordex	17 adet 2.500 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
İşletmedeki Toplam Kapasite			333,35		

3.4.2 Türkiye’de İnşa halinde ve Türbin Sözleşmesi İmzalamış Rüzgar Enerjisi

Projeleri

Türkiye’de inşa halinde RES’ler ve inşa durumları Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : İnşa halindeki Rüzgar Enerji Santrali [22]

<i>Mevkii</i>	<i>Şirket</i>	<i>Üretime</i>	<i>Kurulu</i>	<i>Türbin</i>	<i>Türbin Adet ve</i>
		<i>Geçiş</i>	<i>Güç</i>	<i>İmalatçısı</i>	<i>Kapasitesi</i>
		<i>Tarihi</i>	<i>(MW)</i>		
Balıkesir-Şamlı	Baki A.Ş.	II/2008	114	Vestas	30 adet 3.000 kW (80,2 MW hazır)
Muğla-Datça	Dares A.Ş.	II/2008	28,8	Enercon	36 adet 800 kW (4,3 MW hazır)
İNŞA HALİNDEKİ KAPASİTE TOPLAMI			142,8		

Yakın zamanda kurulacak RES santralleri Çizelge 3.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Türbin Sözleşmesi İmzalamış Projeler[22]

<i>Mevkii</i>	<i>Şirket</i>	<i>Üretime Geçiş Tarihi</i>	<i>Kurulu Güç (MW)</i>	<i>Türbin İmalatçısı</i>	<i>Türbin Adet ve Kapasitesi</i>
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	35,1	Nordex	900 kW
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	22,5	Nordex	2.500 kW
Aydın-Didim	Ayen A.Ş.	II/2008	31,5	Suzlon	2.100 kW
İzmir-Çeşme	Kores A.Ş.	II/2008	15	Nordex	2.500 kW
Balıkesir-Susurluk	Alize A.Ş.	II/2008	19	Enercon	17 adet 800 kW ve 6 adet 900 kW
Osmaniye-Bahçe	Rotor A.Ş.	I/2009	135	GE	54 adet 2.500 kW
İzmir - Çeşme	Mazı-3Elk. Ür. A.Ş.	I/2009	22,5	Nordex	9 adet 2500 kW
Balıkesir-Bandırma	Borasco A.Ş.	I/2009	45	Vestas	15 adet 3000 kW
Tekirdağ-Şarköy	Alize A.Ş.	I/2009	28,8	Enercon	14 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kW
Balıkesir-Havran	Alize A.Ş.	I/2009	16	Enercon	8 adet 2000 kW
Çanakkale-Ezine	Alize A.Ş.	I/2009	20,8	Enercon	10 adet 2000 kW ve 1 adet 800 kw
Hatay-Belen	Belen A.Ş.	I/2009	30	Vestas	10 adet 3000 kW
Manisa-Kırkağaç	Alize A.Ş.	II/2009	25,6	Enercon	32 adet 800 kW
Manisa-Soma	Soma A.Ş.	II/2009	140,8	Enercon	176 adet 800 kW
Edirne-Enez	Boreas A.Ş.	II/2009	15		
İzmir-Aliaga	Doruk A.Ş.	II/2009	30	Enercon	15 adet 2.000 kW
İzmir-Aliaga	Yapısan İnş. Elk. San. Tic. A.Ş.	II/2009	90	Nordex	36 adet 2500 kW
İzmir-Aliaga	Doğal A.Ş.	I/2010	30	Enercon	15 adet 2000 kW
İzmir-Foça	Doğal A.Ş.	I/2010	30	Enercon	15 adet 2000 kW
Balıkesir-Kepsut	Poyraz A.Ş.	I/2010	54,9	Enercon	61 adet 900 kW
Manisa-Soma-Kırkağaç	Bilgin Elektrik Üretim A.Ş.	I/2010	90	Nordex	36 adet 2500 kW
Balıkesir-Kepsut	Bares Elektrik Üretim A.Ş.	I/2010	142,5	Nordex	57 adet 2500 kW
TÜRBİN TEDARİK SÖZLEŞMESİ İMZALI PROJE			1070		

Çizelge 3.11 Yeni kurulacak RES'lerin ne zaman devreye girmesinin planlandığı belirtilmektedir.

Çizelge 3.10 : İnşa Halindeki veya Türbin Sözleşmesi İmzalamış Projelerin

Devre Girme Tarihleri [22]

	<i>Devreye Girecek Toplam Kapasite</i>	<i>İşletmedeki Kapasite</i>	<i>Toplam</i>
09 / 2008 İtibariyle			333,35
II / 2008	265,9		599,25
I / 2009	298,1		897,35
II / 2009	301,4		1198,75
I / 2010	347,4		1546,15

Çizelge 3.11 : Türkiye Kurulu Gücü ve Enerji Üretimi ile Mevcut

ve Muhtemel RES Potansiyeli Karşılaştırması [3] [20] [23]

	<i>Türkiye Kurulu Gücüne Oranı</i>		<i>%30 Kapasite Faktörü ile İletim Sistemine Veriliş Miktarı</i>		<i>%35 Kapasite Faktörü ile İletim Sistemine Veriliş Miktarı</i>		<i>%40 Kapasite Faktörü ile İletim Sistemine Veriliş Miktarı</i>	
	Kurulu Güç	(%)	MWh	(%)	MWh	(%)	MWh	(%)
İşletmedeki Kapasite	333,35	0,89%	74403,72	0,53%	86804,34	0,62%	99204,96	0,70%
İşletme ve İnşa Halindeki Kapasite	476,15	1,27%	106276,7	0,76%	123989,5	0,88%	141702,2	1,01%
Türbin Tedarik Anlaşması İmzalamış Projeler ile Kapasite	1546,15	4,14%	345100,7	2,45%	402617,5	2,86%	460134,2	3,27%
Lisans Almış Kapasite	3273,95	8,77%	730745,6	5,19%	852536,6	6,06%	974327,5	6,92%
EİE 2015 Planlanan*	15000	40,16%	3348000	23,79%	3906000	27,76%	4464000	31,72%
EİE 2020 Planlanan*	20000	53,55%	4464000	31,72%	5208000	37,01%	5952000	42,30%
Kasım 2007 Yılı Başvuru Miktarı	77781	208,25%	17360719	123,37 %	20254172	143,93 %	23147626	164,49 %
İyi-Sıradışı Sınıfı Rüzgar Kapasitesi	47849,44	128,11%	10679995	75,89%	12459994	88,54%	14239993	101,19 %
Orta-Sıradışı Rüzgar Kapasitesi	131756,4	352,77%	29408028	208,97 %	34309367	243,80 %	39210705	278,63 %
Not: Kurulu Güç 37349 MW, Türkiye İletim Sistemine Verilen Toplam Miktar 14072516 MWh kabul edilmiştir,								

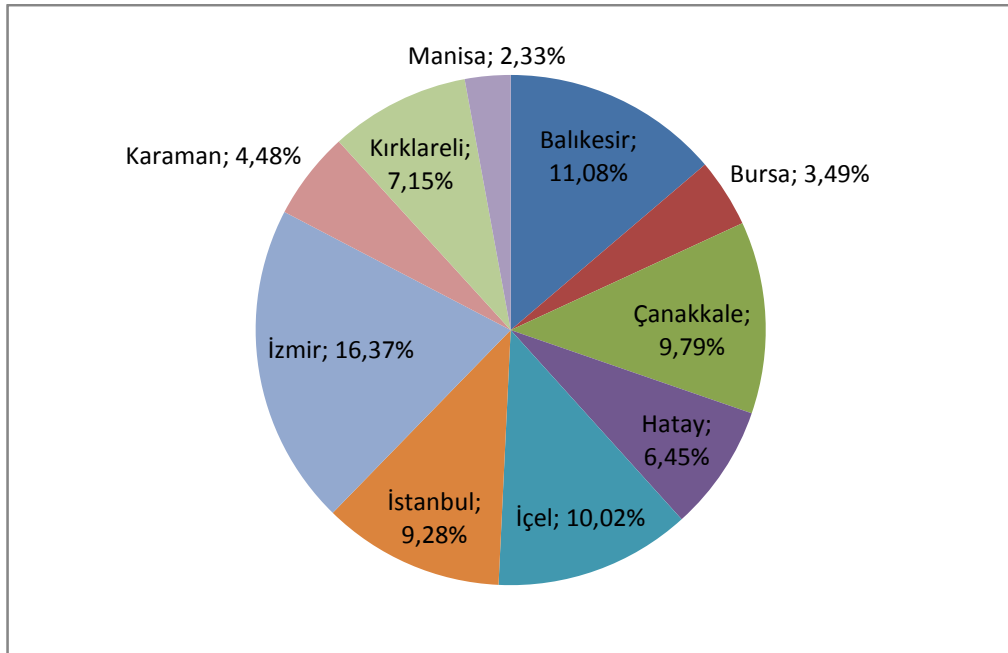
Türkiye’deki mevcut rüzgar enerjisi ve ileride kurulması olası rüzgar güçlerinin farklı kapasite faktörleri incelenmesi çizelge 3.12’de gösterilmektedir. Bazı güçlerin, Türkiye kurulu gücünden fazla olmasına rağmen, Türkiye elektrik enerjisini talebini karşılamadığı görülmektedir.

3.4.3 1 Kasım 2007 RES Başvuruları ve Başvuruların Teknik

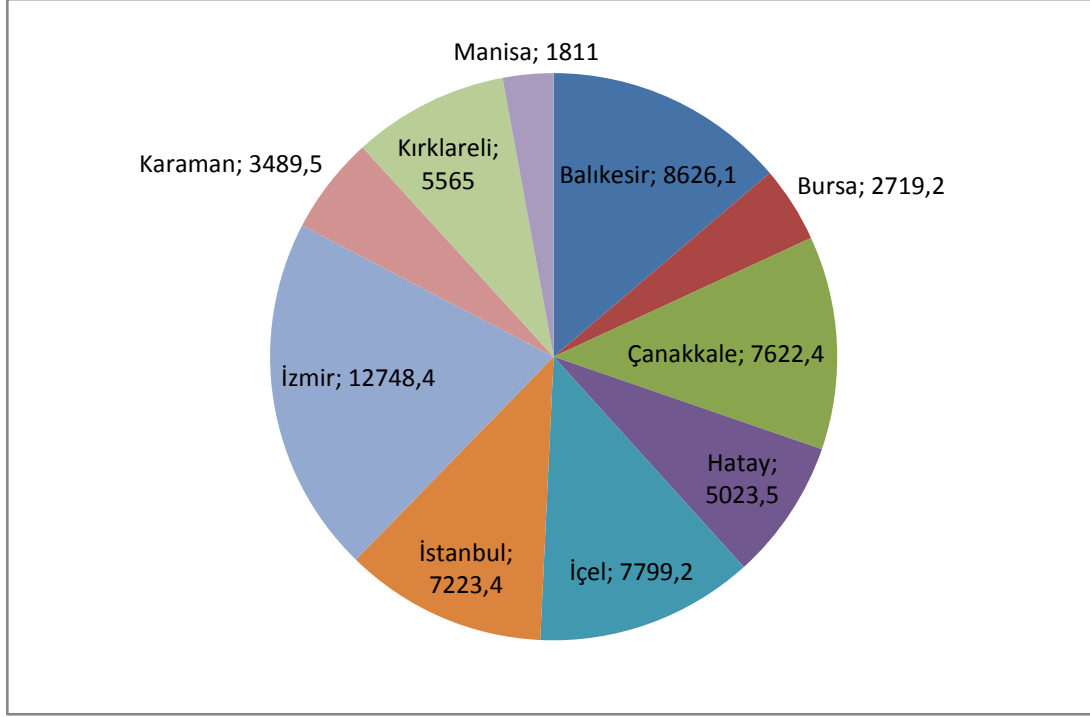
Değerlendirilmesi

3.4.3.1 1 Kasım 2007 RES Başvuruları

1 Kasım 2007 yılında 77871,5 MW Rüzgar Enerjisi Santrali başvurusu yapılmıştır[24]. Bu miktar daha yapılan başvurula düşünülürse çok fazladır. Türkiye kurulu gücü 40777 MW ulaşmıştır, yani Rüzgar Enerjisi Santrali başvuruları Türkiye kurulu Gücünün 1,90 katına denk gelmektedir. Özellikle 2007 yılında büyük ölçekte teklif yapılmasının başlıca sebepleri olarak; EPDK'nın daha önceki senelerden farklı olarak, en az bir senelik Rüzgar Ölçümü istememesi[3] ve 18.04.2007 tarihinde 5346 nolu Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'unda olan serbest piyasaya enerji satışlarının yaygınlaşması düşünülmektedir. 1 Kasım 2007 rüzgar enerjisi santralleri başvuruların İllere Göre Dağılımı EK E 'dir.



Şekil 3.9 : 1 Kasım 2007 Res Başvurularında En Çok Başvuru Yapılan 10 İl (Yüzde Olarak) [24]



Şekil 3.10 : 1 Kasım 2007 Res Başvurularında En Çok Başvuru Yapılan 10 İl (Güç Olarak)[24]

EK F’de 1 Kasım 2007 ve öncesi RES başvurularını Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir.

3.4.3.2 1 Kasım 2007 RES Başvuruların Teknik Değerlendirilmesi

09.11.2008 tarihinde yayınlanan Rüzgar Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmeliğine göre aynı trafo merkezine bağlanması planlanan başvurular aşağıdaki formül ile sıralanır[25].

$$BSP_i = 0,8 \times \sum [(0,7 \times GY_j + 0,3 \times TG_j) / n] + 0,2 \times L_i \quad (3.2)$$

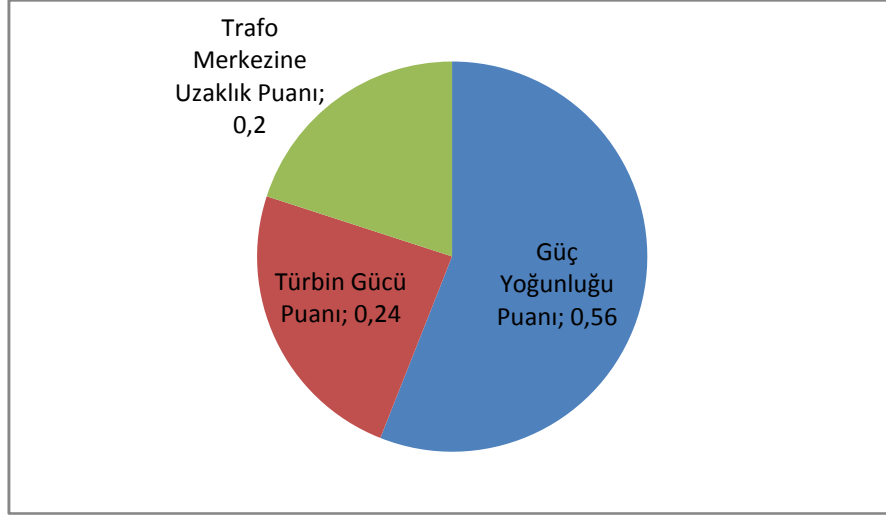
n : Başvurudaki sıralamaya alınan türbin koordinatı sayısı.

GY_j : Aynı trafo merkezi için sıralamaya alınan türbin koordinatlarının sahip olduğu en yüksek güç yoğunluğuna göre normalize edilmiş güç yoğunluğu puanı (Herbir türbin koordinatındaki güç yoğunluğunun en yüksek güç yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilen değer).

TG_j : Aynı trafo merkezi için sıralamaya alınan en yüksek türbin gücüne göre normalize edilmiş türbin gücü puanı (Herbir türbin koordinatındaki türbin gücünün en yüksek türbin gücüne bölünmesi ile elde edilen değer).

L_i : Aynı trafo merkezi için sıralamaya alınan başvurular arasından şalt sahası bağlanması planlanan trafo merkezine en yakın olana göre normalize edilmiş trafo merkezine uzaklık puanı (En küçük trafo uzaklığının başvurunun trafo uzaklığına bölünmesi ile elde edilen değer).

BSP_i : Başvurunun sıralama puanı.



Şekil 3.11 : BSP Hesabı Değerlerinin Ağırlıkları [25]

3.5 Dünyada ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Ekonomik Değerlendirilmesi

3.5.1 Dünyadaki Teşvikler

3.5.1.1 Teşvik Türleri

Ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına farklı teşvikler vermektedirler. Bunlar mali, vergi ve üretim teşvikleri olarak üç başlık altında toplanabilir[26].

3.5.1.1.1 Mali Teşvikler

Mali teşvikler genellikle iki alt başlıkta toplanmaktadır[26].

3.5.1.1.1.1 Yatırım Teşvikleri

Bu teşvik türünde devlet toplam yatırım tutarına belli bir oranda katkı da bulunmaktadır. Bu oran %20 - %40 arasında değişmektedir. Bazı devletler belli kaynaklar için bu teşviği vermektedirler[26].

3.5.1.1.1.2 Hükümet Destekli Kredi

Devlet veya uluslararası kuruluşlar, yatırımların finanse edilmesi için bu tip projelere normal ticari kredilerden daha cazip krediler vermektedir. Almanya`da Deutsche Ausgleichsbank ve Commerzbank kredileri bu duruma örnek olarak verilebilir[26].

3.5.1.1.2 Vergi Teşvikleri

Vergi teşviklerini iki alt başlıkta toplamak mümkündür[26].

3.5.1.1.2.1 Vergi Muafiyetleri

Bazı devletler 1-5 yıl arasında santralden elde edilen gelirden kurumlar ve/veya gelir vergisi almamaktadır. Hollanda`da uygulanmaktadır[26].

3.5.1.1.2.2 Gümrük Muafiyetleri

Devletler, rüzgar türbini, solar paneli gibi ekipman ithalat ve ihracatından düşük oranda veya bütünü ile gümrük vergi muafiyeti getirmektedir. Danimarka`da uygulanmaktadır[26].

3.5.1.1.3 Üretim Teşvikleri

Üretim teşviklerini ise üç alt başlıkta toplamak mümkündür[26].

3.5.1.1.3.1 Yenilenebilir Portföy Standardı (Renewable Portfolio/Energy Standard)

Bu teşvik türünde elektrik dağıtım şirketleri, dağıtımını yaptıkları elektriğin belli bir yüzdesini belirli bir zaman aralığında yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak zorundadır[26].

3.5.1.1.3.2. Üretilen Elektriğe Teşvik

Yenilenebilir kaynaklara verilen bir diğer teşvik türü de, üretilen elektriğin birim fiyatına verilen teşvik türüdür[26].

3.5.1.1.3.3. Sabit Tarife Uygulaması

Üretilen elektrik için belli bir zaman aralığında belli bir fiyat tarifi uygulanmaktadır. Örneğin, ilk 10 yıl ve ikinci 10 yıl olmak üzere 2 farklı periyotta sabit fiyat tarifi uygulanmaktadır[26].

Santral kredi borcu ve faizlerini geri ödemediğinden ilk 10 yıl daha yüksek tarife uygulanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir teşvik türüdür[26].

3.5.1.2 Avrupa Ülkelerinde Uygulanan Teşvikler

Bazı Avrupa ülkelerinde uygulanan teşvikler aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 : Avrupa Ülkelerinde Uygulanan Teşvikler[26]

Ülkeler	Yatırım Teşvikleri	Hükümet Destekli Teşvikler	Vergi Muafiyetleri	Gümrük Muafiyetleri	Portföy Yenilenebilir Standardı	Üretilen Elektrikçe Verilen Teşvik	Sabit Tarife Uygulaması
Almanya		*			*		9 €/kWh
Avusturya	*						7,3 - 10,9 €/kWh
Belçika		*					7,68 €/kWh
Danimarka			*	*		1,5 \$/kWh - 0,18 €/kWh	5,76 €/kWh
Finlandiya		*					
Fransa			*				6 €/ kWh (12 MW altında ise ilk 5 yıl 8,38 €/kWh)
Hollanda	*		*				7,71 €/kWh
İngiltere					*		4-7 €/kWh
İrlanda		*					4,7 €/kWh
İspanya						0,029 €/kWh	ilk 5 yıl 6,28 €/ kWh
İtalya		*				0,01 - 0,05 €/kWh	7,37 €/kWh
Portekiz		*	*				2000 saat 9 €/kwh – 600 saat 2-9 €/kWh – diğer 2 €/kwh
Yunanistan	*		*	*			ilk 10 yıl 6-7 €/kWh, son 10 yıl 3-5 €/kWh

3.5.2 Türkiye’de Uygulanan Teşvik Fiyatları

[5] belirtildiği gibi satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat; her yıl için, EPDK’nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatıdır. Ancak uygulanacak bu fiyat 5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5,5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamaz. Ancak 5,5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişiler bu imkândan yararlanırlar.

Kütahya Milletvekili Dr.Soner Aksoy tarafından Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına ilişkin kanunda değişiklik yapılması için başvuru yapmıştır. Bu başvuruya göre, EPDK’nın belirlediği bir önceki ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatının altında olmamak kaydıyla, üretim tesislerinin devreye girdiği tarihten itibaren, rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinden elde edilen elektrik ilk beş yıl 6 Euro Cent/KWh, ikinci beş yıl 5 Euro Cent/KWh, biyokütle enerjisine dayalı üretim tesislerinden elde edilen elektrik ilk beş yıl 14 Euro Cent/KWh, ikinci beş yıl 10 Euro Cent/KWh, jeotermal kaynaklara dayalı sistem ve santrallerden elde edilen elektrik için beş yıl 7 Euro Cent/KWh, beş yıl 6 Euro Cent/KWh, güneş enerjisine dayalı sistem ve santrallerden elde edilen elektrik ilk on yıl süresince 18 Euro Cent/KWh ve hidrolik kaynaklara dayalı üretim tesislerinden elde edilen elektrik için on yıl süresince 5 Euro Cent/KWh karşılığı Türk Lirası uygulanmasını önermiştir[23].

3.5.2.1 Türkiye’deki Teşvikler ve SDF Fiyatları Karşılaştırması

Türkiye serbest piyasa fiyat bilgileri bir sonraki sayfada gösterilmiştir.

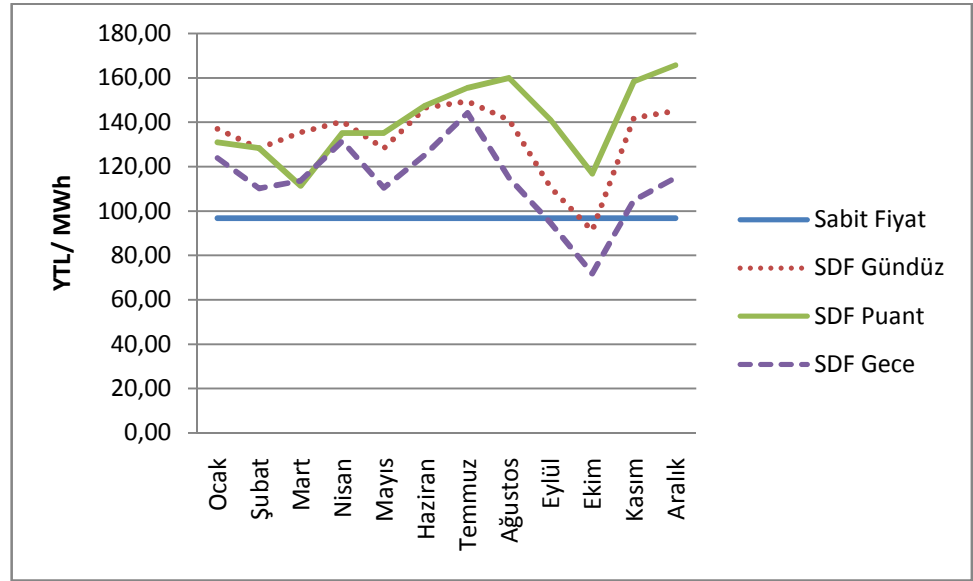
Çizelge 3.13 : 2008 Gerçek ve Hesaplanan SDF Fiyatları

	<i>Hesaplanan</i>			<i>Gerçek Değer</i>			<i>Hata</i>		
	Gündüz	Puant	Gece	Gündüz	Puant	Gece	Gündüz	Puant	Gece
Oca.08	168,6307	176,8624	151,3848	169,05	177,67	148,59	0,25%	0,45%	-1,88%
Şub.08	169,556	176,0666	153,8096	170,48	177,01	153,84	0,54%	0,53%	0,02%
Mar.08	163,3576	175,0435	146,7708	165,53	175,9	145,04	1,31%	0,49%	-1,19%
Nis.08	163,7043	174,5851	134,2207	166,15	175,75	133,91	1,47%	0,66%	-0,23%
May.08	164,4356	175,4476	146,3802	167,57	176,59	149,63	1,87%	0,65%	2,17%
Haz.08	160,2864	176,711	118,2999	165,56	177,42	129,15	3,19%	0,40%	8,40%
Tem.08	190,5188	186,5699	152,0359	188,24	180,14	155,94	-1,21%	-3,57%	2,50%

Şekil 3.16’da Türkiye farklı uzlaştırma dönemleri için SDF ile rüzgar enerjisine uygulanan sabit fiyat tarifesi karşılaştırılmıştır. SDF değerlerinin, sabit tarifieden çoğu zaman yüksek olduğu ve SDF değerlerinin belli dönemlerde Avrupa uygulanan rüzgar enerjisi teşviklerine yaklaştığı görülmektedir.

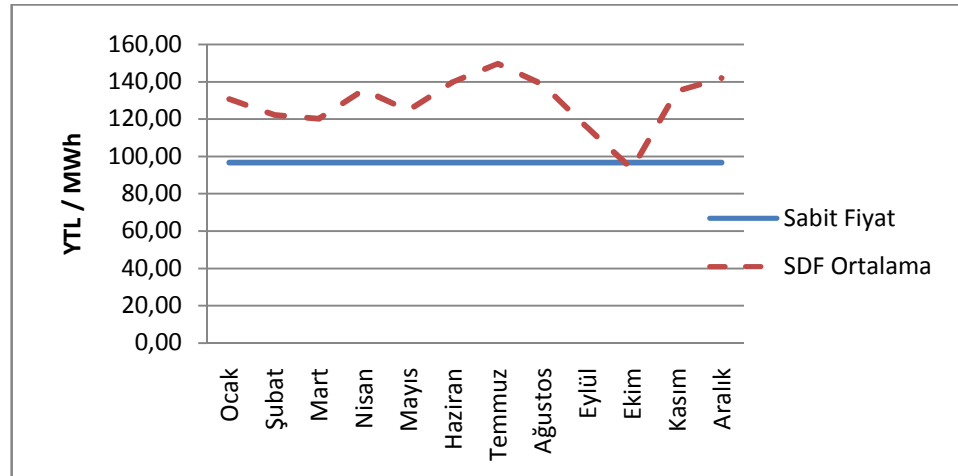
Çizelge 3.14 : 01/2007-07/2008 Hesaplanan SDF Fiyatları ile Rüzgar Enerjisi**Teşvik Fiyatı Karşılaştırması**

							<i>Sabit Fiyat 5,3 cent kabul edilirse</i>		
Yıl	Aylar	Gündüz	Puant	Gece	Ortalama	Sabit (2007)	Gündüz (cent)	Puant (cent)	Gece (cent)
2007	Ocak	136,96	130,94	123,78	130,56	96,70	7,51	7,18	6,78
(SDF	Şubat	128,20	128,41	110,08	122,23	96,70	7,03	7,04	6,03
hesaplanmış)	Mart	135,38	111,36	113,61	120,12	96,70	7,42	6,10	6,23
	Nisan	140,32	135,08	131,42	135,61	96,70	7,69	7,40	7,20
	Mayıs	128,20	135,08	110,40	124,56	96,70	7,03	7,40	6,05
	Haziran	146,56	147,53	125,36	139,82	96,70	8,03	8,09	6,87
	Temmuz	149,45	155,45	144,14	149,68	96,70	8,19	8,52	7,90
	Ağustos	141,07	159,87	114,86	138,60	96,70	7,73	8,76	6,30
	Eylül	110,59	141,05	94,60	115,41	96,70	6,06	7,73	5,18
	Ekim	91,08	116,82	71,78	93,23	96,70	4,99	6,40	3,93
	Kasım	141,87	158,31	104,81	135,00	96,70	7,78	8,68	5,74
	Aralık	145,14	165,62	114,85	141,87	96,70	7,96	9,08	6,29
2008	Ocak	169,05	177,67	148,59	165,10	107,01*	8,37	8,80	7,36
(SDF	Şubat	170,48	177,01	153,84	167,11	107,01*	8,44	8,77	7,62
gerçek)	Mart	165,53	175,9	145,04	162,16	107,01*	8,20	8,71	7,18
	Nisan	166,15	175,75	133,91	158,60	107,01*	8,23	8,70	6,63
	Mayıs	167,57	176,59	149,63	164,60	107,01*	8,30	8,75	7,41
	Haziran	165,56	177,42	129,15	157,38	107,01*	8,20	8,79	6,40
	Temmuz	188,24	180,14	155,94	174,77	107,01*	9,32	8,92	7,72
	Ağustos	183,18	181,66	154,64	173,16	107,01*	9,07	9,00	7,66
	Eylül	152,95	167,18	142,9	154,34	107,01*	7,58	8,28	7,08
	Ekim	142,84	170,22	89,82	134,29	107,01*	7,07	8,43	4,45
	Kasım	165,01	181,71	146,61	164,44	107,01*	8,17	9,00	7,26
Not *: 2008 sabit fiyatı 5,3 cent olarak ve  değeri 2,0192 TL olarak alınmıştır.									

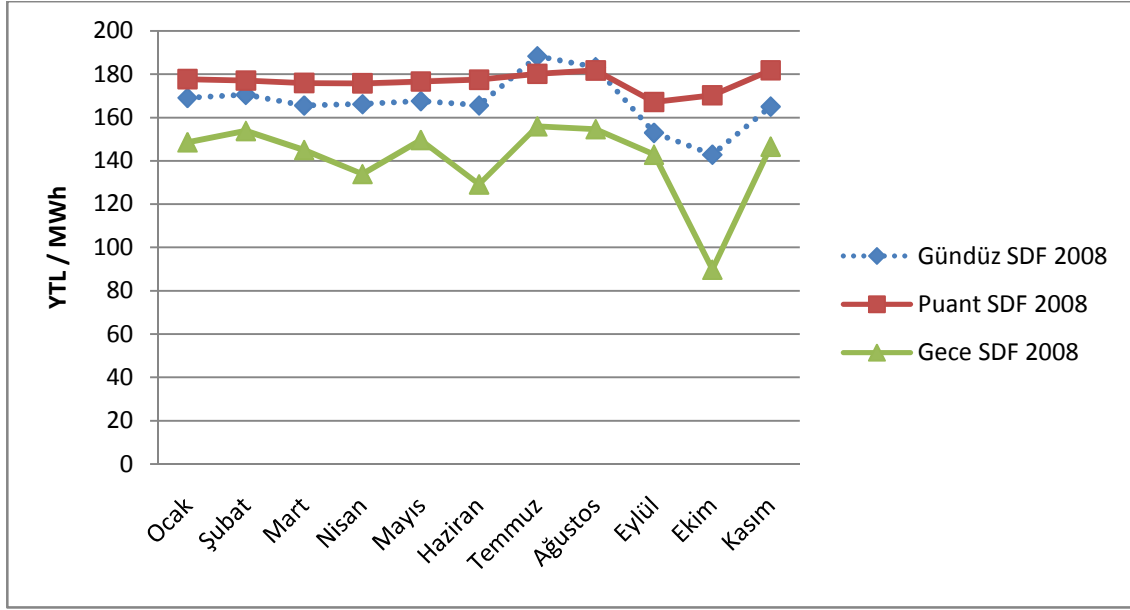


Şekil 3.12 : 2007 SDF ile Sabit Fiyat Karşılaştırması

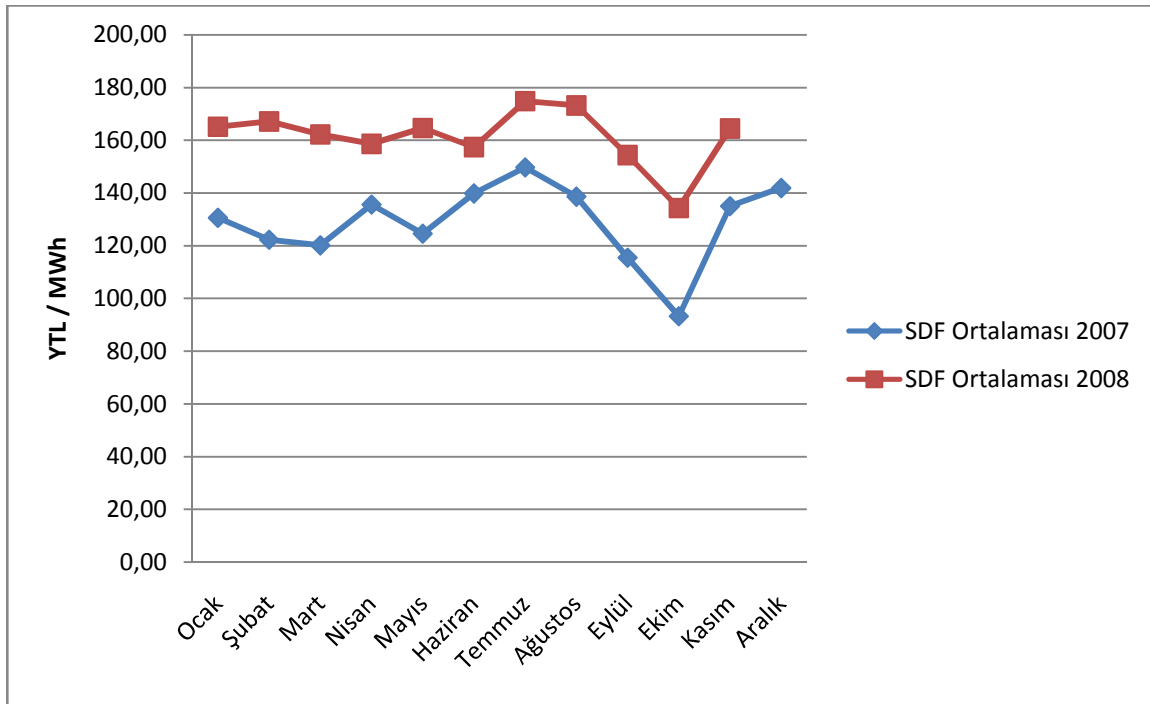
Puant uzlaştırma döneminde SDF değerlerinin sabit fiyattan her durumda yüksek olduğu görülmektedir. Gündüz ve Gece SDF değerleri ise, ekim ayı dışında sabit fiyattan yüksektir.



Şekil 3.13 : 2007 SDF Ortalaması ile Sabit Fiyat Karşılaştırması



Şekil 3.14 : 2008 Hesaplanan SDF Dönem Fiyatları Karşılaştırması



Şekil 3.15 : Hesaplanan 2007 ve 2008 SDF Dönem Ortalamaları Karşılaştırması

4. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

4.1 Enerji Depolamanın Yararları ve Çeşitleri

Enerji Depolama, bir enerji türünün ileride yararlı bir operasyon için depolanmasıdır[27].

Enerji Depolamanın Yararları

- Yenilenabilir Enerjilere ekonomik katkı sağlayabilir. Yoğun olmayan saatlerde üretilen enerjinin, yoğun saatlerde kullanabilmesi sağlanabilir.
- Yedek Elektrik Gücü olarak kullanılabilir.
- Dağıtım ve İletim şebekesinde elektrik enerjisinin taşınmasında dengeleme görevi üstlenebilir.
- Elektrik Piyasasını dengeleme görevi üstlenebilir.
- Mevcut Elektrik Üretim Birimlerinin daha verimli çalışması sağlanabilir. [28]

Enerji Depolama Türleri ve Teknikleri aşağıdaki gibidir.

- Kimyasal
 - o Hidrojen
 - o Biyoyakıt
- Elektrokimyasal
 - o Piller
 - o Akıcı Piller
 - o Yakıt Pilleri
- Elektriksel
 - o Kapasite
 - o Süperkapasite
 - o Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES)

- Mekanik
 - o Sıkıştırılmış hava enerji depolama (CAES)
 - o Flywheel enerji depolama
 - o Hidrolik Akümülatör
 - o Hidroelektrik enerji depolama
 - o Yaylar
- Termik
 - o Molten tuzu
 - o Nitrojen
 - o Mevsimsel Isıl Depolama
 - o Güneş Havuzları
 - o Sıcak Tuğlalar
 - o Buhar Akümülatörü [27]

Çizelge 4.1 : Depolama Türleri Verimleri [29]

<i>Depolama Formu</i>	<i>Çevrim Verimi</i>
Hidrojen Gaz	0,4-0,6
Pompaıı Hidrolik, 100m yük.	0,65-0,8
Sıkıştırılmış Hava	0,4-0,5
Flywheel, ileri düzey	0,95
Kurşun Asit Piller	0,7-0,8
Lithium İon Piller	0,7
Superiletkenler	0,85

Çizelge 4.2 : Depolama Türleri Depolama Süreleri [30]

Depolama Süresi	Tam Güç	Depolama ve geleneksel Elektriksel Sistem Kontrol yerine geçebilecek Uygulamalar	Biomass	Hidrojen. Elektroliz+Yakıt Pili	Büyük Hidrolik	Sıkıştırılmış Hava Enerji Kaynağı	Isı veya Soğuk Deposu + Isıl Pompa	Pompalı Hazneli Hidrolik	Yeni ve Eski Pili teknolojileri	Flywheel	Superiletken Manyetik Enerji Depolama (SMES)	Geleneksel Kapasite veya İndüktör
4 ay		Yıllık Yüklerin Düzenlenmesi, Güneş,Rüzgar ve Küçük Hidroelektrik	x	x	x							
3 hafta		Hava Etkilerini düzenlemesi: Yük, Güneş,Rüzgar, Küçük Hidroelektrik	x	x	x							
3 gün		Haftalık yüklerin ve hava değişimlerinin düzenlenmesi	x	x	x	x	x	x				
8 saat		Günlük yük döngüsü, Güneş,Rüzgar, Dağıtım Hatı Tamiri	x	x	x	x	x	x	x			
2 saat		Tepe Yükün azaltılması, Yedek Reserv, Rüzgar Gücü düzenlenmesi. Güvenilirlik Sorunları ve ticaret cezaları minimize edilmesi	x	x	x	x	x	x	x			
20 dakika		Dönen Reserv, Rüzgar Gücü Düzenlemesi, Güneş için Bulutlar		x	x	x	x	x	x	x		
3 dakika		Dönen Reserv, Ani Rüzgar Hareketlerinin Düzenlenmesi		x				x	x	x		
20 saniye		Hat ve yerel kısıtdevreler, Gerilim ve Frekans Kontrolü, Merkez kontrollü Üretim							x	x	x	x

4.2. Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Bazı Depolama Türleri

4.2.1 Pompalı Hidroelektrik Santralleri

En büyük ve en eski enerji depolama yöntemlerinden bir tanesi Hazneli Pompalı Sistemlerdir. Günümüz olanakları ile 1000MW ve üzerine kadar hazneli pompalı sistemler kurulabilmektedir. Geleneksel hazneli pompalı sistemlerde iki adet su deposu/havuzu dikey olarak yerleştirilmiş şekilde bulunmaktadır. Düşük su havuzundan, yüksek su havuzuna su pompalanarak enerji depolanır ve ihtiyaç duyulduğunda yüksek havuzdaki suyun, düşük havuza aktarılması sırasında tekrear enerji elde edilir. Yani depolanan enerji, suyun potansiyel enerjisine dönüşmektedir.[6]

Depolanan enerjinin formülü:

$$E_s = V \times d \times g \times h \quad (4.1)$$

E_s : Depolanan Enerji (kgm/s²)

V : Pompalan su miktarı(m³)

d : suyun yoğunluğu (1000kg/m³)

g : yerçekimi ivmesi (9,8 m/s²)

h : havuzlar arasındaki yükseklik mesafesi(m)

Hazneli Pompalı Su Santralleri, temel olarak elektrik tüketiminin az düşük olan zamanlarda, suyu düşük havuzdan yüksek havuza pompalayarak enerji depolar ve elektrik tüketiminin yüksek olduğu zamanlarda veya ihtiyaç duyulduğunda enerjiyi tekrar şebekeye geri verir[6].

Maden yatakları ve mağaralar, yer altı hazneli pompalı santraller olarak kullanılabilir fakat bu pahalı bir yöntemdir[6]. Japonya Yanbaru kentinde 1999 yılında kurulan deniz suyu pompa santrali 30 MW güce sahiptir[31].

Dünyada 90 GW gücün üzerinde hazneli pompalı santral bulunmaktadır. 2000 yılında 19,5 MW Hazneli Pompalı santraller gücüne sahip olan ABD, temel yük üretiminin 2,5%'unu bu şekilde sağlamaktadır. 2007 yılında enerji hazneli pompalı

santrallerde türbin/pompa verim kaybı, su buharlaşması nedeniyle ABD’de 7 GWh enerji kaybı oluşmuştur[32].

1999 yılında AB ülkelerinde 32 GW kapasiteye sahip hazneli pompalı santraller, toplam elektrik kapasitesinin 5,5% oluşturmaktadır[31].

Coğrafi olarak kurulabilecek yerlerin az olması, yüksek kurulum süresinin ve maliyeti ve ekonomik olabilmesi için büyük ölçekte olması gerekliliği pompalı hazneli santraller olumsuz yönleridir[6].

Pompalı Hidrolik Santrallerin verimleri %65 ile %80 arasında değişmektedir[29].

4.2.2 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, sentetik bir enerji taşıyıcısı kullanılabilir. Üretim kaynakları son derece bol ve çeşitlidir. Bunların en başta gelenleri su, kömür ve doğal gazdır. Hidrojen, bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim ağırlık başına en yüksek enerji içeriğine sahip (120,000 kJ/kg). Sıvı haline dönüştürüldüğünde gaz halindeki hacminin sadece 1/700’ünü kaplar. Saf oksijenle yandığında sadece su ve ısı açığa çıkarıyor. Hava ile yandığında ise azot oksitler açığa çıksa da diğer yakıtlara göre kirliliği son derece azdır. Dünyada üretilen hidrojenin çok büyük bir bölümü, metanın su buharı ile katalitik olarak oksidasyonu yöntemi ile doğal gazdan elde edilmektedir. Doğal gazın yanı sıra diğer hidrokarbon yakıtlardan da (metanol, LPG, Nafta, Benzin) su buharı ile katalitik olarak hidrojen üretilmektedir[33].

Rüzgar ya da hidroelektrik tesislerinin ürettiği enerjinin tamamı elektrik şebekesine verilmeyerek, bir kısmı ile hidrojen üretilir. Nükleer enerji tesislerinin bir çıktısı olan ısı enerjisi, elektroliz sıcaklığını arttırmak şeklinde verimliliğe katkısı bulunacaktır[33].

Hidrojen üretimi yapan elektroliz cihazları üreten Hydrogenics Elektrolizerleri %65 verim ile 1 MWh elektrik enerjisi ile 18,728 kg hidrojen üretebilmektedir[34].

Hidrojen, sıvı,gaz veya başka bileşik içinde depolanabilir. Genellikle basınçlı tüplerde veya sıkıştırılmış tüplerde gaz halinde depolanır. Bu tüpler karbon/alüminyum karışımı metallere yapılır. Sıvı halinde depolanan çok düşük derecede(-235⁰ C) olmaktadır. Soğutma ve sıkıştırmaya işlemlerinde %30 kayıp oluşması ve tank maliyetleri, sıvı tipi depolamanın önemli eksileridir[6].

Hidrojenin elektrik enerjisine çevrimini sağlayan yakıt pilleri üreten Hyrogenics yakıt pilleri %44 verim ile çalışmaktadır. Böylece bir tam tur çevrimde, yani elektriğin hidrojene çevrilmesi ve tekrar hidrojenin elektriğe dönüştürülmesinde oluşan toplam verim %27,5 olmaktadır[34].

Avrupa’da ilk tesis Danimarka’da Yenilenebilir Enerji kaynaklarından hidrojen üretimi yapan Mayıs 2007 tarihinde açılmıştır. Rüzgar Enerjisi yoğun olan Lolland adasında kurulan tesis, rüzgar gücünü kullanarak suyu elektroliz etmektedir. Açığa çıkan oksijeni yerel içme suyu şebekesi işlemlerinde kullanmakta ve hidrojeni 6 bar basınçlı depolama tanklarında saklanmaktadır[35].

Günümüzde üretilen hidrojenin temel kaynağı ve en ucuzu olduğundan, hidrojen gazının maliyeti doğalgaza bağlı fiyatları aşağıdadır[36]

Çizelge 4.3 : Doğalgaza Bağlı Hidrojen Fiyatı[36]

<i>Doğal gaz fiyatı \$/GJ</i>	<i>Tesis Boyutu, Ton/Gün</i>	<i>Tesis Maliyeti</i>	<i>Hidrojen Gazı Maliyeti \$/kg</i>
3,5	22	23	1,8
7	22	23	2,4
15	22	23	4,1
3,5	80	44	1,2
7	80	44	1,9
15	80	44	3
3,5	600	210	0,7
7	600	210	1
15	600	210	2,7

Botaş Aralık Doğalgaz tarifesine göre[37] :

Çizelge 4.4 : Botaş Aralık Doğalgaz Tarifesi[37]

<i>SINAI KESİNTİSİZ</i>	<i>(KDV YTL/kwh Hariç)</i>
Seramik	0,073005 0,776776
Elektrik	0,073005 0,776776
Proses ve Buhar	0,073005 0,776776

1 kWh, 0,038 GJ olduğuna göre,

$$0,073005 \frac{TL}{kWh} = 20,27924 \frac{TL}{GJ} \quad (4.2)$$

Dolar 1,5318 ytl kabul edilirse ,

$$20,27924 \frac{TL}{GJ} = 13,23883 \frac{\$}{GJ} \quad (4.3)$$

13,23 \$/GJ en yakın olan değer 15 \$/GJ olduğundan, hidrojen gazı maliyeti 4,1 \$/kg olmaktadır ve dolar 1,5318 kabul edilirse, 1 kg hidrojeninin maliyeti 6,28038 YTL/kg olacaktır.

Hidrojenin taşıma araçlarında yakıt olarak kullanılması mümkündür. Şuan araçlarda benzinin fiyatı ile hidrojenin olası fiyat eşleştirilmesi aşağıda yapılmıştır.

$$1 \text{ kg Hidrojen maliyeti } \left(\frac{TL}{kg} \right) = 1 \text{ litre Benzin Maliyeti } \left(\frac{TL}{lt} \right) \times \frac{\text{Benzin} \frac{kcal}{kg}}{\text{Benzin} \frac{kcal}{lt}} \times$$

$$\frac{\text{Yakıt Pili Verimi}}{\text{İçten Yanmalı Motor Verimi}} \times \frac{\text{Hidrojen kcal/kg}}{\text{Benzin kcal/kg}} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.5 : 1 kg Hidrojen Yakıtı Hesabında kullanılan Değerler

1 litre Benzin Rafineri fiyatı (8 Temmuz 2008)	1,13 TL [38]
1 litre Benzin Rafineri fiyatı (17 Aralık 2008)	0,47 TL [38]
Benzin Kalori Değeri (litre)	7900 – 8400 kcal / litre
Benzin Kalori Değeri (kg)	10500 – 11200 kcal/kg
Hidrojen Yakıtı Kalori Değeri	120,7 - 140,9 MJ/kg veya 28828 – 33653 kcal/kg
İçten yanmalı Motor Verimi	%30
Yakıt Pili Verimi	%44

8 Temmuz 2008 tarihinde,

$$1 \text{ kg Hidrojen maliyeti } \left(\frac{TL}{kg} \right) = 1,13 \left(\frac{TL}{lt} \right) \times \frac{11200 \frac{kcal}{kg}}{8400 \frac{kcal}{lt}} \times \frac{0,44}{0,30} \times \frac{33563 \frac{kcal}{kg}}{11200 \frac{kcal}{kg}} =$$
$$6,64 \text{ YTL/kg} \quad (4.6)$$

17 Aralık 2008 tarihinde,

$$1 \text{ kg Hidrojen maliyeti } \left(\frac{TL}{kg} \right) = 0,47 \left(\frac{YTL}{lt} \right) \times \frac{11200 \frac{kcal}{kg}}{8400 \frac{kcal}{lt}} \times \frac{0,44}{0,30} \times \frac{33563 \frac{kcal}{kg}}{11200 \frac{kcal}{kg}} =$$
$$2,76 \text{ TL/kg} \quad (4.7)$$

1 MWh Elektrik Enerjisi ile 18,728 kg Hidrojen üretilbildiğine göre,

8 Temmuz 2008 tarihinde,

$$1 \text{ MWh Elektrik Enerjisi} = 18,728 \text{ kg} \times 6,64 \frac{TL}{kg} = 124,35 \text{ TL} \quad (4.8)$$

17 Aralık 2008 tarihinde,

$$1 \text{ MWh Elektrik Enerjisi} = 18,728 \text{ kg} \times 2,76 \frac{\text{TL}}{\text{kg}} = 51,72 \text{ TL} \quad (4.9)$$

4.2.3 Flywheel

Flywheel (çark,düzteker) , enerjiyi bir rotor çok yüksek hızlara çıkararak depolar ve enerjiyi içinde kinetik enerji olarak saklar. Düşük hız ve yüksek hız olmak üzere ikiye tipe ayrılabilir. Düz hızda olan kesintisiz güç kaynaklarında(UPS), yüksek hızlarda olanlar ise bazı durumlarda kesintisiz güç kaynaklarında kullanılmak ile beraber, düzenleyici (regenerative) enerji olarak da kullanılabilir[30].

İki tipte de enerji, rotorun momentum miktarı ile yani hızın karesi oranıyla ile ilişkilidir. Bu nedenle daha yüksek hızda dönen rotorlar yapılmaya çalışılmaktadır. Flywheel şarj işleminin tersini yaparak, yani motoru generatör olarak kullanarak, depoladığı enerjiyi verir. Tamamen deşarj olana kadar yavaşlamaya devam eder. Flywheel ani ve sık sık olan deşarjlar için uygun bir sistemdir[30].

4.2.4 Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama

Sıkıştırılmış hava sistemi (Compressed-Air Energy Source- CAES), enerji tüketiminin az olduğu zamanlarda depolama tankının içinde kompresör yardımıyla enerji depolanması ve enerji tüketiminin fazla olduğu zamanlarda sıkıştırılmış havanın boşaltılması ile çalışan bir enerji depolama sistemidir[27].

Sıkıştırılmış hava sisteminde, doğal yer altı kaynakları, erimiş tuz solüsyonları ve kayalardaki oluşumlar olmak üzere üç çeşit depolama kaynağı kullanılır[6].

Sıkıştırılmış hava ile enerji depolama sisteminin, içten yanmalı türbinle çalışmak zorundadır. Sıkıştırılmış hava ve içten yanmalı türbinin içindeki yanan yakıt(doğalgaz gibi) genişleticide türbin kanatlarının çevrilmesinde kullanılır. Genişletici de oluşturulan mekanik gücün %60 civarı sıkıştırılmış hava ile üretilir[6].

Sıkıştırılmış hava ile enerji depolama sistemi verimi %40 - %50 [29] ve depolama verimi de %75 civarındadır[6].

Sıkıştırılmış hava ile enerji depolama sistemi , yanma olmadan çalıştırılmaz, çünkü düşük ısıdaki egsoz gazı malzemelerde kırılmalara ve donmalar sebep olabilir[6].

Yakıt olarak Biyogaz kullanılarak, %100 yenilenebilir enerji üretimi sağlanabilir[6].

İlk ticari sıkıştırılmış hava ile enerji depolama sistemi Almanya'nın Hundorf şehrinde 290 MW kurulu güç ile 1978 yılında inşa edilmiştir. İkinci ticari tesis ABD'nin McIntosh Alabama'da 110 MW kurulu güç ile 30 ay ve 65 milyon \$ maliyet ile kurulmuştur. Üçüncü ticari tesis ise Norton Ohio'da 2700 MW kurulu gücü yapılması planlanmıştır. Mevcut bir kireçtaşı maden ocağına 9 ünite ile 1500 psi basınçta hava sıkıştırılacaktır[40].

5. ANALİZLER

5.1 Geleneksel RES hesabı ve Yeni RES hesabı

5.1.1 Rüzgar Ölçümü yapılarak Klasik Yöntem ile

Bu yöntemde bir dönem için (genelde yıllık) Rüzgar hızı ölçümü yapılarak bu dönemde Rüzgar Enerjisi Santralinden üretilen enerji bulunur. 15 saniye ile 1 dakika arasında yapılan rüzgar ölçümlerinden saatlik Rüzgar hızı ortalaması elde edilir. Ortalama rüzgar hızları analizleri sonucunda elde edilen farklı rüzgar hızlarında ne kadar süre estiği bilgisi Rüzgar Enerjisi hesabında kullanılır. Aşağıdaki denklem 5.1 ile rüzgar enerjisi hesaplanır.

$$\begin{aligned} & (i \text{ hızında esme sayısı }) \times (\text{Türbin } i \text{ rüzgar hızında ürettiği güç}) = \\ & (i \text{ rüzgar hızında toplam üretilen enerji }) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Çizelge 5.1’de örnek bir hesaplama gösterilmektedir. Farklı rüzgâr hızlarındaki esme sayısı, ile o rüzgar hızlarında Rüzgar Türbini Güç üretimi karakteristiği çarpılır ve farklı rüzgar hızlarında üretilen güçler bulunur. Bunların toplamı Rüzgar Enerjisi Toplam üretimi bulunur.

Çizelge 5.1 : Rüzgar Ölçümü Yapılan Klasik Yöntem ile RES Enerji Hesabı

Rüzgar hızı V_i (m/s)	V_i hızında Esme Sayısı	Rüzgar Türbini Hız-Güç	Enerji Üretim Miktarı
1	212	0	0
2	426	0	0
3	613	16	9808
4	757	37	28009
5	850	100	85000
6	888	181	160728
7	875	287	251125
8	820	451	369820
9	733	645	472785
10	629	861	541569
11	518	1000	518000
12	410	1000	410000
13	313	1000	313000
14	231	1000	231000
15	164	1000	164000
16	113	1000	113000
17	75	1000	75000
18	48	1000	48000
19	30	1000	30000
20	18	1000	18000
21	10	1000	10000
22	6	1000	6000
23	3	1000	3000
24	2	1000	2000
25	1	1000	1000
Toplam			3860844

RES'ten üretilen toplam enerji ile RES'ten üretilen enerjiye verilen sabit fiyat ile bu dönemde elde edilen ekonomik kazanç hesaplanır.

$$\text{Yıllık Toplam Enerji Üretim Miktarı} \times \text{Sabit Enerji Üretim Bedeli} = \text{Kazanç} \quad (5.2)$$

5.1.2 Rüzgar Ölçümü yapılmadan Klasik Yöntem ile

Daha önce yapılmış bir rüzgar hızı çalışmasına veya Türkiye Rüzgar Atlası REPA'ya bakılarak Rüzgar Türbinin konumlanacağı yerdeki Weibull-c, Weibull-k parametreleri bulunur[25].

Weibull dağılımı, boyutsuz şekil “k” ve rüzgar hızı ile aynı birime sahip ölçek “c” parametrelerinden oluşan iki parametrelili bir dağılımdır. Rüzgar verilerinin dağılımını göstermek için yapılan çalışmalar Weibull dağılımının rüzgar verileri dağılımı uygun olduğu görülmüştür[41].

Rüzgarın esme olasılığı aşağıdaki formülden bulunur[41].

$$F(V_i) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V_i}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V_i}{c}\right)^k} \quad (5.3)$$

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

V_i : Rüzgar 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 denklem 5.4 ile hesaplanır[25].

$$P_T = \frac{\rho}{1,225} \times [\text{Kullanılacak Türbinin Hız} - \text{Güç Eğrisi}] \quad (5.4)$$

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

ρ : RES alanının yıllık ortalama hava yoğunluğu (kg/m^3)

P : Rüzgar türbininin RES alanındaki ortalama gücü (MW)

$$E = P \times 8760 \text{ saat} \quad (5.5)$$

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

Çizelge 5.2’de örnek bir hesaplama gösterilmektedir. REPA’dan alınan Weibull c parametresi ve Weibull k parametresi ile $F(V_i)$ bulunmuştur. Rüzgar türbinin her bir rüzgar hızındaki gücü $P_T(V_i)$ ile rüzgar hızı esme olasılığı $F(V_i)$ çarpımı ile Rüzgar Enerjisi Üretimi $P(V_i)$ olasılığı elde edilir[25].

Weibull-c parametresi : 8,60876 m/s

Weibull-k parametresi : 2,05706

Hava yoğunluğu : 1,015 kg/m³

Çizelge 5.2 : Ölçüm Yapılmadan RES Enerjisi Hesabı[25]

V_i (m/s)	$F(V_i)$	$P_T(V_i)$ (MW)	$P(V_i)$ (MW)
1	0,0242569	0	0
2	0,0486024	0	0
3	0,0699362	0,013257	0,000927
4	0,08643362	0,030657	0,00265
5	0,09701564	0,82857	0,008038
6	0,10136996	0,149971	0,015203
7	0,09989949	0,2378	0,023756
8	0,09357499	0,373685	0,034968
9	0,08372176	0,534428	0,044743
10	0,07178605	0,7134	0,051212
11	0,05912576	0,828571	0,04899
12	0,04685784	0,828571	0,038825
13	0,03577692	0,828571	0,029644
14	0,02634231	0,828571	0,021826
15	0,01871785	0,828571	0,015509
16	0,01284284	0,828571	0,010641
17	0,00851272	0,828571	0,007053
18	0,00545303	0,828571	0,004518
19	0,00337675	0,828571	0,002798
20	0,00202188	0,828571	0,001675
21	0,00117082	0,828571	0,00097
22	0,00065581	0,828571	0,000543
23	0,00035536	0,828571	0,000294
24	0,0001863	0,828571	0,000154
25	0,0000945	0,828571	7,83E-05
TOPLAM			0,36502

Yıllık Elektrik Üretim Miktarı[25];

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

Yıllık elektrik üretim miktarı ile RES'ten üretilen enerjiye verilen sabit fiyat ile bu dönemde elde edilen ekonomik kazanç hesaplanır.

$$\text{Yıllık Toplam Enerji Üretim Miktarı} \times \text{Sabit Enerji Üretim Bedeli} = \text{Kazanç} \quad (5.6)$$

Bu yöntemde Repa'dan alınan bilgilere kesinlikle doğru olduğu kabul edilmektedir. Fakat bu bilgilerin hatasız olduğu kanıtlanmış değildir. RES şirketlerine kredi veren kuruluşlar için veya rüzgar türbini yerleştirilmesi için rüzgar ölçümü yapılması zorunludur[3].

5.1.3 Rüzgar Enerjisi Hesabı için Yeni yöntem

Daha önce belirttiğim yöntemlerde, sabit enerji bedeli kullanılmaktadır. Fakat Türkiye RES'ten üretilen enerji serbest enerji piyasasında satılabilmektedir. Serbest enerji piyasasında fiyatlar saatlik olarak değişmektedir. Kesin kazanç hesabının bulunabilmesi için saatlik enerji üretiminin bilinmesi gerekmektedir. Bu yöntemin kullanılmasının en önemli sebebi, hesapların saatlik yapıp, sonuçların toplanarak yıllık bilgilerin bulunmasıdır.

Saatlik RES üretilen enerji hesabı denklem (5.7), (5.8), (5.9) 'da gösterilmiştir.

$$[i \text{ saatinde Rüzgar Esme Ortalaması}]_{24 \times 365} \times [\text{Türbin güç karakteristiği}] = [i \text{ saatinde Üretilen Enerji}]_{24 \times 365} \quad (5.7)$$

$$[i \text{ saatinde Üretilen Enerji}]_{24 \times 365} \times [i \text{ saatinde Serbest Piyasa Elektrik Fiyatı}]_{24 \times 365} = [i \text{ saatindeki kazanç}]_{24 \times 365} \quad (5.8)$$

$$\sum_{i=1}^{8760} i \text{ saatindeki kazanç} = \text{Yıllık Toplam Kazanç} \quad (5.9)$$

RES şirketlerin uyguladığı muhtemel yöntem denklem (5.10)'da gösterilmiştir.

$$\sum_1^{\text{Bir Ay}} \text{Üretilen Enerji} \times [\text{Bir Aylık Serbest Piyasa Ortalaması}] = \text{Aylık Toplam Kazanç} \quad (5.10)$$

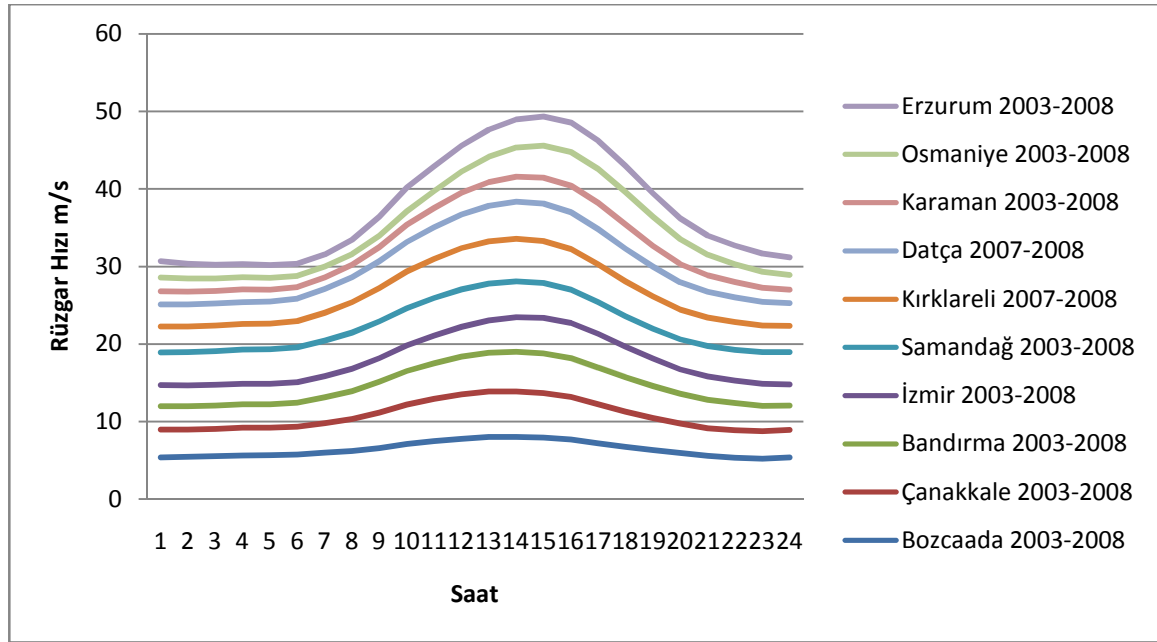
Bu yöntemde saatlik enerji üretimin bilinmesine gerek yoktur. Eğer RES çalışır durumda ise aylık üretilen enerji, kolayca ölçülebilmektedir.

5.2 Türkiye'nin 10 Bölgesinin Rüzgar Enerji Potansiyeli

Devlet Meteoroloji İşlerinden, Türkiye'nin Rüzgar Potansiyeli yüksek 74 bölgesi için beş (5) yıllık saatlik ortalama Rüzgar hızı datası (yıllık 8760 data) istenmiştir. Bu 74 bölgenin, 55 tanesi için saatlik ortalama Rüzgar hızı datası gönderilmiştir. Rüzgâr Datalarının incelenmesi ve elde edilen sonuçların ile Türkiye Rüzgar Atlası ile karşılaştırması sonucu, doğruluğuna güvenilen, ölçüm yeri ile RES yeri arasındaki bağlantısı ve kurulması muhtemel RES'lerin sayısı göz önüne alınarak analizlerde çalışmak üzere 10 bölge seçilmiştir: Bozcaada, Çanakkale, Bandırma, İzmir, Kırklareli, Datça-Muğla, Karaman, Samandağ, Osmaniye, Erzurum.

Rüzgar hızı ölçüm değerleri 2003,2004,2005,2006 yıllarında metre/saniye birimiyle, 2007 ve 2008 yıllarında kara mili/saniye birimiyle yapıldığı görülmüştür. 2007 ve 2008 ölçümleri metre/saniye birimine çevrilip hesaba katılmıştır.

EK G'de bu 10 bölgenin 10m yükseklikte ölçüm yapılan saatlik rüzgâr ortalamaları gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : 10 Bölgenin Rüzgar Ortalamaları Toplamı

10 m yapılan ölçüm ile elde edilen rüzgar hızı datasının 50m veya 70m yükseklikteki hızının hesaplanması[42]

$$\frac{V_{h2}}{V_{h1}} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (5.11)$$

V_{h2} : h_2 yüksekliğindeki rüzgar hızı

V_{h1} : h_1 yüksekliğindeki rüzgar hızı

h_2 : rüzgar hızının hesaplanacağı yükseklik

h_1 : rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik

α : yeryüzü pürüzlülük katsayısı

Ölçüm istasyonları koordinatları DMİ internet sayfasından bulunmuştur ve GoogleEarth programı kullanılarak ölçüm istasyonlarının alanları incelenerek pürüzlülük katsayısı seçilmiştir.

Çizelge 5.3 : 10 Bölgenin Pürüzlülük Katsayısı ile 50m ve 70m Yükseklikte

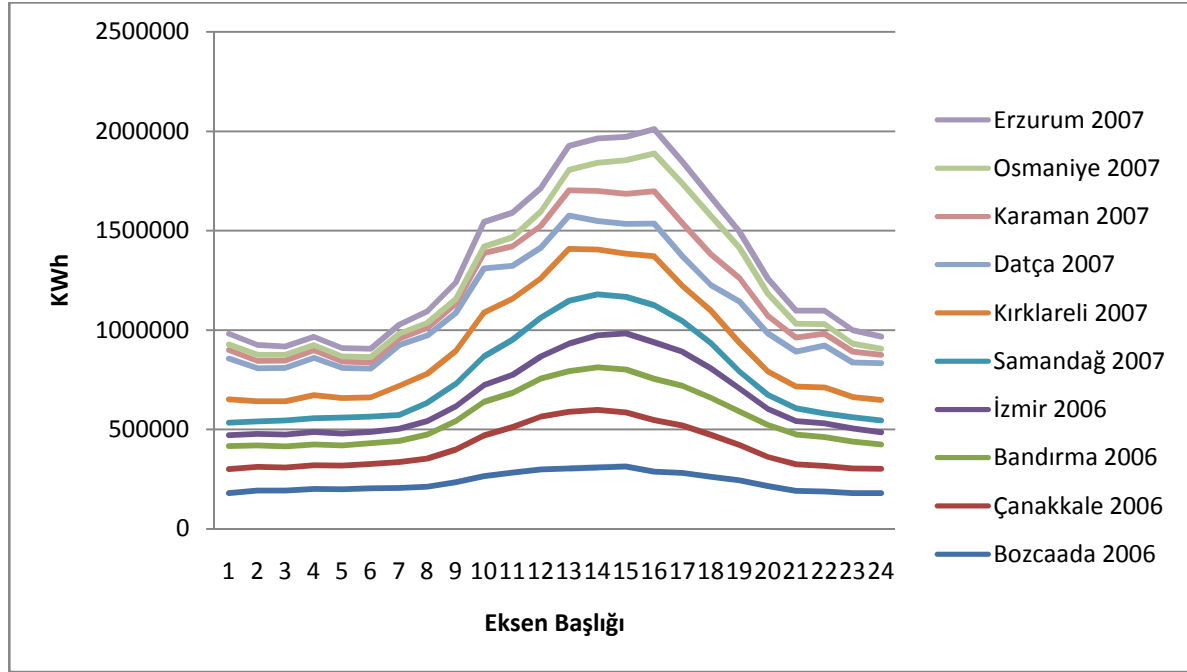
Rüzgar Hızı

<i>Bölgeler</i>	<i>10m Ölçüm</i>	<i>Alan Tarifi</i>	<i>Pürüzlülük</i>	<i>50m</i>	<i>70m</i>	<i>50m</i>	<i>70m</i>
	<i>Rüzgar</i>		<i>Katsayısı</i>	<i>Hesaplanan</i>	<i>Hesaplanan</i>	<i>için</i>	<i>için</i>
	<i>Hızı</i>			<i>Rüzgar</i>	<i>Rüzgar</i>	<i>katsa</i>	<i>katsayı</i>
	<i>Ortalaması</i>			<i>Hızı</i>	<i>Hızı</i>	<i>yısı</i>	
				<i>Ortalaması</i>	<i>Ortalaması</i>		
Bozcaada (2003-2008)	6,41	Mahalle İçinde	0,23	9,28	10,03	1,447	1,564
Çanakkale (2003-2008)	4,37	Mahalle içinde	0,23	6,33	6,83	1,447	1,564
Bandırma (2003-2008)	3,90	Havaalanı	0,175	5,17	5,49	1,325	1,405
İzmir (2003-2008)	3,32	Çalı-Orman	0,145	4,20	4,41	1,262	1,325
Samandağ (2003-2008)	4,38	Mahalle içi	0,23	6,34	6,85	1,447	1,564
Kırklareli (2007-2008)	2,05	Şehir içi	0,3	3,33	3,69	1,620	1,792
Datça (2007-2008)	4,39	Çalı- Tepe	0,145	5,56	5,83	1,262	1,325
Karaman (2003-2008)	2,26	Şehir içi	0,3	3,66	4,05	1,620	1,792
Osmaniye (2003-2008)	2,52	Mahalle içi	0,23	3,65	3,94	1,447	1,564
Erzurum (2003-2008)	2,61	Havaalanı	0,175	3,46	3,67	1,325	1,405

Rüzgar kinetik enerjisinin, elektrik enerjisine çevriminde Rüzgar Türbini olarak Vestas V82 – 1,65MW Rüzgar Türbini kullanılmıştır.

Çizelge 5.4 : Vestas V82 Rüzgar Türbini Rüzgar Hızı - Güç Karakteristiği[43]

Rüzgar Hızı i (m/s)	Güç (KW)
$i < 3,5$	0
$i \geq 3,5$	100
$i > 5$ ve $i < 13$	$(i \times 181,25) - 706,25$
$i \geq 13$ ve $i \leq 20$	1650
$i > 20$	0

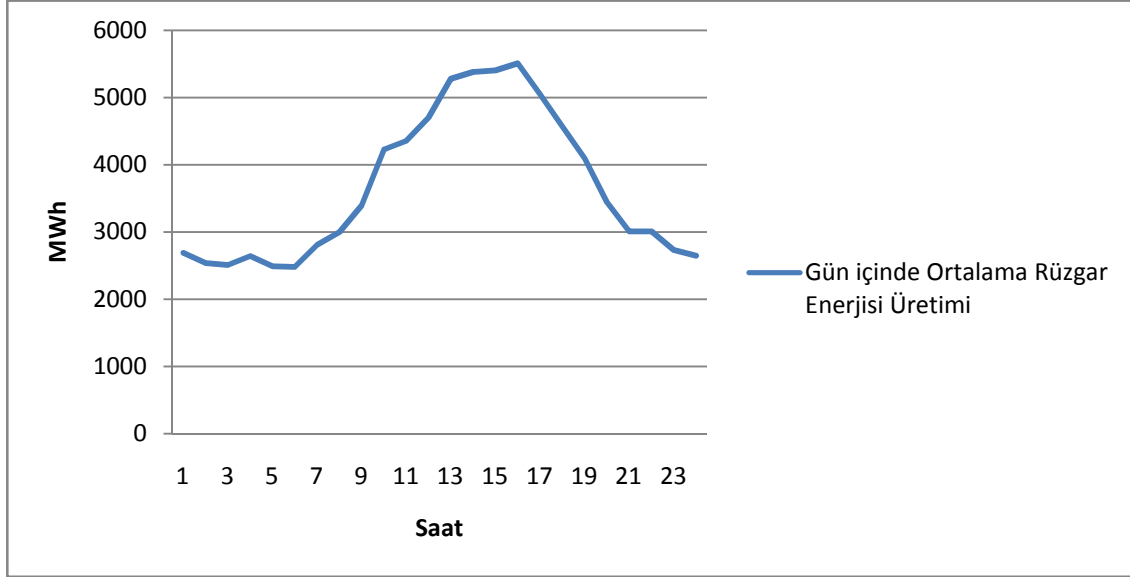


Şekil 5.2 : 10 Bölgenin Toplam Rüzgar Enerjisi Üretimi

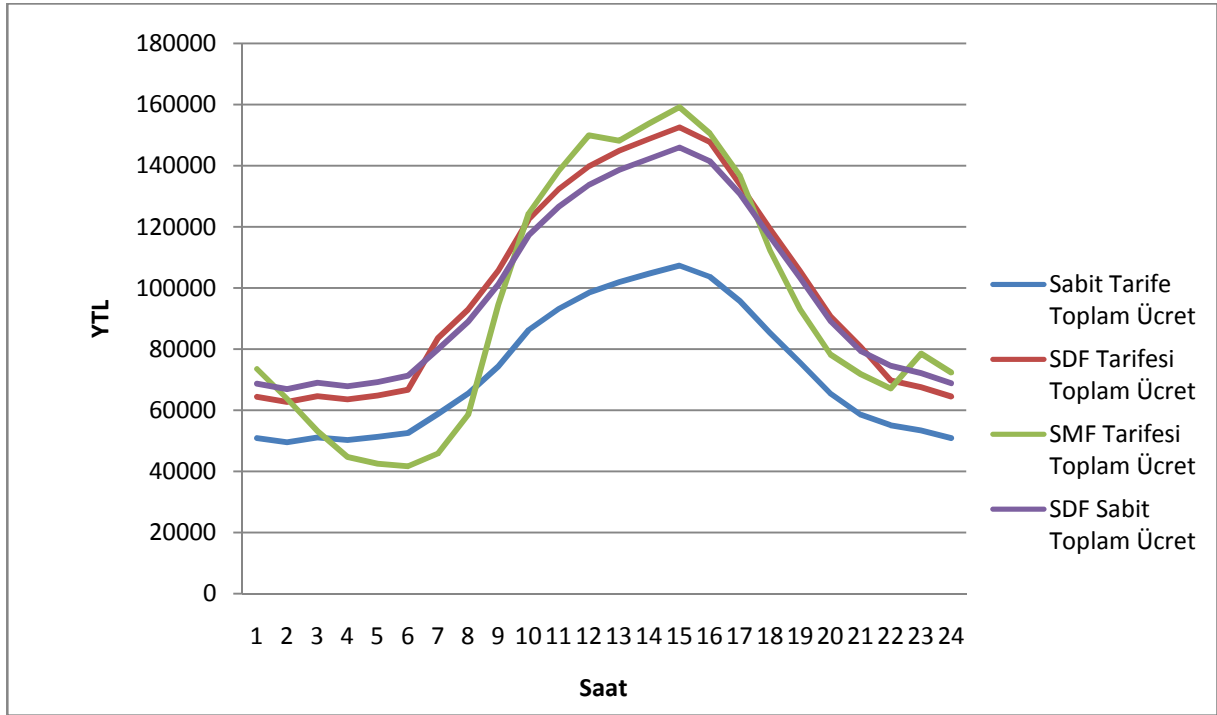
Çizelge 5.5 : 10 Bölgenin Toplam Rüzgar Enerjisi Üretimi

<i>Saat</i>	<i>Ortalama Güç</i>	<i>Saatler arasında yüzde oranı</i>	<i>Kapasite oranı</i>
1	2687,674	48,81%	16,29%
2	2534,568	46,03%	15,36%
3	2510,231	45,59%	15,21%
4	2642,932	48,00%	16,02%
5	2489,894	45,22%	15,09%
6	2479,8	45,04%	15,03%
7	2809,066	51,02%	17,02%
8	2996,484	54,42%	18,16%
9	3391,816	61,60%	20,56%
10	4224,926	76,73%	25,61%
11	4355,697	79,11%	26,40%
12	4695,783	85,28%	28,46%
13	5278,409	95,87%	31,99%
14	5376,397	97,65%	32,58%
15	5401,631	98,10%	32,74%
16	5505,992	100,00%	33,37%
17	5051,365	91,74%	30,61%
18	4570,804	83,02%	27,70%
19	4092,957	74,34%	24,81%
20	3447,051	62,61%	20,89%
21	3006,911	54,61%	18,22%
22	3006,382	54,60%	18,22%
23	2733,666	49,65%	16,57%
24	2646,624	48,07%	16,04%
Toplam	87937,06		

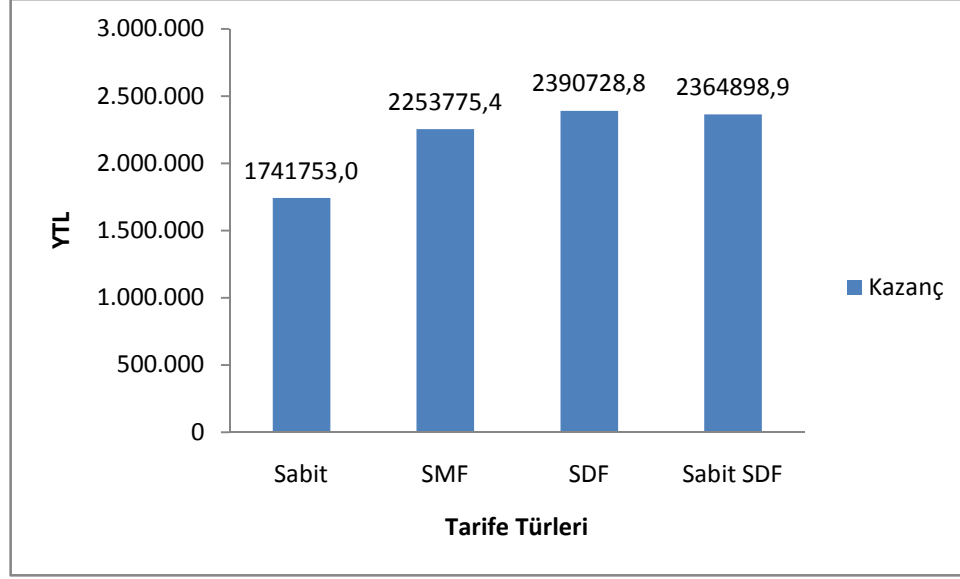
Saat 16'da en fazla enerji üretimi yapılmaktadır. 10 bölgenin toplam kapasite faktörü 22% çıkmıştır.



Şekil 5.3 : 10 bölgenin Günlük Ortalama Rüzgar Enerjisi Üretimi



Şekil 5.4 : 10 Bölgenin Rüzgar Enerjisi Üretiminin Farklı Fiyat Tarifeleri ile Değerlendirilmesi



Şekil 5.5 : Farklı Tarifeler ile Kazanç Hesabı

Çizelge 3.6 : Farklı Tarifeler ile Kazanç Hesabı

<i>Fiyatlandırma Türü</i>	<i>Kazanç (YTL)</i>	<i>SDF Kazancı ile Karşılaştırma</i>
Sabit	1741753,0	0,728545
SMF	2253775,4	0,942715
SDF	2390728,8	1
Sabit SDF	2364898,9	0,989196

Farklı tarifelerin ekonomik kazancı incelendiğinde, en yüksek kazancın SDF değerleri ile en düşük kazancın Sabit tarife ile olduğu görülmektedir. SDF kazancı ile SMF kazancı ile arasında %5,8 fark vardır. SDF değerleri kazancı ile Sabit SDF değerleri,yani SDF ortalaması değerleri ile kazancı arasındaki %1'e yakındır.

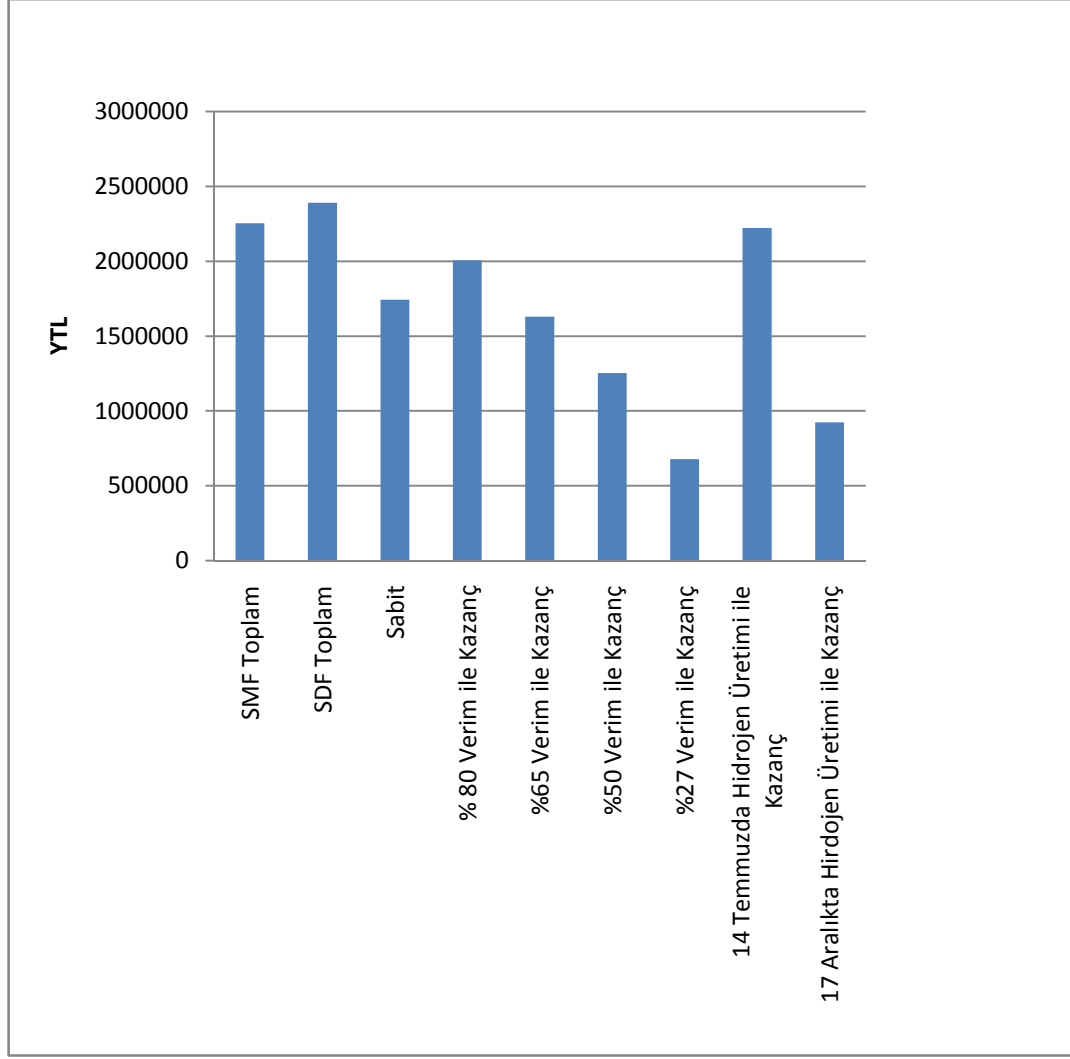
5.3 Türkiye'nin 10 Bölgesinin Enerji Depolama Tesisi Olasılıkları ve Ekonomik Karlılık

Çizelge 5.7'te rüzgar potansiyeli incelenen 10 bölgesi için olası enerji depolama yöntemleri incelenmiştir.

Çizelge 5.7 : Türkiye'nin 10 Bölgenin Olası Enerji Depolama Yöntemleri

	<i>Pompalı Hazneli Hidroelektrik</i>	<i>Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama</i>	<i>Hidrojen ile Depolama veya Hidrojen Üretimi</i>	<i>Flywheel</i>
Bozcaada	H	H	E	E
Çanakkale	O	O	E	E
Bandırma	E	H	E	E
İzmir	O	H	E	E
Samandağ	E	H	E	E
Kırklareli	H	O	E	E
Datca	H	O	E	E
Karaman	O	H	E	E
Osmaniye	E	H	E	E
Erzurum	E	H	E	E

Pompalı Hazneli Hidroelektrik Santralleri için eğer yakınında baraj var ise E(Evet), Nehir ve Yüksek dağlar var ise O(Olası), düz bir alan ise H(hayır) denilmiştir. Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama tesisleri için yakınında bir çok maden var ise O(Olası), yok ise H(Hayır) denilmiştir(kaynak: Türkiye maden haritası). Hidrojen Depolama veya Hidrojen Üretimi ve Flywheel tesisleri kurumunda herhangi bir fiziki zorunluluk bulunmadığı için tüm bölgeler için E(evet) denilmiştir.



Şekil 1.6 : 10 bölgenin Farklı Enerji Depolama Teknikleri ile Toplam Ekonomik Kazanç

10 bölgenin farklı enerji depolama teknikleri ile toplam ekonomik kazançları karşılaştırılması şekil 5.16'da gösterilmiştir. %80 verim ile çalışan sistemin kazancının, Sabit fiyatlı kazançtan fazla olduğu görülmektedir. %65 verim ile çalışan sistemin kazancının, Sabit fiyatlı kazançtan küçük bir fark ile düşük olduğu görülmektedir. Benzin fiyatlarının yüksek olması ve hidrojen pazarının oluşması durumunda, Hidrojen üretimi kazancının yüksek olacağı belirtilmiştir. EK H'da 10 bölgenin farklı enerji depolama verimleri ile ekonomik karlılıkları gösterilmiştir.

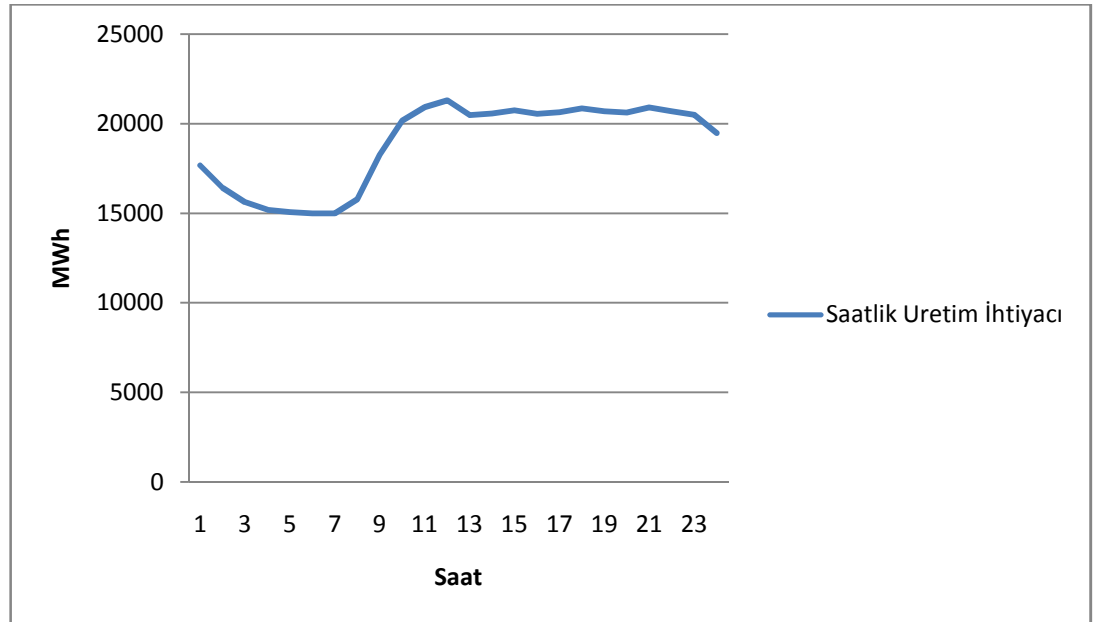
Çizelge 5.9 : 10 bölgenin Farklı Enerji Depolama Verimleri ile Ekonomik Karlılıkları Karşılaştırması

	<i>SMF Toplam</i>	<i>SDF Toplam</i>	<i>Sabit</i>	<i>% 80 Verim ile Kazanç</i>	<i>%65 Verim ile Kazanç</i>	<i>%50 Verim ile Kazanç</i>	<i>%27 Verim ile Kazanç</i>	<i>14 Temmuzda Hidrojen Üretimi ile Kazanç</i>	<i>17 Aralıkta Hidrojen Üretimi ile Kazanç</i>
Bozcaada 2007	93,211%	100,000%	72,570%	83,642%	67,959%	52,276%	28,229%	92,555%	38,496%
Çanakkale 2007	95,000%	100,000%	73,070%	83,879%	68,151%	52,424%	28,309%	93,193%	38,761%
Bandırma 2007	94,451%	100,000%	72,399%	83,811%	68,096%	52,382%	28,286%	92,336%	38,405%
İzmir 2007	96,947%	100,000%	72,491%	83,539%	67,876%	52,212%	28,194%	92,454%	38,454%
Samandağ 2007	91,290%	100,000%	73,463%	84,629%	68,761%	52,893%	28,562%	93,694%	38,970%
Kırklareli 2007	95,768%	100,000%	73,049%	83,198%	67,598%	51,999%	28,079%	93,166%	38,750%
Datca 2007	92,098%	100,000%	73,732%	84,527%	68,678%	52,829%	28,528%	94,036%	39,112%
Karaman 2007	98,227%	100,000%	72,448%	83,716%	68,019%	52,323%	28,254%	92,399%	38,431%
Osmaniye 2007	97,622%	100,000%	71,400%	82,805%	67,279%	51,753%	27,947%	91,063%	37,875%
Erzurum 2007	96,997%	100,000%	72,913%	84,187%	68,402%	52,617%	28,413%	92,992%	38,678%
Toplam	94,271%	100,000%	72,854%	83,925%	68,189%	52,453%	28,325%	92,917%	38,646%

10 bölgenin Farklı enerji depolama verimleri ile ekonomik kazançları karşılaştırmasında Samandağ, Datça ve Erzurum bölgelerinin depolama teknikleri ile daha fazla kazanç sağladığı görülebilmektedir. Bunun nedeni, bu bölgelerde gece esen rüzgarlarının, gündüz ve puant saatlerde esen rüzgarlara göre oranının daha büyük olmasıdır. EK H’da 10 bölgenin farklı enerji depolama verimleri ile ekonomik karlılıkları gösterilmiştir.

5.4 Farklı Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü ile Türkiye Elektrik Tüketimi Karşılaştırması

Bu bölümde farklı rüzgar enerjisi güçlerinde enerji üretimi ile 2007 Türkiye Elektrik Talebi karşılanması analizi yapılmıştır.



Şekil 5.7 : 2007 yılı Türkiye Saatlik Ortalama Elektrik Enerjisi Talebi

Şekil 5.16, Türkiye Ortalama Elektrik Üretimini göstermektedir.

En fazla elektrik tüketimi 26872,1 MW ile 25 Aralık saat 19’da olmuştur.

10 bölgenin RES toplam gücü, 16500 KW’dır

Analizlerde 2007 yılının her saati için aşağıda belirtilen işlem sırası izlenmiştir.

i saatinde;

$$\text{RES üretilen güç} > \text{Türkiye Elektrik Tüketimi}$$

İse

$$\text{RES} = \text{Türkiye Elektrik Tüketimi} + \text{Enerji Depolama}$$

$$\text{RES üretilen gücü} < \text{Türkiye Elektrik Tüketimi}$$

İse

$$\text{RES} + \text{Geleneksel Üretim} = \text{Türkiye Elektrik Tüketimi}$$

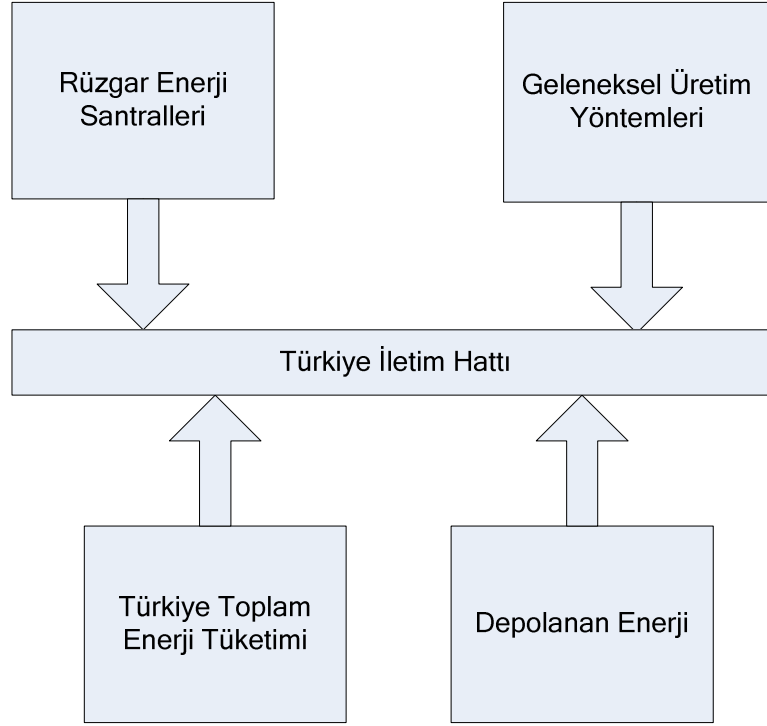
Bir yıl (8760 saat) için, RES ve Türkiye Elektrik Tüketimi değerleri hesaplara katılarak, bir yıllık süre için enerjinin depolama olanağı olan saatler ve toplam gücü bulunması amaçlanmıştır. RES enerji üretimi ile Türkiye Toplam Enerji Tüketimi karşılanması analizi yapılmıştır. RES enerji üretiminin fazla olduğu saatlerde enerji fazlası Depolanan Enerji, RES enerji üretiminin elektrik enerjisi talebini karşılamadığı saatlerde enerji açığı Geleneksel Enerji Yöntemleri giderildiği kabul edilmiştir.

5.4.1 RES Kurulu gücü, Türkiye Kurulu Gücüne eşitlenmesi

RES kurulu gücü, Türkiye Kurulu gücüne eşitlenmesi için, önceki bölümlerde gösterilen Türkiye on bölgesinin RES kurulu gücü, 40777MW olması için uygun katsayı ile çarpılır.

$$\frac{\text{Türkiye Kurulu Gücü}}{10 Bölgenin RES Kurulu Gücü} = \frac{40777 \text{ MW}}{16500 \text{ KW}} = 2471 \quad (5.12)$$

Türkiye'nin 10 bölgesinin RES kurulu gücü 2471 katsayısı ile çarpılarak, Türkiye kurulu gücünde ve Türkiye Rüzgar Esme karakteristiğine yakın uygun bir RES kurulu gücü bilgisi elde edilmiş olur.

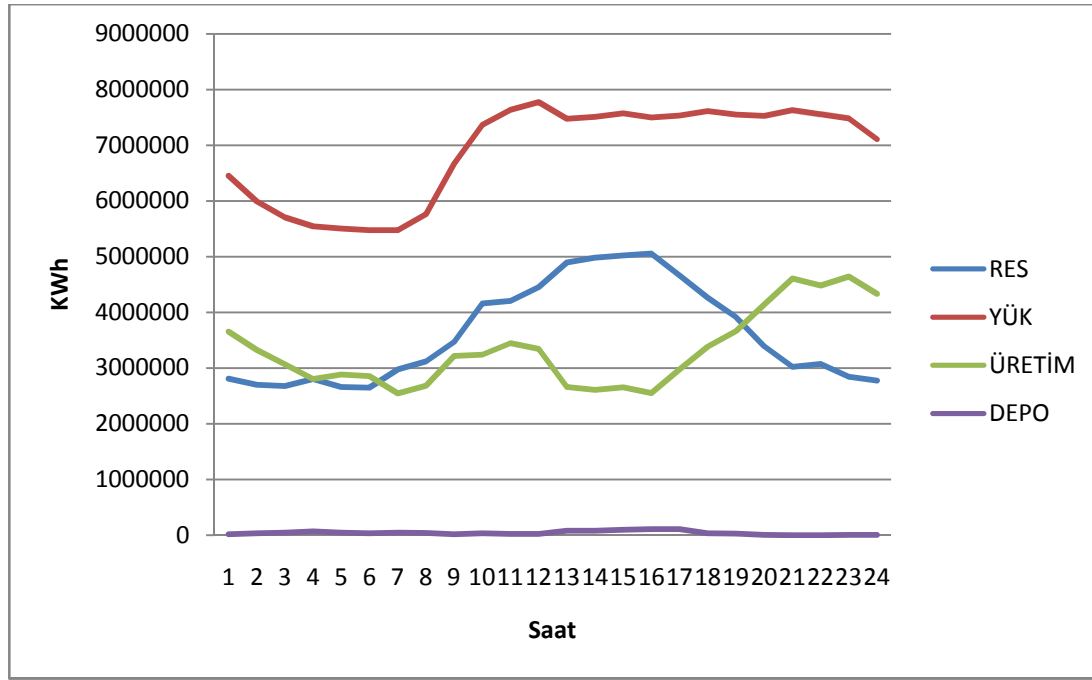


Şekil 5.8 : Model 1 ve Model 2 için Blok Gösterim

Yapılan analizde 40777 MW kurulu güce sahip RES ile Türkiye'nin elektrik enerjisi talebinin 52.35%'sinin ancak RES ile karşılanabildiği görülmüştür. Enerji Depolama miktarı, yani RES gücünün elektrik talebinden fazla olduğu saatlerdeki enerji fazlası toplam talebin sadece 0,59%'unu oluşturmaktadır ve sadece 2007 yılında sadece 59 saatte enerji fazlası oluşmuştur.

Çizelge 5.10 : Model 1 Hesaplama Sonuçları

<i>Enerji Türü</i>	<i>MWh</i>	<i>Yüzde</i>
Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulu Gücü	86592554,26	52,35%
Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketimi	165404806,60	100,00%
Geleneksel Üretim Tek.	79788676,63	48,24%
Depolama	976424,28	0,59%



Şekil 5.9 : 40777 MW RES Kurulu Gücü ile Enerji Üretim Dengesi - Model 1 Hesaplama Sonuçları

5.4.2 Yıllık RES Enerjisi Üretimi, Yıllık Türkiye Elektrik Enerjisi Talebine

Eşitlenmesi

RES kurulu gücü, Türkiye Elektrik Enerjisi Talebi karşılayacak güce eşitlenmesi için, denklem X de hesap yapılmıştır.

$$\frac{\text{Türkiye Kurulu Gücü}}{10 \text{ Bölgenin Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü}} \times \frac{1}{\text{Model 1'deki enerji karşılama oranı}} =$$

$$= \frac{40777 \text{ MW}}{16500 \text{ KW}} \times \frac{1}{0,52} = 78144 \text{ RES Kurulu Gücü} \quad (5.13)$$

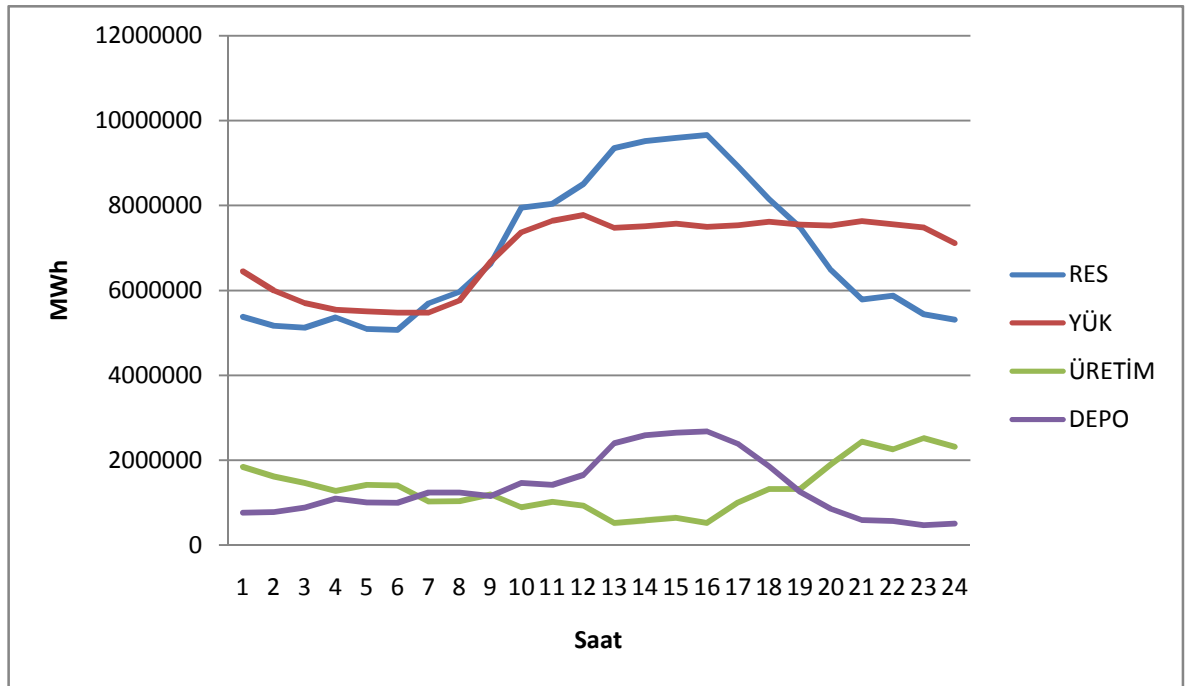
RES kurulu gücü 78144 MW olursa, Türkiye Elektrik Enerjisi Talebi Rüzgar enerjisi ile karşılanmaktadır.

Yapılan analiz sonucu, 78144 MW kurulu güce sahip RES ile Türkiye'nin elektrik enerjisi talebinin 99,99%'u RES ile karşılanabildiği görülmüştür. Enerji Depolama miktarı, yani RES gücünün elektrik talebinden fazla olduğu saatlerdeki enerji fazlası toplam talebin 19,60%'unu oluşturmaktadır. Geleneksel Üretim ile Depolama Enerjisi aynı olduğuna göre, eğer enerji depolama döngüsü %100 verim ile çalıştığı

kabul edilirse, Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Talebi RES Enerjisi üretimi ve depolama enerjisi ile, Geleneksel üretim kullanılmadan karşılanabilir.

Çizelge 5.10 : Model 2 Hesaplama Sonuçları

<i>Enerji Türü</i>	<i>MWh</i>	<i>Yüzde</i>
Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulu Gücü	165404797,66	99,99%
Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketimi	165404806,61	100,00%
Geleneksel Üretim Tek.	32423848,62	19,60%
Depolama	32423839,67	19,60%



Şekil 5.10 : 78144 MW RES Kurulu Gücü ile Enerji Üretimi Dengesi - Model2

Hesaplama Sonuçları

5.4.3 RES Enerji Üretimi, İletim kaybı ve Depolama Enerjisi verimi dahil

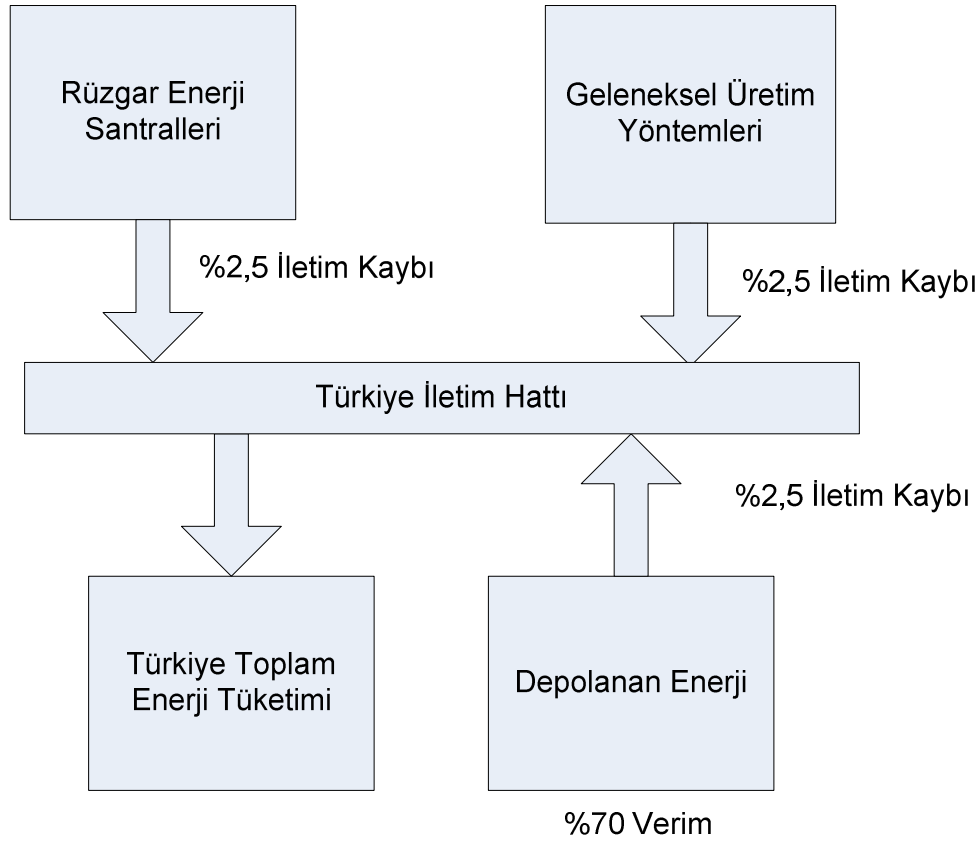
Türkiye Elektrik Enerjisi Talebine eşitlenmesi:

Depolanan Enerjinin tam döngüsü %70 verim kabul edilirse ve Türkiye’de 2007 İletim Hattı kaybı olan %2,5 İletim kaybı hesaplara dahil edilerek RES Elektrik Enerjisi üretimi, Türkiye Enerji Tüketimine eşitlenmesi için aşağıdaki hesaplamalar ve analizler yapılmıştır.

$$\frac{\text{Türkiye Kurulu Gücü}}{10 \text{ Bölgenin Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü}} \times \frac{1}{\text{Model 1'deki enerji karşılama oranı}} \times (1 + \text{İletim Kaybı}) =$$

$$= \frac{40777\text{MW}}{16500\text{KW}} \times \frac{1}{0,52} \times (1 + 0,025) = 80097\text{MW} = \text{RES Kurulu Gücü}$$

(5. 14)

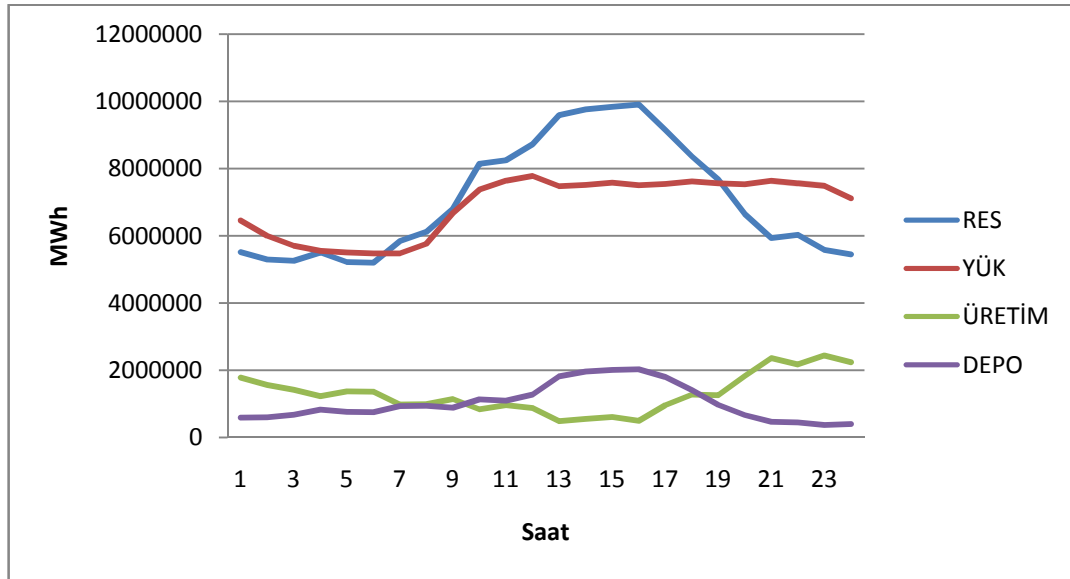


Şekil 5.11 : Model 3 Blok Gösterimi

Yapılan analiz sonucu, 80097 MW kurulu güce sahip RES ile Türkiye'nin elektrik enerjisi talebinin tamamı RES ile karşılanabildiği görülmüştür. Enerji Depolama miktarı, %70 verim ile çalıştığı kabul edilirse Türkiye Elektrik Enerji Talebinin %13,72'sini karşılayabilmektedir. Buna göre Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Talebinin % 94.12'si RES Enerjisi üretimi ve Depolama enerjisi ile karşılanabilmektedir. Geri kalan %5,88 Geleneksel Üretim teknolojileri ile üretilmelidir.

Çizelge 5.11 : Model 3 Hesaplama Sonuçları

<i>Enerji Türü</i>	<i>MWh</i>	<i>Yüzde</i>
Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulu Gücü	169539917,7	102,50%
Türkiye Elektrik Tüketimi	165404806,6	100,00%
Geleneksel Üretim Tek.	32423848,6	19,60%
Depolama	22696687,7	13,72%



Şekil 5.12 : 80097 MW RES Kurulu Gücü, %70 Enerji Depolama Verimi ve %2,5 İletim Kaybı ile Enerji Üretimi Dengesi - Model 3 Hesaplama Sonuçları

6. SONUÇ

Rüzgar Enerjisi Potansiyeli yüksek olan ülkemizde, rüzgar enerjisi yoğunluğu arttırmak için çalışmalar yapılmalıdır. Rüzgar Enerjisinin potansiyelin yüksek olduğu bölgelerin iletim hatları iyileştirilmeli ve Türkiye Rüzgar Tahmini sistemi kurulmalı, şebekede oluşan teknik sorunlar en aza indirgenmelidir. Uygun elektrik iletim kontrol sistemi kurularak, Türkiye Elektrik Talebinin önemli bir kısmı rüzgar enerjisinden karşılanabilir. Danimarka, rüzgar tahmini yöntemiyle rüzgar enerjisi ile belirli bir üretim planlaması yapabilmekte ve bazı özel durumlarda şebeke limitlerini bu verilere güvenerek aşabilmektedir. Benzer bir sistemin Türkiye içinde kurulmalıdır.

İletim hatlarının iyileştirildiği ve kontrol sistemi kurulduğu düşünülürse, enerji depolama teknolojilerin kullanımına çok az gerek olacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Enerji Depolama teknolojileri elektrik şebekesinin zayıf bölgelerine kurulması ile enerji kalitesini yükseltici etki yapabilir. İleride yapılacak proje çalışmalarında simülasyonlar yardımıyla kurulması en yararlı bölgelerin bulunması incelenebilir.

Türkiye'nin rüzgar potansiyeli 10 bölgesi incelendiğinde, yaklaşık bir Türkiye Rüzgar Esme karakteristiğine ulaşıldığı kabul edilmiştir. Böylece Türkiye Rüzgar Esme karakteristiği ile Türkiye elektrik enerji talebi önemli ölçüde uyduğu söylenebilmektedir.

Rüzgar Potansiyeli yüksek fakat iletim hattı teknik sorunları nedeniyle RES kurulamayan yerlerde, depolama teknolojileri uygulamaları için çalışmalar yapılmalıdır. Eğer uygun depolama teknoloji kaynağı kullanılırsa, düşük bir ekonomik karlılık kaybıyla RES'in kurulması mümkün olabilir.

Türkiye elektrik enerji talebi, saat 12 civarında en yüksek değere ulaşmaktadır. Saat 19 civarında ikinci yüksek değerine ulaşmaktadır. 2008 yılında doğru yük tahmini ile yük atma talimatının azaltıldığı görülmektedir.

Mevcut RES'lerin üretimi incelendiğinde %30,4 kapasite faktörü ile üretim yaptıkları görülmüştür. Fakat 10 bölgenin rüzgar enerji üretimi incelenmesinde kapasite faktörü %22 çıkmıştır. Bu farkın sebebi, analizlerde kullanılan ölçüm yerlerinin, RES'lerin kurulduğu alanlar yerine şehir merkezi gibi alanlar olması ve mevcut RES'lerin olmadığı bölgelerinde hesaba katılması olabilir.

İlerideki yıllarda oluşacak bir hidrojen pazarı ile, şebeke bağlantısı olmadan bile RESlerin kurulması ekonomik olarak yeterli olabilir. Uygun hidrojen pazarının oluşması için, hidrojenin yerine geçeceği benzinin fiyatının artması ve yakıt pilli araçlar gibi hidrojen kullanım teknolojilerinin yaygınlaşması gerekmektedir.

Yeni yapılan RES başvurularında yerli kaynakların kullanımına önem verilmelidir. Aynı trafoya bağlantı yapacak RES'lerin seçim kriterlerinde yerli kaynakların kullanımı yüzdesi eklenmesi mümkündür. Böylece rüzgar enerjisi türbini imalatı ve yan sanayisinde yerli imalatla ciddi bir artış sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **URL-1** < http://www.gwec.net/uploads/media/Global_Wind_2007_Report_final.pdf > alındığı tarih 01.12.2008
- [2] **URL-2** < <http://www.ewea.org/> > alındığı tarih 01.12.2008
- [3] **Malkoç Y.**, 2008, **Rüzgar Enerjisi** , Elekon Sempozyumu , 01.11.2008 Altınpark , Ankara
- [4] **TEİAŞ-APK**, 2005. Yenilenebilir kaynaklardan değişken üretim yapan Santrallerin elektrik üretim-iletim sistemine teknik ve ekonomik etkileri ve AB uygulamaları, *değerlendirme raporu*, Mart, Ankara
- [5] **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun** (18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmi Gazete, Kanun no: 5346)
- [6] **Yağcıtekin B.**, 2008. Rüzgar Enerjisi Depolama Tekniği ve Tahmin Sistemleri Kullanılarak Enerji Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul
- [7] **Australian Greenhouse Office**, Department of the Environment and Heritage, 2005, Advanced Electricity Storage Technologies Programme, Energy Storage Technologies: a Review Paper, ISBN: 1 921 120 37 1, USA.
- [8] **URL-3** <[http://www.teias.gov.tr/istatistikler/tarihce\(turk\).htm](http://www.teias.gov.tr/istatistikler/tarihce(turk).htm)>, alındığı tarih 01.12.2008.
- [9] **URL-4** <http://www.oib.gov.tr/portfoy/TEDAS%20Teaser_tur_v3.pdf> alındığı tarih 01.12.2008
- [10] **Elektrik Piyasası Kanunu** (03.03.2001 tarih ve 24335 sayılı resmi gazete,Kanun no: 4628)
- [11] **URL- 5** < http://www.euas.gov.tr/_EUAS/Images/Birimler/apk/2007_yillikrapor.pdf > alındığı tarih 01.12.2008
- [12] **URL - 6** < <http://www.teias.gov.tr/ist2007/index.htm> > alındığı tarih 01.12.2008
- [13] **URL-7** < www.epdk.org.tr/yayin_rapor/yatirimcininelkitabi/yatirimcininelkitabi.doc > alındığı tarih 01.12.2008

- [14] **Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği** (21/12/2004 tarihli ve 25677 sayılı Resmi Gazete)
- [15] **URL-8** < <https://pmum.teias.gov.tr/UzlasmaWeb/> > alındığı tarih 01.12.2008
- [16] **URL-9** < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon> > alındığı tarih 01.12.2008
- [17] **Durak, M., Özer, S.**, Rüzgar Enerjisi : Teori ve Uygulama, İmpress Basım, Ankara, Mart 2008.
- [18] **URL-6** < http://tr.wikipedia.org/wiki/Ruzgar_enerjisi > alındığı tarih 01.12.2008
- [19] **URL-7** < http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power> alındığı tarih 01.12.2008
- [20] **URL-8** < https://pmum.teias.gov.tr/UzlasmaWeb/duy_raporlari > alındığı tarih 01.12.2008
- [21] **URL-9** < www.repa.eie.gov.tr > alındığı tarih 01.12.2008
- [22] **URL-10** < <http://www.ruzgarenerjisibirli.org.tr/guncel/Rapor-01-09-2008.pdf> > alındığı tarih 01.12.2008
- [23] **Altuntasoglu Z.**, 2008, Yenilenebilir Enerji Mevzuatı , Elekon Sempozyumu, 01.11.2008 Altınpark , Ankara.
- [24] **URL-11** < <http://www.epdk.org.tr/duyuru/elektrik/acil/1kasim2007ResBasvurulari.pdf> > alındığı tarih 01.12.2008
- [25] **URL-12** < www.eie.gov.tr/duyurular/YEK/ruzgar/RES_yonetmeli_20070925.doc > alındığı tarih 01.12.2008
- [26] **Durak, M.**, 2002a. Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisi projelerine verilen teşvikler Ve Türkiye için Öneriler, Yenilenebilir Enerjiler ve Rasyonel Enerji Kullanımı, 10-11 Eylül, İstanbul, Sf. 81-87.
- [27] **URL-12** <http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_storage> alındığı tarih 01.12.2008
- [28] **URL-13** < <http://www.energystoragecouncil.org/>> alındığı tarih 01.12.2008
- [29] **Sorensen, B.**, Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage, Academic Press., 2007
- [30] **Baxter, R.**, Energy Storage A Non technical Guide, Pennwell Press, 2006
- [31] **URL-14** < http://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity > alındığı tarih 01.12.2008

- [32] **URL-15** <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/pdf/pages/sec8_8.pdf> alındığı tarih 01.12.2008
- [33] **URL-16** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen_ekonomisi> alındığı tarih 01.12.2008
- [34] **Taljan G., Canizares C., Fowler M., Verbic G.**, The feasibility of hydrogen storage For mixed wind-nuclear power plants, IEEE Transactions on Power Systems, 23, 3, August 2008
- [35] **URL-17** < <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/story?id=48873> > alındığı tarih 01.12.2008
- [36] **URL-18** < http://www.dotynmr.com/PDF/Doty_H2Price.pdf> alındığı tarih 01.12.2008
- [37] **URL-19** <<http://www.botas.gov.tr/>> alındığı tarih 01.12.2008
- [38] **Kızılot, Ş.**, Benzinin vergisi yüzde 409'a çıktı, **Hürriyet Gazetesi** (18 aralık 2008)
- [39] **URL-20** < http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air > alındığı tarih 01.12.2008
- [40] **URL-21** <http://www.electricitystorage.org/tech/technologies_technologies_caes.htm> alındığı tarih 01.12.2008
- [41] **Akdağ S.A.**, Rüzgar enerjisi potansiyeli ve ekonomik analizinde weibull dağılımının kullanımı, Yüksek Lisans tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [42] **Kaçmaz, K.**, Gökçeada(Aydıncık) rüzgar verileri kullanılarak bölge için enerji potansiyelinin ve rüzgar akış alanının belirlenmesi, Lisans Tezi, İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul 2003
- [43] **URL-22** < <http://www.vestas.com/en/wind-power-solutions/wind-turbines/1.65-mw> > alındığı tarih 01.12.2008

EKLER

EK A Kurulu Gücün Yıllara Göre Gelişimi

EK B Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimin Kuruluşlara Göre Yıllar İtibariyle Gelişim

EK C Türkiye Elektrik Piyasa Değerleri Korelasyon Hesabı

EK D Dünya Kurulu Rüzgar Enerjisi(MW) Bölgesel Dağılımı

EK E 1 Kasım 2007 RES başvuruların İllere Göre Dağılımı

EK F 1 Kasım 2007 ve Öncesi RES Başvuruların Türkiye Haritası Üzerinde
Gösterimi

EK G 10 Bölgenin 10m Yükseklikte Ölçüm Yapılan Saatlik Rüzgâr Ortalamaları

EK H 10 bölgenin Faklı Enerji Depolama Verimleri ile Ekonomik Karlılıkları

EK- A Kurulu Gücün Yıllara Göre Gelişimi (kaynak: Enerji Bakanlığı)

YILLAR	TERMİK	HİDROLİK	JEOTERMAL+ RÜZGAR	GENEL TOPLAM
1970	1509,5	725,4		2234,9
1971	1706,3	871,6		2577,9
1972	1818,7	892,6		2711,3
1973	2207,1	985,4		3192,5
1974	2282,9	1449,2		3732,1
1975	2407,0	1779,6		4186,6
1976	2491,6	1872,6		4364,2
1977	2854,6	1872,6		4727,2
1978	2987,9	1880,8		4868,7
1979	2987,9	2130,8		5118,7
1980	2987,9	2130,8		5118,7
1981	3181,3	2356,3		5537,6
1982	3556,3	3082,3		6638,6
1983	3695,8	3239,3		6935,1
1984	4569,3	3874,8	17,5	8461,6
1985	5229,3	3874,8	17,5	9121,6
1986	6220,2	3877,5	17,5	10115,2
1987	7474,3	5003,3	17,5	12495,1
1988	8284,8	6218,3	17,5	14520,6
1989	9193,4	6597,3	17,5	15808,2
1990	9535,8	6764,3	17,5	16317,6
1991	10077,8	7113,8	17,5	17209,1
1992	10319,9	8378,7	17,5	18716,1
1993	10638,4	9681,7	17,5	20337,6
1994	10977,7	9864,6	17,5	20859,8
1995	11074,0	9862,8	17,5	20954,3
1996	11297,1	9934,8	17,5	21249,4
1997	11771,8	10102,6	17,5	21891,9
1998	13021,3	10306,5	26,2	23354,0
1999	15555,9	10537,2	26,2	26119,3
2000	16052,5	11175,2	36,4	27264,1
2001	16623,1	11672,9	36,4	28332,4
2002	19568,5	12240,9	36,4	31845,8
2003	22974,4	12578,7	33,9	35587,0
2004	24144,7	12645,4	33,9	36824,0
2005	25902,3	12906,1	35,1	38843,5
2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8
2007	27212,3	13394,9	170,1	40777,3

EK B Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimin Kuruluşlara Göre Yıllar İtibariyle Gelişim

YILLAR	EÜAŞ	EÜAŞ'IN BAĞLI ORTAKL IKLARI	AYRICA- LIKLI ŞİRKET- LER	ÜRETİM ŞİRKET LE-Rİ + ADÜAŞ	BELE- DİYE	OTOPRO- DÜKTÖRLER	MOBİL SANTRAL LAR	İŞLETME HAKKI DEVREDİL- EN SANT.	TÜRKİYE
1970	6272,9		876,2		784,9	689,0			8623,0
1971	7802,1		987,6		267,4	724,0			9781,1
1972	9124,4		1228,0		143,5	746,0			11241,9
1973	10258,4		1216,3		126,6	823,0			12424,3
1974	11188,9		1315,5		125,2	847,4			13477,0
1975	12844,8		1730,1		134,7	913,2			15622,8
1976	15454,3		1639,0		141,3	1048,2			18282,8
1977	17229,9		1716,3		112,5	1505,9			20564,6
1978	17968,0		1874,9		90,3	1792,9			21726,1
1979	18933,9		1554,3		64,3	1969,4			22521,9
1980	19414,5		1609,7		62,4	2188,8			23275,4
1981	20587,5		1937,5		62,4	2085,4			24672,8
1982	23243,1		1589,7		59,7	1659,0			26551,5
1983	23688,9		1617,6		41,4	1998,9			27346,8
1984	26685,7		1691,1		3,3	2233,4			30613,5
1985	30248,9		1592,2			2377,8			34218,9
1986	35470,1		1454,0			2770,7			39694,8
1987	39679,3		1591,7			3081,9			44352,9
1988	43013,6		1857,9			3177,3			48048,8
1989	47454,1		1316,9	4,8		3267,4			52043,2
1990	52854,2		1304,5	23,0		3361,3			57543,0
1991	55460,7		1369,5	47,0		3369,1			60246,3
1992	61533,3		2014,8	67,0		3727,1			67342,2
1993	67099,8		2466,6	69,2		4171,9			73807,5
1994	71942,5		1686,2	73,7		4619,3			78321,7
1995	71544,1	6650,8	2301,4	126,2		5624,9			86247,4
1996	69123,6	16291,1	2907,6	468,8		6070,6			94861,7
1997	72486,8	18432,3	2213,8	2409,0		7753,9			103295,8
1998	78580,9	17493,9	2299,2	2517,1		10131,3			111022,4
1999	74401,6	17910,9	2169,2	9224,0		12529,0	205,2		116439,9
2000	73941,8	19292,2	1902,9	12038,6		15962,0	643,5	1140,6	124921,6
2001	67468,5	18893,9	1345,6	13279,1		17914,0	1117,1	2706,5	122724,7
2002	60075,2	17256,9	4507,2	19700,0		20446,6	3208,8	4204,8	129399,5
2003	52169,5	13518,1	2021,1	45461,0		23126,9	2557,9	4316,7	143171,2
2004	58514,3	14881,5	0,0	53699,7		23758,2	1288,0	3935,2	156076,9
2005	61629,5	18363,4	0,0	66408,8		17087,2	877,7	4120,6	168487,2
2006	71082,4	13633,7	0,0	72668,5		14436,7	418,0	4060,5	176299,8
2007	73839,2	18488,2	0,0	78840,5		15325,4	797,3	4267,5	191558,1

EKC Türkiye Elektrik Piyasa Değerleri Korelasyon Hesabı

	Günlük Üretim Planı	Enerji açığı olan saatlerde	Enerji Fazlası olan saatler	Sistem Marjinal Fiyat	Enerji açığı nedeniyle verilen 0 kodlu Yük Alma Talimatı	Enerji açığı nedeniyle verilen 0 kodlu Yük Atma Talimatı	Günlük İhtiyaç	Günlük Enerji Kullanım
Günlük Üretim Planı	1							
Enerji açığı olan saatler	-0,04192	1						
Enerji Fazlası olan saatler	0,84031	-0,36442	1					
Sistem Marjinal Fiyat	-0,07548	0,903678	-0,47435	1				
Enerji açığı nedeniyle verilen 0 kodlu Yük Alma Talimatı	-0,04192	1	-0,36442	0,903678	1			
Enerji açığı nedeniyle verilen 0 kodlu Yük Atma Talimatı	0,525175	-0,2742	0,735811	-0,36343	-0,2742	1		
Günlük İhtiyaç*	0,513329	0,563426	-0,03167	0,655032	0,563426	-0,18623	1	
Günlük Enerji Kullanım**	-0,0168	0,66697	-0,49191	0,685004	0,66697	-0,51967	0,757972	1

* Günlük Üretim Planı + Enerji Açığı – Enerji Fazlası = Günlük İhtiyaç

** Günlük Üretim Planı + YükAlmaTalimatı – YükAtmaTalimatı =Günlük Enerji Kullanımı

EK D Dünya Kurulu Rüzgar Enerjisi(MW) Bölgesel Dağılımı [1][2]

<i>Bölge</i>	<i>Ülke</i>	<i>2006 sonu</i>	<i>2007'de eklenen</i>	<i>Toplam Sonu</i>	<i>2007</i>
Afrika ve Orta Doğu	Mısır	230	80	310	
	Fas	54	60	114	
	İran	47	19	66	
	Tunus	20	0	20	
	Diğer	18	0	18	
	Toplam	369	159	528	
Asya	Hindistan	6270	1730	8000	
	Çin	2604	3449	6053	
	Japonya	1394	139	1533	
	Tayvan	188	100	288	
	Kuzey Kore	173	18	191	
	Filipinler	25	0	25	
	Diğer	5	0	5	
	Toplam	10659	5436	16091	
Avrupa	Almanya	20622	1667	22289	
	İspanya	11623	3522	15145	
	Danimarka	3136	3	3139	
	İtalya	2123	603	2726	
	Fransa	1567	888	2455	
	Birleşik Krallık	1962	427	2389	
	Portekiz	1716	434	2150	
	Hollanda	1558	210	1768	
	Avusturya	965	20	985	
	Yunanistan	746	59	805	
	İrlanda	746	59	805	
	İsveç	571	217	788	
	Norveç	325	8	333	
	Belçika	194	93	287	
	Polonya	153	123	276	
	Türkiye	90	57	147	

EK D'nin devamı

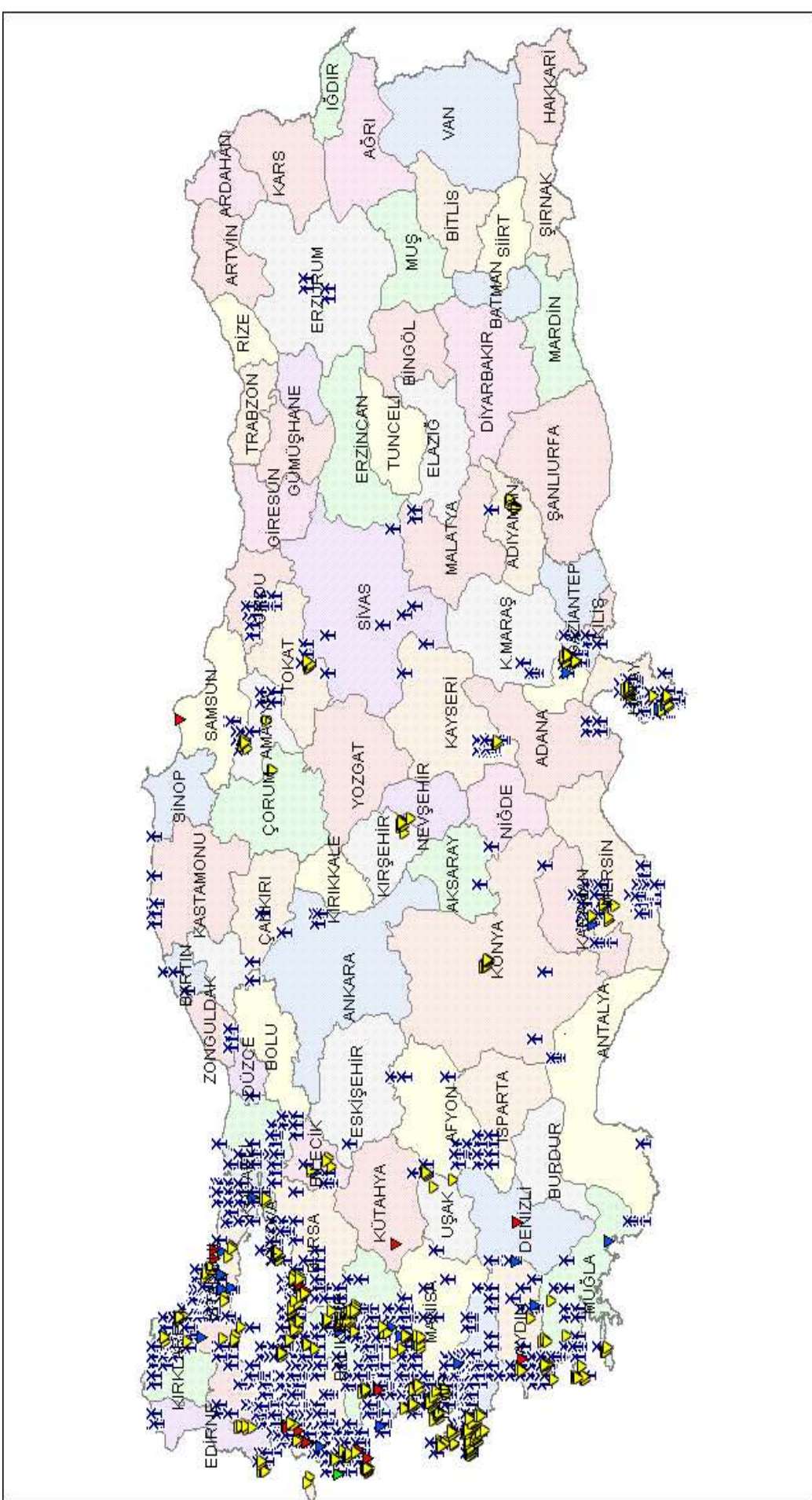
	Diğer	466	206	672
	Toplam	48563	8662	57136
Latin Amerika ve Karayipler	Brezilya	237	10	247
	Meksika	87	0	87
	Kosta Rika	74	0	74
	Karayipler	35	0	35
	Arjantin	20	0	20
	Kolombiya	27	0	27
	Jamaika	20	0	20
	Şili	2	18	20
	Küba	5	0	5
	Toplam	507	28	535
Kuzey Amerika	Amerika	11575	5244	16818
	Kanada	1460	386	1846
	Toplam	13035	5620	18664
Pasifik Bölgesi	Avustralya	817	7	824
	Yeni Zelanda	171	151	322
	Pasifik Adaları	12	0	12
	Toplam	1000	158	1158
	Dünya Toplam	74133	20073	94206

EK E 1 Kasım 2007 RES başvuruların İllere Göre Dağılımı

<i>Tesis Bulunduğu İller</i>	<i>Yerlerin Kurulu (MW)</i>	<i>Gücü</i>	<i>RES Adedi</i>	<i>Toplamda Payı</i>
Adana		238	2	0,31%
Adıyaman		25	1	0,03%
Afyon		1012	10	1,30%
Aksaray		40	1	0,05%
Amasya		148,75	5	0,19%
Ankara		246,5	3	0,32%
Antalya		60,3	3	0,08%
Aydın		1141,55	19	1,47%
Balıkesir		8626,1	86	11,08%
Bartın		73,5	3	0,09%
Bilecik		464	3	0,60%
Bolu		60	1	0,08%
Bursa		2719,2	27	3,49%
Çanakkale		7622,4	92	9,79%
Çankırı		122,5	2	0,16%
Çorum		33,8	1	0,04%
Denizli		284,2	5	0,36%
Edirne		685	15	0,88%
Erzincan		12,8	1	0,02%
Erzurum		42,75	3	0,05%
Eskişehir		39	1	0,05%
Gaziantep		303	5	0,39%
Hatay		5023,5	63	6,45%
Isparta		224	2	0,29%
İçel		7799,2	32	10,02%
İstanbul		7223,4	47	9,28%
İzmir		12748,4	113	16,37%
Kahramanmaraş		205	4	0,26%
Karaman		3489,5	14	4,48%
Kastamonu		303,8	7	0,39%
Kayseri		900,9	14	1,16%

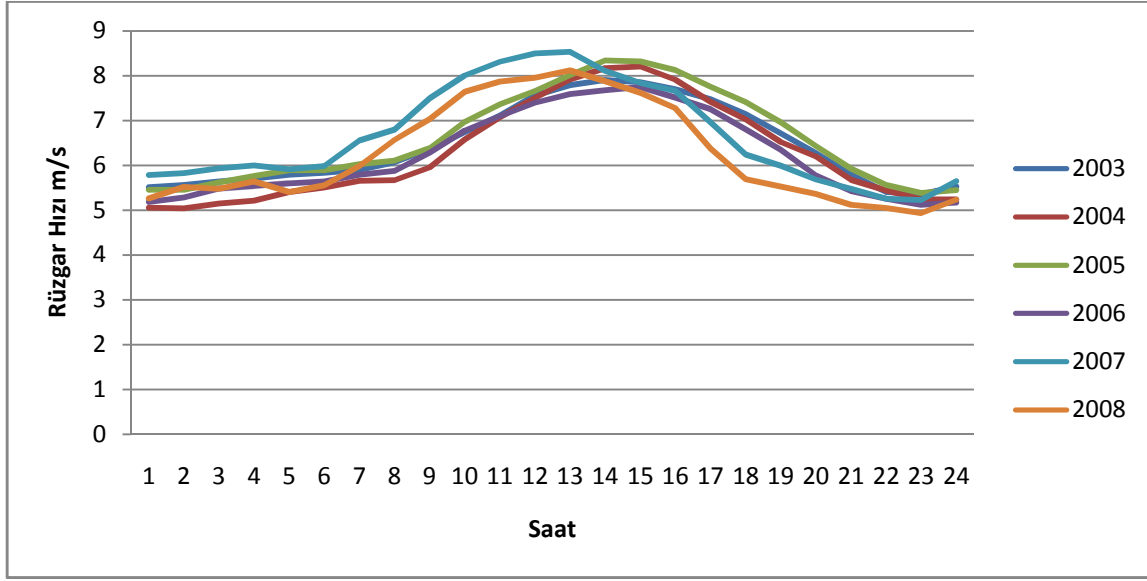
EK E'nin devamı

Kırklareli	5565	44	7,15%
Kilis	50	1	0,06%
Kocaeli	1372,5	11	1,76%
Konya	103	3	0,13%
Kütahya	51	1	0,07%
Malatya	10	1	0,01%
Manisa	1811	24	2,33%
Muğla	1211,5	14	1,56%
Ordu	355	6	0,46%
Osmaniye	289	5	0,37%
Sakarya	1454	10	1,87%
Samsun	145	2	0,19%
Sinop	608	5	0,78%
Sivas	413,2	6	0,53%
Tekirdağ	1359,5	18	1,75%
Tokat	257,8	5	0,33%
Uşak	60,8	2	0,08%
Yalova	653	7	0,84%
Zonguldak	184	1	0,24%
TOPLAM	77871,35	751	100,00%

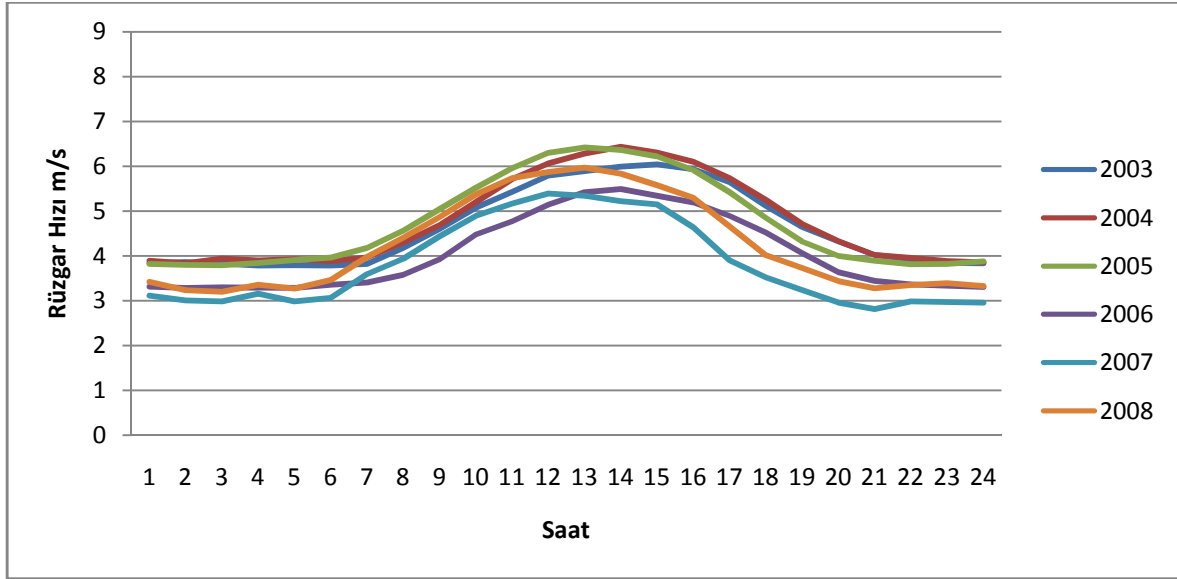


EK F 1 Kasım 2007 ve Öncesi RES Başvuruların Türkiye Haritası Üzerinde Gösterimi [3]

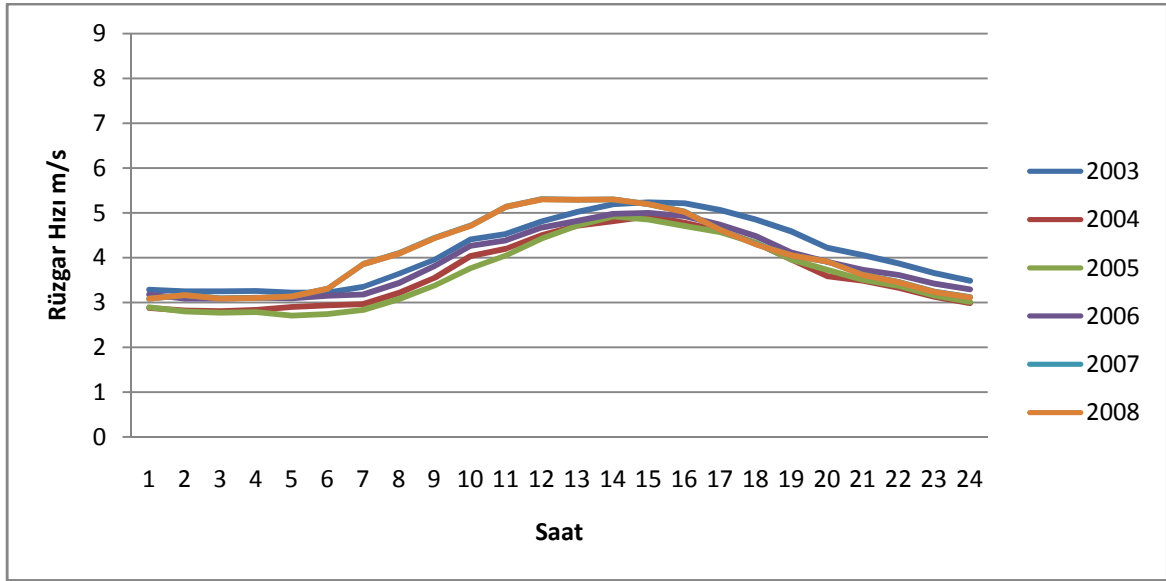
EK G 10 Bölgenin 10m Yükseklikte Ölçüm Yapılan Saatlik Rüzgâr Ortalamaları



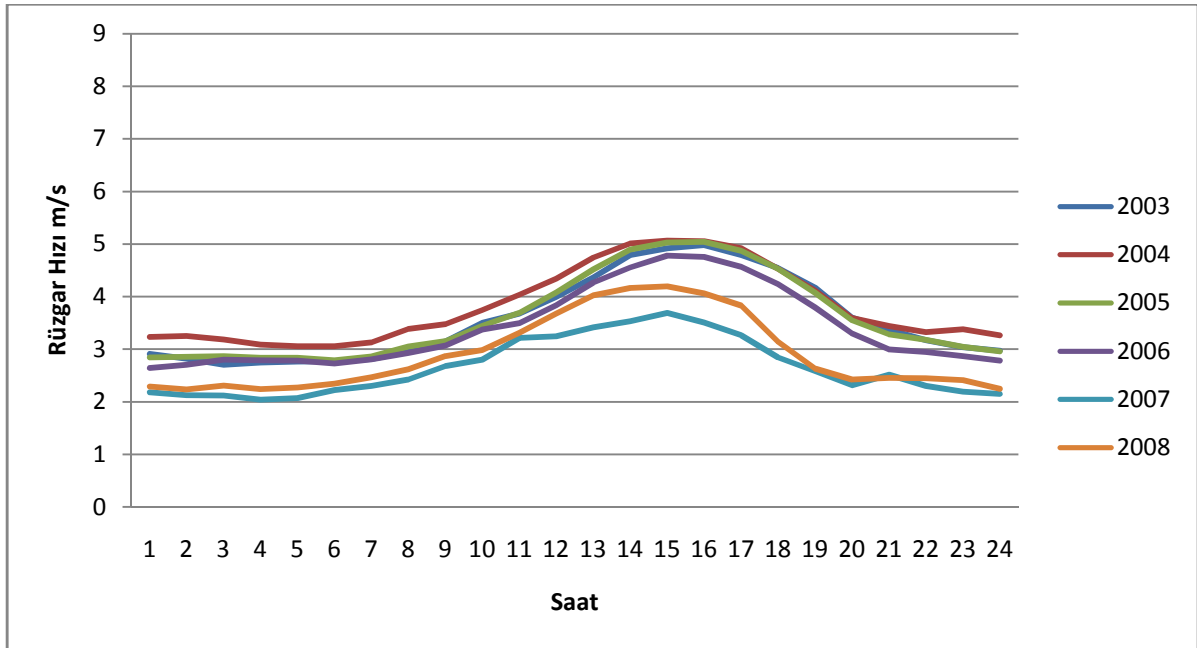
EK G.1 Bozcaada 17111 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



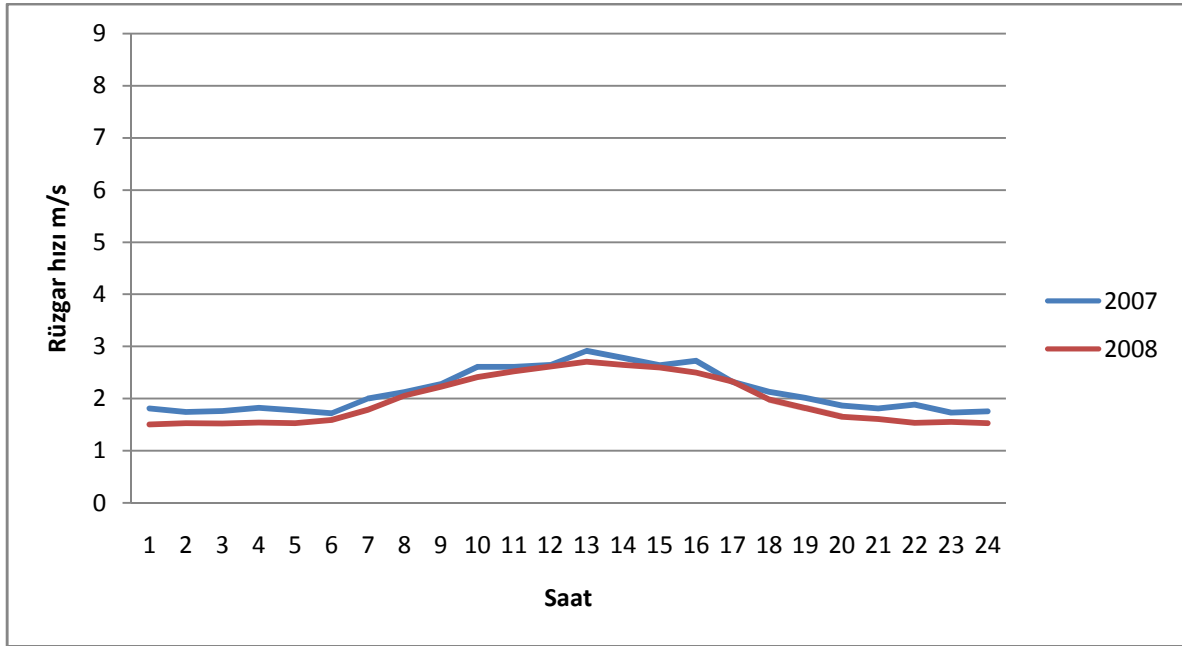
EK G.2 Çanakkale 17112 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



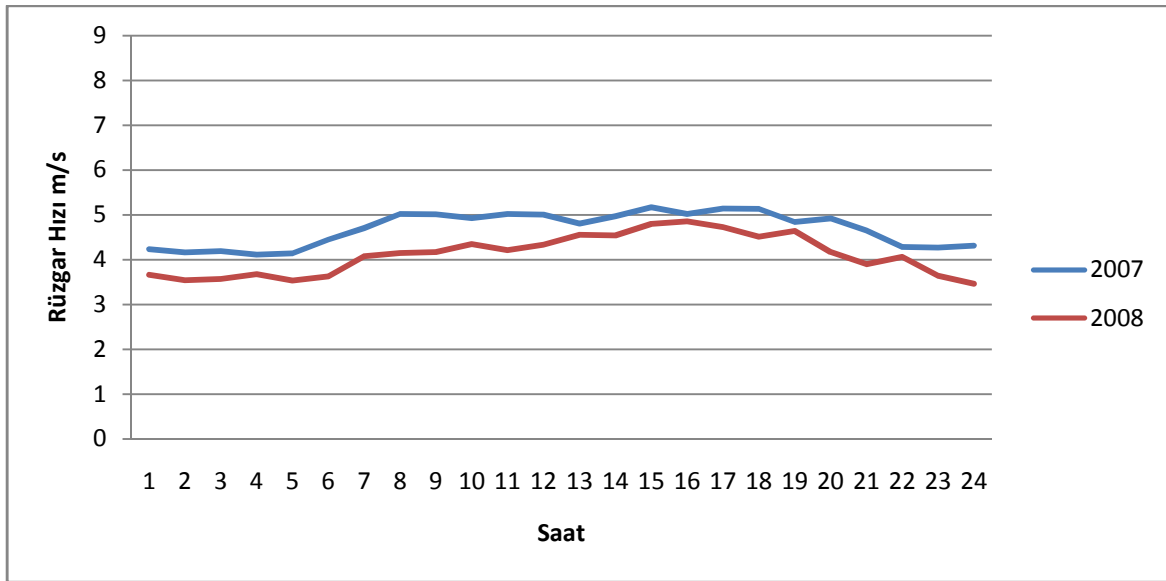
EK G.3 Bandırma 17114 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



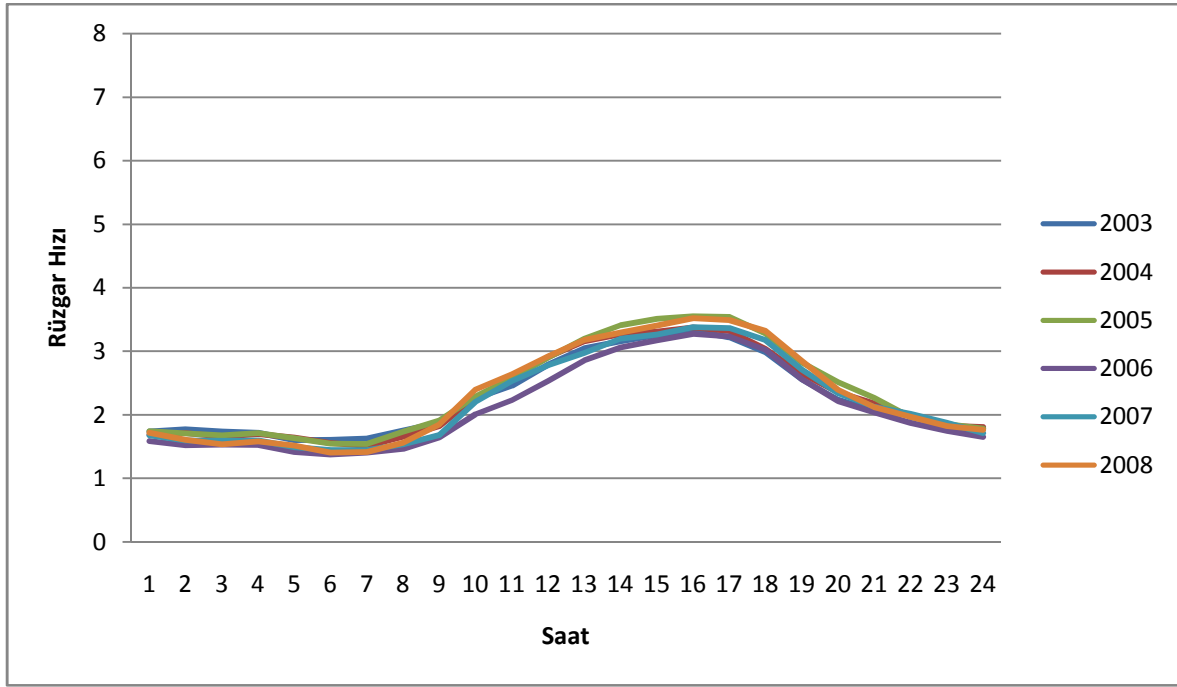
EK G.4 İzmir 17220 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



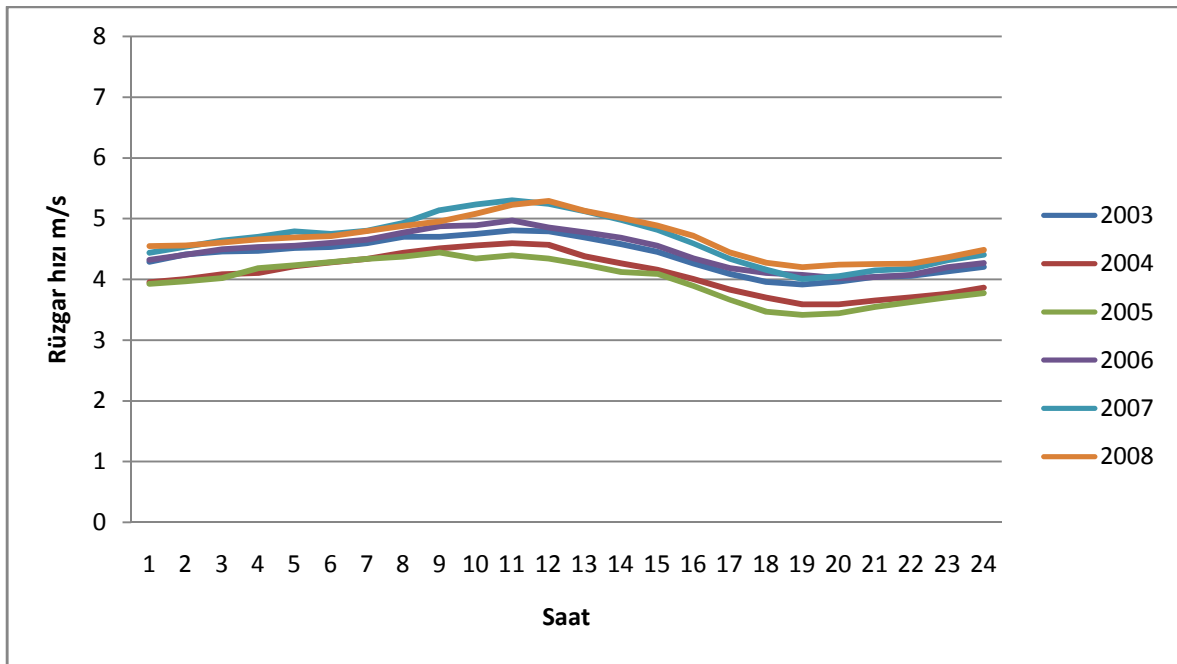
EK G.5 Kırklareli 17052 2007-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



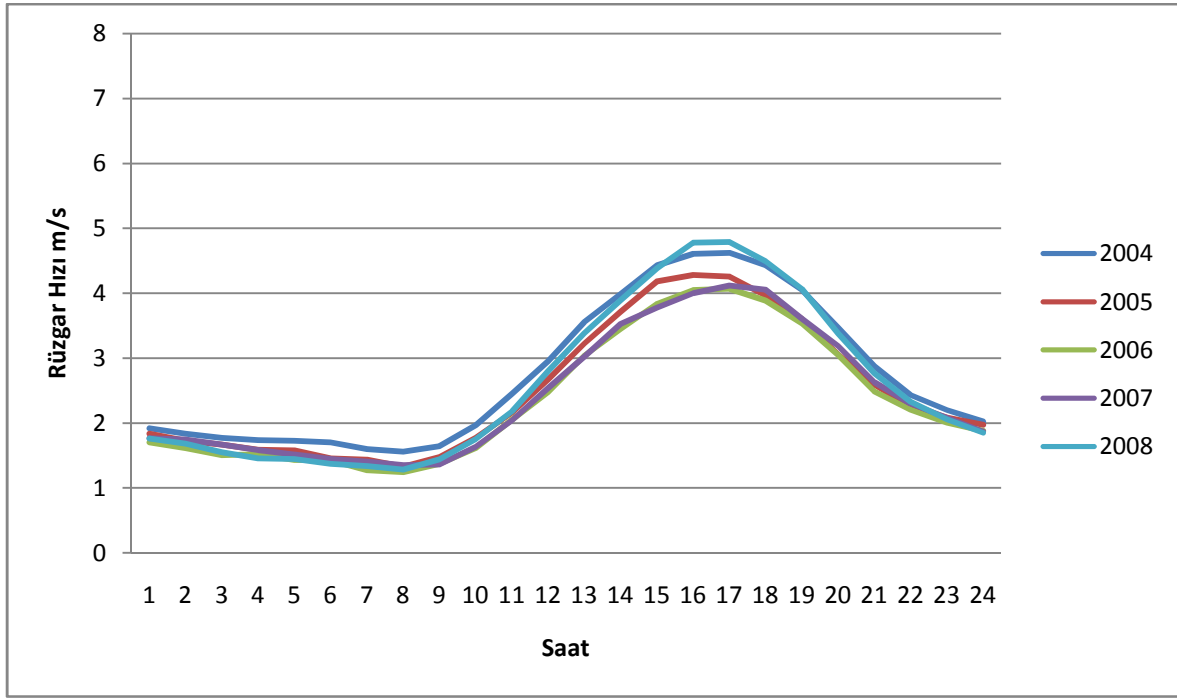
EK G.6 Muğla - Datça 17297 2007-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



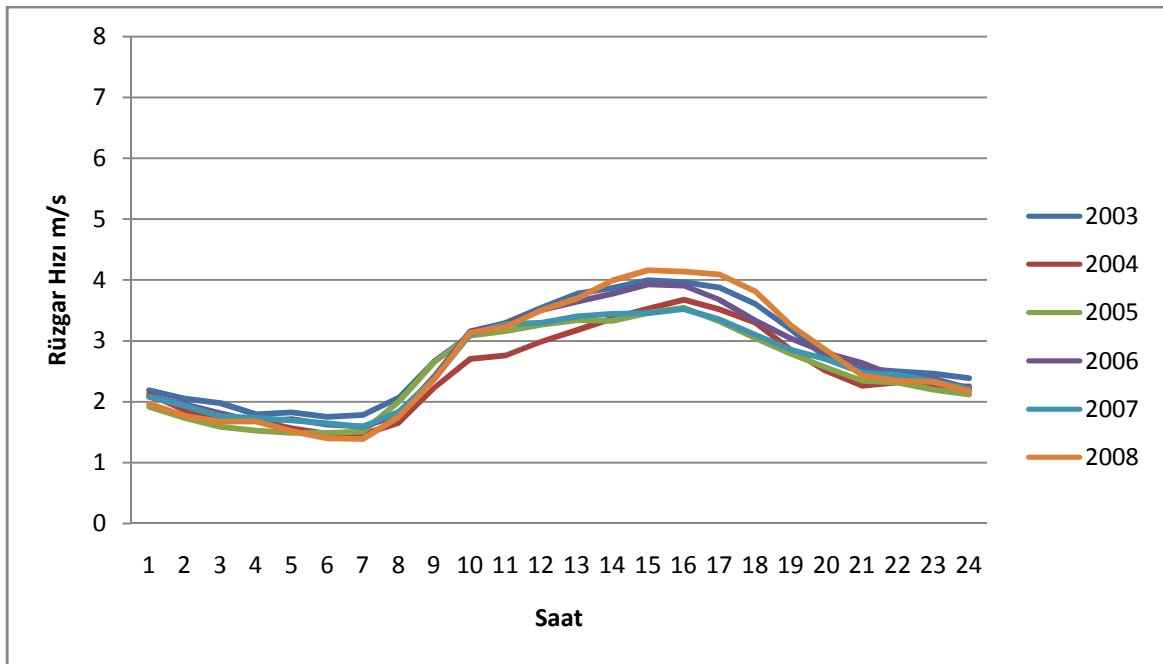
EK G.7 Karaman 17246 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



EK G.8 Hatay - Samandağ 17986 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



EK G.9 Osmaniye 17355 2004-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması



EK G.10 Erzurum 17096 2003-2008 Rüzgar Hızı Ortalaması

EK H 10 bölgenin Faklı Enerji Depolama Verimleri ile Ekonomik Karlılıkları

	Üretilen Enerji KW	SMF Toplam	SDF Toplam	Sabit Toplam	Puant Fiyat ile Toplam	%80 Verim D. sonucu enerji	%80 Verim ile Kazanç	%65 Verim D. Sonucu enerji	%65 Verim ile Kazanç	%50 Verim D. sonucu enerji	%50 Verim ile Kazanç	%27 Verim D. sonucu enerji	%27 Verim ile Kazanç	%60 Verim D. sonucu enerji	14 Temmuz Hidrojen Üretimi ile Kazanç	%60 Verim D. sonucu enerji	17 Aralıkta Hidrojen Üretimi ile Kazanç
Bozcaada 2007	5508	416682	447029	324411	467382	4406	373906	3580	303799	2754	233691	1487	126193	3305	413748	3305	172087
Çanakkale 2007	3315	261666	275439	201264	288793	2652	231035	2155	187716	1657	144397	895	77974	1989	256690	1989	106763
Bandırma 2007	3548	255203	270197	195619	283068	2839	226455	2306	183994	1774	141534	958	76428	2129	249490	2129	103768
İzmir 2007	926	76176	78575	56960	82051	741	65641	602	53333	463	41026	250	22154	556	72646	556	30215
Samandağ 2007	5626	373320	408939	300421	432600	4501	346080	3657	281190	2813	216300	1519	116802	3376	383152	3376	159362
Kırklareli 2007	1173	103841	108430	79207	112765	939	90212	763	73297	587	56382	317	30446	704	101020	704	42016
Dağça 2007	3286	270992	294244	216951	310894	2629	248715	2136	202081	1643	155447	887	83941	1972	276696	1972	115084
Karaman 2007	1956	177007	180201	130552	188572	1565	150857	2136	122572	978	94286	528	50914	1174	166504	1174	69253
Osmaniye 2007	1821	164548	168555	120349	174466	1457	139573	1184	113403	911	87233	492	47106	1093	153491	1093	63841
Erzurum 2007	1933	154340	159118	116018	167446	1547	133957	1257	108840	967	83723	522	45210	1160	147967	1160	61543
Toplam	29093	2253775	2390729	1741753	250803	1586403	2006431	1288953	1630225	991502	1254019	535411	677170	1189802	2221405	1189802	923933

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Akın Akınsal

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul - 1981

Adres: Bestekar Leyla Sok. İdil Apt. 3/10 Feneryolu / İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi: